9761

FONDO ANTIGUO

LOS GRANDES INVENTOS

TOMO CUARTO


JOH. FRIEDR. V. BOETTGER.
ABR. LOUIS BREGUET
PETER VISCHER.
J. AUG. BORSIG.
L. BURGER SC.

8/4-5081

FRANCISCO REULEAUX

LOS GRANDES INVENTOS

EN TODAS LAS ESFERAS DE LA ACTIVIDAD HUMANA
Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES CIENTÍFICAS, ARTÍSTICAS,
INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DOMÉSTICAS

OBRA UTILÍSIMA PARA INGENIEROS CIVILES, MILITARES Y NAVALES, ARQUITECTOS, ARTISTAS, INDUSTRIALES, COMERCIANTES Y HOMBRES CIVILES, Y GUÍA DEL PROFESOR Y EL PADRE DE FAMILIA PARA LA EDUCACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA DE LA JUVENTUD

PRIMERA TRADUCCIÓN ESPAÑOLA, HECHA DE LA OCTAVA EDICIÓN ALEMANA

POR

FEDERICO GILLMAN

INGENIERO DE MINAS DE LA ACADEMIA DE FREIBERG

CON LA COLABORACIÓN DE OTROS DISTINGUIDOS PROFESORES

ILUSTRADA CON MÁS DE 5.000 GRABADOS INTERCALADOS EN EL TEXTO

Y PROFUSIÓN DE LÁMINAS EN NEGRO Y EN COLOR, ESTAMPADAS APARTE

TOMO CUARTO



MINISTERIO DE CULTURA
BIBLIOTECA PUBLICA
LEON

MADRID
HERNANDO Y COMPAÑÍA
Arenal, 11, y Quintana, 31 y 33.

Advertencia.

Nuestro propósito constante de propagar los conocimientos útiles, tan necesarios á la didáctica, como á la producción y vida de los pueblos, nos ha sugerido la idea de aumentar la extensión de nuestro Catálogo con la propiedad de la acreditada obra Los Grandes Inventos.

No había de sernos dudoso el crédito científico de esta obra, cuando la compilación de tan ricos caudales se debe al profesor Reuleaux, Director de la Escuela de Artes y Oficios de Berlín; á la colaboración de los concienzudos Doctores é Ingenieros Birnbaum, Gayer y Kirchhoff, Clemming, Schwartze, Mothes, etc., y á la versión castellana del Dr. Urios y Gras, con algunas adiciones y modificaciones de D. Federico Gillman.

Revisada la obra por nuestros encargados de la sección científica y literaria de la Casa, ha merecido el alto concepto á que es acreedora, por su clara exposición, sobriedad y rigurosa exactitud en los pormenores, y por su espíritu de novedad sancionada ya por las corrientes actuales.

Sin embargo, la encontrábamos algo deficiente en los conocimientos relativos al extenso campo de la electricidad y á los descubrimientos más importantes, realizados en la última veintena de este siglo; pero tal deficiencia no puede menos de ser justificada, si consideramos que la obra apareció antes de que los nuevos adelantos llegasen á ser del dominio científico. Para llenar este vacío añadimos á Los Grandes Inventos un volumen más, que constituirá el tomo IX, consagrado enteramente al estudio de la *electricidad* en todos sus ramos y aplicaciones generales.

¡Ojalá que nuestros esfuerzos satisfagan las necesidades discentes y que nuevos alientos de nuestras generaciones vayan sacudiendo la mortal decadencia que nos amaga!

Hernando y C.ª

Es propiedad.

Imprenta de E. Rubiños.

FRANCISCO REULEAUX

LOS GRANDES INVENTOS

EN TODAS LAS ESFERAS DE LA ACTIVIDAD HUMANA
Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES CIENTÍFICAS, ARTÍSTICAS,
INDUSTRIALES, COMERCIALES Y DOMÉSTICAS

OBRA UTILÍSIMA PARA INGENIEROS CIVILES, MILITARES Y NAVALES,
ARQUITECTOS, ARTISTAS, INDUSTRIALES, COMERCIANTES Y HOMBRES CIVILES, Y GUÍA DEL PROFESOR
Y EL PADRE DE FAMILIA PARA LA EDUCACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA DE LA JUVENTUD

PRIMERA TRADUCCIÓN ESPAÑOLA, HECHA DE LA OCTAVA EDICIÓN ALEMANA

por

FEDERICO GILLMAN

INGENIERO DE MINAS DE LA ACADEMIA DE FREIBERG

CON LA COLABORACIÓN DE OTROS DISTINGUIDOS PROFESORES

ILUSTRADA CON MÁS DE 5.000 GRABADOS INTERCALADOS EN EL TEXTO

Y profusión de láminas en negro y en color, estampadas aparte.

TOMO CUARTO



MADRID
GRAS Y COMPAÑÍA, EDITORES
Plaza de Santa Barbara, núm. 2.
1889

Es propiedad de los Editores, con arreglo á la ley vigente.

Imprenta de E. Rubiños, plaza de la Paja, 7 bis.—Teléfono 486.



ELABORACIÓN QUIMICA DE LOS PRODUCTOS NATURALES

INTRODUCCIÓN

Historia de la Química.—Conocimientos químicos de los antiguos.—El período de la alquimia.—El período de la química médica.—La química moderna.—El flogisto.—La química cuantitativa.—Conceptos fundamentales de química.—Los elementos ó cuerpos simples.—Idea sobre la naturaleza de la materia.—Aparatos y métodos.—Reacciones y reactivos.

¿EXISTE algún color que sea feo por sí solo? No; todos son bellos por naturaleza, y sólo el uso desacertado de ellos puede proporcionar al hombre impresiones desagradables. El mismo verde, el mismo rojo, que en ocasiones repugnan á nuestra vista, nos deleitan cuando se colocan al lado de otros colores adecuados al objeto. Lo mismo podríamos decir de los sonidos; pero no ya sólo los colores y los sonidos, sino todo cuanto existe en la naturaleza es bueno de por sí y puede servir para fines de utilidad y belleza.

«Lo sucio, la basura, no existe realmente; es simplemente un objeto colocado fuera de su sitio.» Así dijo Palmerston, y tenía mucha razón en ello. No es menester acudir á la consideración de la manera cómo se origina, para explicarse suficientemente que la sociedad elegante sienta repugnancia hacia el guano; y, sin embargo, á todos nos encanta la admirable escala de colores, desde el rosa pálido más delicado hasta el rojo de fuego, que presentan con los más variados matices los rayos del sol poniente, y cuyos colores sabe el químico hacer surgir, como por encanto, de los excrementos de las aves marinas conocidos con aquel nombre en la industria. Y estos colores hermosos, pero efímeros, han cedido ya el puesto á otros que la incesante actividad creadora de la química moderna ha enseñado á extraer del alquitrán, de aspecto y olor desagradables, pero que no sólo igualan á aquéllos en belleza y brillo, sino que les aventajan mucho en dichos conceptos, como también, y sobre todo, en cuanto á su permanencia. Así, pues, el alquitrán, tan negruzco y pegajoso, desempeña un papel muy importante en la *toilette* de las damas, sin que muchas de éstas lo sospechen siquiera. Todos esos brillantes colores á que aludimos, y procedentes del alquitrán en sus variadísimos tonos de rojo, azul, verde, violeta y amarillo, se utilizan

para el tinte y estampados en tejidos de seda, hilo y algodón; para lo cual sólo una pequeña parte de los elementos componentes del alquitrán nos proporcionan, mediante un tratamiento apropiado, semejante variedad de colores, como los llamados fuchsina, dalia, verde malaquita, azul de benzila, etc. También permite hoy la química producir artificialmente, por medio del alquitrán, colores formados por la vida vegetal en el interior de las finísimas células de las plantas, como la alizarina y el índigo ó añil. De la primera de estas sustancias se producen ya actualmente tales cantidades, que se han extinguido casi por completo los tintes de rubia, en otro tiempo tan en boga.

Y, sin embargo, el alquitrán no proporciona solamente colores, sino también aromas; se extrae de él el *toluol*, del que á su vez puede obtenerse el perfume suave del jabón de almendras, aceite esencial de almendras amargas artificial (aldehido benzálico). Y si añadimos, por último, el ácido fénico y el salicílico con sus bienhechoras propiedades medicinales, encontraremos en el tratamiento del alquitrán un excelente ejemplo de la pasmosa multiplicidad de estas transformaciones de la materia, reveladas por los últimos progresos de la ciencia química.

Este conocimiento de las relaciones íntimas de las diferentes sustancias, con cuyo auxilio no sólo extraemos fácilmente materias valiosas de otras menos estimadas, sino que podemos también aprovechar las muchas que en tiempos anteriores se despreciaban y tiraban por inútiles, es un fruto preciado de la Química. La importancia de los servicios que esta ciencia tiene prestados ya á la humanidad, resalta con la mayor evidencia con sólo hacer una ligera apreciación, siquiera sea de pasada y á grandes rasgos, del tesoro que constituyen los objetos conquistados á la Naturaleza para la satisfacción de las necesidades más ó menos imperiosas del hombre, y comparando los resultados obtenidos con la escasez de medios, propia de los pasados tiempos.

Los pueblos antiguos casi no podían emplear para sus fines de utilidad ó placer otras sustancias que las que la Naturaleza ofrece ya, dispuestas para ello, en la superficie de la tierra, pues sólo les era dado obtener por procedimientos artificiales un pequeño número de productos en forma apropiada.

Por el contrario, nosotros nos hallamos en condiciones para obtener la materia en una serie infinita de condiciones diversas, utilizándola con arreglo á sus diferentes propiedades. Hacémosla recorrer círculos completos de transformaciones incesantes, bien combinándola, bien descomponiéndola total ó parcialmente, y deteniéndonos á voluntad en un punto de esta serie de transformaciones que represente para nosotros un término utilizable. De aquí que así como antes eran en su mayor parte las elaboraciones á que se sujetaban los cuerpos, simplemente mecánicas, afectando, por consiguiente, tan sólo á su forma, tales tratamientos tienden con preferencia cada vez más, y por la influencia de la química, á modificar las propiedades más íntimas de la materia.

Ahora bien; las fuerzas químicas de la materia se han puesto en acción recíproca por el hombre desde que éste adquirió alguna cultura general, habiéndose practicado ya en épocas muy remotas operaciones que tenían por base reacciones químicas bastante complicadas. Recordemos, por ejemplo, que el hombre consiguió hace mucho tiempo producir bronces con minerales de cobre y cinc, y construir con él armas y objetos de adorno. El descubrimiento de pastas vítreas es muy antiguo, y hasta los pueblos menos civilizados saben casi todos curtir las pieles de los animales para sus vestidos, y adornarlas por medio de pinturas. Pero hay que distinguir entre la aplicación de observaciones debidas á la casualidad y la de consecuencias lógicas de leyes perfectamente conocidas. En efecto; del mismo modo que no puede considerarse como físico á cualquiera, meramente porque pueda jugar con los rayos del sol, descomponiendo, mediante un prisma de vidrio, su luz blanca en los brillantes colores de que se compone, así tampoco puede estimarse como conquista de un conocimiento científico el descubrimiento casual de que la potasa y la arena pueden fundirse, dando una masa homogénea y transparente. Sólo la *ciencia*, sólo el conocimiento de las relaciones que enlazan íntimamente el conjunto de los fenómenos y sus causas, puede producir un impulso eficaz y duradero hacia la revelación de nuevas propiedades y nuevos hechos; y este conocimiento, en la esfera que nos ocupa, procede de una época relativamente cercana. Para encontrar los fundamentos de la química actual nos basta retroceder unos doscientos años en la historia; pero no deja de entrañar interés en el estudio del desenvolvimiento progresivo de la humanidad, la investigación, en épocas mucho más remotas, de los gérmenes de una ciencia que tanto ha contribuído al bienestar material de los pueblos, toda vez que no sólo nos enseña á utilizar convenientemente los tesoros de la Naturaleza, sino que acrecienta también la riqueza de la humana sabiduría, abriendo nuevos horizontes á nuestra mirada en cuanto á la esencia íntima de las cosas, y permitiéndonos interpretar de un modo más completo, en unión con la física, las leyes naturales que rigen el Universo.

APUNTES HISTÓRICOS

Según lo expuesto, la historia de la química puede considerarse dividida en dos partes principales. La una abraza los tiempos antiguos, en los que se produjeron observaciones químicas aisladas y se investigó alguna de sus partes con fines especiales; pero no se puso á este conjunto un marco apropiado, no se reunieron los resultados dispersos en un cuerpo de doctrina. La segunda parte, por el contrario, comprende los tiempos en que la suma de observaciones, habiendo adquirido un valor señaladamente grande, recibió una agrupación ordenada y metódica, haciendo surgir de la asociación de los hechos

y las ideas, la esencia de aquéllos, convertida en ley. De esta suerte el hecho aislado tenía valor, más bien en cuanto confirmaba el caso general, al mismo tiempo que su importancia se hacía más decisiva, por lo mismo que la observación más insignificante, al parecer, permitía descubrir y comprobar las leyes más trascendentales.

La ciencia, esto es, el conjunto de las observaciones y de las consecuencias que por su comparación recíproca y cualitativa se deducen, obedece á determinados principios generales, que en los tiempos á que nos referimos no fueron conocidos todavía de un modo claro y preciso; y aunque la palabra *química*, probablemente de origen egipcio, fué empleada desde hace más de 1.400 años, la idea que entraña no se ha determinado de un modo concreto en todas sus consecuencias hasta una fecha relativamente cercana á nosotros.

Las observaciones químicas comprendidas en el intervalo de tiempo que media desde las primeras huellas de esta ciencia hasta el comienzo de la química moderna (á mediados del siglo XVII), están caracterizadas por las dos tendencias hacia las cuales se dirigían los esfuerzos de sus autores. En un principio, desde el siglo IV hasta comienzos del siglo XVI, el fin á que tendían todas las empresas químicas era la transmutación de los metales, y principalmente la obtención del oro con metales menos nobles. Fué ésta la edad de la *alquimia;* desde la misma hasta mediados del siglo XVII, la aspiración de la química se cifró principalmente en la explicación y curación de las enfermedades, y podemos llamar, por tanto, á este período la edad de la *química médica*. Finalmente, desde hace un par de siglos, la experimentación, que tan amplio desarrollo ha adquirido, obedece al deseo de establecer las leyes de las combinaciones que forman entre sí las diferentes materias, y que cada día se tiene ocasión de observar en mayor número, así como de encontrar métodos para deshacer aquellas combinaciones y producir otras nuevas. La solución de este problema, de descubrir las transformaciones de la materia sometida á la acción de fuerzas más variadas y deducir de aquí la esencia íntima de los cuerpos: he aquí lo que caracteriza á la *química moderna*, que, después de todo, tampoco ha permanecido siempre fiel en sus progresos al camino trazado en un principio, ni podía conservar semejante fidelidad. Principalmente se señala, con la aparición de Lavoisier, el paso más importante en cuya virtud quedó destronada la teoría flogística de Sthal, y con el uso de la balanza se introdujo en el mundo de las observaciones químicas un criterio absoluto: el del número y de la medida. Con el período de las investigaciones *cuantitativas*, inaugurado entonces, comenzó á dar sus bienhechores y abundantes frutos ese verjel, cuyos dones son tan apreciados por la generación presente.

Respecto á los conocimientos químicos de los antiguos, sería imposible, dada la falta de referencias directas y la incertidumbre que forzosamente se asocia á toda comparación entre los pueblos que viven todavía en estado semi

salvaje con los primeros antecesores de los pueblos más cultos de la actualidad, formar un concepto exacto de todos los procedimientos empleados en los primitivos tiempos con el fin de transformar algunas materias existentes en la Naturaleza en objetos de uso práctico. Sólo una rama de estas investigaciones tiene especial importancia: la extracción y beneficio de los metales; pues éstos tenían que ensanchar esencialmente los conocimientos de las sustancias inorgánicas, tanto más cuanto mayor era el número de los sometidos á esos rudimentarios procesos metalúrgicos.

Según expusimos en la Introducción general de esta obra, se encontraban ya en uso varios metales en tiempos tan remotos, que es imposible establecer su sucesión cronológica. Donde primero podemos buscar, y encontramos, algunos testimonios acerca de la producción de combinaciones químicas, es entre los egipcios, fenicios, hebreos, griegos, y, por último, los romanos, toda vez que en la cultura de estas naciones se hallan ya las raíces de la civilización actual. Los chinos, mejicanos y peruanos se hallaron iguamente en posesión de ciertos conocimientos de la misma índole; pero estos pueblos no han ejercido influencia tan duradera en la historia de la química, y, por lo tanto, tendrían muy poco interés para ella, aun cuando nos fuera dado penetrar en el desenvolvimiento de su cultura.

Se comprende desde luego que un pueblo que fué capaz de construir tan grandiosas obras arquitectónicas como el egipcio, había de poseer conocimientos acerca de la extracción de diferentes metales. También era entonces conocido el vidrio y se procedía con gran habilidad en la producción de colores. La historia de ese pueblo nos cita al rey que intentó por vez primera obtener artificialmente el color azul; los colores verdes fueron empleados por los egipcios para imitar la estimada esmeralda. También estaba familiarizado este pueblo con diferentes ramas de la cerámica, puesto que hacía ladrillos con barro del Nilo, y vasos sumamente artísticos con arcilla finamente barnizada. Pero en lo que fueron maestros los egipcios fué en el empleo de medios desinfectantes ó antisépticos (salitre y otros, en unión con resinas, especies aromáticas y sustancias diversas) para embalsamar sus cadáveres. En tiempo de Homero se sabía ya que los médicos egipcios disponían de un rico caudal de medicamentos; pero estaba reservado á los tiempos modernos adquirir un conocimiento sorprendente de la antigua medicina egipcia, descifrando el papiro Eber, cuyo texto se refiere principalmente á las sustancias empleadas en medicina. Y no se encuentran sólo en este manuscrito indicaciones sobre medicamentos propiamente dichos, sino también recetas para fumigaciones y cosméticos, como, por ejemplo, para pintarse los ojos, los labios, las mejillas, los dedos y las uñas, para engrasar la piel y el pelo, y hasta procedimientos para exterminar las ratas, reptiles y otros animales dañinos ó peligrosos. En la preparación de ungüentos y emplastos parece que desempeñaron gran papel el albayalde cardenillo y sulfuro de antimonio; se obte-

nía una especie de trementina por exudación de varios árboles (principalmente cedros) y por destilación de la pez y brea, un líquido rico en creosota, con el que se curaban las enfermedades de la cabeza y el dolor de muelas. Todas estas referencias, juntamente con otras, según las cuales los antiguos egipcios fabricaban ya papel, hacían ricos tapices, alumbraban sus templos y viviendas con lámparas de aceite, y saboreaban vino y cerveza, que ellos mismos preparaban, demuestran suficientemente que ese pueblo poseyó ciertos conocimientos científico-naturales que se apoyaban en parte sobre fenómenos clasificados actualmente por nosotros como pertenecientes al dominio de la química. La causa de que esto haya permanecido ignorado consiste sencillamente en que la clase sacerdotal conservaba ocultos en la más absoluta reserva todos los conocimientos adquiridos; pues prescindiendo del espíritu de casta, los jueces sacerdotales condenaban á muerte á los que hacían traición á los misterios de su ciencia, y administraban á semejantes reos el veneno extraído de las semillas del melocotón, ó sea el ácido cianhídrico.

En cuanto á los fenicios, sabemos que florecieron también entre ellos las artes de la fabricación del vidrio y de los colores, así como que estuvieron familiarizados con el empleo del estaño, y, por consiguiente, con su extracción. Tanto como los egipcios fueron los maestros de los israelitas, quienes, sin embargo, no alcanzaron un grado muy elevado en su instrucción. A pesar de lo dicho, el conjunto de los conocimientos científico-naturales entre los egipcios y fenicios no podía menos de ser muy limitado. Al atribuirse, como lo hacen algunos, particularmente al primero de estos dos pueblos, un concepto bastante profundo de las ciencias físico-químicas, se carece de todo apoyo preciso y determinado, obedeciendo principalmente á la suposición de que en los misterios de su religión y en toda ésta existiera un concepto del conocimiento de las leyes naturales, ininteligible para los profanos. Ahora bien: es posible que algunas experiencias científico-naturales aparecieran envueltas entre operaciones sumamente misteriosas; pero que de esto no surgió una instrucción científica tan extensa como se admite en semejantes casos, está demostrado sin más que considerar el estado de la vida material de aquella época, para la cual no hubiera permanecido ciertamente infructuosa semejante instrucción.

Tampoco entre los griegos merecieron las ciencias naturales más que una atención muy reducida, por efecto de la educación espiritual de este pueblo. En tiempos de Homero (unos 700 años antes de Jesucristo), encontramos tan sólo mencionados los fenómenos que eran ya conocidos por los egipcios y fenicios. El hierro era todavía, al parecer, un metal raro, y la elaboración del bronce parece haber sido también muy posterior á aquellos pueblos y á los israelitas, que se apropiaron sus conocimientos. La misma preparación de los medica mentos, cuyo conocimiento enriqueció tan considerablemente Hipócrates (en el siglo V antes de nuestra Era), se verificaba sin intervención de ningún

método químico, siendo muy raros en aquella época los hombres como Demócrito de Abdera, que buscaban sus enseñanzas y las explicaciones de los fenómenos por observaciones directas é investigaciones experimentales acerca de los mismos. Cierto que Aristóteles menciona el hecho de que el agua del mar, filtrada por arcilla, pierde su gusto y se hace potable, y que Platón se propuso encontrar la explicación de la formación del orín del hierro; sin embargo, á pesar de tales observaciones aisladas, no podía verificarse un verdadero progreso de los conocimientos químicos, ni tampoco lo permitía la teoría aristotélica de los cuatro elementos, ó más bien cualidades elementales (fuego: seco y caliente; aire: caliente y húmedo; agua: húmeda y fría; tierra: fría y seca.) Sin duda esta teoría, reconocida más tarde por falsa, fué un obstáculo directo para el desarrollo de nuestra ciencia. Theophrasto (nacido 371 años antes de Jesucristo, fallecido en 286 en Atenas), discípulo de Platón y de Aristóteles, menciona por primera vez, en su obra sobre los minerales, el carbón de piedra, el cinabrio y el sulfuro de arsénico, y da algunas noticias acerca de la preparación del albayalde y del minio. Vemos, pues, que en conjunto las ciencias positivas de los antiguos griegos, excepción hecha de las ramas geométricas, estaban muy atrasadas, y que los datos transmitidos por este pueblo á los romanos, en cuanto á tecnología química, no constituían sino un material muy incompleto.

Pero el pueblo romano dió ocasión, en la época de su florecimento, á un impulso considerable en los conocimientos de este género, por efecto de las relaciones establecidas con otras naciones á consecuencia de sus grandiosas campañas. En particular, dan prueba de sus conocimientos más importantes las obras de Dioscórides, un griego nacido en el Asia Menor, que tomó parte en varias expediciones romanas en el Asia á mediados del siglo I de nuestra Era, así como las de Plinio el Viejo. Dioscórides describe una especie de destilación, la calcinación del sulfuro de antimonio, y conoce, además del agua de cal, el óxido de cinc y la caparrosa azul, y sus descripciones acerca de la preparación de algunas sustancias dejan comprender que tenía conocimiento de varios aparatos.

De un modo más completo, aunque también prescindiendo de toda crítica, encontramos reunidos fenómenos y operaciones químicas en el libro de Plinio. Según él, además de los metales mencionados anteriormente, era conocido ya entonces para los romanos el mercurio, así como la propiedad que tiene éste de disolver el oro. La amalgama de oro era también empleada para el dorado. Se conocía la fusibilidad diferente de los metales, entendiendo de soldaduras y estañados. Se sabía transformar el hierro en acero, y se empleaban en medicina los óxidos de cobre y plomo (litargirio y minio) obtenidos por la fusión de los metales al aire libre, así como los óxidos de cinc y de hierro. El salitre y el alumbre, cuyos nombres están tomados del idioma latino, parecen, sin embargo, que fueron desconocidos por los romanos, que se servían, en cambio, del ácido sulfuroso que se forma por la combustión del azufre para el blanqueo de la lana

y como medio desinfectante. Esta última aplicación la encontramos ya mencionada por Homero en el pasaje en que describe cómo dispuso Odiseo la purificación del local después de la muerte de su amante:

«Vieja, tráeme fuego y azufre, que aleja la maldición, para que sahume la sala.»

le hace decir Homero, dirigiéndose á la criada Eurykleia. Los romanos adquirieron de los germanos el conocimiento del jabón; preparaban por fermentación bebidas alcohólicas, pero no habían conseguido todavía separar de ellas el alcohol puro; lo mismo sucedía con el ácido acético, que conocían sólo en forma de disoluciones diluídas (vinagre). En cuanto á materias colorantes, ocupaban un puesto muy importante el jugo de la púrpura y el añil, así como encontró aplicación en la tintorería, en que todavía no se había introducido el uso de los mordientes, la observación de que la sosa y la orina en descomposición podían producir matices variables de ciertos colores.

Si aceptamos el supuesto de que los sacerdotes egipcios poseían ciertos conocimientos científico-naturales, encontraremos en éstos un puente que nos conduce á la marcada afición por la química, que comenzó á hacerse sensible entre los bizantinos después de la caída del Imperio romano, desde el siglo IV de nuestra Era. El aislamiento avaricioso de los antiguos sacerdotes y el supersticioso temor del pueblo fueron desapareciendo como consecuencia forzosa de la extensión y arraigo del cristianismo; los conocimientos conquistados fueron divulgados por los iniciados en aquellos misterios, que abrazaron la nueva religión; su posesión dejó de ser al menos patrimonio de una jerarquía, y aunque inaccesibles todavía á la generalidad de las gentes, perdieron el carácter de secretos religiosos para pasar á la categoría de científicos, siendo objeto desde entonces de un estudio sistemático y más activo. La cuna de la nueva ciencia fué Alejandría, la misma que fuera hasta entonces sagrario de los antiguos misterios egipcios.

Viniendo ahora á la edad de la *alquimia*, los árabes, en primer término, recibieron de Alejandría, sometida á su poder, así como de otros pueblos con los cuales se pusieron en contacto en sus empresas conquistadoras, aquella afición por el cultivo de las ciencias que más tarde conservaron y ampliaron de un modo tan notable, una vez establecidos con fijeza en los países conquistados. Es una opinión errónea la de que aquella nación aventurera que durante unos cinco siglos se incautó de toda cultura poética y científica, engrosara con semillas propias la abundante siembra ya existente. Antes del siglo VIII no encontramos entre los árabes huella alguna de una tendencia tan halagüeña; y se comprende, pues el Corán, con su carácter fatalista, se oponía á toda investigación, y, por tanto, en esta primera época de su historia debía permanecer muy limitada la actividad intelectual de sus fanáticos creyentes.

En el siglo IV es cuando parece que se abrió camino la idea de la trans-

mutación de los metales, es decir, de la posibilidad de convertir un metal cualquiera en otro, no debiendo ser anterior, pues podemos admitir casi con seguridad que semejante idea hubiera conducido inmediatamente á emprender algunas tentativas con tal objeto, dada la esperanza de inagotables riquezas que semejante hallazgo ofrecía al investigador afortunado. Ahora bien: de tales empresas no se encuentra mención hasta el citado siglo IV. Se fundaban aquéllas en la idea, que imperó por entonces, acerca de la naturaleza de los metales, en virtud de la cual se les suponía constituídos por proporciones diferentes de dos sustancias, designadas con los nombres de azufre y mercurio. Como agente de esta transmutación de los metales se pensaba encontrar una sustancia, la *piedra filosofal*, llamada también el gran elíxir, *magisterium* ó tintura roja. Con estos nombres se designó en diferentes épocas y por distintos adeptos aquella sustancia misteriosa cuyo descubrimiento y preparación constituyeron más adelante el objeto exclusivo de los ensayos comprendidos bajo el nombre de *alquimia*.



FIG. 1.—El alquimista Geber, según Jean de Vries.

No puede precisarse la mente de quién y cuándo surgiera semejante concepto sobre la constitución de los metales, que tal vez se fundó en algunas observaciones erróneamente interpretadas y conocidas por los naturalistas empíricos de aquella época. Se sabía, por ejemplo, que el hierro, colocado en una disolución de vitriolo azul, desaparece al cabo de algún tiempo, apareciendo en su lugar un trozo de cobre de la misma forma; mas como se ignoraba que en el líquido azul estaba contenido el cobre, que se precipitaba después sustituyendo al hierro, se creía que el primer metal se había transformado en el segundo. Por más absurdo que fuera este concepto de la naturaleza de los metales, no por esto dejó de ofrecer gran utilidad práctica, pues con motivo de la suposición de partículas de azufre como componente de los metales, vino el fuego á ser un poderoso auxiliar en las investigaciones químicas, y su acción sobre los diferentes cuerpos dió ocasion al conocimiento de una numerosa serie de fenómenos.

La alquimia fué transmitida del Egipto á Grecia y España, en cuyo último país encontramos, en el siglo VIII, á los árabes, activamente dedicados á su estudio. Entre el gran número de alquimistas de esta época debemos mencionar más especialmente á *Geber* (fig. 1), el primero que sobresalió en esta clase de estudios, y cuyos trabajos aventajaron considerablemente á sus sucesores *Rhazes*, *Avicena*, *Avenzoar*, *Abulkases*, etc. Desde el siglo XII fueron eclipsados,

sin embargo, los trabajos de los árabes por los esfuerzos de la Europa Occidental, que se hallaba en comunicación con el Oriente, ya por intermedio de España, Italia (Escuela de medicina de Salerno) y Grecia, ya de un modo directo con motivo de las Cruzadas.

Entonces comenzó, y más particularmente en el siglo XIII, el verdadero florecimiento del arte de hacer oro y plata; y las cortes de los príncipes, siempre necesitados de dinero, fueron los puntos de reunión de los partidarios engañados ó engañadores. Pues si bien genios como los de *Alberto Magno*, *Roger Bacon*, *Arnoldo de Villanueva*, *Raimundo Lulio* y otros adoptaron con gran formalidad científica las ideas en cuestión, pronto aparecieron otros menos escrupulosos, que supieron encontrar en tal proyecto ocasión apropiada para emprender, con su ayuda, una verdadera campaña, muy productiva con la fácil credulidad del vulgo. Sin duda en muchos casos apenas nos atreveríamos á presumir que algunos que parecen provistos de instrucción científica y pleno convencimiento de lo accesible del fin propuesto, no sospecharan lo peligroso de sus manipulaciones, y sólo se hubieran querido dedicar á ellas teniendo en cuenta el partido que podrían sacar de un recurso tan poderoso sobre los espíritus sencillos; pero al lado de éstos como *Isaac* y *Joahan Hollandus*, *Bernhard de Trevigo*, *Georg Ripley*, *Thomas Norton* y *Basilio Valentino*, encontramos gran número de otros notoriamente especuladores, cuyo primer modelo parece ser *Nicolás Flamel*, quien con su pretendida transmutación pensaba adquirir tal fortuna, que pudiera fundar catorce hospitales y siete iglesias, dotándolas espléndidamente. Todavía debió obtener mejores resultados *Jerónimo Crinot*, el cual simuló en 1300 haber edificado iglesias con las riquezas adquiridas por medio de la piedra filosofal. Los príncipes y sus cortes recibían con los brazos abiertos á estos aventureros que prometían tan estupendas cosas, y les obsequiaban de mil modos; y no tardaron muchos de los más poderosos de la tierra en volverse alquimistas, presas del deseo natural de alcanzar la posesión del precioso secreto. Los que no lograban arrancarlo á sus protegidos, recurrían á veces, aunque inútilmente, á medidas de rigor: el emperador Rodolfo, al ver que el inglés Kelley no quería iniciarle en su pretendida ciencia, y que no conseguía aprontarle todo el oro que deseaba, acabó por meterle en la cárcel, á pesar de haberle colmado de dignidades. David Benther fué condenado por la Facultad de Jurisprudencia de Leipzig á ser azotado porque no quiso poner el secreto de la transmutación, que pretendía poseer, á disposición de su príncipe, y luego á cadena perpetua para que no revelara su ciencia á otros magnates. Otros alquimistas no sufrieron más tarde mejor suerte; conocido es el destino de Böttger, quien, casi en el último trance, inventó la porcelana de Meissen (Sajonia).

Era general la creencia en la posibilidad de transformar los metales usuales en metales nobles, oro y plata, y esta creencia daba á los trabajos químicos

un fin determinado, hacia el cual se dirigían los esfuerzos incesantes de sus cultivadores. Sólo un resultado tan imaginario cuanto halagüeño podía dar margen á investigaciones y trabajos, cuya realización hubiera encontrado de otro modo poco propicias las voluntades, dadas las tendencias de la época. Y si bien los frutos no fueron los que se esperaban, en cambio se acumularon conocimientos experimentales, que más tarde condujeron á conceptos más exactos y á multitud de aplicaciones útiles.

En el siglo VIII, y merced casi exclusivamente á los trabajos de Geber (ó



FIG. 2.—Laboratorio de un alquimista, según Holbein.

más propiamente Abu-Mussa Dschafâr-al-Sofi) nos encontramos con un progreso extraordinario respecto á los conocimientos de la época de Plinio y Dioscórides. Ese tan ingenioso árabe no sólo determinó (con mucha mayor exactitud que lo habían sido anteriormente) las propiedades de los cuerpos ya conocidos, sino que descubrió también gran número de sustancias nuevas y enseñó á obtenerlas por métodos especiales. Por la calcinación de los diferentes metales, produjo sus óxidos; conoció los óxidos amarillo y rojo del plomo, el óxido rojo del mercurio, el arsénico blanco y la propiedad de colorear en blanco al cobre. Sabía combinar entre sí el azufre y los metales, y observó que mediante esta operación, podía engendrarse con el mercurio una materia de un hermoso color rojo (cinabrio). No sólo preparó la potasa y la sosa, sino que supo también que estas sustancias se hacían cáusticas por medio de la cal viva. Geber fué el que empleó por vez primera la destilación, y separó por este medio, en estado de mayor pureza y concentración, el ácido sulfúrico del alumbre, el ácido nítrico de una mezcla de salitre y vitriolo, y el ácido acético del vinagre. Utilizó el

agua regia (ácidos nítrico y clorhídrico unidos) para disolver el oro, y con este reactivo, recién descubierto, preparó gran número de combinaciones y sales desconocidas hasta entonces, como el nitrato de plata, el sublimado corrosivo, etc., en cuya purificación hizo uso de la filtración y de la cristalización.

Por lo mismo que los descubrimientos verificados por Geber son tan numerosos, es tanto más de admirar que sus sucesores no utilizaran mejor el tesoro legado por él. Por lo menos ninguno puede aspirar ni remotamente á la gloria de haber contribuído en proporción comparable al enriquecimiento de los conocimientos químicos. En parte se explica esto por la circunstancia de que dichos sucesores eran principalmente médicos, que emprendían el cultivo de la química con el fin especial de aplicarla á su arte, al mismo tiempo que á la preparación de los metales nobles. La medicina, juntamente con las matemáticas y la astronomía, constituía uno de los principales objetos de estudio de las célebres Universidades árabes; y en este modelo se fundó primero la escuela de medicina de Montpellier (1550), y después, en rápida sucesión, las Universidades de París (1215), Salamanca (1222), Nápoles (1224), Padua (1227), Toulouse (1228), etc.



Fig. 3.—Estatua de Alberto Magno en Laningen, sobre el Danubio.

Aun cuando la tarea fuera posible, tendríamos que renunciar á hacer mención en este sitio de todos los progresos parciales obtenidos por la ciencia química, á partir desde el siglo XIII, pues nos llevaría demasiado lejos. Es más oportuno detenernos tan sólo en los investigadores más sobresalientes de esta

época, y examinar el conjunto de los conocimientos acumulados por ellos. Ninguno ofrece en tal concepto, ni mucho menos, el interés de *Alberto de Bollstædt*, llamado por su gran mérito *Alberto Magno* (fig. 3), y que vivió en el siglo XIII (de 1193 á 1280). Perfeccionó esencialmente el conocimiento de multitud de métodos prácticos de la química; separó los metales nobles de los usuales (el oro del plomo) por la acción del calor (oxidación), y el oro de la plata por medio del agua fuerte; conoció el arsénico metálico, y enseñó á expulsar de los minerales el azufre y arsénico por sublimación. Entre el gran número de sustancias nuevas é importantes descubiertas por él, se encuentra también la pólvora ordinaria, si bien en este punto dejamos sin resolver la cuestión de si debe considerársele con razón como el inventor de dicha mezcla explosiva. De todos modos, es digno de recordar que supo alejar de su persona y estudios toda sospecha de magia, tan fácil de despertar en aquellos tiempos, y que con esto sólo dió á las ciencias exactas un impulso no menos valioso que el que resultó de los conocimientos positivos que divulgara.

Después de Alberto Magno solicita nuestra atención una personalidad cuyo gran relieve no se borra fácilmente, ó sea *Basilio Valentino*. A pesar de la inseguridad que reina todavía acerca de su persona, de la época precisa de sus trabajos, y de sus ideas propias, etc., podemos tomar la obra que nos ha sido legada con su nombre, como un testimonio fiel del estado de adelanto de la experimentación química en la segunda mitad del siglo XV. Encontramos en ella conocimientos muy extensos sobre los metales, mereciendo mención, en primer término, los que se refieren al antimonio, bismuto y cinc. La extracción del mercurio del sublimado, la obtención del oro fulminante, acetato de plomo, vitriolo verde (hierro y ácido sulfúricos), de los diferentes compuestos de sulfuro de antimonio y la preparación tan importante del ácido clorhídrico con sal común y ácido sulfúrico, etc., eran conocidos por él. Pero además, el nombre de Valentino adquiere mayor significación para nosotros, porque en sus escritos se encuentran las primeras huellas de los análisis químicos que aplicó particularmente al reconocimiento de las diferentes aleaciones metálicas, y por medio del cual no sólo pudo llegar á demostrar de un modo práctico muchos de los errores de los alquimistas, sino que imprimió además á la química una dirección por completo nueva y de una trascendencia de primer orden. El análisis en su desarrollo progresivo fué la piedra de toque infalible de las teorías químicas, siendo indudable que la ciencia actual ha podido llegar á formarse única y exclusivamente mediante el conocimiento exacto de la composición de las combinaciones químicas.

Edad de la Química medicinal.—Con Basilio Valentino seguramente no terminaron por completo las tentativas alquimísticas; por el contrario, duraron hasta el siglo último, y aun hoy encuentran protectores entre el vulgo ignorante; pero en cambio tuvieron lugar por vez primera la aplicación de los cono-

cimientos químicos para explicar ciertos procesos del cuerpo humano, y el uso de preparados químicos como medios medicinales; doble tendencia que domina y caracteriza al nuevo período, distinguiéndole así de los anteriores, y dando origen á la aparición de los hombres más eminentes.

Con el siglo XVI pierde la alquimia la atención exclusiva que hasta entonces le habían dedicado los químicos, habiéndose intentado por *Paracelso* abarcar en un concepto común la química y la medicina, hasta el punto de que esta última sólo fuera considerada como una rama de la química aplicada. Conducían á ella, por una parte, gran número de experiencias importantes que se habían hecho en época anterior sobre la acción medicinal de muchos preparados químicos: ya mucho antes se creyó también que la piedra filosofal, así como había de transformar en nobles los metales comunes, impediría también todo padecimiento del cuerpo humano, proporcionando á éste eterna juventud; y, por otra parte, el extraordinario movimiento intelectual producido en Europa durante los siglos XV y XVI, y del que surgió como manifestación inmediata la reforma de la iglesia cristiana. Tres nombres brillan especialmente en este momento histórico; el ya citado Paracelso, Van Helmont y de Le Boe Silvio. Partieron estos sabios de la idea de que todos los fenómenos del cuerpo humano eran determinados por ciertas reacciones químicas; que el organismo humano era simplemente el producto de elementos químicos, y que todo el proceso vital no consistía en otra cosa que en un proceso químico. Ahora bien; este último proceso podía recibir influencias variadas por la existencia preponderante ó insuficiente de alguno de sus elementos constituyentes, originándose fenómenos patológicos; y de aquí un camino seguro para restituir el proceso vital, y con él el organismo todo, á las condiciones normales, ó sea á la salud, sustrayendo ó adicionando la sustancia en cuestión. Además, esos sabios, así como sus contemporáneos menos notables, creían más ó menos en la transmutación de los metales, si bien no la hacían ya el objeto preferente de sus trabajos químicos.

Para estos *yatroquímicos*, como se les ha llamado, la investigación de los elementos que desempeñaban el papel principal entre los alquimistas quedó relegada á un lugar secundario; pero en cambio, adquirió importancia la cuestión de averiguar los elementos esenciales de la composición del cuerpo, que actuaban sobre sus diferentes órganos y determinaban su estado de salud. En un principio se había atribuído esta condición á los tres elementos conocidos de antiguo, sal, azufre y mercurio; pero pronto, mediante observaciones más numerosas, quedó establecida la falsedad de esta hipótesis, y se hizo preponderante el uso de los ácidos y sales alcalinas, fijándose la atención con preferencia en estas sustancias. Con su preparación se dió margen á muchas observaciones químicas nuevas, y así encontramos ya en las obras de Paracelso, á pesar de la falta de claridad de su lenguaje, multitud de pruebas de que cono-

cía muy exactamente las propiedades de gran número de compuestos, de los cuales no sabían nada sus antecesores, ó bien tenían un conocimiento muy imperfecto, así como de que empleaba para su obtención métodos nuevos é importantes.

Theophrasto Paracelso Bombasto de Hohenheim (fig. 4) nació en Einsiedeln (Suiza), el año 1493. Su padre, médico, le instruyó por lo pronto en las lenguas muertas, la medicina, la astrología y la alquimia. Después parece que Paracelso buscó en varios puntos una instrucción superior, pues durante su juventud, sumamente azarosa, recorrió cual alumno errante casi toda Europa y los países orientales, en alas de su deseo, según el plan que se había trazado. De este modo adquirió una educación práctica de valor especial en aquella época, á pesar de no haberse dedicado exclusivamente al cultivo riguroso de las ciencias; por el contrario, se vanagloriaba de no haber mirado un libro en los diez años de sus viajes, y se complacía muchas veces en entablar con los sabios discusiones, sosteniendo conceptos en plena contradicción con lo dicho por él mismo en otros tiempos. De aquí que Paracelso, por la seguridad de sus afirmaciones, por la proscripción absoluta de todo lo que no procedía de su propia experiencia, por la audacia, novedad y sencillez de su estilo, alcanzara, tanto sobre los médicos jóvenes, como sobre el público en general, ese éxito que siempre obtiene entre el pueblo el que discute con más viveza y más rica fantasía contra el que conserva una actitud indolente y conservadora. Por lo demás, muchos conocimientos y procedimientos ingeniosos fueron asentados por él de un modo incontrastable, mientras que muchos otros fueron demostrados como completamente erróneos por sus sabios adversarios. Decía Paracelso que se proponía hacer tan sencilla la ciencia, que pudiera ser comprendida por todos, y realmente sus aplicaciones en lengua alemana como profesor de Historia natural y Medicina en la Universidad de Basilea, no se distinguían menos por su originalidad que por su popularidad aparente, la cual degeneraba con frecuencia en trivialidad. Pero á pesar del gran ascendiente que había alcanzado en



FIG. 4 —Theophrasto Paracelso.

todas las clases sociales, exceptuando entre ellas á los sabios antiguos, no pudo evitar que se le destituyera de su cátedra, efecto de su actitud agresiva é irrespetuosa. Emprendió de nuevo la vida errante, y murió á consecuencia de una caída desde una roca el año 1541 en Salzburgo, adonde le había llamado poco antes, para médico de cámara, el entonces arzobispo Ernesto.

Al mismo tiempo que Paracelso, pero en contraposición total con él, vivió en Sajonia un investigador, médico también como su contemporáneo, pero que permaneció completamente alejado de la agitación promovida por éste entre los químicos y médicos en general, y que no alcanzó su apogeo hasta después de la muerte de su autor. Pero, aunque por camino complemente diferente, no por esto contribuyó menos ese sabio, *Jorge Agrícola* (fig. 5), al progreso de la química, así como de las ciencias inmediatamente relacionadas con ella, como la mineralogía y metalurgia, cuyos fines determinó, á la vez que enriqueció sus materiales de tal suerte, que casi podría considerársele como su propio fundador. Nacido en el año 1494 en Glaucha, cerca de Meissen, compartió su educación entre la Universidad de Leipzig y diferentes Universidades italianas. Después de haber permanecido algunos años en las minas de Joachimsthal y haber estudiado en ellas los procedimientos metalúrgicos en práctica, se trasladó á Chemnitz, donde confiaba encontrar más recursos literarios para su asunto predilecto, las ciencias naturales, y donde murió en el año 1556.



Fig. 5.—Jorge Agrícola.

Los progresos de que le es deudora la química se refieren principalmente, según ya se ha indicado, á los fenómenos metalúrgicos, para los cuales estableció métodos completamente racionales. Enseñó á conducir la calcinación de los minerales de modo que se pudiera recoger el azufre que desaparecía en aquella operación; dió instrucciones para la purificación del cobre; separó la plata del hierro y del cobre por medio del plomo, y dió á conocer la extracción del mercurio, antimonio y bismuto. Ideó procedimientos apropiados para obtener en grande la sal común, el salitre, vitriolo verde y el alumbre, siéndole deudora

también la metalurgia de adelantos preciosos en cuanto á los ensayos de los minerales para conocer su riqueza en metal, cuyos progresos no se extendieron únicamente á los principios fundamentales, sino también á construcciones especiales de hornos, útiles adecuados, etc., los cuales permanecieron en uso hasta principios del siglo XVIII. Finalmente, la mineralogía rinde homenaje á Agrícola como autor del primer sistema según el cual se intentó establecer una clasificación de los minerales, lo cual tuvo que entrañar forzosamente mayor exactitud en las determinaciones y mayor facilidad en el estudio de la ciencia.

Todos estos trabajos químicos recibieron por completo su impulso de Agrícola, en una dirección espontánea que no tenía nada de común con los objetivos de otros investigadores; pero no por ello fueron apreciados en su tiempo como merecían. Por esto precisamente debe la ciencia ensalzar la obra de este hombre con respecto á la de sus contemporáneos y sucesores, entre los cuales no existe ninguno que haya poseído un criterio tan desapasionado y un espíritu tan riguroso y fiel de investigación hacia lo justo y verdadero. Y menos que otro alguno, Paracelso, contra cuya ciencia y conceptos siguió más apasionada contienda después de su muerte que durante su vida. Sin embargo, á pesar de lo .confuso y falso de sus discutidas teorías, tampoco podemos conceder mayor interés á las de sus contrarios, no sólo porque éstas eran por lo menos tan poco claras y tan inexactas como aquéllas, sino también porque con su fe en las autoridades rancias no prestaron á la química el menor servicio.

Entre los partidarios de Paracelso, por el contrario, se encuentran, juntamente con algunos embaucadores y charlatanes, hombres dotados de mucha laboriosidad é inteligencia, entre los que podemos citar á *Turquet de Mayerne* (nacido en 1573 en Ginebra, fallecido en 1655 en Chelsea, cerca de Londres), y á *Oswald Croll* y *Adrián de Mynsicht*, de fines del siglo XVI, cuyas notables ideas contribuyeron al florecimiento de la buena semilla. Pero se distingue especialmente en esta época *Andrés Libavio* (nacido en Halle, médico en un principio, y fallecido en Coburgo el año 1616, siendo director del Gimnasio de aquella ciudad), quien supo descubrir y enmendar los errores envueltos en el sistema químico-médico, tal como lo había establecido su fundador. Guiado por un notable espíritu de observación, encontró Libavio multitud de métodos operatorios que aplicó principalmente para confirmar las propiedades medicinales de los compuestos ya conocidos y usados por entonces, así como para obtener otras sustancias antes desconocidas. El procedimiento de la preparación del ácido sulfúrico por combustión del azufre con la adición de nitro ó salitre, cuyo procedimiento sirvió de base á la fabricación moderna del ácido sulfúrico, es debido á él. Con el nombre *spiritus fumans Libavii* se designa todavía el tetracloruro de estaño, compuesto que fué obtenido por el mismo Libavio, destilando con estaño el sublimado corrosivo (bicloruro de mercurio). También consagró alguna atención á

los gases, y, por último, debió alcanzar gran exactitud en sus procedimientos analíticos, relativos principalmente á los ensayos de los minerales, pues mediante ellos pudo demostrar la presencia de la plata en todas las clases comerciales de plomo. Como ejemplo de la imparcialidad y rigor de su lógica, citaremos el hecho de haber explicado por vez primera la existencia de sustancias fijas en las aguas minerales ó medicinales, por la simple disolución de los componentes del suelo bañado ó atravesado por las mismas.

Al lado de Libavio, autor del primero y, durante mucho tiempo, el mejor tratado de química, hay que citar al médico de cámara del conde de Meklenburgo, *Angelo Sala*, que se distinguió también por sus conocimientos en aquella materia, durante el primer cuarto del siglo XVII. Pero más notable que ambos fué todavía *Juan Bautista van Helmont* (nacido en Bruselas el año 1577, y fallecido en su quinta cerca de esta misma ciudad el año 1644). Su genio colosal no fué, en verdad, bastante para librarle en absoluto de los errores admitidos generalmente en aquella época, sino que, por el contrario, profesaba la teología mística y reproducía los trabajos de los alquimistas; pero en cambio, le permitió abarcar casi todos los conocimientos de entonces sobre los diferentes ramos del saber, sacando gran partido de su clasificación y examen comparativo. Es verdad que la gran fecundidad de su ingenio, y el puesto importante que había alcanzado entre los sabios contemporáneos, extraviaron á van Helmont, imbuyéndole una fe ciega en sus propias ideas, á la que solía abandonarse muchas veces sin bastante justificación; mas esta debilidad del espíritu humano suele ir unida á la posesión del genio y de la actividad que caracterizaban á van Helmont, y con mayor motivo en aquellos tiempos en que los caminos del progreso estaban sólo trazados á grandes rasgos, sin que se poseyera en ningún ramo de las ciencias una herencia de conocimientos bastante numerosos y precisos capaces para servir de base fija y segura en investigaciones ulteriores. En van Helmont, cuyo carácter ofrecía cierta analogía con el de Paracelso, la influencia perturbadora de la imaginación era menos aparente, gracias á una conciencia rígida, una instrucción sólida y profunda, y una vida virtuosa. Por lo que respecta á sus ideas filosóficas, van Helmont derribó por completo la antitigua teoría aristotélica de los cuatro elementos, concediendo un lugar preeminente al agua, que consideró como parte integrante de todos los cuerpos. Pero al llegar á la composición elemental de éstos, sustentaba todavía opiniones muy erróneas, como lo prueba su creencia en la transmutación de los metales, á la cual rindió culto toda su vida, sin que por ello constituyera en modo alguno el objeto de sus trabajos é investigaciones. Por vez primera estableció entre los gases y los vapores una distinción que se ha conservado como exacta á través de los siglos; advirtió que el aire disminuye de volumen cuando un cuerpo arde en su seno; fundió la sílice por medio de los álcalis, obteniendo una masa vítrea delicuescente; cuyas observaciones, y otras muchas análogas, demuestran su

claro talento y la excelencia de sus métodos de investigación. Son particularmente abundantes y expresivas sus experiencias sobre los compuestos metálicos, de las cuales dedujo algunas afirmaciones que debieron ejercer gran influjo sobre el adelantamiento de la química. Citaremos, por ejemplo, los siguientes principios: no puede nunca desprenderse de un líquido una sustancia que no exista de antemano en su seno (como el cobre de la disolución de vitriolo azul); una sustancia puede sufrir diversas combinaciones y pasar de las unas á las otras, sin que por esto implique en nada á su esencia, de modo que al separarse finalmente de estas combinaciones no puede encontrarse en la sustancia propiedades distintas de las que poseía antes de contraer aquéllas. Realmente, parece incomprensible que el mismo hombre que dió por vez primera una expresión tan clara y exacta á las citadas leyes, pudiera aceptar ideas tan diametralmente opuestas á ellas como las de la transmutación.

El concepto de van Helmont sobre la vida orgánica, desde el punto de vista químico, y las teorías médicas consiguientes, no ejercieron otro influjo sobre el desenvolvimiento de estas ciencias que el de instituir á la química en base fundamental de los estudios médicos, suministrando así indirectamente gran número de cultivadores de la misma. Sin embargo, ya por entonces comenzaron á considerarse por algunos como secundarios los fines médicos, prefiriendo ocuparse exclusivamente de las transformaciones de la materia en todos sus detalles, y haciendo así un cultivo aislado é independiente de la ciencia química. Entre los que siguieron este rumbo sobresalió especialmente *Juan Rodolfo Glauber*, nacido en Karlstadt (Franconia) el año 1604. Los únicos datos que se conservan acerca de su vida privada indican una gran movilidad en su residencia, pues tan pronto se hallaba en Salzburgo como en Kissingen (Baviera), como en Colonia ó en otros muchos puntos. Murió el año 1668 en Amsterdam.

Glauber no pudo sustraerse tampoco en absoluto á las preocupaciones reinantes; pero sí supo evitar felizmente que le extraviaran en el camino de sus numerosos descubrimientos científicos, que nos revelan su talento observador, por virtud del cual se distingue entre sus contemporáneos. Glauber fué muy afortunado en la explicación de multitud de fenómenos puramente químicos, pudiendo así deducir consecuencias de gran valor práctico, en cuanto que aclaraban los conceptos sobre la composición íntima de las sales, sobre la afinidad química, etc. Por la acción recíproca de las diferentes sustancias conocidas, obtuvo gran número de combinaciones nuevas, así como preparó con más pureza algunas de las primeras. Una de estas sales, que adquirió pronto gran fama en virtud de su acción medicinal, el sulfato de sosa, hizo popular el nombre de este sabio, pues todavía hoy se le conoce vulgarmente con el nombre de sal de Glauber.

También la tecnología química sacó gran partido de los descubrimientos de Glauber, que prestaron inmensos servicios á la fabricación del salitre, la obten-

ción de diversas pastas vítreas de color, la tintorería y la metalurgia. Glauber trató de llevar al más alto grado posible el aprovechamiento de las riquezas atesoradas por la Naturaleza, y de ello dan prueba los seis voluminosos tomos de su obra *La prosperidad de Alemania*, cuyo exclusivo objeto era poner de manifiesto las condiciones del país, en el que una explotación adecuada había de permitir á sus habitantes, no sólo satisfacer sus propias necesidades, sino también proveer á otros países de ciertos productos. Aun cuando Glauber no se ocupó de un modo directo de la medicina desde el punto de los yatroquímicos, ejerció indirectamente gran influencia sobre el arte de curar, mediante á haber obtenido gran número de compuestos nuevos, en algunos de los cuales se reveló una acción medicinal enérgica, y cuyos preparados químicos fueron así invadiendo el terreno de la terapeútica.

La yatroquímica propiamente dicha, que consideraba el cuerpo humano como un producto de ácidos y sales alcalinas, y las enfermedades todas como resultado de alteraciones en las propiedades químicas (ácidas ó alcalinas) de los humores, tendencia que simboliza el período de que hablamos, alcanzó su personificación más decisiva en *Francisco de le Boe Silvio*. Nacido el año 1614 en Hanau, de una noble familia holandesa, estudió la medicina en Leyden y Basilea, ejerciéndola primeramente en Hanau y después en Amsterdam, hasta que en 1654 fué llamado como profesor de medicina á Leyden, donde murió el año 1672. Sus grandes facultades, su vasta ilustración y la amabilidad de su trato, por lo menos al comienzo de su carrera, daba á sus opiniones una gran acogida. Fué más allá en ellas que su célebre antecesor van Helmont, quien siempre había admitido una cierta fuerza espiritual, el misterioso *archeus*, como excitadora de algunas funciones fisiológicas, particularmente de la digestión. Silvio dejó á un lado toda idea de intervención de espíritus, que también en la ciencia de Paracelso habían jugado un papel tan importante, y sólo vió en la naturaleza química de la saliva, del jugo pancreático y de la bilis, etc., así como en las proporciones de sus mezclas y alteraciones, la causa única de los fenómenos que se observan en dicho proceso. Y lo mismo que la digestión, los fenómenos del cuerpo humano, de suerte que la medicina entera no era para él más que un ramo de la química aplicada.

Con Silvio termina este período, pues si bien sus partidarios mantuvieron toda vía algún tiempo en pie el edificio de la yatroquímica, en lo sucesivo puede considerarse más bien como cultivada la medicina propiamente dicha, á la cual, sin embargo, se aplicaban los conocimientos químicos. A partir de entonces comenzó á formarse la química como tal, aplicándose principalmente á la industria, como en tiempo de Glauber, y recibiendo al mismo tiempo un gran desenvolvimiento teórico. Su fin principal vino á quedar definido en el sentido de la investigación de un grupo de fenómenos naturales; y así, sacudiendo el yugo de otras ciencias, alcanzó pronto entre ellas un puesto tan importante como el que

actualmente ocupa. Ya entre los principales sucesores de Silvio encontramos á *Tachenio*, que hizo en el terreno del análisis observaciones preciosas, lo mismo sobre el reconocimiento cualitativo de ciertas sustancias por medio de reativos, que en cuanto á las relaciones ponderables constantes de las partes integrantes de algunos compuestos.

La *química moderna* puede definirse como la investigación científica de la Naturaleza, con el objeto de averiguar la composición material de los cuerpos desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, demostrando la presencia de los elementos constituyentes en cada combinación, no sólo mediante el análisis, esto es, su descomposición en aquellos elementos y transformación de unas en otras combinaciones por la intervención de influencias extrañas (como las fuerzas físicas, calor, luz, electricidad, etc., ó la afinidad química de otras sustancias), sino también por la preparación de tales compuestos, partiendo de sus elementos constituyentes (síntesis). Esta ciencia de nuestros días no ha surgido como por encanto de las demás ramas de la filosofía natural, sino que, por el contrario, viene engendrándose desde los tiempos más remotos en virtud de impulsos aislados por lo pronto, y que por tal motivo no pudieron ejercer desde luego una influencia determinada sobre el sentido de semejantes investigaciones. De aquí también que los conocimientos positivos conquistados como fruto de éstas, fueran del mismo modo escasos en este período de gestación. Pero á partir de mediados del siglo XVII, y como consecuencia de haberse reconocido la importancia filosófica de la química, se multiplicaron los conocimientos con pasmosa rapidez. A principios de dicho siglo brillaban en la astronomía y la física hombres tan notables como Kleper (1571 á 1630), Galileo (1564 á 1642), Torricelli (falleció en 1647), y otros; y su espíritu de investigación, inspirado en la mayor pureza del método experimental, trascendió á los estudios sobre química, imprimiéndoles un carácter independiente, hasta cierto punto, de las demás ciencias naturales. Se reconoció la gran generalidad de algunos fenómenos químicos, cuyo estudio adquirió, por lo mismo, una importancia capital. Entre esos fenómenos, ninguno tan caracterizado como el de la *combustión*, el cual atrajo la atención de los sabios en primer término, siendo su explicación el primer paso trascendental en la historia de la química moderna; de aquí que le concedamos también en este sitio una consideración atenta y circunstanciada.

En dos partes puede considerarse dividida la historia de la química moderna: en la primera es sólo el aspecto cualitativo de los fenómenos, la naturaleza íntima de las sustancias y sus combinaciones, lo que se trata de explicar y agrupar en un cuerpo de doctrina; en la segunda, por el contrario, dominan las investigaciones cuantitativas sobre las proporciones ponderales, según las que contraen los cuerpos ciertas combinaciones ó se separan de ellas. Por lo demás, se comprende fácilmente que en los primeros esfuerzos practicados en el propio sentido había de carecerse de medios auxiliares bas-

tante poderosos para descubrir las huellas de la verdad. No debemos, pues, admirarnos si encontramos por lo pronto arraigada la creencia en materias imaginarias, cuya absorción ó desprendimiento se suponía ser causa de fenómenos químicos, cuya explicación por otros caminos más exactos no había podido descubrirse todavía. Como quiera que para nada se tenía en cuenta entonces el peso de los cuerpos antes y después de sufrir un cambio químico, y como, por otra parte, nadie había pensado siquiera en aislar tales hipotéticas materias, faltando, por consiguiente, todo medio de comprobación de su existencia, su invención y aplicación á diferentes teorías constituía un juego perfectamente arbitrario. Una de estas materias, que sólo tuvieron existencia en la imaginación de los químicos de la época á que nos referimos, fué el llamado *flogisto*, la creencia en el cual duró, sin embargo, más de siglo y medio, por más que nadie tuvo conocimiento de sus propiedades particulares. El flogisto fué inventado para explicar la combustión, y su círculo de acción quedó, por lo pronto, limitado á los fenómenos con la misma relacionados.

Ahora bien; por más que la teoría flogística fuera muy falsa, prestó á la química un gran servicio, reuniendo un número considerable de fenómenos desde un punto de vista sintético, facilitando con ello su estudio y comprensión. Por lo demás, la idea de que de todo cuerpo que arde se desprende algo visible á nuestros ojos en la llama, y que la sustancia que encontramos como residuo de la combustión constituía una parte integrante del cuerpo quemado, es muy antigua. En parte fué también defendida, al menos tácitamente, por *Boyle*, *Kunkel* y *Becher*, los primeros químicos importantes con quienes se inaugura el período de la química moderna. No restaba, pues, otra cosa que concretar más el concepto de este algo tan útil, estableciendo la forma y manera de sus combinaciones con los cuerpos, y esto es lo que hizo *Stahl* con la invención del flogisto, de un modo tan ingenioso y acabado, que su teoría se adaptó cómodamente á la generalidad de los fenómenos químicos conocidos entonces, pudiendo aplicarse en particular por ella, cualitativamente, los que se relacionaban con la combustión.

«Todos los cuerpos combustibles, tanto orgánicos como inorgánicos (decía Stahl), contienen un elemento común, el flogisto, el cual desaparece cuando los cuerpos se queman, y según que su desprendimiento se produzca con mayor ó menor rapidez, observamos, ora una llama, bien tan sólo una alteración gradual, como, por ejemplo, en la oxidación y calcinación de los metales. El carbón, el azufre, el fósforo y los cuerpos análogos contienen mucho flogisto. Ahora bien; al arder el azufre y el fósforo se originan ciertos ácidos, los que deben, pues, estar contenidos en aquellos cuerpos, en combinación con el flogisto».

Reconocido ya que la oxidación, ó, como se decía entonces, la calcinación de los metales, no era otra cosa que una combustión muy lenta, hubo de dedu-

cirse que del mismo modo que el azufre ordinario se consideraba como un compuesto de ácido sulfúrico y flogisto, el hierro, por ejemplo, debía ser un compuesto de flogisto y óxido de hierro. De un modo semejante se extendió á todos los cuerpos la teoría del flogisto. Si se quería obtener hierro con el óxido de hierro, había que suministrar á éste el flogisto, lo cual se conseguía calentándolo con un cuerpo rico en flogisto, como, por ejemplo, carbón, el que ardía en tal caso. Como se ve, estas explicaciones se adaptaban muy bien á los hechos, y en virtud de esta condición no se hizo en un principio oposición alguna de importancia á la citada teoría de la combustión; pues aunque se conocían algunos hechos que parecían contradecirla, como, por ejemplo, el de que cierta cantidad de óxido de hierro poseía un peso mayor que el del hierro de que procedía, y, por consiguiente, mal podía originarse de éste por pérdida de una sustancia, cualquiera que fuese, se despreciaban estos hechos como insignificantes. En resumen: la teoría del flogisto era un centro á cuyo alrededor se agrupaban la mayor parte de los fenómenos químicos más importantes de un modo racional, y de aquí que adquiriese la categoría de una ley, á la cual dieron notoriedad y generalizaron las Sociedades científicas, fundadas en gran número hacia mediados del siglo XVII.



FIG. 6.—Roberto Boyle.

Pero conviene citar á los que con nobles y enérgicos esfuerzos hacia la investigación de la naturaleza de las cosas, fundaron realmente los nuevos derroteros de las ciencias exactas, esas ciencias por influencia de las cuales había de experimentar tan poderoso impulso la obra del progreso humano. Entre ellos sobresale en primer término, por su ingenio, *Roberto Boyle* (fig. 6), en cuyas obras aparece con elocuencia el más puro entusiasmo por el descubrimiento de la verdad. Boyle nació el año 1627 en Youghall, en el condado irlandés de Munster. Provisto de una excelente educación, visitó, todavía muy joven, la Francia y la Suiza, deteniéndose en particular largo tiempo en Ginebra; pero obligado por acontecimientos políticos que le amenazaban con la pérdida de todos sus bienes, regresó á su patria, dirigiéndose primeramente á Oxford, después á

Londres, donde se dedicó especialmente á los trabajos de la *Royal Society*, recientemente fundada, y murió en esta última ciudad el año 1691, siendo presidente de la Sociedad citada, y acompañado de la gloria de haber consagrado su vida á los fines más nobles y generosos. La figura de Boyle se presenta más grande á la posteridad precisamente porque consideró el experimento y la observación como punto de partida de toda investigación exacta, conforme á la línea de conducta que había establecido antes Bacón. De intento se abstuvo Boyle de crear nuevas hipótesis, con las cuales pudiera pretenderse llenar el vacío que dejaban las ya emitidas. La única base era para él la determinación exacta de los hechos, de la cual debían desprenderse después por sí mismas las consecuencias lógicas, estrictamente necesarias; y, en efecto, el tesoro de conocimientos prácticos, físicos y químicos legado por él dió después lugar á las aplicaciones más fructíferas. Boyle fué el primero que llamó la atención sobre la relación entre los gases, deduciendo la ley conocida generalmente bajo el nombre de *ley de Mariotte*. Por último, advirtió con toda exactitud que lo mismo por la respiración que por la combustión se consume una parte del aire, y que al oxidarse los metales, la costra de óxido formada pesa más que el metal. Se encontró, pues, ya muy cerca de la explicación completa de este importante fenómeno; pero no se quiso lanzar á deducir las consecuencias finales que se desprendían de sus observaciones, en virtud de su carácter escéptico en cuanto al aspecto teórico de las cuestiones. Boyle descubrió con gran claridad los errores de su tiempo; pero con una modestia nada vulgar, se limitó, sin embargo, á la práctica de observaciones y experiencias, en lugar de deducir de ellas nuevos sistemas é hipótesis, que probablemente, dado el estado de las ciencias, no se hubieran acercado mucho más á la verdad que las teorías despreciadas por falsas. Así, pues, al encontrarnos formada por un investigador tan escrupuloso una teoría de la afinidad química, podemos desde luego afirmar que sólo llegaría á formularla después de un cúmulo considerable de observaciones cuidadosamente comprobadas, acerca de los fenómenos que abarcaba. Semejante teoría, en cuyos detalles no podemos entrar en este sitio, se basa en una interpretación tan rigurosa de los hechos, que en esencia constituye todavía la base de nuestros conceptos actuales sobre el particular.

Este punto de vista químico, el primero de una importancia verdaderamente trascendental, ejerció favorable influencia para la determinación de los grupos principales de compuestos: álcalis, ácidos y sales, así como para el reconocimiento de sus partes componentes (análisis), debiéndose, por tanto, los primeros fundamentos del análisis químico por la vía húmeda, á Boyle, que fué el primero que supo obtener indicaciones precisas acerca de la naturaleza de las sustancias contenidas en las disoluciones por la acción recíproca que éstas ejercen entre sí, en forma de cambios de color, precipitados, etc. Y del mismo modo que se nos revela Boyle en todos sus trabajos como un investigador experto,

hábil y concienzudo, supo también ser útil á los fines prácti cos de la vida. Perfeccionó muchos métodos de la química industrial é inventó otros nuevos, apareciendo cual si ante su espíritu se dibujara todo en su verdadera manera de ser, y siempre con sus aplicaciones más naturales y convenientes.

En la propagación de los conocimientos químicos, sobre los cuales hubo de excitar forzosamente el interés general un hombre tan notable como éste, tuvieron gran parte las Sociedades científicas creadas á mediados del siglo XVII, algunas de las cuales comenzaron pronto á publicar sus trabajos en Memorias periódicas. Entre ellas citaremos como la más antigua, la *Academia Cesárea Leopoldina*, todavía existente, y que surgió de una reunión de algunos médicos, iniciada en Schweinfurt el año 1651; hacia 1670 publicaba ya sus miscelá-neas anuales, y dos años más tarde recibió sanción oficial del emperador Leopoldo I.

Después de Boyle merecen mencionarse en primer término: *Kunkel* (nacido el año 1630 en Rendsburgo, y fallecido en Stokolmo el año 1702), quien á pesar de dedicarse todavía á trabajos alquimísticos, si bien no por cuenta propia, hizo algunas observaciones de mucho interés, enseñando, entre otras cosas, á extraer el fósforo; *Becher* (nacido el año 1635 en Speier, y fallecido en Inglaterra el año 1682), cuya influencia principal sobre los progresos de la época fué debida á su teoría sobre la combustión, desarrollada más tarde por Stahl, así como *Homberg* y *Lemery*, miembros de la *Académie des Sciences* de París, de los cuales el primero enriqueció con numerosas experiencias el caudal teórico y práctico de la ciencia, mientras el segundo se distinguió especialmente por sus excitaciones á la opinión pública en favor de la generalización de la química.

Pero más importante que todos estos fué *Jorge Ernesto Stahl*, quien, nacido el año 1660 en Ansbach, estudió hasta los veintidós años en Halle y murió en Berlín, siendo médico de la real cámara, el año 1734; importancia que debe, tanto á sus conocimientos, que le señalaron como uno de los sabios más eminentes de su tiempo, como á la sinceridad y honradez de sus esfuerzos, cualidades que comunicaban á sus opiniones una gran autoridad. Por más que sean muy dignas de atención sus observaciones químicas aisladas, tuvieron mucha menos importancia para la historia de la ciencia que su célebre teoría de la combustión, cuyos principios característicos hemos señalado bajo el nombre de *teoría flogística*. Constituyó esta teoría el criterio único para la interpretación de los fenómenos químicos conocidos en el siglo pasado, y si bien algunos experimentadores escrupulosos, particularmente *Federico Hoffmann* (profesor de medicina en Halle por el año de 1693, más tarde médico de cámara del emperador Federico Guillermo, y fallecido en Berlín el año 1742), advirtieron que mal podía tener lugar un desprendimiento de materia en la calcinación de los metales, puesto que el óxido formado pesaba más que el metal, de que procedía, tales objeciones no consiguieron encontrar por entonces ningún eco, pues se temía derribar

así el edificio apenas construído, en el cual se había conseguido agrupar con mayor ó menor comodidad un conjunto numeroso de observaciones. La teoría flogística ofreció á los conceptos químicos la semilla de una idea filosófica que, aunque falsa, satisfacía á los conocimientos de entonces; pues aparte del punto citado, en ningún otro se mostraba en contradicción con los hechos. Y como de otro lado, con auxilio de ella, se consiguió por vez primera reunir y clasificar en un cuerpo de doctrina el material ya rico de conocimientos químicos, se explica perfectamente la acogida alcanzada por dicho sistema.

Más que sus contemporáneos (por ejemplo, *Boerhave*), manifestáronse convencidos de la teoría de Stahl sus sucesores, en particular *Gaspar Neumann Eller*, *Juan Enrique Pott* y el notable *Segismundo Marggraf* (nacido en Berlín el año 1709 y fallecido en 1782), cuyo nombre va unido gloriosamente á uno de los ramos más importantes de la tecnología química moderna, por el descubrimiento del azúcar en la raíz de remolacha, y su extracción. Además de los ya citados Homberg y Lemery, ejercieron también fuera de Alemania especial influencia sobre el desenvolvimiento de las teorías de Stahl, *Esteban Francisco Geoffroy* y su hermano *Claudio José Geoffroy*, *Juan Hellot*, *Luis Duhamel* y *José Macquer* (nacido en 1718 y fallecido en 1784).

La historia de la teoría flogística coincide por completo en este período con la historia de la química en general, pues que no intervenía sólo en la explicación de los fenómenos químicos más importantes entre los conocidos, sino que el flogisto desempeñaba siempre el papel principal en toda clase de combinaciones; según la proporción en que existía, ó según el grado de su cambio al pasar de unos á otros cuerpos, se explicaban y clasificaban las diferentes propiedades químicas de éstos. En el azul de Prusia, por ejemplo, el flogisto debía ser también el principio colorante, puesto que el color azul de aquél desaparecía por la acción del calor. Pero poco á poco fueron haciéndose observaciones cada vez más numerosas, para cuya explicación no bastaba ya el citado flogisto. Con el óxido rojo de mercurio podía obtenerse el mercurio metálico sin ponerlo para ello en contacto con ningún cuerpo que aportara el flogisto. Este hecho y otros análogos vinieron á quebrantar la fe en las ideas reinantes. Con respecto á esta tendencia, merecen especial mención por haber preparado una nueva época, los tres químicos ingleses *Black*, *Cavendish* y *Priestley*. Newton había inclinado, con preferencia, la afición á las investigaciones naturales del género de las ciencias matemáticas y físicas, y de aquí la provechosa independencia de espíritu con que los naturalistas de su país recibían las tendencias teóricas preponderantes en la química extranjera; aun los que se mostraron partidarios de semejantes teorías, lo hicieron más por la forma que por convicción.

Black (nacido el año 1728 en Bordeaux, fallecido el año 1799 en Edinburgo), si bien abrazó en un principio las ideas fundamentales de la teoría de Stahl, fué uno de los principales causantes de su derrota, por haber proclamado

la importancia suprema de las relaciones cuantitativas en los trabajos químicos. Según las opiniones corrientes por entonces, era imposible de todo punto explicar multitud de los resultados de sus propias investigaciones, entre los que fué una conquista de importancia extraordinaria, por diferentes conceptos, el descubrimiento de que un gas, el ácido carbónico, podía combinarse con los álcalis cáusticos, neutralizando las propiedades corrosivas de ellos, y que tal combinación poseía un peso mayor del que tenía antes el álcali cáustico. Por esta vez se hizo camino el convencimiento de que un cuerpo más pesado no podía ser parte integrante de otro menos pesado, conforme venían admitiéndolo los flogistas, é inmediatamente se fijó la atención de los naturalistas en un asunto hasta entonces no tratado, ó bien considerado de un modo asaz defectuoso, el estudio de los cuerpos gasiformes, cuya naturaleza tan variable se reconoció al compararlos con el llamado aire fijo ó ácido carbónico.

En este terreno se distinguió *Cavendish* (nacido el año 1731 en Londres y fallecido en el mismo punto el 1810), quien hizo sobre el particular una serie de descubrimientos sumamente dignos de admiración, durante los años 1766 á 1785. Descubrió el hidrógeno, al cual supuso idéntico al flogisto, porque se desprendía por la oxidación de ciertos metales en presencia de los ácidos débiles; estudió los carbonatos y reconoció la presencia en el aire de una cantidad constante de oxígeno, cuyo gas había descubierto poco antes Priestley. Pero sobre todas tuvieron excepcional importancia las experiencias fundamentales acerca del análisis del agua, la que se demostró que estaba compuesta de hidrógeno y oxígeno, y que por la combustión del hidrógeno en el oxígeno se formaba una cantidad de agua de peso exactamente igual al que antes tenían los dos gases combinados. Estos resultados, así como el de que el ácido carbónico se origina por la combustión de las sustancias orgánicas, y otros muchos descubrimientos no menos preciosos, fueron también sumamente expresivos para la transformación de las teorías químicas; pero Cavendish no se resolvió, á pesar de ellos, á abandonar el sistema de Sthal, rebajando así él mismo el mérito de sus trabajos.

El estudio de los gases señaló el comienzo de la nueva época á partir de Cavendish, que, después de todo, sólo había operado con un pequeño número de ellos, siendo Priestley el que le dió á sólida y amplia base por la multitud de nuevas observaciones que hizo. *José Priesley*, nacido el año 1733 en Fieldhead (Yorkshire) y dedicado en un principio al comercio, se consagró más tarde á estudios filológicos y teológicos, ejerciendo durante la mayor parte de su activa vida las profesiones de sacerdote y profesor. Sólo después fijó su atención en las ciencias naturales, y tal vez á esta circunstancia, que no le permitió emprender una ruta estrictamente científica, hay que atribuir que en muchas ocasiones no entreviera siquiera el alcance de sus descubrimientos, y tuviese que compartir con otros los resultados de consecuencias inmediatas á sus traba-

jos. Priestley obtuvo por primera vez la mayor parte de los gases más importantes, estudiándolos aisladamente, y siendo tales sus métodos de investigación, que cuando no conducían al descubrimiento de algo nuevo, proporcionaban un perfeccionamiento siempre útil en lo ya conocido. Además del oxígeno, descubrió el protóxido nitroso y el óxido de carbono; obtuvo el ácido sulfuroso, el ácido clorhídrico gasiforme, el gas amoniaco y el fluoruro silícico y otra multitud de sustancias y fenómenos observados por él antes que por nadie y sometidos á estudios sumamente exactos y que hacen célebre su nombre. Sin embargo, lo mismo que Cavendish, permaneció Priestley hasta última hora partidario de Stahl. Murió el año 1804 en Northumberland, adonde había tenido que emigrar en 1795.

En la segunda mitad del siglo pasado encontramos también en Suecia un movimiento muy activo en las investigaciones científico-naturales, iniciado por Linneo. En Upsala enseñaba química, y adquirió gran fama por sus excelentes trabajos, particularmente en el perfeccionamiento del análisis, *Tobern Bergmann*, nacido el año 1735 en Catharinaberg (Gotlandia occidental), y fallecido el año 1780 en los baños de Medewil (lago Wetter). Aunque los resultados que obtuvo exigían muchas veces perfeccionamientos importantes, pues eran debidos á métodos relativamente defectuosos, permitieron, sin embargo, que su destreza diera los más provechosos frutos, utilizados por ese ingenioso investigador, sobre todo en Mineralogía y Geología, para comunicar un gran impulso á las clasificaciones en estas ciencias. Unido á Bergmann por íntima amistad, encontramos en seguida á *Scheele*, un farmacéutico que, sin medios y durante una vida relativamente corta (nació en Stralsund el año 1742 y falleció en Köping el año 1786), realizó en química multitud de descubrimientos de la mayor importancia, cual ninguno de sus antecesores. La ciencia le debe los primeros conocimientos exactos sobre los ácidos orgánicos, la mayor parte de los cuales eran desconocidos en absoluto antes de él. En el terreno de la química mineral, descubrió los ácidos molíbdico y túngstico, el manganeso, el cloro, barita y el ácido fluorhídrico; independientemente de Priestley, descubrió también el oxígeno y enseñó á extraer del óxido de manganeso, nitro, óxido de mercurio, y otras diferentes sustancias. Por más que Scheele estuviera encadenado á los errores de una ciencia cada vez más decadente, si bien en una forma particular, nadie está autorizado para rebajar el mérito del gran enriquecimiento experimental que la química recibió de sus manos. Por otra parte, sus conceptos generales no ejercieron tampoco gran influencia, mientras que sus descubrimientos, sólo en una pequeña parte mencionados en las anteriores líneas, subsistieron, constituyendo un valioso é imperecedero tesoro. Scheele es el último de los flogistas importantes; pero los métodos de investigación y los resultados conquistados por él, Priestley, Cavendish y Black, constituían ya otras tantas minas, que debían reducir á escombros el edificio largo tiempo respetado, y de

cuyas ruinas había de surgir otro nuevo, en cuya construcción se trabajaba ya en Inglaterra y Francia desde 1770 próximamente, mientras que en Alemania se conservó en auge la teoría flogística, por lo menos en parte, hasta los últimos años del pasado siglo.

La química moderna cuantitativa.—El hecho de que en la combustión debía necesariamente unirse una sustancia material al cuerpo que arde, puesto que el peso total del producto de la combustión es mayor que el del cuerpo quemado, fué el eje alrededor del cual giraron las ideas modernas de la química; y seguramente no ha podido dar jamás una indicación más trascendental el fiel de la balanza, que en el momento en que dejó este hecho fuera de duda. Descubierto el oxígeno, fué obtenido de diferentes óxidos metálicos, recogiéndose al mismo tiempo el metal correspondiente puro. Se averiguó también que la llama origina una disminución en el volumen del aire en cuyo seno arde. En presencia de estos hechos, apareció Lavoisier, y englobándolos, llenando con su potente genio los vacíos que todavía dejaban aquéllos entre sí, dedujo la consecuencia siguiente, que arrojó para siempre del campo de la química al fantasma flogístico: «las combustiones y calcinaciones son *combinaciones con el oxígeno,* y el aumento de peso del cuerpo que se quema ó calcina corresponde exactamente al peso de la cantidad de oxígeno que entra á formar parte de la combinación.»

Sobre el mérito de Lavoisier se ha hablado y escrito mucho, pero siempre en un solo sentido: en el del aplauso incondicional. Lavoisier ha sido proclamado el fundador de la química moderna, y hasta ha surgido de Francia la frase de que cuanto existía antes de Lavoisier sobre conocimientos químicos, no podía merecer el nombre de ciencia. Como quiera que estas pretensiones han sido exageradas y repetidas con esa seguridad que dan á sus juicios los franceses cuando halagan su propia gloria, el resto del mundo se ha habituado, en su mayor parte, á creer en ello sin ningún recelo; pero la minoría del mundo científico, capaz de referir á su verdadero valor los legítimos timbres de Lavoisier, se ha contentado con juzgar más desapasionadamente las cosas, riéndose de semejantes exageraciones, que están fuera de lugar para una época en que cualquiera circunstancia aislada adquiere cierta importancia y permite hacer deducciones sobre el carácter general de todo un pueblo. Nadie pone en duda el genio de Lavoisier, ni puede desconocer su poderosa influencia; pero tampoco podemos despreciar cuanto aportaron otros á los resultados que se acostumbra á atribuirle exclusivamente.

Priestley había dicho ya en 1772: «Siempre me había yo figurado que lo que llamamos consunción del aire por la llama y respiración, son dos hechos de la misma índole;» además, había también demostrado que el aire se impurifica exactamente del mismo modo por la respiración de los animales que por la combustión del carbón ó de una bujía; es más, había mostrado también que

este aire, así alterado, se hacía de nuevo respirable por la actividad vital de los vegetales. En el año 1774 había descubierto Priestley el oxígeno; siete años más tarde encontró Cavendish que el producto de la combustión del gas hidrógeno no era otra cosa que agua, y Bergmann había ya manifestado explícitamente que los metales no entraban en combinación con los ácidos sino después de calcinados ó en estado de cales. A estas experiencias, de las cuales se desprenden directamente las consecuencias sobre que desarrolló Lavoisier su nuevo sistema, podrían agregarse otras muchas, si se tratara de poner en duda el carácter del genio colosal, y no tan sólo determinar el verdadero puesto que su nombretiene derecho á ocupar en la historia de la ciencia. Lavoisier conocía aquellos hechos, á pesar de lo cual no comprendió desde luego su alcance químico-filosófico, y esto lo prueban sus propios trabajos acerca de la composición del agua y las ideas que emitió sobre la respiración. Y si se agrega á esto que en sus escritos encontramos una serie de trabajos ajenos, que él se había apropiado, forzoso será restringir á una proporción más modesta la gloria que sus compatriotas se complacen en atribuirle como fundador de la química.

La frase encomiástica con que el mismo Adolfo Wurtz comienza su introducción al Diccionario de la Química, y que dice textualmente: «La química es una ciencia francesa; fué fundada por Lavoisier, de inmortal memoria,» es sencillamente un juego de palabras. Pero, por más que la historia de la química no haya tenido á Lavoisier por punto de partida, sino que más bien debemos conceder á sus antecesores la gloria de haber ya conocido y determinado por completo los mismos problemas de la investigación química perseguidos por Lavoisier, tenemos, sin embargo, que hacer notar que los métodos para la solución de estos problemas fueron distintos por parte de éste, que sustituyó hipótesis defectuosas é insuficientes por una nueva y rigurosa interpretación de los hechos observados. Lavoisier fué un ingenio luminoso; discutió con mirada penetrante los trabajos de otros experimentadores, y supo encontrar, con su gran viveza de imaginación, el aspecto más importante y la explicación más clara de las cuestiones, deduciendo del conjunto de los hechos conocidos las consecuencias que sus mismos descubridores no habían podido siempre apreciar en presencia de resultados parciales. Con una gran independencia de espíritu, en cierto modo propia del *dilettante*, como se ha hecho observar anteriormente, sin ideas preconcebidas de una ú otra teoría, como suelen estar siempre inclinados los investigadores á los pensamientos á que han ido enlazados sus caros trabajos, se encontró por completo en disposición de discurrir y hablar con decisión en asuntos en que los demás vacilaban y empleaban mil restricciones. Tenía los vuelos del genio, al mismo tiempo que el más rápido y seguro golpe de vista para encontrar la verdad. Por otra parte, estaba más instruído que muchos de sus compañeros químicos en las ciencias físicas y matemáticas, lo que daba á su inteligencia mayor alcance, evitándole, de un lado, perderse en

prolijos detalles, y permitiéndole, por otro, omitir las deducciones lógicas por las cuales podían someterse á comprobación sus previsiones. No es menos notable el claro talento con que Lavoisier avaloró los descubrimientos ajenos, particularmente los de Priestley. Resulta, pues, que el nombre de Lavoisier brillará siempre á los ojos de toda persona instruída, sin necesidad de atribuirle lo que la ciencia debe á los esfuerzos de toda una generación.

Por atender á las ideas flogísticas, sólo se habían tenido en cuenta hasta Lavoisier, y de un modo defectuoso, las proporciones ponderales, puesto que el calor de la combustión tenía que ser considerado algo ponderable para estar de acuerdo con aquéllas. Así que quedó fuera de duda que el calor era imponderable y que todo cambio de peso debía corresponder á un traslado de materia, cuyo pensamiento fundamental fué bastante para transformar la química, haciéndola alcanzar inmediatamente el estado en que la encontramos al terminar el siglo pasado.

No es posible abarcar al primer golpe de vista la influencia de semejante verdad; pero puede comprenderse, aun por los profanos en la química, sin más que considerar las series numerosísimas de cuerpos que diariamente nos sorprenden con su aplicación y propiedades, al mismo tiempo que la analogía que existe entre todos los fenómenos químicos, los cambios y sustituciones que se suceden sin descanso ante sus ojos en dichos procesos.

La balanza vino á ser el juez cuyos fallos decidían acerca de la composición de todos los cuerpos. No hay para qué decir que con semejante piedra de toque los métodos analíticos adquirieron una delicadeza y exactitud en modo alguno comparable con la de las antiguas investigaciones puramente cualitativas. Desde el momento en que se compararon entre sí las cantidades de los elementos constituyentes de las combinaciones químicas, se encontró que aquéllas se hallaban siempre en proporciones fijas; que, por ejemplo, una cantidad determinada de hierro fijaba siempre la misma cantidad de oxígeno para formar el óxido férrico, y que esta cantidad de oxígeno exigía siempre también un peso constante de plomo para constituir con él el óxido de plomo. La relación numérica de estas cantidades de hierro y plomo se manifestó ser constante para todas sus demás combinaciones; así, por ejemplo, una cantidad determinada de cloro se combina con cantidades de hierro y plomo que están entre sí en la misma proporción exactamente que la que muestran estos metales en su combinación con el oxígeno, y el estudio bajo este concepto de los cuerpos elementales, como los metales, cuya sencillez no había sido reconocida hasta entonces, condujo al establecimiento de esos importantes números relativos, los equivalentes químicos, que sirvieron de fundamento matemático á toda la ciencia. Estos números invocaron inmediatamente, sirviéndole de apoyo, una nueva teoría de los elementos: la teoría atómica, que encontró de nuevo acogida en las ciencias naturales. Pronto se descubrió también que todas las sustancias podían

combinarse entre sí de diferentes modos, según los equivalentes indicados, pero siempre bajo la condición de que los números de estos equivalentes habían de guardar una relación sencilla (1:2, 2:3 y 1:3 etc.), con lo que aquella teoría recibió la más decisiva comprobación.

El concepto químico sobre los átomos puso de nuevo á la ciencia que nos ocupa, en íntima relación con la física, y comenzaron desde entonces á actuar, como guía de las investigaciones en cada una de ellas, los conocimientos adquiridos sobre la otra. No recabaron menores ventajas las demás ramas de las ciencias naturales: mineralogía, botánica, fisiología y medicina. La primera encontró en la consideración de los minerales como combinaciones químicas de constitución invariable y regular, un punto fijo de partida, de que había carecido hasta entonces, para poder agrupar sistemáticamente sus conocimientos; las últimas, por su parte, alcanzaron, con el apoyo de la quimíca, conceptos más precisos acerca de la asimilación de la materia en los organismos, y, por tanto, en el conocimiento de las funciones orgánicas, cuyo conocimiento les reunía en una sola ciencia fundamental. En una palabra: el conjunto de los conocimientos naturales adquirió un nuevo carácter sintético, que, á pesar de su extraordinario acrecentamiento, había de conducirles finalmente á un concepto cada vez más sencillo de la Naturaleza.

Semejante resultado no podía menos de ejercer también señalada influencia sobre la cultura en general; y, en efecto, desde la última mitad del siglo pasado entraron ya en activa lucha las ciencias naturales como medio educador del espíritu humano, con las tendencias puramente superficiales de tiempos pasados, que sólo tomaban como elemento de desarrollo intelectual los estudios de los idiomas antiguos, decidiéndose ya entonces el tiempo á favor de las ciencias exactas, cuyo cambio recibió en cierto modo sanción con la Revolución francesa, que puso la dirección de la enseñanza en manos de los Monge, Berthollet, Fourcroy, etc. Por lo demás, esta misma Revolución nos dejó un triste recuerdo con el sacrificio de los hombres que tuvieron la parte más esencial en la inauguración del nuevo período: Lavoisier sufrió el mismo horrible destino, que, al mismo tiempo que á muchos culpables, alcanzó también á algunos inocentes.

Antonio Lorenzo Lavoisier (fig. 7), nacido en París el año 1743 en ricos pañales, cultivó desde su juventud las ciencias naturales, y ya en 1768 fué nombrado miembro de la Academia. Subió rápidamente los peldaños de la gloria, y el destino de Intendente de Hacienda le proporcionó toda clase de medios para la práctica de sus investigaciones. En virtud de los resultados de éstas, que supo hacer en alto grado provechosos para las artes é industrias, su participación en todos los negocios del Estado adquirió considerable importancia. La regularización del sistema de pesas y medidas, realizada en 1790, tuvo lugar bajo su inmediata dirección, no siendo puramente casual que quisiera forjar

por sí mismo las armas con las que había de triunfar de las antiguas teorías, derribando, con la balanza en la mano, todos aquellos erróneos conceptos, y sustituyéndolos por otros nuevos, fundados en principios matemáticos sencillos. Emprendió sus trabajos reformadores por el año 1772; sus dos obras «Sobre la combustión» (1778) y «Sobre el flogisto» pusieron fin á aquéllos, después que gran número de investigaciones sobre las combinaciones de diferentes cuerpos (en particular el azufre, fósforo, carbono y nitrógeno) con el oxígeno, le habían ofrecido la prueba de sus nuevos conceptos.

Como es fácil comprender, un genio tan sobresaliente cual el de Lavoisier, tuvo que darse á conocer también en otros sentidos; pero de todos modos sus obras más admirables son las realizadas en el terreno de la química, que aunque no podamos considerar como creada por él, resultan muy justas las palabras de Kopp en su *Historia de la Química*: «Ningún químico ha transmitido á sus sucesores la ciencia tan ennoblecida y ampliada, con respecto á lo que en ella habían hecho sus antecesores, como Lavoisier; por otra parte, ningún químico de los tiempos modernos ha tenido, cual él, la gloria de que sus ideas se mantengan reinantes é incólumes durante tan largo período, y de que sean todavía admitidas hoy en su mayor parte.» Pero según ya hemos dicho, todo esto no bastó á protegerle contra los efectos de aquella profunda conmoción social; murió el año 1794 bajo la guillotina. «No necesitamos sabios,» gritaba el caudillo de sus verdugos, un amigo traidor al que Lavoisier había iniciado en sus trabajos científicos. Tales fueron entonces sus jueces.



FIG. 7.—Antonio Lorenzo Lavoisier.

Casi simultáneamente con Lavoisier, apareció en Dijon un químico, que si bien en un principio sólo se ocupó incidentalmente de las ciencias naturales, bien pronto adquirió gran influencia entre los sabios, ya fuera por su actividad, ya por la utilidad práctica que supo obtener para el bienestar general, como fruto de sus trabajos. Nos referimos al ingenioso *Bernardo Guyton de Morveau*, nacido el año 1737 en Dijon, y muy conocido allí ya el año 1760 como abogado gene-

ral y escritor. Habiéndose aficionado por casualidad á los estudios químicos, los tomó con gran entusiasmo, y enriqueció la ciencia con multitud de hechos interesantes. Propuso también una nomenclatura química racional, en la que tuvieron, es cierto, una participación importante Lavoisier, Berthollet y Fourcroy, pero cuyo principio fundamental, sumamente ingenioso y adecuado, le pertenece con toda evidencia en primer término.

Los otros dos químicos citados arriba, *Fourcroy* (nacido en París el año 1755 y fallecido en 1809), y *Berthollet* (fig. 8) (nacido en 1748 en Talloire, Saboya, y fallecido en el año 1822 en Arceuil, cerca de París), ejercieron también una influencia muy esencial entre sus contemporáneos para la generalización de los conocimientos de química en general, y en particular de la teoría de Lavoisier; el primero como director general de Instrucción pública, y el segundo más bien en virtud de sus excelentes investigaciones experimentales. El concepto de la afinidad química adquirió una precisión y claridad de que antes carecía, principalmente en virtud de los trabajos de Berthollet; quien, distinguido con su amistad por el emperador Napoleón I, trató de resumir en un teorema general cuantos datos habían conquistado varios investigadores en trabajos aislados acerca de la composición cuantitativa de los compuestos químicos.



FIG. 8.—Claudio Luis Berthollet.

Lavoisier mismo practicó ya análisis cuantitativos, cuya exactitud no puede menos de sorprendernos extraordinariamente, dados los medios auxiliares de que disponía; pero los conocimientos acerca de la composición de los minerales en particular se completaron por los trabajos analíticos de Klaproth (nacido el año 1743 en Wernigerode, fallecido el año 1817 en Berlín), y Vauquelín (nacido el año 1763 en Hebertot, Normandía, y fallecido en el mismo punto el año 1829), dos químicos analíticos de primer orden, como apenas podía esperarse, para el rápido desenvolvimiento de los conceptos teóricos.

Si tenemos en cuenta la influencia especial que ejerce entre los que rodean, y, á más de su talento, su instrucción, su laboriosidad y fecundidad incansables, la amabilidad de su trato, en un sabio, observaremos que precisamente en Klap-

proth concurren todas estas bienhechoras facultades, constituyendo un ser armónico de noble perfección. Así, cuando todavía se mantenía en Alemania enhiesta la bandera de los flogistas, libre de toda preocupación, abrazó la teoría de la combustión de Lavoisier, y propuso á la Academia de Berlín (1792) investigar exactamente la esencia de los fenómenos de la combustión y calcinación, y someter á un revisión fundamental las experiencias hechas sobre la materia. Su ejemplo atrajo hacia las nuevas teorías á casi todos los miembros naturalistas de dicha Academia, con lo que se dió un paso cuya alta trascendencia apenas puede calcularse. No es posible hacer aquí mención particular de los trabajos de Klaproth y Vauquelin; pero una simple ojeada á los libros de mineralogía muestra el inmenso material que ambos aportaron para el progreso de la mineralogía química. Como es natural, con estos análisis minerales, á que instó á Vauquelin el gran minerálogo de la época, Haüy, se perfeccionaron esencialmente los métodos analíticos. Klaproth descubrió en 1789 los óxidos de urano y de zirconio; en 1795, el de titano; en 1803 el de cerio, etc. Vauquelin descubrió en 1798 los óxidos de cromo y de glucinio.

Estos resultados, á los cuales hay que agregar los de las investigaciones de *Proust* (1755 á 1826), permitieron á dos sabios alemanes, *Carlos Federico Wencel* (nacido en 1740 en Dresde y fallecido en 1703 de director de las minas de Freiberg), y *Jeremías Benjamín Richter* (secretario y gerente de unas minas en Breslau, fallecido en 1807 de químico de la fábrica de porcelana en Berlín), desarrollar una rama de la química, sobre la cual se habían emitido antes tan sólo algunas ideas sueltas, sin que al parecer fuera reconocido por los químicos su verdadero alcance. Nos referimos al estudio de las proporciones ponderales, según las que se combinan entre sí químicamente las partes integrantes de las sustancias compuestas. Las consecuencias finales que se deducían de las tablas de equivalentes químicos, determinadas con una escrupulosidad indecible por Richter, revelaron puntos de vista importantes para la determinación de los elementos, la clasificación de los cuerpos compuestos y el conocimiento de su constitución íntima; pero en particular condujeron también al desarrollo de las nuevas teorías atomísticas, cuya verdadera creación llenó de inmarcesible gloria al físico y químico inglés *Dalton* (nacido en 1766 en Eaglesfield, Cumberland, y fallecido el año 1844 en Manchester).

Dada la excelente dirección que comenzaron á seguir los trabajos de la química moderna, se abrieron en el período inmediato tan inmensos horizontes, que no debemos admirarnos cuando vemos surgir de entre las sombras, en apretado montón y de un modo exuberante, multitud de nuevos descubrimientos, algunos de los cuales tienen tan alta trascendencia y dan tan viva luz, que atraen casi exclusivamente sobre sí las miradas retrospectivas. *Gay-Lussac* (figura 9) (nacido el año 1778 en Saint-Leonard, departamento de l'Haute-Vienne y fallecido el año 1850 en París), y *Humphry Davy* (fig. 10) que nació el año 1778

en Penzance Cornwall, y falleció en el año 1729 en Ginebra), comenzaron sus investigaciones en los últimos años del siglo pasado, y entraron en el nuevo siglo cada uno con un presente de los dioses en la mano: el primero, tan distinguido físico como químico, con sus descubrimientos sobre la naturaleza de los gases; el segundo abarcando con no menor generalidad los fenómenos, con la descomposición de las combinaciones químicas por medio de la corriente galvánica. La teoría electro-química de la afinidad, si bien ya antes iniciada, recibió entonces una comprobación muy convincente, elevándose á la categoría de una ley general la afirmación de Davy de que la afinidad química y los fenómenos eléctricos descansaban sobre la misma base. Davy consiguió en 1807, con ayuda de la pila galvánica, obtener de la potasa un metal, el potasio, así como de la sosa, el sodio, demostrando con esto la naturaleza de los álcalis, idéntica á la de los óxidos metálicos. Este mismo medio auxiliar ha permitido también descomponer más tarde las tierras en sus elementos, estableciendo así un concepto más preciso acerca de éstos. También tuvieron una importancia especial para las teorías de la química los trabajos de Davy sobre el cloro y su explicación exacta de la composición del ácido clorhídrico como combinación de aquel elemento con el hidrógeno. Esta afirmación contradecía las ideas reinantes; pero á pesar de ello, las pruebas presentadas por Davy de su certeza fueron tan evidentes y persuasivas, que pronto fué aceptada por todos los químicos, y en primer término, el año 1812, por Gay-Lussac y Thenard (fig. 11) (nacido el año 1777 en Nogent-sur-Seine y fallecido el año 1857 en París). Las tendencias señaladas por los trabajos de Davy tuvieron sobre todo señalada influencia en las investigaciones practicadas en común por los dos últimos sabios franceses, así como á su vez los métodos de éstos vinieron á constituir la más segura piedra de toque de las nuevas teorías. Resalta en particular la transformación impresa por Gay-Lussac y Thenard al análisis elemental de los cuerpos orgánicos, con el método de quemar las especies no volátiles, mezcladas con



FIG. 9.—Luis José Gay-Lussac.

sustancias que suministran oxígeno, haciendo deducciones seguras de la cantidad de los productos obtenidos por la combustión, así como de la de oxígeno invertida. La química orgánica comenzó entonces á mostrarse de igual condición que su hermana mayor la química mineral, si bien hasta más tarde, y por los trabajos de Liebig, no llegó á adquirir la extensión inmensa que presentó un horizonte infinito de investigación ante los ojos de los químicos.



FIG. 10.—Humphry Davy.

Pero por encima de todos sobresale un nombre en esta época de grandes descubrimientos, nombre que la historia de la química ha cubierto de inmarcesible gloria. *Jacobo Berzelius* (fig. 12), nació en Wafnersunda, en el Este de Gotlandia, el 29 de Agosto de 1777, é ingresó el año 1796 en la Universidad de Upsala para estudiar las ciencias médicas; pero se dedicó más particularmente á la química, y consiguió cierta fama por sus trabajos, de los cuales el primero fué un análisis de las aguas medicinales de Medevi (1800). Por consecuencia de ellos fué nombrado en 1802 profesor auxiliar de Química y Farmacia en la escuela de Medicina de Stokolmo. El año 1807 ascendió á profesor de número, y en el siguiente ingresó en la Academia de Stokolmo, que en 1810 destinó una suma anual para fomentar sus trabajos científicos, y le eligió presidente. Desde entonces, su fama



FIG. 11.—Thenard.

se extendió también por el extranjero, con cuyos sabios adquirió Berzelius trato íntimo en sus frecuentes viajes. Las Academias y Sociedades científicas de todo el mundo le nombraron miembro honorífico, y gran número de alumnos, procedentes de todos los países, concurrieron á su laboratorio para completar su educación química. El rey de Suecia hizo á Berzelius noble en 1818, nombrándole barón en 1835. De edad bastante avanzada murió el gran maestro, el 7 de Agosto de 1848, habiendo alcanzado un éxito y una celebridad no muy comunes en la vida de los sabios.

Las investigaciones de Berzelius se distinguen por su exquisita escrupulosidad. Enemigo de hacer hipótesis prematuras, buscó siempre en primer término el conocimiento de los hechos positivos bajo todos sus aspectos, antes de abandonarse á especulaciones. De esto depende que en sus primeras opiniones manifestara cierta tendencia conservadora con respecto á las antiguas teorías (por ejemplo, sobre la naturaleza química del ácido clorhídrico como un ácido oxigenado); sin embargo, su apego á ellas no duró sino hasta haber acumulado suficiente material de observaciones para poder sustituirlas por otras más acertadas. No reconocía otra fuerza demostrativa que la de los hechos; y este rigor, así como su autoridad, protegieron la química contra la irrupción de teorías poco sólidas en una época en la que los descubrimientos rápidos y sorprendentes favorecían, más que en ninguna otra, su creación.



FIG. 12.—Jacobo Berzelius.

En la química analítica inventó Berzelius numerosos métodos muy importantes, que en parte no han sido aventajados hasta hoy por la exactitud de sus resultados. Entre otros, hizo general el empleo del soplete, y con ello favoreció la aplicación decisiva de las investigaciones químicas en la Mineralogía. Mediante sus cuidadosos análisis descubrió, ó bien preparó por vez primera, gran número de compuestos nuevos y de elementos hasta entonces desconocidos; así, por ejemplo, descubrió el cerio en 1803; el selenio, en 1818, y el óxido de thorio, en 1828; preparó por primera vez el silicio en 1823, y el zirconio y el tántalo, en 1824.

Forman época por su importancia los trabajos de Berzelius para la comprobación de la teoría atomística de Dalton, para la del principio de las proporciones definidas, establecido por vez primera de un modo algo explícito por Wenzel y Richter, y para la determinación de los pesos atómicos. Mediante el empleo de esta parte matemática de la química, imprimió Berzelius el más poderoso impulso á esta ciencia, particularmente á la química inórganica y la mineralogía. Clasificó por vez primera los minerales en clases y familias desde un punto de vista exclusivamente químico; y si bien su sistema ha recibido posteriormente varias modificaciones, algunas de las cuales fueron indicadas ya por él mismo, sus conceptos han seguido siendo aceptados en globo hasta la actualidad. Pero lo que ofrece el mejor ejemplo de la exactitud de sus métodos y de la escrupulosidad de sus investigaciones, es la circunstancia de que los números de los pesos atómicos, calculados por sus análisis, no han experimentado más que rectificaciones muy pequeñas en el transcurso del tiempo, á pesar de haber sido sometidos á comprobaciones repetidas y más delicadas.

La obra de Berzelius puede ser considerada en cierto modo como la última piedra del edificio de nuestra química actual. Después de él no ha cambiado en nada esencial el carácter sintético de esta ciencia. Las principales vías de investigación quedaron perfectamente señaladas, y por más importantes que puedan ser las nuevas leyes que se descubran, tienen fácil cabida en el marco que envuelve lo ya conocido. La misma química orgánica, que se ha enriquecido en estos últimos años por la conquista de una multitud tal de nuevos hechos, que apenas puede abarcar nuestra mirada, los clasifica, sin embargo, desde puntos de vista completamente análogos, borrándose cada vez más y más la separación artificial entre la química orgánica y la química inorgánica.

En cuanto al desenvolvimiento de algunas ramas de esta ciencia, se ha distinguido por el gran mérito de sus trabajos electro-químicos el químico y físico inglés *Faraday* (nacido el año 1791 en Londres y fallecido el año 1867 en Hampton Court), el cual descubrió también que algunas sustancias de igual composición química podían mostrar diferentes propiedades físicas; cuyo descubrimiento, junto con los resultados obtenidos por *Mitscherlich* (nacido el año 1797 en Neuende, cerca de Jever, y fallecido el año 1863 en Berlín), de que algunas materias de composición química distinta, aunque análoga, manifestaban una gran coincidencia con respecto á sus caracteres físicos (forma cristalográfica, etc.), suministró un nuevo concepto para la interpretación del principio de las proporciones equivalentes y para la determinación de los pesos atómicos.

Al citado descubrimiento del *isomorfismo* por Mitscherlich, siguió pronto el del *dimorfismo*, debido también á este investigador, y que consiste en que un mismo compuesto puede presentarse en formas que pertenecen á dos sistemas

cristalográficos distintos, y á éstas, muchas otras observaciones análogas é importantes, por medio de las cuales Mitscherlich introdujo la tendencia físico-química que, á partir de entonces, intenta cada vez con más fuerza asociar en un carácter común á la física y la química, y que ha contribuído mucho, por tanto, á la unidad del edificio de la Filosofía natural.

Como era natural, la aplicación de las leyes más fundamentales é importantes tuvo lugar más bien en un principio á los fenómenos de la química mineral, mejor estudiados y conocidos en general. Esta rama de la química adquirió un desarrollo que se ha perfeccionado sin duda en estos últimos tiempos, en diferentes conceptos (como, por ejemplo, con los métodos analíticos é investigaciones de los *Rose*, *Woehler*, *Fresenius*, etc.); pero que, sin embargo, no ha sufrido ninguna transformación esencial en cuanto á sus rasgos característicos. Otra cosa sucede con los resultados de las investigaciones químico-orgánicas. Antes, cultivado casi en un aislamiento completo, este suelo produjo aquí y allá algunas hermosas flores; pero carecían de armonía y faltaba todavía la idea fundamental que había de dar la clave para abarcar en su conjunto los diversos fenómenos. Los conceptos sobre los compuestos químicos ácidos, básicos y salinos, tomados de la química inorgánica, dieron los primeros puntos de apoyo para agrupar los conocimientos adquiridos mediante el análisis elemental orgánico. Pero pronto no bastó una distinción tan superficial, con la aparición de las formas de combinación infinitamente variadas de los elementos orgánicos, con las transformaciones y sustituciones graduales que engendran series casi inagotables de especies químicas diferentes en esta rama de la química.

Los impulsos comunicados particularmente por *Liebig* y *Woehler*, en Alemania; *Dumas*, *Chevreul*, *Laurent* y *Gerhardt*, en Francia, y *Williamson*, en Inglaterra, á las investigaciones sobre química orgánica, dieron á conocer de un modo bastante completo para poderlos abarcar desde un punto de vista general, las series de cuerpos que se originan unos de otros por la sucesiva adición ó sustracción de ciertos grupos moleculares.

Es difícil decidir entre Liebig y Woehler cuál de estos nombres tenga mayor importancia científica, si se tiene en cuenta que sus trabajos, que forman época, fueron practicados casi siempre en común. A Liebig corresponden las síntesis ingeniosas y profundas, las descripciones brillantes ; Woehler se distingue por su austeridad catoniana, por el rigor matemático de sus métodos, capaz de inspirar una fe ciega en su infalibilidad.

Federico Woehler nació el 31 de Julio de 1800 en Eschersheim, cerca de Francfort; aficionado desde muy joven á las ciencias naturales, se consagró con preferencia á ellas cuando concurrió desde el año 1814 al Gimnasio de Francfort. En el de 1820 marchó á Marburgo para estudiar Medicina, y al siguiente á Heidelberg, donde Gmelin le conquistó definitivamente para la química.

Desde el otoño de 1823 hasta el invierno de 1824 trabajó al lado de Berzelius, y á su regreso adquirió una plaza de profesor de química en la Escuela de Artes y Oficios de Berlín. En el año 1832 pasó á Cassel, donde pronto ingresó en la Escuela superior de Artes y Oficios, recién creada, y permaneció hasta que fué elegido para la cátedra de química de Göttingen, donde siguió este gran sabio hasta el término de su vida. Durante cuarenta y seis años de actividad en la enseñanza é investigación, coronada por el mayor éxito, proporcionó una fama europea á la pequeña Universidad, entonces hannoveriana y después prusiana; pues así como á Giessen, donde estaba Liebig, acudían á Göttingen centenares de alumnos procedentes de todos los países de la tierra, que luego propagaban en todas direcciones la ciencia alemana.

La constitución física de Woehler no tenía nada de robusta; pero, sin embargo, poseía una gran resistencia y una energía incansable para el trabajo. Así conservó una agilidad envidiable, sobre la cual no parecían dejar huella los años, subsistiendo la frescura de su inteligencia hasta edad muy avanzada. El 19 de Septiembre de 1882 un temblor febril le obligó á guardar cama, no levantándose ya, pues el 23 del mismo mes dió fin á su laboriosa vida este gran maestro. La activa y bienhechora laboriosidad de Woehler no ejerció sólo influencia sobre la materia, ya de por sí extensa, de la investigación química, sino que también dió sus frutos en otras ramas de las ciencias naturales. Woehler adquirió muy joven (1820) la categoría de autor, con un trabajo sobre la existencia del selenio en las piritas de Graslitz. A poco de regresar de Suecia (1824) comenzó sus notables investigaciones acerca del ácido ciánico y sus combinaciones. Poco antes había publicado Liebig sus trabajos sobre el ácido fulmínico y fulminatos, practicados en el laboratorio de Gay-Lussac en París. Con independencia el uno del otro, Liebig y Woehler coincidieron completamente en sus análisis acerca de la composición centesimal de los fulminatos y cianatos respectivamente, y por más que ambos cuerpos se manifestaban completamente diferentes. ¡Cuánta admiración debieron producir estos hechos en una época en que se admitía, por lo general, que una misma composición centesimal había de corresponder precisamente á iguales propiedades, y, recíprocamente, la diversidad de propiedades sólo se concebía como consecuencia de una composición química diferente!

Liebig y Woehler, cada uno caminando por distinta ruta, alcanzaban por primera vez un resultado científico que no cabía en el marco de las ideas teóricas de entonces, planteando al mismo tiempo un problema de la más alta importancia filosófica. ¿Por qué cuerpos constituídos absolutamente del mismo modo cualitativa y cuantitativamente muestran á veces propiedades diversas? Ambos químicos resolvieron también del mismo modo esta cuestión, descubriendo la *isomería*, en virtud de la cual ciertas combinaciones orgánicas pueden manifestar esta diversidad de caracteres físicos y químicos, por efecto de una distinta

agrupación de unos mismos átomos. Desde la fecha de este primer descubrimiento común comienzan las relaciones de amistad y la asociación científica entre Liebig y Woehler, y los beneficios de cuyas relaciones no alcanzaron sólo á ellos mismos, sino también, y principalmente, á la ciencia. Uno de los frutos más preciosos de esta unión fué la serie de investigaciones, que forman época en la química, sobre la esencia de almendras amargas (1832), sobre el ácido benzóico y sus combinaciones. Estos trabajos han alcanzado una importancia capital para la construcción del edificio de las teorías modernas en química orgánica, pues fueron la base de las ideas sobre radicales orgánicos.



FIG. 13.—Justo Liebig.

Antes de terminar esta ligera reseña de los trabajos más sobresalientes practicados por Woehler, ya solo, ya en unión con Liebig, queremos consignar todavía un hecho que bastaría, de seguro, para asegurar á su nombre una gloria inmortal en la historia de la ciencia. A principios de este siglo se creía por todo el mundo que entre los cuerpos inorgánicos y los orgánicos existía un abismo, imposible de salvar para los químicos, puesto que las sustancias orgánicas eran conocidas entonces únicamente como producto de los seres animales y vegetales, y pudiendo ser tan sólo engendradas en virtud de una fuerza completamente misteriosa, «la fuerza vital,» residente en los organismos vivientes. Así, por ejemplo, definía Berzelius todavía la química orgánica el año 1827, como «la química de las sustancias vegetales y animales, es decir, de aquellos cuerpos formados bajo la influencia de la fuerza vital». Woehler fué el primero que en el año 1828 obtuvo artificialmente (por síntesis química) la úrea, partiendo de materiales *inorgánicos*, despojando, por consiguiente, á la materia orgánica de aquella aureola, y demostrando que se halla sujeta á las mismas leyes que rigen la materia inorgánica.

Su contemporáneo *Justo Liebig* (fig. 13) nació en 13 de Mayo del año 1803, en Darmstadt. Manifestó cierta afición á los estudios físicos y químicos ya mucho antes de decidirse á seguir la carrera de Farmacia. Entró de alumno de un farmacéutico de Heppenheim, cerca de Darmstadt, en el año 1818;

pero no encontrando aquí apoyo sus inclinaciones científicas, no permaneció más que diez meses, y después de prepararse en Darmstadt ingresó en la Universidad de Bonn y después en la de Erlangen, donde se hizo conocido por varios trabajos científicos, lo que le proporcionó la protección del Gran Duque. Mediante el auxilio de éste, pudo proseguir sus estudios en París; allí entró en relación de amistad con Runge, Mitscherlich y Rose, y recomendado por Humboldt, tomó parte durante algún tiempo en los trabajos de Gay-Lusac. A su regreso en 1824 fué nombrado profesor agregado á la Universidad de Giessen, alcanzando dos años después la categoría de profesor en propiedad. Durante el período de su residencia en Giessen fué elevado Liebig á la nobleza; el año 1859, obedeciendo á una indicación del rey de Baviera, pasó á la Universidad de Munich, donde se le ofreció un círculo de acción mucho más amplio. En este nuevo puesto desarrolló su actividad, rica en investigaciones, éxitos y consideración social, durante veintiún años. Además de su cátedra en la Universidad, ejerció Liebig largo tiempo la presidencia de la Real Academia de Ciencias, así como el cargo de Conservador general de los Museos científicos del Estado, hasta su muerte, acaecida el 28 de Abril de 1873.

Ya hemos hecho resaltar la gloriosa y fecunda acción cooperativa de este gran maestro con el no menos hábil investigador Woehler, é indicado también que, en virtud de sus trabajos comunes, particularmente las investigaciones sobre la esencia de almendras amargas y sus productos de descomposición, se adquirió el convencimiento de que en los cuerpos orgánicos, compuestos principalmente por los cuatro elementos (oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y carbono), existe una parte de estos elementos constituyentes que se hallan unidos entre sí con mayor afinidad que con el resto, y que estos determinados grupos ofrecen en ciertos conceptos la mayor semejanza con los cuerpos simples. Todas las combinaciones orgánicas en las que se hallan contenidos algunos de estos grupos bien determinados, manifiestan alguna coincidencia que los caracteriza cual miembros de una familia, de la cual forma en cierto modo la base aquel grupo atómico, llamado por esto *radical*, al que se sueldan alternativamente los demás elementos. El radical de la esencia de almendras amargas, benzoilo, descubierto por Liebig y Woehler en 1832, ejerció una influencia tan importante en el conocimiento de toda una clase de compuestos, que Berzelius propuso, por vía de homenaje, designarlo con el nombre de *proin*, ó de *orthrin*, de las voces griegas πρωί, ὄρθρος, que significan aurora ó crepúsculo matutino.

Así, pues, Liebig, en sociedad con su amigo Woehler, fué el creador de la primera teoría especial sobre el terreno, poco cultivado hasta entonces, de la química orgánica. Pero lo que ha hecho célebre el nombre de este sabio en casi todo el mundo civilizado, más bien que sus grandes conquistas científicas, han sido los resultados prácticos de sus investigaciones con el fin de hacer útil en la vida diaria cuantos conocimientos atesoraba la ciencia. Los trabajos de Lie-

big comunicaron impulsos de importancia esencial á una serie considerable de ramas de las industrias esencialmente químicas, como, por ejemplo, la industria de las materias explosivas, la de los cuerpos grasos, la de las combinaciones del cianógeno, como prusiato rojo, y el cianuro potásico, la fabricación del vinagre, etc., etc. Y todavía más importantes y conocidos son sus servicios á la química fisiológica, al estudio del proceso vital de los organismos vegetales y animales. Los puntos de vista iniciados por Liebig en estas materias revelaron una nueva era para la alimentación de los animales y las plantas, así como para la fertilidad del suelo; era cuyos beneficios se han mostrado primeramente por el brillante estado de la agricultura en Inglaterra, donde se recibieron con gran entusiasmo las teorías de Liebig, y todavía rebasaron el extenso campo de la fertilidad del suelo los trabajos químico-fisiológicos del sabio químico, favoreciendo, finalmente, la curación de todas las enfermedades humanas, bastando recordar á este propósito su extracto de carne, sus alimentos lacteados, etc., etc.

Por la época de Woehler y Liebig brillaba en Francia un investigador, al que la historia de la química señalará siempre un puesto de honor: *Juan Bautista Andrés Dumas*, nacido el 14 de Junio de 1800 en Alais, departamento del Gard. Después de un corto aprendizaje en una farmacia de su ciudad natal, pasó á Ginebra, donde estudió Química, Botánica y Física, y escribió muchas importantes relaciones. En una conversación con Alejandro Humboldt se despertó en él el propósito de trasladarse á París, donde consiguió la plaza de repetidor de las lecciones de química dadas por Thenard en la Escuela politécnica, y á poco la de profesor en el Ateneo. Sin embargo, todavía aspiró á un círculo de acción más amplio, y fundó, en el año 1829, la *École centrale des arts et manufactures*, que ha prestado importantes servicios á la industria francesa. Tres años más tarde fué designado Dumas para suceder á Gay-Lussac en la Sorbonne, uniendo á este cargo la cátedra de la Escuela politécnica, á partir desde 1835. En general, Dumas ha intervenido en casi todos los establecimientos de enseñanza superior de París durante largo tiempo. Pero los acontecimientos políticos del año 1848 le alejaron de su actividad científica; fué nombrado miembro de la Asamblea Nacional Constituyente, después ministro de Agricultura y Comercio, senador, presidente del Consejo Municipal y jefe de la Casa de Moneda de Francia. Con la caída del segundo Imperio, en 1870, tuvo fin el período político-administrativo de la vida de Dumas, y se dedicó de nuevo, á la edad de setenta años, á la ciencia, á la cual consagró el más vivo interés hasta su muerte, acaecida en Cannes el 11 de Abril de 1884. Aparte de sus labores científicas en otras direcciones, ha introducido Dumas profundas reformas en el terreno de la química, particularmente con sus teorías sobre los éteres, de las sustituciones y de los tipos, cuyos conceptos reinan todavía hoy en la química orgánica.



Químicos célebres, modernos.

Al mismo tiempo que Dumas, cooperó también *Laurent* al desenvolvimiento de la teoría de las sustituciones (1835). De sus observaciones, de las cuales resultaba que el hidrógeno podía ser sustituído fácilmente por el cloro en ciertos compuestos orgánicos, sin que cambiara por ello esencialmente el carácter general de la sustancia primitiva, dedujo Laurent que en esta sustitución de hidrógeno por cloro, este último ocupaba exactamente el sitio perteneciente antes al hidrógeno y venía á desempeñar en cierto modo su mismo papel. Estas ideas condujeron á Dumas á su primitiva teoría de los tipos, y á su teoría de los núcleos á Laurent (1836), el cual admite que los compuestos orgánicos constan de dos porciones: un núcleo formado de cierto número de partes integrantes íntimamente unidas entre sí, al que se adaptan otros elementos y grupos atómicos en el curso de la formación de nuevas combinaciones, sin que por esto experimente el núcleo ningún cambio. Por más que ni la teoría de los tipos de Dumas ni la de los núcleos de Laurent hayan encontrado una aplicación general, han ejercido, sin embargo, una influencia esencial sobre el desarrollo ulterior de la química orgánica, toda vez que sirvieron de tránsito á las ideas modernas.

Sólo consignaremos, por último, la teoría unitaria, debida al genio de *Gerhardt*, quien, en unión de *Williamson*, fundó también la moderna de los tipos, fundiendo en ella el concepto moderno de radical con la teoría de las sustituciones; dicha teoría típica ha experimentado amplio desenvolvimiento en virtud de los importantes descubrimientos hechos por *Augusto Guillermo Hoffmann* (actualmente profesor en Berlín) y de *Adolfo Wurtz*, ha poco fallecido, sobre las llamadas aminas y amidas (1849 y 1850), conduciendo á la teoría reinante en la actualidad del encadenamiento atómico ó estructura química de las moléculas. Toda una serie de nombres, cual los de *Bæyer*, *Berthelot*, *Bunsen*, *Erlenmeyer*, *Fittig*, *Frankland*, *Fresenius*, *Hoffmann Kekulé*, *Kolbe*, *Kopp*, *Liebermann*, *Lothar* y *Victor Meyer*, *Rammelsberg*, *Rose*, *Wislicenus* (véase lámina I) y otros muchos, suenan gratamente al oído al hablarse de la química, pues van enlazados á conquistas, algunas de ellas de tal importancia, que su brillo no ha de apagarse jamás en la historia de aquella ciencia. No tenemos más que recordar el análisis espectral de Kirchhoff y Bunsen, que nos permite penetrar con nuestra mirada en la constitución material de otros astros, el descubrimiento de los colores de la anilina por A. G. Hoffmann, la obtención de la alizarina por Liebermann, la preparación artificial del índigo (añil), por Adolfo de Bæyer, y otros grandiosos hechos científicos. Es natural que nos abstengamos en este sitio de estimar el sobresaliente mérito de tales hombres; la mayor parte se hallan todavía entre nosotros, y no puede, por tanto, considerarse como extinguida su actividad. Ellos han conducido á la química á su estado actual, haciendo encajar particularmente y de un modo natural la química orgánica en el sencillo marco de la ciencia química en general, pues con el

descubrimiento de la ley de atomicidad de los elementos se ha transformado aquélla en una química cuyos términos derivan de combinaciones sencillas del carbono con el hidrógeno por la sustitución de átomos ó grupos atómicos de igual atomicidad.

A pesar de todo, quien se haga cargo con alguna detención de los trabajos que se suceden en un solo año, se convencerá inmediatamente de que la química dista mucho de haber llegado á su meta, á pesar de los titánicos esfuerzos de los últimos decenios. Sin embargo, en cualquier asunto de la vida práctica en que nos fijemos, encontraremos ocasión de admirar la inagotable abundancia de los dones que nos ofrece esta ciencia, relativamente tan moderna. La química arma nuestro brazo con mil útiles nuevos, con cuya ayuda nos es permitido obligar á la naturaleza á que abra su pródiga mano, y deje escapar los tesoros en ella encerrados; nada podemos reprocharle; para ella no existe ningún espejismo, ningún engaño. En el mismo camino de la descomposición, en el último instante anterior á su destrucción, recoge todavía la materia y la obliga á prestarnos larga serie de valiosos servicios antes de devolverla al círculo de las metamorfosis naturales. Sin duda ha ofrecido á la Naturaleza misma ocasión de acrecentar su infinita fuerza creadora; muchas combinaciones de notables propiedades han sido creadas propiamente por la química, que ha realizado por primera vez las circunstancias bajo las cuales era posible su generación. No le basta, pues, enseñar á extraer lo que la Naturaleza posee, sino que aún va más allá en sus fines. En unión con la física, con la que está tan hermanada, se ha constituído, cual ninguna otra manifestación de la actividad, en bienhechora de la humanidad, pues al mismo tiempo que proporciona el bienestar material, ha libertado al espíritu de los escollos de la superstición y del fanatismo; conduce la mirada por dilatados horizontes, y en un concepto libre y sintético de la Naturaleza, revela al hombre las ideas de lo bueno y de lo bello, del derecho y del deber, lo único que existe inalterable.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA QUÍMICA

Los fenómenos cuya investigación constituye el objeto de la física son por completo independientes de los límites de nuestra tierra; de suerte que hay que atribuir una importancia universal á las leyes que de su estudio deduce la ciencia. En efecto; la fuerza atractiva de la gravitación, la inercia, las acciones de la fuerza centrífuga, etc., se manifiestan funcionando exactamente del mismo modo fuera de nuestro planeta, y aun fuera también de nuestro sistema solar, como en las experiencias que realizamos dentro de nuestros pequeños laboratorios; los rayos de luz y de calor llegan á nosotros desde las estrellas más lejanas, y se revelan perfectamente idénticos á las vivificantes radiaciones procedentes del

sol, pudiendo admitirse, dada la correlación evidente entre las fuerzas todas de la Naturaleza, que los mundos que circulan por las regiones más remotas del espacio son agitados por fenómenos eléctricos y magnéticos de un modo completamente análogo á como sucede entre nosotros.

Ahora bien: ¿podrá concederse una generalidad semejante á las leyes de las reacciones químicas? Desde luego parece que debemos dar á esta pregunta una respuesta afirmativa, teniendo en cuenta también la transformabilidad de la energía y la prueba no insignificante proporcionada por los resultados del análisis espectral, según los cuales pueden hacerse deducciones muy probables acerca de la composición material de los astros que envían su luz hasta nosotros. Pero en el estado actual de la ciencia, la química no puede extender sus investigaciones más allá de límites muy reducidos que, prescindiendo de las piedras meteóricas (pequeñas masas de los astros que casualmente se ofrecen alguna vez á nuestro estudio, atraídas por la Tierra) no salen de la superficie de nuestro planeta; ó, mejor dicho, se hallan comprendidos dentro de una capa cuyo grueso está determinado por los dos extremos hasta los cuales podemos por una parte elevarnos en el aire y por otra penetrar en la costra terrestre ó en la profundidad de nuestros mares. Y si la hipótesis de que la materia es la misma en todo el universo presenta ya por sí misma cierta verosimilitud, mucho más fundada es la opinión de que en toda la tierra no existe ninguna clase de materia que se diferencie esencialmente de la que encontramos dentro de aquella estrecha zona. La extraordinaria movilidad del océano aéreo nos pone sucesivamente en contacto con todas sus capas, y por otra parte, las masas en fusión ígnea que surgen del interior de la Tierra contienen también no más que las mismas sustancias que desde hace millones de años forman ya las rocas de la costra sólida del globo. Existe, pues, en todas sus partes una mezcla uniforme; tan uniforme, que el descubrimiento de América, ese inmenso continente, no puede enriquecer á la ciencia con el conocimiento de un solo cuerpo simple que no se encontrara ya en el antiguo mundo, sin que para la economía total de la Naturaleza ofrezca gran importancia la existencia relativamente abundante en ciertos puntos de materias que en otros, por su escasez, pasan inadvertidas.

Si consideramos un trozo de granito, vemos desde luego que no se compone de una masa enteramente homogénea; por el contrario, distinguimos unas laminitas oscuras brillantes, y en la masa dominante más clara vemos también diversos minerales que se distinguen por su color, brillo, dureza y cristalización. El granito es una mezcla bien evidente de tres minerales distintos: mica, feldespato y cuarzo. Podemos separar éstos entre sí por medio de operaciones mecánicas, y del mismo modo que el granito, es posible descomponer otros muchos cuerpos en sus partes integrantes mediante simple trituración, tamizado, levigación, etc. Pero esta separación mecánica tiene sus límites; de suerte que, aun cuando llamemos en nuestro auxilio al microscopio y los instrumentos de divi-

sión más delicados, llegamos finalmente á un punto en que no bastan ya nuestros medios para obtener una división más completa.

Pero si nuestro objeto fuera exclusivamente descomponer en sus partes constituyentes un cuerpo que mostrara una composición completamente uniforme, como, por ejemplo, un trozo de mármol blanco, encontraríamos de todo punto impotentes para dicho objeto los procedimientos mecánicos, pues la masa del mármol se nos presenta como perfectamente homogénea hasta en sus más pequeñas partículas. Por el contrario, si calentamos el mármol en un horno de cal (calera), encontramos que en su virtud sufre una pérdida de peso: una de sus partes constituyentes, el ácido carbónico, ha sido expulsada por la acción del calor. Pero semejante separación no puede ya ser calificada de mecánica, sino que más bien merece el nombre de *química*, toda vez que entendemos por descomposición química de un cuerpo su desdoblamiento en productos parciales, que se diferencian sustancialmente del todo, y, por lo general, también entre sí.

Los esfuerzos para conocer las partes fundamentales y más sencillas que entran en la constitución de los objetos corpóreos, así como la forma y manera de su combinación, datan de muy antiguo y se manifestaban ya en la hipótesis de los filósofos griegos sobre los cuatro elementos (fuego, agua, aire y tierra); se reproducen en las teorías de los alquimistas y yatroquímicos, pero siempre fundados aún en especulaciones ocasionadas por la observación de analogías superficiales. Hasta el período de la química moderna no se ha establecido la distinción y determinación más completa de las propiedades de los elementos, como condición primera para la empresa de averiguar y concebir la naturaleza íntima de los cuerpos compuestos. Un *elemento* es, pues, en el sentido propio, un cuerpo material que bajo toda clase de acciones mecánicas, físicas ó químicas no se manifiesta constituído por dos ó más sustancias diversas, y que en su manera de obrar con respecto á otros cuerpos en las reacciones químicas, se conduce de un modo análogo al de aquellos otros cuerpos cuya naturaleza elemental ó simple se encuentra ya sólidamente establecida. Este último punto no carece de importancia, toda vez que permite presumir, con bastante seguridad, la existencia de un nuevo elemento en una combinación bien caracterizada, aun cuando no se haya inventado todavía ningún método para obtenerle aislado. Si se descubriera, por ejemplo, en un mineral una sustancia nueva unida al ácido silícico, formando una combinación de caracteres especiales, y que después de separada se manifestara en sus propiedades principales como perteneciente al grupo de las llamadas tierras, se tendría motivo bastante para clasificarla en este grupo, por más que no fuera posible identificarla con ninguna de dichas tierras ya conocidas, y, por consiguiente, habría que considerarla como una tierra nuevamente descubierta. Pero como quiera que las tierras son conocidas cual combinaciones especiales con el oxígeno, debería también considerarse como comprobada la existencia del oxígeno en aquel

nuevo cuerpo, y al mismo tiempo como realizado el descubrimiento de un nuevo elemento de los llamados metales térreos, como el glucinio, aluminio, etc., por más que no se hubiera conseguido obtenerlo en estado puro.

Los elementos ó cuerpos simples de la Química.—Conocemos hasta hoy unos sesenta y seis cuerpos simples ó no susceptibles de descomposición, es decir, de los que no puede separarse (por los medios de que se dispone actualmente) sustancia alguna de constitución material distinta. No es posible fijar su número con precisión, pues algunos de los descubiertos recientemente por el análisis espectral no han podido ser todavía estudiados exactamente, por presentarse en cantidades sumamente pequeñas; tales son, por ejemplo, el *holmium*, *decipium*, *thulinum* é *iduntium*. Los elementos se designan cada uno con un signo especial (generalmente la inicial de su nombre latino ó griego, según los casos) y para facilitar su estudio todavía suelen clasificarse, aunque arbitrariamente, en *metales* y *no-metales* ó *metaloides*.

Entre los elementos llamados *metaloides*, de los que unos son gasiformes y otros sólidos, podemos citar en primer término el hidrógeno, que, por ser el más ligero, ha sido adoptado como término de comparación para la determinación de los pesos atómicos de los demás elementos, y el oxígeno, nitrógeno y carbono; además se incluyen también en este grupo el cloro, fluor, bromo, azufre, selenio, teluro, fósforo, arsénico, antimonio, boro y silicio.

Los elementos llamados *metales* son sólidos á la temperatura ordinaria (á excepción del mercurio), y se distinguen exteriormente por la propiedad bien conocida del brillo metálico, por una conductibilidad considerable generalmente para el calor y la electricidad, etc., etc. También se dividen en metales ligeros y metales pesados; los primeros, dotados de un peso específico inferior á cinco, y comprendiendo los elementos metálicos de los álcalis y tierras que no se encuentran libres en la naturaleza y tienen para el oxígeno una afinidad extraordinaria que dificulta mucho su obtención en estado de pureza. Los últimos son más fácilmente reductibles, y, por consiguiente, son más conocidos, pues su estabilidad ha dado lugar á diversas aplicaciones.

La clasificación referida de los elementos químicos nació en una época en que se atribuía á los metales una serie de propiedades, como el brillo, la conductibilidad para el calor y la electricidad, un peso específico superior á 6, la opacidad, etc., que se estimaban exclusivamente propias, y, por tanto, características de los mismos. Pero sabemos hoy que ninguna de esas propiedades físicas corresponde exclusivamente á los metales: el yodo, el teluro y el grafito (carbono) tienen brillo metálico; el teluro es conductor del calor, y el grafito, selenio y otros, de la electricidad; el peso específico del teluro pasa de 6, y hay metales, como el potasio y el sodio, que flotan sobre el agua. Entre metal y metaloide, pues, no existe límite bien definido, y es tan imposible separarlos como empresa vana es querer clasificar exactamente los cuerpos naturales.

En el cuadro siguiente se hallan reunidos todos los elementos, por orden alfabético de sus nombres, así como los signos y pesos atómicos correspondientes:

Cuadro de los cuerpos simples de la Química.

NOMBRES	Signos	PESOS atómicos.	NOMBRES	Signos.	PESOS atómicos
Aluminio	Al.	27,4	Magnesio	Mg.	24
Antimonio	Sb.	122	Mercurio	Hg.	200
Arsénico	As.	75	Molibdeno	Mo.	96
Azufre	S.	32	Niobio	Nb.	94
Bario	Ba.	137	Níquel	Ni.	59
Bismuto	Bi.	210	Nitrógeno	N.	14
Boro	B.	11	Oro	Au.	196
Bromo	Br	80	Osmio	Os.	199,2
Cadmio	Cd.	112	Oxígeno	O.	16
Calcio	Ca.	40	Paladio	Pd.	106
Carbono	C.	12	Plata	Ag.	108
Cerio	Ce.	140	Platino	Pt.	194,5
Cesio	Cs.	133	Plomo	Pb.	207
Cloro	Cl.	35,5	Potasio	K.	39
Cobalto	Co.	59	Rodio	Rh.	104
Cobre	Cu.	63,4	Rubidio	Rb.	85,4
Cromo	Cr.	52	Rutenio	Ru.	104,4
Didimio	Di.	147	Selenio	Se.	79
Erbio	E.	166	Silicio	Si.	28
Escandio	Sc.	44	Sodio	Na.	23
Estaño	Sn.	118	Talio	Tl.	204
Estroncio	Sr.	87,3	Tántalo	Ta.	182
Fluor	F.	19	Teluro	Te.	127
Fósforo	P.	31	Titano	Ti.	48
Galio	Ga.	68	Torio	Th.	231,5
Glucinio	Gl.	9,4	Tungsteno	W	184
Hidrógeno	H.	1	Urano	U.	120
Hierro	Fe.	56	Vanadio	V.	51,3
Indio	In.	113,5	Yodo	I.	127
Iridio	Ir.	193	Yterbio	Yt.	173
Lantano	La.	139	Ytrio	Y.	93
Litio	Li.	7	Zinc	Zn.	65
Manganeso	Mn.	55	Zirconio	Zr.	90

La cuestión de si todas estas sustancias son real y positivamente cuerpos simples, no puede ser resuelta con certeza absoluta; se admite que lo sean entre tanto que la ciencia no ofrezca ningún medio para demostrar lo contrario. Pero sucede á veces que uno de estos elementos se revela cual un cuerpo compuesto, y algunas observaciones de este género hacen sospechar la posibilidad de que el número de los cuerpos simples de la química pueda experimentar todavía nuevas reducciones. Así, por ejemplo, el yargonio pareció ser un nuevo elemento descubierto por Sorby, quien había demostrado su existencia en ciertos jacintos (piedras preciosas); se distinguía del zirconio por un espectro perfectamente definido de catorce rayas oscuras. Pero bien pronto el mismo Sorby dió

á conocer su error, pues había tomado por un espectro único elemental una combinación de los espectros del urano y zirconio, viniendo á ser borrado de la lista correspondiente el pretendido nuevo elemento. Lo mismo que al yargonio ha ocurrido ya á gran número de presuntos cuerpos simples que, más pronto ó más tarde del supuesto descubrimiento, han tenido que dejar un puesto que no les correspondía. Al grupo de los elementos dudosos en la actualidad pertenecen, á más de los ya citados *dicipium*, *holmium*, etcétera, los llamados *mosandrium*, *norwegium*, *philippium*, *terbium*, y otros varios. Lo que se tomó en un principio por titano no era un elemento, según demostró Woehler, sino una combinación nitrogenada de nuestro actual elemento titano. Lo dicho, sin embargo, no excluye la posibilidad de que existan todavía elementos desconocidos, que con el tiempo vengan á aumentar el número de los citados, y, por lo tanto, no debe considerarse como fijo dicho número, sino, por el contrario, como variable con los progresos de la ciencia.

Sobre la naturaleza de la materia.—Los conocimientos relativos á la manera cómo los cuerpos simples forman entre sí combinaciones químicas más ó menos complicadas, nos han permitido llegar á formar cierto concepto de la Naturaleza ó, como se suele decir, de la estructura de la materia. Sin embargo, hasta hoy no se ha conseguido formular una hipótesis que pueda explicar todas las modificaciones físicas y químicas conocidas de un cuerpo, por más que este problema se haya discutido con empeño por los naturalistas y filósofos desde época muy antigua.

Se admite, en efecto, que todo cuerpo es, en último resultado, un agregado de partículas materiales sumamente pequeñas, físicamente indivisibles, que se llaman *moléculas*, voz derivada del diminutivo de *moles*, que significa masa. La divisibilidad de la materia no debe considerarse, según esto, como ilimitada, sino que conduciría á estas últimas partecillas ó moléculas. Para explicar toda la serie de fenómenos físicos, en particular los diferentes estados de agregación (sólido, líquido, gaseoso), y su transformación mediante elevación ó descenso de la temperatura (fusión, vaporización, condensación de los gases, solidificación de los líquidos) se hace la nueva suposición de que las moléculas no se hallan inmediatamente juntas, sino que dejan entre sí pequeños intersticios. La materia, se dice, es porosa; el calor aumenta los espacios intermoleculares ó poros; el enfriamiento los reduce.

Imaginemos por un momento que poseyéramos un microscopio capaz de permitirnos reconocer la estructura de la materia, y que observáramos con é una espícula de hielo; aparecería ante nuestra vista una imagen semejante á la representada por la fig. 14, esto es, un agregado de moléculas de hielo separadas entre sí por espacios estrechos. Si ahora calentáramos la pequeña espícula de hielo de suerte que se fundiera, convirtiéndose en una gotita de agua, observaríamos en su imagen microscópica (fig. 15) que las moléculas de agua se

hallan separadas por espacios mayores. Por último, calentando todavía más la gotita, la transformaríamos en vapor de agua, con lo cual crecerían también considerablemente los espacios entre las diferentes moléculas (fig. 16). Enfriándose volverían á aproximarse las moléculas; el vapor de agua se condensaría en una gotita líquida, la cual, por último, se congelaría en una espícula de hielo, y suponiendo que pudiéramos seguir microscópicamente estos fénomenos, se nos presentarian sucesivamente tres imágenes como las de las figuras 16, 15 y 14.

Ahora bien; sabido es que el agua, uno de los antiguos elementos aristoté-

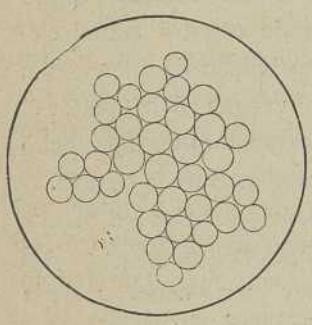


FIG. 14.
Moléculas de una espícula de hielo.

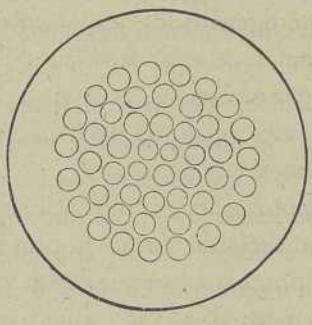


FIG. 15.
Moléculas de una gotita de agua.

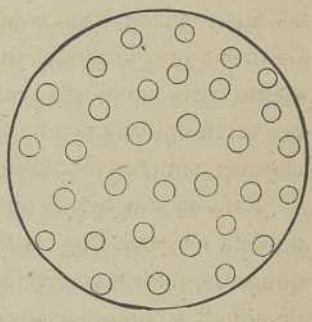


FIG. 16.
Moléculas de vapor de agua.

licos, dista mucho de ser un cuerpo simple desde el punto de vista químico, sino que ha sido reconocida como un compuesto de hidrógeno y oxígeno.

Estos dos componentes deben, pues, hallarse en cada molécula de agua, es decir, que las moléculas indivisibles por medios físicos ó mecánicos, son todavía divisibles *químicamente*, y estas partes integrantes, sólo separables por la descomposición química, se llaman *átomos*. En este concepto, se diferencian los elementos de los compuestos químicos en cuanto que los primeros constan de moléculas formadas por átomos de una misma especie, mientras que las moléculas de los segundos contienen átomos heterogéneos.

Los pequeños croquis adjuntos están destinados á poner en evidencia estas relaciones; *a*, representa una molécula de sulfuro ferroso, combinación de azufre y hierro; *b* y *c*, moléculas de azufre y hierro respectivamente; en cada una de estas moléculas se ven los correspondientes átomos.



Átomo de hierro.
Átomo de azufre.

a. Molécula de sulfuro ferroso.



Átomo de azufre.
Átomo de azufre.

b.—Molécula de azufre.



Átomo de hierro.
Átomo de hierro.

c.—Molécula de hierro.

De suerte que para determinar científicamente los conceptos modernos de átomo y molécula, diremos: Los átomos son las mínimas porciones de materia simple, indivisibles por las acciones físicas y químicas, contenidas en las moléculas ó que pueden entrar á formar parte de ellas; mientras que debemos entender por moléculas las más pequeñas porciones de materia, no divisibles

ya físicamente, pero que, á diferencia de los átomos, pueden resolverse en éstos durante las reacciones químicas, y existir en estado libre.

Así como todos los fenómenos físicos afectan sólo á las moléculas de los cuerpos, en los fenómenos químicos tienen participación directa los átomos mismos. Al combinarse químicamente, por ejemplo, el hierro y el azufre, lo que sucede es ni más ni menos que las moléculas de hierro (*c*) y las moléculas de azufre (*b*) dejan de existir como tales, y sus átomos se unen entre sí de nuevo, formando moléculas (*a*) de sulfuro ferroso. Por el contrario, la descomposición de una combinación química en sus elementos equivale á la transformación de las moléculas de átomos heterogéneos (*a*) en moléculas de átomos iguales (*b* y *c*). La causa por la que los átomos de uno, dos ó más elementos se unen químicamente entre sí, constituyendo moléculas, se llama *afinidad;* las moléculas á su vez están unidas por una fuerza física que se llama cohesión y forman así los cuerpos, simples ó compuestos.

Para aclarar estos conceptos puede sernos útil un ejemplo, y elegiremos la pólvora de caza. Por las indicaciones hechas á propósito de las combinaciones químicas, podría creerse á primera vista que dicha pólvora fuera también una de aquellas combinaciones, porque no es posible reconocer, en medio de su negruzca masa, las primitivas partes integrantes, el azufre de color amarillo y el nitro blanco. Pero bastaría que colocáramos uno de sus granos sobre nuestra lengua para que percibiéramos el sabor salino del salitre; lo mismo, si tratamos la pólvora por agua, se disuelve inmediatamente el nitro ó salitre, y los otros dos componentes (azufre y carbón) pueden también separarse uno del otro por levigaciones repetidas, en virtud de su diferente densidad, que hace que el azufre tarde más en posarse en el fondo de las vasijas. Se deduce de estos hechos que la pólvora no es un compuesto químico, es decir, un conjunto de moléculas todas iguales entre sí, en que los átomos correspondientes están unidos por la afinidad, y dotados de propiedades especiales características, sino que es una mezcla de moléculas de nitro, azufre y carbón, adheridas tal vez en virtud de fuerzas físicas, pero que conservan cada una de ellas sus propiedades particulares, solubilidad, densidad, etc. Sólo cuando la pólvora se inflama se originan con los átomos de estas moléculas otras nuevas por reacciones químicas, pasando los átomos de oxígeno contenidos en el nitro en estado sólido á formar, con los de azufre y carbono, otros cuerpos gasiformes, cuyo volumen, en este estado y á la temperatura á que les lleva el calor desprendido en la reacción, explica la fuerza explosiva de dicha mezcla.

Un indicio muy característico de la realización de una reacción química es el desarrollo del calor; de suerte que cuando al mezclar dos cuerpos se manifiesta un desprendimiento de calor en estado libre, casi puede asegurarse que se ha verificado entre ellos una reacción química. Así, por ejemplo, todo el mundo sabe que al rociar con agua la cal viva, la masa se calienta extraordina-

riamente, y, en efecto, la cal y el agua se combinan, dando origen á la cal hidratada, ó, como se dice hoy entre los químicos, al hidróxido de calcio. La arcilla, por el contrario, sea natural, sea calcinada, no se calienta nada al rociarla con agua, y, en efecto, en este caso sólo tiene lugar una mezcla, no una combinación química. Ahora bien; el calor que queda libre en el acto de una combinación química, el *calor de combinación*, es para cada sustancia una cantidad perfectamente determinada y constante. Pueden obtenerse estas cantidades por métodos experimentales, y se expresan en calorías, no sólo para las combinaciones de los elementos mismos, sino también para las de los cuerpos compuestos entre sí. Hoy día se han determinado ya estos calores de combinación para un gran número de cuerpos, y particularmente Berthelot ha prestado á la ciencia, en estos últimos años, un servicio importantísimo con la creación de esa parte de la química moderna.

Con respecto á la afinidad química á que antes nos hemos referido, y según cuyas leyes se combinan entre sí los cuerpos, no debe creerse, como parece indicar la frase, que existe de preferencia semejante fuerza de combinación entre los elementos que se aproximen más por sus caracteres químicos, y, en general, por sus propiedades particulares; todo al contrario, se manifiesta más bien generalmente la máxima inclinación á combinarse entre los elementos cuyas cualidades químicas son lo más antitéticas. En rigor, pues, y atendiendo á esta circunstancia, el nombre *afinidad* no está muy bien elegido.

Así como se admite que ni las moléculas ni los átomos se hallan en contacto dentro de los cuerpos, es forzoso también admitir que en el acto de combinarse dos ó más elementos no tiene lugar ninguna función ó compenetración entre sus átomos, sino simplemente una juxtaposición de éstos, tal que todavía dejen entre sí espacios intermedios. Sólo así pueden explicarse satisfactoriamente multitud de fenómenos físicos y químicos.

En la tabla de los elementos que ofrecemos en la pág. 56 están consignados también los pesos atómicos, acerca de cuya significación debemos ocuparnos más detenidamente. En efecto; junto con los caracteres ya citados, propios de la producción de una reacción química, llama también la atención, como condición igualmente esencial, la de las *proporciones cuantitativas*, según las cuales se unen entre sí los elementos. Si, por ejemplo, se quiere producir una combinación entre dos elementos cualesquiera, en modo alguno es indiferente la proporción que se tome de cada uno de ellos; antes al contrario, se reconoce la existencia de leyes sobre el particular, en cuya virtud estas proporciones ponderales, según las que se combinan los elementos, se mantienen eternamente constantes. Lo mismo sucede con las otras reacciones químicas más complejas que se verifican en los cuerpos compuestos.

Ahora bien; la cuestión de cuánto se tiene que tomar de dos ó más sustancias para obtener una combinación química entre ellas, puede resolverse en

dos sentidos distintos, es á saber: cuánto en volumen, ó cuánto en peso. Pero mientras que las proporciones en peso pueden establecerse sólidamente para todos los cuerpos, esta determinación no es siempre posible por la experiencia directa en cuanto á las proporciones de volumen. En efecto, no es posible comparar entre sí volúmenes en distintos estados de agregación. Así, por ejemplo, no debe establecerse las proporciones de volumen en que se combinan el azufre y el oxígeno, tomando el primero en estado sólido y el segundo en estado gaseoso, sino que es preciso tomarlos ambos en este último estado y á la misma presión y temperatura. Resulta además que para la determinación de las proporciones en volumen de los cuerpos sólo puede tenerse en consideración el estado gaseoso, pues sólo en éste son susceptibles de exactitud estas mediciones en relación con la presión y temperatura, y pueden también considerarse como nulas las fuerzas de cohesión molecular que en los estados físicos ejercen una influencia variable sobre las distancias entre estas moléculas mismas. En algunos casos, sin embargo, es posible por medios indirectos realizar el objeto: cuando un elemento sólido contrae con otros gaseosos combinaciones tambien gaseosas ó volátiles, cuyo volumen y densidad pueden determinarse en tal estado. Ejemplo de esto nos ofrece el carbono, que todavía no ha podido obtenerse en estado gaseoso, mientras que lo están en sus combinaciones con el oxígeno, el ácido carbónico y el óxido de carbono. Conocidos los pesos específicos del oxígeno y sus compuestos, es fácil calcular qué volumen de vapor de carbono contiene un volumen determinado de ácido carbónico gaseoso, por ejemplo.

Al determinar las proporciones de volumen en que se verifican las combinaciones, se ha descubierto una marcadísima sencillez en los valores numéricos en un grado, del cual distan mucho las proporciones ponderales mucho más complicadas.

Además de las proporciones en peso y en volumen hay que tener en cuenta las proporciones atómicas que indican cuántos átomos de los elementos que se combinan, entran en acción. Lo mismo podría decirse de las moléculas. Estas últimas proporciones sólo pueden calcularse partiendo de una hipótesis, pero hipótesis de cuya exactitud apenas es posible dudar en el día. En efecto; según una ley establecida por Avogadro, y cuya significación precisa determinó Ampère, los *volúmenes iguales de gases á una misma presión y temperatura contienen el mismo número de moléculas*. La conducta de los gases, casi idéntica para todos, en presencia de los fenómenos que tienden á comprimirlos y del calor que tiende á aumentar la fuerza viva de sus moléculas, y con ella su temperatura y su volumen, son otros tantos hechos que hablan en favor de la exactitud de esta ley. Resulta también de ella que no sólo las moléculas de los cuerpos compuestos, sino también las de los cuerpos simples, constan de varios átomos, dos por lo menos, y, por último, que los átomos sólo existen en el estado libre, en el instante en que se trasladan de unas á otras moléculas durante las reacciones,

ó sea en lo que se llama su «estado naciente». Antes de combinarse unos con otros, los elementos se hallan sólo en estado molecular, es decir, reunidos en grupos sus átomos homogéneos, de suerte que se saturen ya en parte recíprocamente sus afinidades.

Por esta hipótesis se explica de un modo satisfactorio por qué la acción de los elementos es mucho más enérgica en el momento en que se separan de una combinación, que cuando se hallan en estado libre. El hidrógeno libre, por ejemplo, actúa muy débilmente sobre la mayor parte de las sales y óxidos metálicos, que no reduce si no es á la temperatura de incandescencia roja. Por el contrario, en estado naciente, como, por ejemplo, cuando ciertos metales lo desprenden reaccionando con ácidos diluídos, obra ya á la temperatura ordinaria como un enérgico agente reductor. En ese momento en que son puestos en libertad, los átomos de un elemento poseen, para combinarse con los de otro, formando moléculas compuestas, toda la afinidad para con ellos disponible, sin que tenga que emplearse una parte de ella en la separación de los átomos homogéneos que forman las moléculas de los cuerpos simples en estado de libertad.

Por último, algunos elementos pueden aparecer en dos ó más estados diferentes (modificaciones ó estados alotrópicos), en los cuales, y á pesar de ser la misma la materia de que están formados, poseen propiedades diversas. Ejemplo de esto ofrecen el oxígeno en el ozono, el carbono en el grafito y el diamante, el fósforo común y el amorfo, etc. Estas notables particularidades pueden explicarse también muy fácilmente con la admisión de un número diferente de átomos en las moléculas de esos elementos, cuya suposicion se ha encontrado comprobada ya en varios casos, como, por ejemplo, en las dos modificaciones alotrópicas del oxígeno, de las cuales la ordinaria se compone de moléculas de dos átomos, mientras que las del ozono constan de tres.

Por medio de un ejemplo puede quedar evidenciado cómo, partiendo de la ley de Avogadro y Ampère, y mediante consecuencias que se desprenden sencillamente de ella, se llega á la conclusión de que las moléculas de hidrógeno y de cloro constan unas y otras de dos átomos cada una. Se ha demostrado, mediante investigaciones exactas, que el hidrógeno y el cloro se combinan entre sí por volúmenes exactamente iguales, sin que tenga lugar en la combinación de ambos gases ninguna condensación, sino que el gas clorhídrico que resulta ocupa un volumen igual á la suma de los volúmenes de hidrógeno y cloro, naturalmente supuesta igual presión y temperatura. Si, pues, se combinan un litro de hidrógeno y un litro de cloro, se forman dos litros de gas clorhídrico. Si admitimos, para mayor sencillez, que en dicho litro de hidrógeno estén contenidas 1.000 moléculas (claro es que en realidad el número es infinitamente superior), en el litro de cloro habrá otras 1.000 moléculas, según la ley referida. Por su combinación resultan dos litros de gas clorhídrico, en los cuales están conte-

nidas las 1.000 de hidrógeno y las 1.000 moléculas de cloro, ó sean 2.000 moléculas de ambos elementos. Por consiguiente, en un litro de gas clorhídrico deben existir 1.000 moléculas; y como cada una de éstas contiene cloro é hidrógeno, se compondrá, por lo menos, de un átomo de cloro y un átomo de hidrógeno. Pues bien; según la ley de Avogadro, volúmenes iguales (por ejemplo, cada litro) contienen igual número de moléculas; por consiguiente, si un litro de gas clorhídrico contiene 1.000 moléculas de á dos átomos cada una, un litro de hidrógeno contendrá 1.000 moléculas, ó 2.000 átomos, y lo propio sucederá con un litro de cloro; las moléculas de estos elementos se componen, pues, de dos átomos.

Sentado esto, se ha encontrado, por investigaciones exactas, que un litro de cloro pesa, á igual presión y temperatura, 35,5 veces más que un litro de hidrógeno. El número 35,5 expresa, pues, la relacion ponderal, según la cual se combinan el cloro y el hidrógeno. En otros términos; si un número determinado de átomos de hidrógeno pesa uno, el mismo número de átomos de cloro pesa 35,5. Cada átomo de cloro es, pues, 35,5 veces más pesado que un átomo de hidrógeno, y el número 35,5 no sólo representa el peso de combinación (ó equivalente) del cloro, sino también su peso atómico.

Por estas consideraciones queda, pues, esclarecido el concepto de los *pesos atómicos* que han sido determinados para los elementos consignados en el cuadro de la pág. 56, mediante investigaciones muy exactas, relativas á proporciones de peso y de volumen, según las cuales se combinan.

Como quiera que las moléculas son un conjunto de átomos, se distingue bajo el nombre de *peso molecular* la suma de los pesos correspondientes á los diferentes átomos contenidos en cada una de ellas. Dividido este peso molecular por el peso relativo ó específico de cada sustancia, se obtiene lo que se llama *volumen molecular*, que es igual á 28,9 para todos los cuerpos gaseosos, cuando se toma el aire por unidad de pesos relativos, y á dos cuando se refieran éstos al hidrógeno como unidad.

Con objeto de que puedan apreciarse con más claridad por el lector, presentaremos en cuadro las relaciones que se deducen del anterior ejemplo sobre el gas clorhídrico:

	H (HIDRÓGENO)		Cl (CLORO)	
Proporción en volumen....	1 volumen H	+	1 volumen Cl,	dan 2 H Cl.
Ó bien.....	2	H +	2	dan 4 H Cl.
Proporción en peso	1 parte de H	+	35,5 Cl,	dan 36,5 H Cl.
Proporción en átomos.....	1 átomo de H	+	1 átomo Cl,	dan 1 molécula H. Cl.

Pero no todos los cuerpos simples gaseosos se combinan con el hidrógeno en la proporción de volúmenes 1: 1, como sucede con el cromo, bromo, yodo y fluor. El oxígeno, el azufre en vapor, el selenio en vapor, se combinan con el hidrógeno

en la proporción de uno á dos volúmenes; es decir, que en los dos volúmenes del hidrógeno viene á acumularse un volumen de oxígeno más. El nitrógeno se combina con el hidrógeno en la proporción de uno á tres volúmenes; pero el producto gaseoso de esta combinación toma un volumen de dos. De suerte que, por ejemplo, en la combinación de dos volúmenes de hidrógeno con un volumen de oxígeno formando vapor de agua, hay una condensacion de tres volúmenes á dos volúmenes; en la combinación de tres volúmenes de hidrógeno con un volumen de nitrógeno formando amoniaco, tiene lugar una condensación de cuatro volúmenes á dos volúmenes.

Para el agua, son como sigue todas estas relaciones cuantitativas:

	H (HIDRÓGENO)	O (OXÍGENO)	
Proporción de volumen.....	2 v. H +	1 v. O,	dan 2 v. vapor de agua.
Proporción en peso.....	2 p. H +	16 p. O,	dan 18 p. agua.
Proporción atómica...	2 a. H +	1 a. O,	dan 1 molécula de agua.

La proporción ponderal, en que el hidrógeno y el oxígeno están contenidos en el agua, es, pues, 2 : 16 ó sea 1 : 8. Mientras que el número 18 expresa el peso molecular del agua y el 16 el peso atómico del oxígeno, el núm. 8 expresa lo más sencillamente la proporción según la cual se combinan *O* é *H* para formar agua. El núm. 8 se llama el *equivalente* ó *peso proporcional* del oxígeno, y es, como hemos, visto la mitad de su peso atómico. Esto mismo tiene lugar en un gran número de elementos: su equivalente (es decir, el número más pequeño que expresa la relación de peso en que se combina con otros cuerpos simples) es doble de su peso atómico referido al del átomo de *H* como 1, mientras que el resto de los elementos posee un equivalente igual á su peso atómico.

Recientemente ha venido Mendelejeff en conocimiento de una ley probable, referente á los pesos atómicos de los elementos, clasificando éstos con arreglo á ella. Aun ha llegado por tal camino á determinar con mayor ó menor acierto elementos de cuya existencia no se tiene noticia, uno de los cuales, llamado por él *ekaluminium*, coincide efectivamente con el galio descubierto poco después.

Los signos consignados en la tabla de la pág. 56 para designar los elementos, llenan al mismo tiempo otro fin, pues significan también la proporción de peso según la cual se combinan, ó, mejor, su peso atómico respectivo. Así, por ejemplo, *Cl* no expresa simplemente cloro, sino precisamente 35,5 partes de cloro; *O*, no oxígeno en cantidad indeterminada, sino 16 unidades ponderales de él.

Para la representación de una combinación química se escriben unos al lado de los otros los signos de los elementos de que consta, y se designa por pequeñas cifras ó exponentes el número de átomos de cada uno, ó más bien las

proporciones atómicas. Así, por ejemplo, el agua se representa por H_2O, el gas ácido carbónico por CO_2, el amoniaco por NH_3. Ahora, como el peso atómico del carbono es igual á 12 y el del oxígeno á 16, la fórmula CO_2 dice que 44 partes en peso de ácido carbónico, contienen 12 partes de carbono y $2 \times 16 = 32$ partes de oxígeno; del mismo modo, en 17 partes de amoniaco, NH_3, existen 14 partes de nitrógeno (su peso atómico) y 3 partes de hidrógeno ($3 \times 1 = 3$). La mayor parte de los elementos pueden combinarse entre sí en diferentes proporciones; pero los números que corresponden á esas proporciones son siempre múltiplos sencillos de los pesos atómicos respectivos.

Las combinaciones químicas que se originan directamente por la unión de dos ó más elementos son, en general, capaces de dar origen á nuevas combinaciones, con frecuencia mucho más complejas, y se observa acerca de esto que también es entre los compuestos que manifiestan la mayor diversidad en sus propiedades físicas y químicas, entre los que existe mayor tendencia á la combinación, y ésta es más enérgica. Esta oposición particular en el carácter de los compuestos químicos es lo que se designa con el nombre de *acidez* y *basicidad*, y de aquí que suelan establecerse en aquéllos dos grandes grupos principales: el de los *ácidos* y el de las *bases*, á los cuales puede agregarse el de los cuerpos *indiferentes*.

No es posible dar una explicación precisa de los conceptos á que responden las palabras *base* y *ácido*; sólo puede decirse, por ahora, que son cuerpos que reaccionan entre sí, dando origen á combinaciones en que, según las proporciones, quedan neutralizadas total ó parcialmente las primitivas propiedades antagónicas del ácido y la base.

Estas nuevas combinaciones así originadas se llaman *sales*, y según que subsistan en ellas caracteres de uno ú otro género, ó que la saturación sea completa, se apellidan sales básicas y sales neutras.

Aparte de su capacidad para reaccionar recíprocamente, no existe ningún signo que pueda caracterizar á todas las bases, por una parte, y para todos los ácidos, por otra. Sólo los ácidos solubles en agua poseen el sabor agrio, así como las bases solubles el alcalino; por último, tampoco pueden alterar el color de muchas materias colorantes, más que los ácidos solubles. Así, por ejemplo, la materia colorante del tornasol violeta por sí sola, coloreada en azul por las bases, se vuelve roja por medio de los ácidos solubles; la materia colorante de la cúrcuma, coloreada en rojo pardusco por las bases solubles, se vuelve amarilla por la acción de los ácidos solubles. Saturando los ácidos por las bases se reproduce el color neutral, y mediante un exceso de la base soluble, vuelve la coloración característica de la base, y así sucesivamente. La fenolftaleína (gris) se hace roja violácea por las bases, y los ácidos la decoloran. La coralina se hace roja por las bases, amarilla por los ácidos, etc.

Estos cambios de color son de gran importancia para la química práctica, puesto que nos suministran un medio para reconocer si al reaccionar las bases con los ácidos se produce ó no la saturación. No debemos ocultar, sin embargo, que la coloración roja del tornasol, por ejemplo, no es una propiedad exclusiva de los ácidos, toda vez que algunas sales neutras (como el sulfato ferroso) y aun sales dobles (como el alumbre), enrojecen también el tornasol azul.

La cualidad de formar bases combinándose con el oxígeno pertenece particularmente á los llamados metales, mientras que los elementos no metálicos forman ácidos de preferencia. Sin embargo. también muchos metales, uniéndose con cantidades de oxígeno superiores á las necesarias para la formación de bases, forman ácidos, como, por ejemplo, el ácido mangánico (MnO_3), e permangánico (Mn_2O_7), el ácido crómico (CrO_3), el ácido túngstico (WO_3), etc.

Tanto las bases como los ácidos manifiestan, en esta capacidad de combinación, una energía variable. De aquí que se hable de ácidos ó bases enérgicos y débiles. Entre las bases más potentes se encuentran: la potasa ú óxido de potasio (K_2O), la sosa ú óxido de sodio (Na_2O), la cal ú óxido de calcio (CaO), la barita ú óxido de bario (BaO), el óxido de plomo (PbO) y otras; entre los ácidos más enérgicos se tiene: el sulfúrico (SO_3), nítrico (N_2O_5), fosfórico (Ph_2O_5), silícico (SiO_2), este último sobre todo á temperaturas muy elevadas.

En cuanto á la constitución de las sales, antes era general la idea de que la base y el ácido que concurrían á formar una sal subsistían como tales dentro de ella, y que, por consiguiente, se podían en cierto modo distinguir dos partes en toda sal: la base y el ácido; á esta teoría se llamó *dualista*. Hoy día se ha adoptado por todo el mundo la llamada teoría *unitaria*, según la cual no hay que pensar ya en el ácido y la base como existentes dentro de la sal. De aquí que no se escriban tampoco las fórmulas de las sales como antes. La fórmula dualística del carbonato cálcico, por ejemplo, era CaO,CO_2 (la base y el ácido separados por una coma), y la nueva manera de expresarla es: $CaCO_3$; y para que nada recuerde la teoría dualística, en vez de carbonato de cal que antes se decía, se dice ahora carbonato cálcico. Y lo que decimos respecto á esta sal, se aplica igualmente á todas las demás.

En las teorías modernas relativas á la constitución de los ácidos, se refieren estos cuerpos al tipo de la molécula de agua H_2O ó H—O—H, admitiendo que los ácidos son en cierto modo agua, cuyo hidrógeno ha sido reemplazado en su mitad por una radical oxigenada, ó también muchas veces por su elemento. Estos cuerpos son los que hoy se llaman *hidratos ácidos*, ó ácidos propiamente dichos, mientras que los compuestos correspondientes, que no contienen hidrógeno, se llaman *anhídridos ácidos*. Así, el cuerpo SO_3, que antes se llamaba ácido sulfúrico, se llama hoy anhidrido sulfúrico, y el ácido sulfúrico actual es un cuerpo correspondiente á la fórmula SO_4H_2 (igual á $SO_3 \times H_2O$).

Lo mismo sucede con las bases, llamándose actualmente *hidratos básicos* á

los compuestos en que entran los elementos de los óxidos metálicos más los del agua, y á estos últimos *óxidos anhidros* ó *anhídridos*.

Según estas mismas teorías, las sales se pueden considerar, bien como derivadas de los hidratos básicos por sustitución de su hidrógeno por una radical de ácido, ó bien de los hidratos ácidos por sustitución de su hidrógeno por una radical metálica.

Las sales son muy diversas entre sí por sus caracteres exteriores. Las hay blancas ó incoloras, amarillas, rojas, azules y pardas. Para la mayor parte de ellas es muy característica la cristalización en formas generalmente bien determinadas y especiales para cada una. Siempre que son solubles, muestran un gusto particular, diferente del de los ácidos y las bases. Por último, muchas sales pue den unirse al agua en combinaciones cristalizadas perfectamente determinadas,- en las cuales casi no se sospecha la presencia de tan grandes cantidades de agua.

Las sales que contienen dos elementos metálicos diferentes, se llaman *sales dobles*, de las que una de las más conocidas es el alumbre, constituído, según las teorías antiguas, por una combinación de sulfato de potasa y sulfato de alúmina con agua, y según las teorías modernas, por ácido sulfúrico, en que el hidrógeno ha sido sustituído por aluminio y potasio. Compuestos de complicación semejante se encuentran en la Naturaleza, formando minerales en bastante abundancia la dolomia, leucita, granates, etc. Se les representa separando por un signo + las fórmulas de las sales que los constituyen y encerrando el conjunto en un paréntesis, ó escribiéndolas sencillamente unas al lado de las otras; por ejemplo, el alumbre $[K_2SO_4. + Al_4(SO_4)_3] + 24\ H_2O$ — ó $K_2SO_4. Al_2\ (SO_4)_3. 24H_2O$. Las cifras $24H_2O$ designan que el alumbre cristaliza con 24 moléculas de agua.

En estas sales dobles tenemos ocasión de observar una particularidad de algunos elementos y de sus combinaciones, sumamente interesante. Fijémonos, por ejemplo, en el alumbre, que podemos preparar directamente mezclando en las proporciones correspondientes el sulfato potásico y el sulfato alumínico disueltos en agua. Evaporando, se separan del líquido hermosos cristales octaédricos, que son completamente distintos de los cristales de sulfato potásico y de los de sulfato alumínico. Poseen también un gusto especial, y por esto sólo, aparte de sus demás caracteres, son considerados como una especie química independiente, que llamamos alumbre. Pero si ahora tomamos la misma cantidad de sulfato potásico y una cantidad inferior de sulfato alumínico, añadiendo en cambio sulfato férrico á la disolución, se observa que éste penetra sin duda en la combinación que hemos llamado alumbre; obtenemos cristales de la misma forma, sólo que éstos no son ya blancos, sino que, según la cantidad del sulfato férrico que entra en él en lugar de la sal alumínica, aparecen coloreados en verde más ó menos intensamente. Es más; podemos prescindir por completo del sulfato alumínico y sustituirlo todo por sulfato férrico, sin que se produzca cambio alguno en la forma cristalográfica del alumbre férrico así for-

mado. Del mismo modo podemos también preparar un alumbre constituído por sulfato potásico y sulfato crómico, y cuya cristalización coincide completamente con la de los anteriores. Alúmina, óxido férrico y óxido crómico pueden, pues, sustituirse recíprocamente en sus combinaciones, sin que experimente modificación la constitución química de éstos, expresada por fórmulas generales, y conservan cierta constancia en sus propiedades físicas que les dan una fisonomía común, como se observa en muchos minerales, á pesar de las considerables diferencias que resultan naturalmente de estas sustituciones en las relaciones cuantitativas. En los granates, por ejemplo, las citadas bases mineralógicas, alúmina y óxido férrico (combinadas con el ácido silícico), se presentan en proporciones recíprocas muy variables, y aun existe una variedad (*uwarowita*) que casi no contiene nada de alúmina ni óxido férrico, cuyos puestos se hallan completamente ocupados por el óxido crómico. Una propiedad notable de estas sustancias análogas, es la de cristalizar con la misma forma cristalográfica, y la de asociarse en cualesquiera proporciones para la formación de estos cristales. Esta cualidad se llama *isomorfismo*. Los octaedros regulares de los alumbres no se alteran, pues, porque el sulfato de alúmina sea reemplazado por 1, 2, 5, 7 ó más por 100 de sulfato férrico. Encontramos otra serie de bases isomorfas en la cal, magnesia, óxido ferroso, óxido manganoso y óxido de cinc; los ácidos sulfúrico, crómico, selénico y mangánico por una parte, y los fosfórico y arsénico por otra, representan grupos de ácidos isomorfos.

Esta ley del isomorfismo es de la mayor importancia para la apreciación de la naturaleza química de multitud de combinaciones, pues como que los isomorfos son muy numerosos y forman entre sí grupos muy bien determinados, hay muchos casos en que sólo con su auxilio es posible llegar á expresar, mediante fórmulas relativamente sencillas é inteligibles, la composición química, á menudo muy complicada, de ciertos cuerpos, particularmente de los minerales.

Al lado del oxígeno, poseen también la cualidad de formar (en proporción considerable) bases, ácidos, y, por consiguiente, también sales, algunos otros cuerpos simples, particularmente el azufre y sus análogos el selenio y el teluro. En contraposición á las formadas por el oxígeno (oxisales), las sales correspondientes á estos otros elementos se llaman sulfosales, selenisales y telurisales. También el cloro, bromo, yodo y fluor forman con los metales ciertas combinaciones que se asemejan por varios conceptos á las sales propiamente dichas, y que se llaman sales haloideas.

Todavía es mucho mayor la variedad de los compuestos estudiados en la llamada química orgánica que la de los pertenecientes á la química inorgánica. Aquélla se ocupa principalmente de las combinaciones químicas que se desarrollan en los organismos vegetales y animales por la actividad vital. A pesar del corto número de materias elementales de que están formados los tejidos orgánicos (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y á veces también azufre),

pueden combinarse estos elementos entre sí en proporciones tan diversas, que dan origen á miles y miles de nuevos cuerpos. Pero no sólo pertenecen á la química orgánica los compuestos engendrados directamente por los animales y las plantas, sino también los mucho más numerosos productos de descomposición de aquellos compuestos, y además sus combinaciones de todas clases con otros elementos. Se ha llegado á producir artificialmente muchas sustancias pertenecientes á las combinaciones orgánicas, construyéndolas, como por pisos sucesivos, á manera de un edificio y partiendo de elementos inorgánicos, y luego por transformación de unas en otras, pero sin que la actividad vital tomara la menor parte en este proceso. No tenemos más que recordar la alizarina artificial, el añil artificial, la úrea, etc., etc. Si no para la práctica, es también muy importante para la teoría, y en extremo interesante, que el benzol (bencina), la base de la llamada serie aromática, se pueda formar con el acetileno, por la reunión en una de tres moléculas de éste, y que, por último, como el acetileno se produce directamente con el carbono y el hidrógeno, es posible así, partiendo de los elementos, construir la mayor parte de las combinaciones aromáticas.

Aparatos y métodos.—Los diversos métodos de la experimentación química empleados, bien para averiguar la composición de un cuerpo cualquiera, determinando las proporciones cuantitativas de todos sus componentes, bien para preparar compuestos complejos, partiendo de otros más sencillos, y viceversa, son de naturaleza tan variada y se acomodan en cada caso á tan diversas circunstancias particulares, que es casi imposible descubrirlas en general.

El concepto que siempre sienta como base de sus consideraciones el químico teórico, y que sirve de guía al práctico, es el de cuerpos *químicamente puros*. Esta palabra mágica es el primer mandamiento en el catecismo de los químicos, que sólo consideran los cuerpos en estado de pureza absoluta, y, por tanto, no pueden apartar la vista un momento de los procedimientos para purificar sus productos; y claro está que con tal objeto han de desplegar siempre en sus trabajos limpieza y sutileza para que no entren en sus preparados materias extrañas, siquiera sea en cantidades insignificantes. Las vasijas y aparatos están construídos de materiales que, en lo posible, resistan por completo á los agentes químicos corrosivos.

La química científica y las diversas ramas de industria se han prestado siempre mutuo apoyo. Los mismos adelantos aportados por la investigación científica para los intereses de la vida práctica, se manifiestan retrocediendo, nuevamente beneficiosos para los trabajos silenciosos de los sabios. Nunca hubiera alcanzado la química su alto grado actual de progreso si las primeras experiencias practicadas en sus dominios no hubieran dado indicaciones tan valiosas á los fabricantes de vidrio y porcelanas y á los metalurgos. El vidrio, la porcelana y el platino son los auxiliares más poderosos del químico, pues de ellos están constituídas casi exclusivamente las vasijas en que tienen lugar las

reacciones químicas; el corcho y el cautchuc son, sin embargo, indispensables para reunir unas con otras las diferentes partes de los aparatos, y merced á su capacidad para proporcionar en éstos cierres herméticos, prestan también servicios de inestimable valor. La transparencia del vidrio le hace con preferencia apropiado para las vasijas con las cuales se quiere observar las transformaciones que se producen en las sustancias que contienen. De vidrio se hacen los pequeños *tubos de ensayo* (fig. 17), irreemplazables sobre todo para los químicos analíticos, y en los cuales se hace visible en pequeño la acción de los reactivos sobre las sustancias que se ensayan. Dichos tubos no son otra cosa que cilindros de vidrio de paredes delgadas, de 10 á 15 centímetros de altura por uno y medio á dos centímetros de diámetro; pero no por eso se rebaja el mérito de estos auxiliares, en apariencia insignificantes. Si las experiencias que hoy practica el químico en estos tubitos tuviera que hacerlas en vasijas opacas de porcelana ó de metal, se ocultarían á sus ojos fenómenos y modificaciones de los cuales puede hoy sacar inmediatamente, y con toda seguridad, consecuencias de importancia para sus fines. La transparencia del vidrio es tal, que no oculta ningún cambio, ni el más insignificante de los que se aprecian por el sentido de la vista. En segundo lugar, tiene también gran importancia para las exigencias de la experimentación química la facilidad con que se da forma al vidrio, y que permite la construcción de aparatos en la disposición que se requiera para cada caso. A más de tubos, retortas (fig. 18), matraces, cápsulas, embudos, vasos, todo de vidrio, se ven también en los laboratorios numerosos aparatos de forma variada y complicada, destinados á fines especiales, y que los que trabajan el vidrio hacen al soplete como jugando, con pedazos de tubo grueso, fundiéndolos, estirándolos, soplándolos, etc.



Fig. 17. Tubos de ensayo.

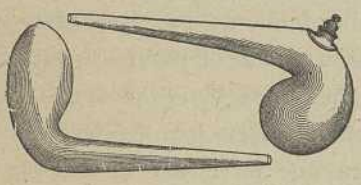


Fig. 18.—Retortas de vidrio.

Cuando el vidrio es poco apropiado, por su fragilidad ó por su poca resistencia al calor, se emplea en su lugar la porcelana, con la que se hacen principalmente cápsulas evaporatorias, crisoles, retortas, etc. El platino, por último, aunque desgraciadamente todavía demasiado caro para un uso amplio y frecuente, es también un medio auxiliar insustituíble en forma de alambre, láminas, capsulitas y crisólitos, que se usan en las experiencias de fusión y ensayos al soplete, en que es preciso un material inatacable por la mayor parte de los reactivos químicos. Un aparato químico, siquiera no sea muy completo, consta, pues, de un gran número de accesorios, cuya enumeración no queremos emprender, porque á nada conduciría sin una explicación de los usos especiales á que se destinan. En efecto; las vasijas y aparatos del químico son tan variados, que no es posible comprenderlos en una descripción general; para cada objeto particular, el químico aplica formas y disposiciones

especiales, y, por tanto, antes de hallar estas formas en el comercio, tuvo precisión de ejercitarse prácticamente en el arte de soplar el vidrio, soldarle, etc., para construir por sí mismo objetos que le son tan indispensables.

La balanza se halla entre los aparatos de primera categoría; y cuanto más sensible, más alto es su valor. La máquina neumática sirve para originar espacios con aire enrarecido, en los cuales puedan los líquidos evaporarse á una temperatura baja. Se determinan los pesos específicos con los areómetros, y las temperaturas, con los termómetros; los lentes y microscopios nos dan observaciones preciosas sobre la forma y estructura de los cuerpos; los gonómetros nos permiten medir los ángulos de los cristales; el barómetro facilita la corrección del análisis de gases según el valor de la presión atmosférica, etc., etc.; pues el químico tiene que tener en cuenta en sus investigaciones sobre los cuerpos toda clase de indicios, y muchas veces le basta una diferencia, insignificante al parecer, para deducir con toda seguridad la diversidad más profunda entre dos cuerpos.

Muchas veces tiene una influencia decisiva en la estimación de una sustancia transparente, sólida ó líquida, sus propiedades refringentes para la luz, y por esto hallan aplicación en los trabajos del laboratorio químico los métodos físicos que sirven para su determinación. Los aparatos de polarización en formas variadas, y los espectroscopios, permiten reconocer inmediatamente la presencia de ciertas sustancias; otras deben ser ensayadas respecto á sus propiedades eléctricas y magnéticas, por lo cual son también necesarios aparatos de este género. En el tomo II de esta obra hemos tenido ocasiones frecuentes de indicar su importancia para el análisis químico al ocuparnos de los métodos físicos de investigación; evidentemente estas indicaciones fueron otros tantos pasos para dar á conocer lo que debe ser un laboratorio químico completamente provisto de lo necesario. No se encuentran ya en él los cocodrilos disecados, suspendidos del techo, las vasijas de vidrio caprichosamente dobladas y deformadas, los esqueletos y fetos en espíritu de vino, con cuyos objetos gustaba de rodearse la fantasía de los antiguos adeptos, y que encontramos representados en ciertos cuadros de género de los pintores holandeses. En cambio, vemos en nuestros laboratorios modernos las vasijas más limpias, un local lleno de luz, en vez de la oscuridad de los antiguos, el aire puro y aparatos hechos con precisión y elegancia, en gran parte los mismos que hemos visto en manos de los físicos, pues los problemas planteados en química están íntimamente enlazados con los de la física, tienden realmente á los mismos fines, y su investigación se facilita generalmente por los mismos medios auxiliares.

Con el adelanto de la ciencia, la instalación y el equipo de los laboratorios tienen que responder á exigencias cada vez mayores; y mientras que hace apenas treinta años instalaban sus mesas de trabajo los químicos de todos los países en un rincón escondido, como sucede hoy todavía en España, los gobiernos de

los pueblos que van á la cabeza del movimiento progresivo de la humanidad, y que han sabido apreciar la enorme influencia que el desenvolvimiento de la ciencia química ejerce sobre el bienestar material de los mismos, se apresuran á construir verdaderos palacios, proveyéndoles de un material costoso y abundante. En lugar del desprecio que en otros tiempos inspiraban las ciencias naturales, se ha suscitado modernamente una competencia nunca vista entre las naciones cultas por la posesión de laboratorios cada vez más completos y ade-

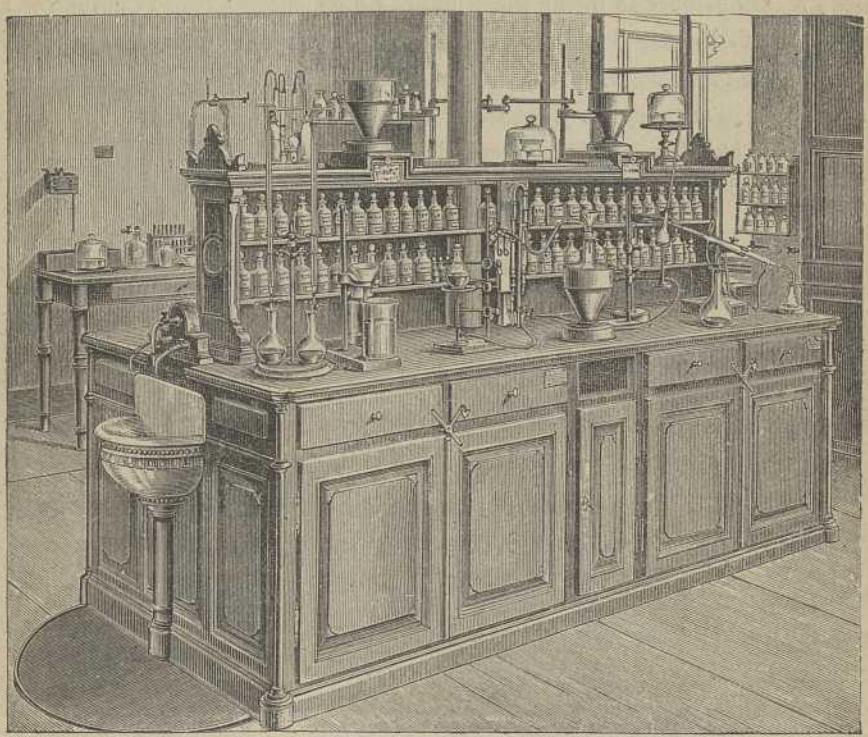


FIG. 19.—Una mesa de trabajo en el laboratorio químico de la Universidad de Leipzig.

cuados á los fines de investigación que en ellos se persiguen. En ellos están difundidas por todas partes el agua y el gas, la primera para que pueda hacerse rápida y cómodamente la limpieza de las vasijas; el segundo para tener á mano continuamente este excelente medio de alumbrado y calefacción. También se ha introducido hoy en la mayor parte de los laboratorios la fuerza motriz del vapor, que se aplica generalmente á máquinas dinamo-eléctricas, para tener disponible en un momento dado una intensa corriente eléctrica con la que realizar las más variadas descomposiciones químicas, así como también vapor para las destilaciones. Y no sólo se emplea hoy el gas del alumbrado para calentar, enrojecer, hervir y evaporar, sino que se practica la fusión de la mayor parte de las sustancias con ayuda de la llama de dicho gas, que antes de llegar

al mechero se mezcla en la proporción conveniente con aire atmosférico, y as puede desarrollar en su combustión un poder calorífico extraordinario.

Para las fusiones en mayor escala se tienen hornos especiales, así como para ciertas vaporizaciones y operaciones en que tiene lugar un desprendimiento de gases, etc., se disponen espacios cerrados por el lado del laboratorio y en los que chimeneas de suficiente altura producen un tiro enérgico, alejando así rápidamente todo producto gaseoso simplemente molesto, ó bien de

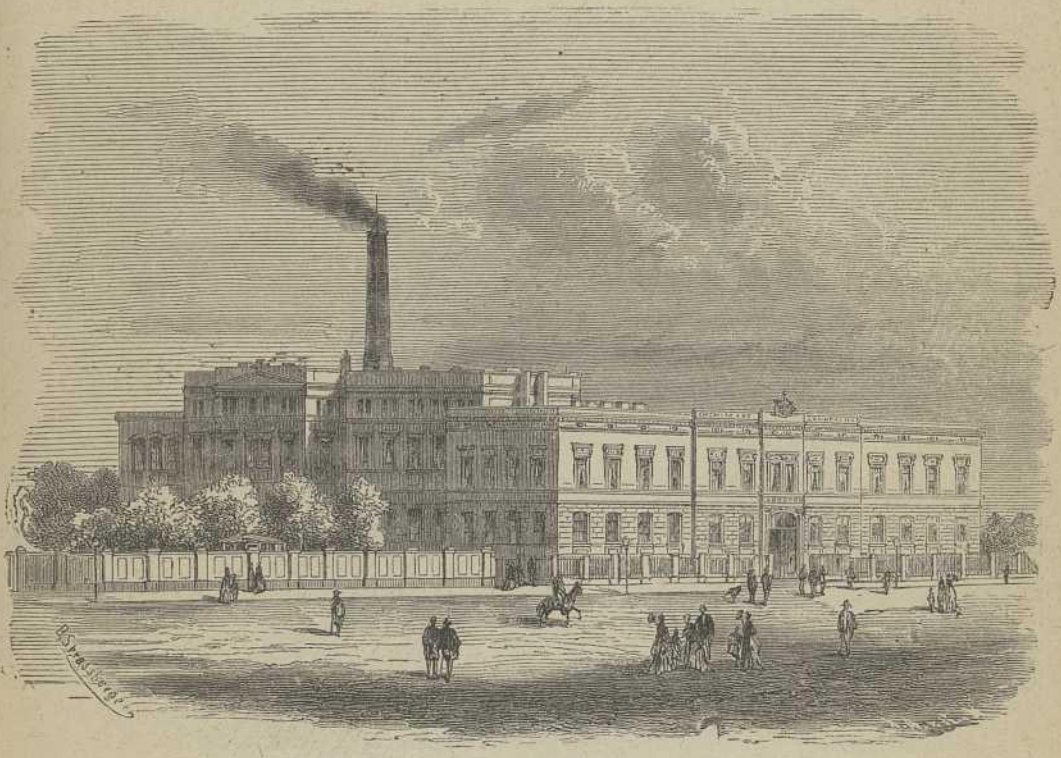


FIG 20.—El laboratorio químico de la Universidad de Leipzig.

efectos perjudiciales para quien los respira. A cada puesto de trabajo corresponde un surtido de los aparatos y reactivos más usuales, estando estos últimos conservados en frascos bien cerrados.

Nuestra fig. 19 da idea de una de las mesas de trabajo con las que está dotado el laboratorio de la Universidad de Leipzig, organizado por el difunto profesor Kolbe. En cada una de estas mesas hay dos puestos de trabajo. En la figura 20 ofrecemos la vista exterior de este grandioso establecimiento, en el cual se hallan reunidas naturalmente, además de los laboratorios, todas las dependencias correspondientes á la enseñanza de la química. La cátedra grande está dispuesta para 180 oyentes, pero además hay otra más pequeña; las colecciones de preparados, provisiones, instrumentos, etc., tienen locales propios, así como

la biblioteca; existen también locales dispuestos para trabajos especiales, análisis espectral, análisis elemental, investigaciones químico-legales; en una palabra, no hay, en el estado actual de las ciencias químicas, trabajo ó investigación alguna para cuya práctica no se encuentren allí los medios necesarios, pero de la manera más completa. La Escuela Superior Politécnica de Dresde posee un laboratorio no menos grandioso en un edificio inaugurado en 1875, y lo mismo puede decirse de la Escuela superior de Artes y Oficios de Chemnitz; en casi



FIG. 21.—Antiguo laboratorio de Liebig en Giessen.

todos los establecimientos de enseñanza superior de Alemania se han erigido palacios para la química; prueba evidente de la importancia que entraña dicha ciencia. Con tales hermosos edificios no admite seguramente comparación el laboratorio fundado en Giessen por Justo Liebig (fig. 21); pero hay que mirar con tanto mayor respeto su modesta instalación, cuanto que fué en cierto modo un establecimiento matriz de todos aquéllos, pues que de esa casa salieron para extenderse por todo el mundo, cual apóstoles, los fomentadores de la química moderna.

Los *métodos* de que se hace uso en la química, ya sea para producir nuevas combinaciones ó transformar unas en otras, ya para descomponerlas y separar

sus elementos, no son menos variados, poniéndose á contribución toda clase de procedimientos físicos y químicos con objeto de obtener, en un momento dado, una consecuencia nueva, una revelación de lo desconocido. Como quiera que los procesos químicos no son en sí mismos otra cosa que adiciones ó sustracciones de partículas materiales, con las fuerzas que en ellas residen (de donde resulta que, por lo general, van acompañadas de la aparición de fenómenos de luz, calor, electricidad, es decir, de manifestaciones externas de las formas físicas de la energía), es natural que la acción directa de estas fuerzas, partiendo, inversamente del exterior, haya de ejercer también una influencia profunda en la producción de combinaciones químicas. Y así como ya hemos visto en la historia de la química, y hemos mencionado antes en el tomo II, al hablar de la corriente galvánica, que con ayuda de la electricidad se descompuso el agua en sus elementos y se obtuvieron por primera vez los metales correspondientes de los álcalis y tierras alcalinas, podemos deducir lógicamente que las restantes fuerzas físicas han de ser capaces de ejercer acciones no menos dignas de atención. El calor tiene, desde este punto de vista, una importancia excepcional. Por sólo su poder para cambiar el estado de agregación de los cuerpos, constituye ya uno de los más enérgicos agentes de separación; con su auxilio podemos separar los cuerpos fusibles de los que no lo son, los que á temperaturas más ó menos elevadas se transforman en vapor de los que conservan su estado líquido ó sólido, constituyendo esto las operaciones sencillas de destilación ó sublimación, las cuales se utilizan continuamente en los laboratorios.

La *sublimación* consiste en la vaporización de un cuerpo sólido, recobrándole inmediatamente por la condensación de sus vapores. Si se calienta lentamente en un platillo de porcelana la resina benjuí pulverizada, se desarrollan de su seno vapores que, al enfriarse, se condensan en agujas blancas. Estos vapores son de una sustancia particular, ácido benzoico, que está contenida en la resina benjuí; pero que, como es volátil, se separa de ella por la acción del calor. Si se recogen los vapores en un embudo de vidrio ó de cartón invertido (figura 22), cuya baja temperatura enfría los vapores, se depositan sobre las paredes interiores en hermosos cristales. De un modo semejante se pueden transformar en hermosos vapores violetas cristales de yodo sólido, calentándolos en una retorta, cuyos vapores se condensan de nuevo, en las partes frías, en cristales brillantes. La *destilación* tiene por objeto la separación de un líquido volátil de uno frío, ó bien de otro que se vaporice á temperatura muy distinta, siempre sin descomponerse. Así, por ejemplo, no sólo pueden separarse por destilación los aceites esenciales de los grasos, sino que es también posible, dada una mezcla de diferentes líquidos de distinta fluidez, obtener separadas las diferentes partes de la mezcla, calentando gradualmente y manteniendo la temperatura constante en ciertos puntos, que es lo que se llama destilación *fraccionada*. En efecto, la primera temperatura de ebullición no cesa hasta tanto que

la sustancia más volátil de la mezcla no ha destilado por completo. Así se rectifican los petróleos. El aparato destilatorio más sencillo consiste en una retorta *B* (fig. 23), en la cual se coloca la mezcla que se quiere destilar; el cuello de la retorta conduce los vapores á un matraz, *C* (el recipiente), en el que sufren un enfriamiento, bien por sólo la influencia del aire atmosférico, bien por el empleo del agua fría, y por consecuencia de él se condensan de nuevo al estado líquido. Cuanto más frío está el recipiente, tanto más completa es esta condensación. Un aparato muy á propósito al objeto es el que representa la fig. 24, ideado por Liebig; en él atraviesan los vapores, antes de llegar al recipiente, un tubo largo, que está rodeado por otro más ancho, *DE*, lleno de agua fría; este tubo refrigerante recibe el agua fría, en chorro continuo, de una vasija, *F*, colocada encima, de modo que el agua fría penetra por su parte más baja, mientras que la caliente va saliendo por el extremo más alto, *a*. De esta suerte el enfriamiento es continuo, pues á medida que el agua se calienta, asciende en virtud de su menor densidad en el tubo inclinado hacia el orificio de salida y deja lugar á la entrada de nueva porción de agua fría. Los aparatos destilatorios y condensadores son muy variados en la práctica, y ya tendremos ocasión, cuando nos ocupemos de la fabricación del alcohol, de considerar detenidamente algunos de ellos.



FIG. 22.—Aparato para sublimar.

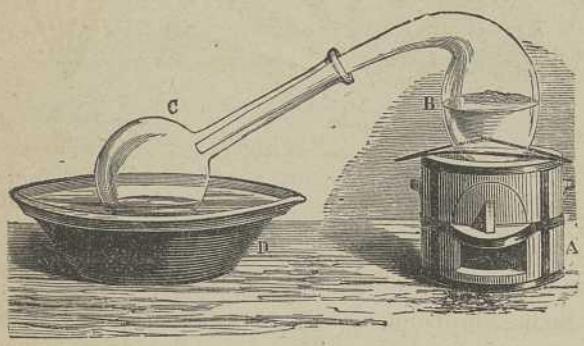


FIG. 23.—Aparato de destilación.

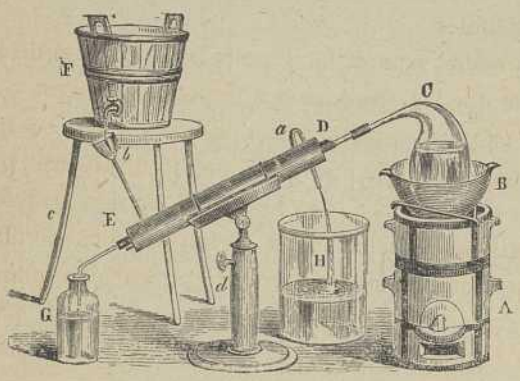


FIG. 24 —Tubo refrigerante de Liebig.

El químico se proporciona calor por combustión, quemando carbón vegetal, y modernamente gas del alumbrado, en hornillos dispuestos para sus fines especiales; disgrega, funde y vaporiza los cuerpos. Antes se empleaban para temperatu-

ras poco elevadas lámparas de espíritu de vino; pero se usan hoy raramente.

Para conseguir sus fines mediante reacciones químicas entre los cuerpos, el químico tiene que procurar, en primer término, promover el contacto más íntimo posible entre las diversas sustancias que emplea. Los cuerpos sólidos ofrecen entre sí pocos puntos de contacto; así, siempre que sea posible, es preferible llevarlos al estado líquido, y de aquí que cuando se trata de hacer sufrir á un cuerpo sólido una modificación química, el principio de la operación consista, por lo general, en una *disolución*. La disolución puede verificarse en cuerpos en estado de fusión, ó bien, como es el caso ordinario, en líquidos. Los disolventes más empleados son, en primer término, el *agua* y el *alcohol;* después el éter (el

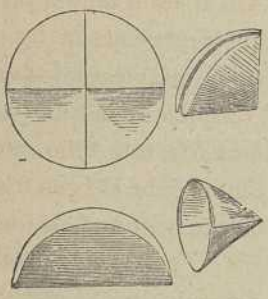


FIG. 25.
Construcción del filtro sin pliegues.

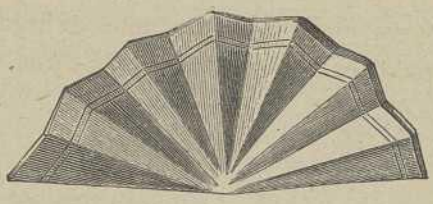


FIG. 26.
Construcción del filtro con pliegues.



FIG. 27.
Filtro plegado.

llamado éter sulfúrico), bencina, sulfuro de carbono, etc.; estos cuerpos, manteniéndose neutrales en la generalidad de las reacciones químicas, constituyen un medio excelente para separar los cuerpos solubles de los insolubles. Después de los citados vienen como medios disolventes enérgicos los *ácidos*, particularmente el clorhídrico, nítrico, agua regia, ácidos sulfúrico y fluorhídrico, y luego las lejías de potasa y sosa. Pero todos éstos producen ya generalmente una transformación química en la sustancia que disuelven, combinándose en parte con ella y dando origen á sales solubles.

Por medio de la *filtración* se pueden separar fácilmente las sustancias disueltas de las que no lo están; de aquí que las disoluciones repetidas en agua ó en alcohol son un medio de purificación con frecuencia empleado para cuerpos solubles, por ejemplo, sales que se separan de nuevo del medio disolvente, bien por evaporación de éste, bien por enfriamiento, con lo cual el líquido no puede seguir conteniendo la misma cantidad de sal disuelta. Como medios de filtración podemos utilizar todo cuerpo poroso que no ejerza ninguna acción química sobre el líquido que lo ha de atravesar; pero lo más cómodo, en la mayor parte de los casos en que no se trata de grandes masas, es el papel de filtro, que se dobla en la forma conocida, y que representan las figuras 25 á 27, de un cono sin ó con pliegues, y el cual se coloca dentro de un embudo de vidrio ó porcelana para darle más resistencia. Los pliegues aumentan la superficie de

filtración, y, por lo tanto, pasa el líquido en ellos con más rapidez. La filtración, ó más bien la disolución de las diferentes combinaciones químicas, es sin duda la operación más importante de que se sirve el químico en sus operaciones. En efecto; sólo en casos muy raros, como, por ejemplo, en la descomposición del agua por la corriente eléctrica, se pueden separar directamente los componentes elementales de un cuerpo, ó, viceversa, por la combinación directa de éstos llegar á la obtención de los compuestos. Así, por ejemplo, se combinan directamente el azufre y el hierro, el hidrógeno y el cloro, por sí propios y sin otro impulso externo que el que puede comunicarles un poco de calor ó luz para iniciar la reacción. Pero casi siempre es forzoso seguir un camino algo indirecto para conseguir el fin propuesto.

El principio activo que determina todas las alteraciones químicas es lo que llamamos, á falta de nombre más apropiado, *afinidad* de los cuerpos. Esta, como atracción recíproca, no cesa porque se haya verificado ya la combinación. Los elementos componentes permanecen en ella defendidos tan sólo de atracciones químicas menos enérgicas; pero las que lo son más triunfan de aquellos lazos, rompiéndoles y haciendo seguir á los átomos el camino que les trazó su inclinación más intensa. En la sosa ordinaria (carbonato sódico) está el metal sodio unido á los elementos del ácido carbónico, menos el hidrógeno, al que sustituye. Pero la afinidad entre estos cuerpos tiene poca fuerza, y este ácido carbónico, debil, cede el sodio á cualquier otro ácido más enérgico que pretenda ganarle para sí, en sustitución de su hidrógeno respectivo. Así, el vinagre ordinario produce ya con aquel carbonato sódico una efervescencia, toda vez que apoderándose del sodio el ácido acético para formar acetato sódico, el ácido carbónico separado se resuelve en agua y gas ácido carbónico que se desprende. A su vez el ácido acético es desalojado por el ácido nítrico, y todavía si calentamos con ácido sulfúrico el nitrato sódico formado, es este ácido el que se apodera del sodio, y el ácido nítrico el que se desprende.

En general, una base ó un ácido más enérgico desalojan de sus combinaciones á las bases ó ácidos más débiles; pero esto tiene sus excepciones. Puede un ácido ó una base muy enérgica ser desalojada por otro ú otra mucho más débil, cuando de este modo se origina una combinación de mayor estabilidad en presencia de los agentes físicos, particularmente cuando se forma por este medio un *precipitado*, ó sea depósito de una sustancia insoluble en el medio disolvente, ó bien que el ácido ó base más enérgicos desaparezcan en estado gaseoso.

La acción recíproca de las combinaciones salinas entre sí está sometida á las mismas leyes. Sus casos, extraordinariamente variados, se pueden así determinar de antemano, lo cual es de la mayor importancia para la química práctica. Una disolución de nitrato cálcico, mezclada con otra de carbonato potásico, da lugar á una distribución exacta de los elementos, de suerte que

por una parte se precipita carbonato cálcico insoluble y por otra queda en disolución nitrato potásico. La producción y aislamiento de tales precipitados, que se caracterizan por el color, la forma y otras calidades, desempeña en la química analítica el papel principal.

Reacciones y reactivos.—Cuando un cuerpo sufre un cambio en su composición química, resultan de ello ciertos fenómenos ó apariencias externas, como, por ejemplo, el desprendimiento de partículas gaseosas, la producción de cuerpos insolubles en el medio, enturbiándose así la disolución antes limpia y transparente, ó un cambio de color, etc., etc. Tales fenómenos, cuando sabemos que alguno de ellos sólo puede producirse por la acción recíproca de dos cuerpos determinados, permiten reconocer, por su verificación, la presencia de los dos cuerpos en cuestión en el líquido ó masa objeto de nuestro estudio.

Ahora bien; si se sospecha la existencia de uno de ellos en una mezcla, y añadimos el otro, la producción ó no producción de aquellos fenómenos decidirá de la existencia ó falta del primero. Así, por ejemplo, si en la disolución de una sal férrica (cloruro ó sulfato férrico) vertemos algunas gotas de una disolución de la sustancia conocida con el nombre de prusiato amarillo de potasa (ferrocianuro potásico), se verá formarse inmediatamente un precipitado azul, que consiste en una combinación perfectamente definida (el llamado azul de Berlín ó de Prusia). Pero sólo se produce siempre cuando se juntan una sal férrica y el prusiato amarillo. La sales ferrosas (por ejemplo, el conocido vitriolo verde) dan, mezcladas con prusiato rojo de potasa (ferrocianuro potásico) un precipitado azul (el azul de Turnbull), semejante exteriormente al anterior, pero distinto por su composición. De aquí que, cuando añadiendo á un líquido algunas gotas de prusiato amarillo ó rojo de potasa, se muestre el precipitado azul, podremos deducir, con razón, que en aquel líquido debe haber hierro, y recíprocamente, que un líquido debe contener prusiato amarillo ó rojo cuando, añadiendo una sal ferrosa ó férrica, se forma en él un precipitado azul.

Estos fenómenos característicos son los que los químicos llaman particularmente *reacciones* (acciones recíprocas), y las sustancias que se emplean para provocarlas se denominan *reactivos*. El sulfato ferroso es, pues, un reactivo para el prusiato rojo de potasa, y éste también un reactivo para las sales ferrosas. Se conocen muchas reacciones, y, por consiguiente, muchos reactivos; bien entendido que éstos han de emplearse siempre químicamente puros. La formación de precipitados, es decir, de sustancias insolubles ó poco solubles, adquiere todavía la mayor importancia, por cuanto, una vez reconocidas las sustancias, da el medio de separarlas entre sí para hacer después el estudio del precipitado, como de lo que ha quedado disuelto en el líquido.

Ciertos reactivos revelan inmediatamente todo un grupo de sustancias, las cuales pueden ser separadas de las demás por medio de ellos; así, por ejemplo, el agua y el alcohol pueden separar ya, por lo pronto, las sustancias solubles de

las insolubles. Otros caracterizan después sólo á algún cuerpo bien determinado y permiten así reconocerlo con certeza.

Los principales reactivos que deben hallarse en todo laboratorio químico son los siguientes: *agua destilada*, *alcohol*, *cloroformo*, *bencina* y *éter*, como disolventes neutros; *ácido clorhídrico*, *ácido nítrico*, *agua regia*, *ácido acético*, *solución de sal amoniaco* (cloruro amónico), *papel reactivo*, esto es, papel de filtro coloreado con alguna materia colorante vegetal, principalmente el papel de tornasol azul ó enrojecido, el papel de cúrcuma amarillo, y las de las demás materias colorantes citadas anteriormente. Otros reactivos importantes son: el *ácido sulfúrico*, que precipita con la barita, estronciana, cal y plomo; *hidrógeno sulfurado*, bien gaseoso, bien disuelto en agua, que precipita en disoluciones ácidas el plomo, cobre, estaño, antimonio, arsénico, cadmio, plata y bismuto en estado de sulfuros (algunos de los cuales, como el sulfuro de cadmio, el arsénico, etc., tienen un color tan característico, que el hidrógeno sulfurado sirve también como un excelente reactivo especial para dichos metales); el *sulfhidrato amónico* precipita, en estado de sulfuro, ciertos metales que el hidrógeno sulfurado no consigue separar de sus disoluciones, entre ellos hierro, cobalto, níquel, manganeso, cinc, etc., y además se disuelven algunos de los sulfuros metálicos precipitados por el hidrógeno sulfurado, como los sulfuros de arsénico, estaño, antimonio, oro y platino, y presta así, desde este doble aspecto, servicios preciosos al análisis; el *sulfuro potásico*, que produce los mismos efectos que el anterior; los *álcalis cáusticos*, que precipitan la mayor parte de los óxidos de metales pesados, y los térreos, insolubles en agua, y que, empleados en exceso, disuelven algunos de estos precipitados, como los de alúmina, óxido de cinc, de cromo, de plomo, y se usan, por tanto, siempre que se trata de separar estos óxidos de otros que no poseen la misma propiedad, como los de hierro, etc.; el *carbonato potásico*, que precipita casi todas las bases, excepción hecha de los álcalis; el *amoniaco*, que precipita los óxidos metálicos, algunos de los cuales, como los de cobre, plata y cadmio, se redisuelven en un exceso, pudiéndose así separar de los otros; el *cloruro de bario*, que sirve para reconocer el ácido sulfúrico, con el cual forma un precipitado blanco insoluble en los ácidos; lo mismo el *nitrato bárico;* el *nitrato de plata*, que sirve para reconocer el cloro, con el cual forma un precipitado blanco de cloruro de plata, soluble en amoniaco, y también el bromo, yodo y cianógeno; el *cloruro férrico*, que sirve para el reconocimiento del ácido cianhídrico, y además, junto con el *cloruro de calcio*, para caracterizar los ácidos orgánicos (particularmente el acético y el oxálico).

Por último, los principales reactivos especiales característicos de algún cuerpo en particular, y que se emplean también en disoluciones acuosas, son: el *fosfato sódico amónico* como reactivo de la magnesia; el *meta antimoniato ácido de potasio*, como reactivo de las sales de sosa; el *cromato potásico*, para caracterizar

el plomo, con el cual forma un precipitado de un hermoso color amarillo; el *cianuro potásico*, muy importante por su propiedad de precipitar los metales en estado de cianuros, redisolviendo con exceso algunos de estos precipitados, cuya propiedad se utiliza para separar el níquel del cobalto, así como el cobre del cadmio; los *prusiatos amarillo y rojo de potasio*, cuya acción sobre las sales de hierro ya se ha mencionado anteriormente; el *ácido hidrofluosilícico*, para la separación de ciertas bases que se disuelven en él, de otras que no se disuelven, como, por ejemplo, la barita de la estronciana; el *ácido oxálico* ó el *oxalato amónico* para el reconocimiento y la separación de la cal. El *ácido tartárico* es un reactivo del potasio, el *agua de barita*, que caracteriza el ácido carbónico, con el cual forma un precipitado blanco; el *cloruro de estaño* da con el oro un precipitado rojo característico, y recíprocamente el *cloruro áurico* es reactivo del estaño; el *cloruro platínico* precipita el potasio y el amoniaco; el *cinc* metálico precipita la plata, cobre, plomo y otros metales de sus disoluciones, y se emplea para desprender hidrógeno. El *hierro* se emplea en la misma forma para descubrir el cobre, y el *cobre* para descubrir el mercurio. A más de los citados se usan también en el análisis químico, con fines especiales, los reactivos siguientes: *acetato potásico, agua de cal, sulfato cálcico, cloruro magnésico, sulfato ferroso, óxido plúmbico, sulfato cúprico, agua de cloro, nitrato mercurioso, solución de añil, yoduro potásico, molibdato amónico, acetato de plomo neutro y básico, bióxido de plomo, hiposulfito sódico*, y muchos otros.

Además se hace también uso de algunos reactivos que pertenecen á los métodos de análisis por vía seca, mediante el *soplete*, entre los cuales citaremos como ejemplo el bórax (borato sódico), carbonato sódico, sal de fósforo (fosfato sodo amónico), floruro cálcico y el estaño. Por lo demás, es evidente que toda cuerpo químico que por su acción sobre otro cuerpo dé origen á un cambio bien apreciable, puede ser considerado como un reactivo; así, dista mucho de haberse agotado, por los ejemplos citados, su variedad infinita en la práctica. Los reactivos se emplean con sujeción á métodos determinados y rigurosos, y en la concepción de éstos se revela el genio del químico. No podemos dar una idea total de semejantes métodos de investigación de los innumerables cuerpos de la química; sería esto imposible, dada la diversidad de los procedimientos que pueden seguirse para un mismo objeto y que se modifican continuamente, según las circunstancias. Sin embargo, creemos oportuno ofrecer al lector una idea, siquiera sea aproximada, de los métodos por cuyo medio se descubre la naturaleza química de un cuerpo, es decir, lo que es un cuerpo desconocido. Sírvanos de ejemplo el sulfato magnésico, ó sal de higuera.

Análisis.—Se trata de resolver el problema de si un cuerpo dado es realmente sulfato de magnesia ó no. Calentando una pequeña parte de los cristales blancos en un tubito de ensayo, primero con suavidad, después fuertemente hasta

tanto que no se produzca ya en la masa ninguna alteración, se desprenden de ésta vapores que se condensan en gotitas sobre la parte superior del tubo; estas gotitas son de agua. Se ensaya con el papel azul de tornasol, y no se observa ningún cambio de color, lo que prueba que no existe ningún ácido libre en la masa fundida. Los cristales transparentes se han transformado en una masa blanca, que se disuelve por completo en el agua. Disuelta una parte de esta masa, se acidula la disolución con unas gotas de ácido clohídrico. No produciéndose entonces ningún precipitado, queda demostrada la falta de plata, así como de compuestos mercuriales, que, por otra parte, se hubieran encontrado ya al calentar la sustancia. Seguidamente se hace pasar una corriente de hidrógeno sulfurado, y no produciéndose ninguna modificación, prueba que no existen ni el arsénico, ni el antimonio, bismuto, platino, estaño, mercurio, cobre, plomo, ni cadmio. Se neutraliza entonces con amoniaco y se añade sulfuro amónico; y como no se produce tampoco precipitado, deduciremos que no hay cinc, hierro, cobalto, níquel, manganeso, urano, cromo ni aluminio. En otra porción de la disolución se añade cloruro amónico y carbonato de amoniaco. El no producirse precipitado demuestra la ausencia de cal, barita y estronciana. Se añade entonces fosfato sódico, y se observa la formación de un abundante precipitado blanco, que revela la presencia de la magnesia. Una tercera parte de la disolución primitiva se destina á comprobar si se verifican las demás reacciones conocidas de la magnesia. Después se mezcla otra porción de la disolución con solución de nitrato de plata, y no produciéndose precipitado, es prueba de que no existe cloro, bromo, etc. Por último, se añade á otra porción cloruro bárico, y se forma un abundante precipitado blanco, insoluble en ácido nítrico, y que revela, por tanto, el ácido sulfúrico. El cuerpo objeto de la investigación es, pues, positivamente sal de higuera, es decir, sulfato magnésico hidratado.

Pero esta marcha no es tan sencilla más que en el caso de que sólo existan en el líquido un ácido y una base. Cuando hay varias, se hace mucho más complicado, pues tienen que irse separando una por una las sustancias para poder continuar la investigación de las restantes en la mezcla, y particularmente en los minerales, aleaciones, etc., en que ya se sospecha la existencia de elementos diversos. En tales casos se procede de la manera siguiente. Cuando se hace necesario disolver la materia en cuestión, se pulveriza finamente en un mortero de ágata ó de acero bien duro, cuyas sustancias ofrecen la seguridad de que no impurifican la masa con partículas desprendidas de su superficie por frotación. Después se trata el polvo por agua primeramente. Si se disuelve por completo en ella, ya queda más restringido el número de las sustancias que hay que determinar. Pero si no se disuelve, ó lo hace sólo en parte, hay que recurrir á disolventes más enérgicos. Se va pasando por la serie ácido clorhídrico, ácido nítrico, agua regia, y si todavía los reactivos no producen una disolución total, como sucede con los minerales silíceos, se funde la masa insoluble

con carbonato sodo potásico, con sulfato ácido de potasio, ó con nitro respectivamente, ó bien todavía se trata dicha masa insoluble con ácido fluorhídrico, que se desprende fácilmente con una mezcla de espatofluor pulverizado y ácido sulfúrico, y después de enfriarse con agua adicionada de un ácido en ciertos casos. Es evidente que las materias introducidas en la masa como disolventes han de ser tales, que ni antes ni después se pueda sospechar su existencia en la sustancia que se ensaya, y, en caso de duda, debe practicarse á este propósito un ensayo previo.

Por uno ú otro método tenemos ya el cuerpo, en un principio sólido, ahora disuelto, y esto basta por lo pronto. En efecto, insolubles por completo en todos los medios sólo se conocen muy pocas sustancias, como el carbón, y separado por filtración se reconocería fácilmente. En la disolución acuosa que se tiene que diluir previamente, si estuviera ácida, se hace pasar una corriente de hidrógeno sulfurado *hasta la saturación*. Con esto se precipitan los ya citados metales plomo, plata, bismuto, cobre, cadmio, mercurio, oro, arsénico, antimonio, estaño y platino en estado de sulfuros. Desde luego, si se hubiera empleado el ácido clorhídrico para acidular la disolución, no habría ya que sospechar la presencia en ésta de algunos de los metales cuyos cloruros son insolubles en ácido clorhídrico, como el plomo, la plata, etc.; del mismo modo, el estaño no se disuelve en el ácido nítrico, y puede separarse por filtración y reconocerse fácilmente. Pero cuando no es de presumir una de estas separaciones previas, porque no se ha hecho uso tal vez de los citados ácidos como disolventes, entonces puede suponerse que estén contenidos cualesquiera de dichos metales en el precipitado con el hidrógeno sulfurado. En cambio el líquido que resta, después de filtrado, debe quedar completamente exento de ellos. En este líquido, y añadiendo sulfuro amónico, se precipitan (también en estado de sulfuros) todos los demás metales pesados, hierro, cobalto, níquel, manganeso y cinc, así como en estado de hidratos, el cromo y el aluminio. Se filtra el líquido, y después de quitarle de un modo apropiado el hidrógeno sulfurado y el sulfuro amónico, se le añade cloruro y carbonato amónico. Con estos dos reactivos se precipitan todos los metales alcalino-térreos que existieran en la disolución, es decir, el calcio, bario y estroncio.

Ahora ya no puede quedar en el líquido (aparte del amoniaco que se ha añadido con los reactivos) otras bases más que la magnesia y potasa, sosa y litina. No hemos tenido en consideración algunos otros metales, como el glucinio, el cerio, el urano, etc., porque sólo en casos muy raros se nos presentan, y en la práctica sólo se buscan cuando se tiene algún motivo fundado que obligue á admitir su presencia. La magnesia se descubre, como ya queda indicado en el ejemplo anterior, añadiendo al líquido, filtrado por cuarta vez, fosfato sódico. Los álcalis, entre los cuales son lo más importantes la potasa y la sosa, puesto que, aparte de ellos, rara vez existe algún otro en abundancia,

se caracterizan también con bastante facilidad. En general, se demuestra si se halla contenida alguna sustancia fija en disolución en el líquido (después de filtrar el precipitado de magnesia) colocando una gota de dicho líquido claro sobre una lámina de platino bien limpia, que se calienta para evaporar el disolvente, y después hasta el rojo. Si luego de volatizarse las sales de amoniaco queda todavía un residuo blanco, la respuesta es afirmativa. Si existiera tan sólo uno de los dos cuerpos de que se trata, la llama del soplete bastaría para resolver la cuestión, pues las menores cantidades de potasa bastan para colorearla en violeta, y de sosa para colorearla en amarillo. Pero si ambas se presentan simultáneamente, tenemos como reactivo de la potasa el cloruro platínico, que da un precipitado amarillo, y de la sosa, el meta-antimoniato ácido de potasio, que da un precipitado blanco. También pueden observarse las coloraciones de la llama antedichas, mirando á través de un vidrio azul de cobalto, que neutraliza el color amarillo del sodio (formando con él blanco) y nos muestra una llama de potasio de color rojizo.

Mediante estas precipitaciones sucesivas, no hemos hecho en rigor otra cosa que agotar el contenido de la disolución en bases, dividiendo éstas en grupos; pero tal vez, excepción hecha de la magnesia, potasa y sosa, no se nos ha dado á conocer ninguno de los componentes en particular. De aquí que tendríamos que someter á un nuevo tratamiento cada uno de los precipitados obtenidos. Para ello hay que comenzar por purificarlos del disolvente y del reactivo en interposición, lo cual se consigue por un lavado repetido sobre el filtro.

El precipitado obtenido primeramente con el hidrógeno sulfurado, cuando presenta un color característico y bien puro, permite ya hacer algunas deducciones sobre la existencia probable de algunos metales que excluyen á varios otros. Si el sulfuro insoluble, por ejemplo, es amarillo puro, puede contener arsénico, estaño ó cadmio. Una coloración anaranjada debe atribuirse al antimonio, con el cual, sin embargo, podrían subsistir también los anteriores. Pero si el precipitado es sucio, oscuro, pardo ó negro, pueden estar contenidos en él, en general, todos los metales que se precipitan por el hidrógeno sulfurado. En este caso se trata el precipitado por sulfuro amónico, en cuyo reactivo se disuelven los sulfuros de arsénico, antimonio, oro, platino y estaño, separándose así éstos de los que no se disuelven, que son los sulfuros de cadmio, cobre, plomo, bismuto, mercurio y plata. Estos últimos se tratan por ácido nítrico, permaneciendo sin disolver el sulfuro de mercurio; añadiendo al líquido mucha agua, se precipita el bismuto en estado de nitrato básico; tratando por ácido clorhídrico el líquido en que se han disuelto los sulfuros (excepto el de mercurio) en el ácido nítrico, después de filtrado, se puede separar el plomo y la plata en estado de cloruros, de los cuales el de plata se disuelve en amoniaco y el de plomo no. Luego se emplean otros métodos de separación para el cadmio, cobre y bismuto, así como para los sulfuros solubles en el sulfuro amónico. El segundo precipitado

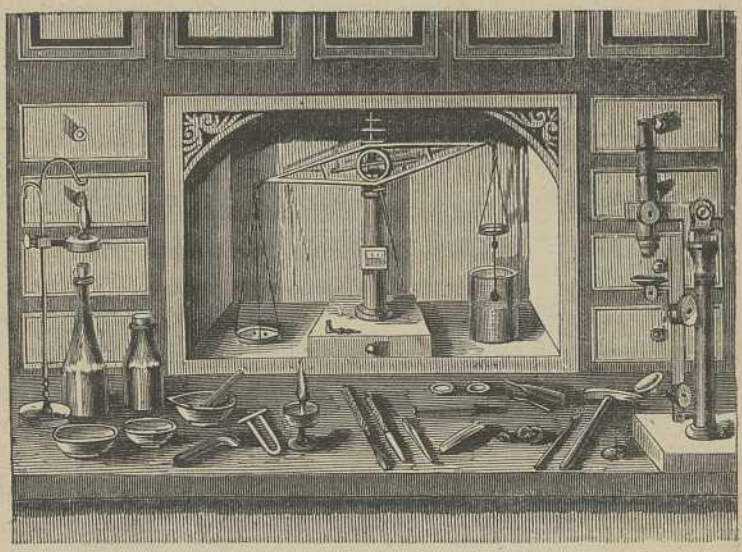
obtenido por adición de sulfuro amónico al líquido primitivo, así como el de las tierras separadas con el carbonato amónico, son redisueltos, cada uno en forma adecuada, y sometidos á la acción de otros reactivos que van determinando, dentro de estos grupos generales, otros más limitados de elementos más afines, hasta llegar á los elementos mismos. Nos llevaría demasiado lejos consignar aquí todas las reacciones, y tenemos que contentarnos, por consiguiente, con las indicaciones hechas. Se comprende, además, que la determinación de los ácidos que se hallan combinados con las bases, en los cuerpos objeto de los análisis, ensayos é investigaciones, está sujeta á una marcha no menos sistemática; así como que estos métodos se modifican de diversos modos, según las circunstancias á que dan ocasión la presencia de ciertos componentes, la influencia de los reactivos empleados, etc.

El *análisis cuantitativo* comprende las reacciones y ensayos sobre los cuerpos cuyo objeto no es solamente el reconocimiento de la clase de componentes que contiene un cuerpo, como sucede en el análisis cualitativo, sino que además su fin especial es el de determinar las proporciones ponderables bajo las cuales se hallan combinadas las diferentes sustancias entre sí. Es verdad que se siguen en conjunto los mismos métodos de separación; pero por lo general se complican éstos muy esencialmente, por cuanto las separaciones de las sustancias tienen que verificarse en toda su cantidad, y la porción del cuerpo sometida al análisis tiene que sufrir toda entera los tratamientos sucesivos. Y como deben proscribirse los ensayos parciales con pequeñas porciones de la disolución, necesita preceder siempre en lo posible al análisis cuantitativo un ensayo cualitativo, con arreglo á cuyos resultados se puede escoger la marcha más ventajosa para el primero.

Cuanto llevamos dicho, en su parte más importante al menos, se aplica casi exclusivamente al análisis mineral ó inorgánico. En la investigación de las sustancias orgánicas no es posible recorrer una marcha tan estrictamente eslabonada. Para reconocer y determinar estos compuestos orgánicos, sólo rara vez puede recurrirse á reacciones características, sino que más bien hay que dirigirse por las indicaciones de los caracteres físicos, solubilidad, puntos de fusión y ebullición, densidad de vapor, etc., y, sobre todo, del análisis elemental. Este *análisis orgánico*, propiamente dicho, sólo persigue el problema de encontrar la proporción centesimal en que un cuerpo orgánico contiene todos ó á algunos de los cuatro elementos fundamentales. Por esto se le ha llamado *análisis elemental*. En lo esencial, consiste en mezclar íntimamente la sustancia orgánica objeto de la investigación con otra inorgánica que desprende fácilmente oxígeno, y en calentar la mezcla hasta tanto que la primera se haya quemado por completo en el oxígeno desprendido por la segunda. Como productos de la combustión pueden sólo originarse: vapor de agua (con el hidrógeno y el oxígeno) y anhidrido carbónico (con el carbono y el oxígeno); el nitrógeno se

determina en otro ensayo aparte, bien en forma de gas nitrógeno puro, bien en estado de amoniaco, y la diferencia que resulta de restar del peso total de la sustancia sometida al análisis los pesos encontrados de carbono, hidrógeno y nitrógeno contenidos en ella, nos dará la cantidad de oxígeno, suponiendo que el análisis cualitativo no haya revelado ningún otro elemento en el cuerpo estudiado.

Nos vemos obligados á dar fin á esta Introducción con las breves indicaciones hechas, reservando para más adelante los pormenores prácticos de algunos puntos, para cuyo estudio nos dará ocasión frecuente la consideración de las transformaciones sucesivas á que se someten las primeras materias, mediante procesos químicos.





PREPARACIÓN MECÁNICA DE MENAS
Y
PROCEDIMIENTOS METALÚRGICOS

Importancia de los metales.—Las menas y su preparación mecánica.—Trituración.—Clasificación y separación.—Preparación de los finos.—De los procedimientos metalúrgicos en general.—Calcinación de las menas.—Condensación de productos volátiles.—Beneficio metalúrgico: Licuación; fusión; destilación; sublimación.—Procedimientos por la vía húmeda.—Valor relativo de los diferentes metales.

De los tesoros que con tanto trabajo y peligro extrae el minero de las profundidades de la tierra, pocos pueden utilizarse directamente; la mayor parte de ellos constituyen materias primeras ó productos brutos de los que, por regla general, sólo pueden obtenerse los elementos útiles mediante tratamientos complejos y con ayuda de los medios más enérgicos. El más poderoso de éstos, la llave maestra, digámoslo así, para llegar al metal precioso que tantas veces se esconde en el seno de un mineral sin vista, de color sucio gris, rojizo y pardusco, y cuyo valor sólo puede reconocer de primer intento el perito; este medio, decimos, es y siempre ha sido, desde los tiempos más remotos, el fuego. Sólo en la actualidad, y en algunos ramos de la industria metalúrgica, empieza á disputarle el puesto principal la corriente eléctrica, con cuya ayuda se han alcanzado ya resultados sorprendentes.

Los pueblos civilizados más antiguos de que tenemos noticias, ó sea los de Egipto, del Asia Menor y Oriental, extraían de sus respectivos minerales, por medio del fuego, los metales más comunes, practicando así, y sin conocimientos teóricos, un ramo importante de la química técnica ó industrial. Como ya tuvimos ocasión de indicar en la Introducción general á esta obra, no fueron sólo el oro y la plata nativos, tan fáciles de producir, los que se obtenían en la antigüedad, sino que se extraían de los minerales más sencillos y más dóciles, el cobre, el estaño y el plomo, así como el metal más útil de todos y el más precioso, en la acepción práctica de la palabra: el hierro. Dada la inmensa importancia que tiene para la civilización la empresa de extraer y aprovechar los metales, cuyo origen se remonta á los tiempos prehistóricos, de que apenas conservamos sino recuerdos míticos, era natural que los procedimientos se propagaran de padres á hijos, á través de los siglos; y, en efecto, y por poco que profundicemos en las páginas oscuras de la historia metalúrgica, vemos, no sólo que los pueblos siguieron practicando un arte tan provechoso, sino que, en la medida más ó menos lenta en que fueron adquiriendo experiencia, encaminaban sus esfuerzos, aunque por modo puramente empírico, á mejorar los procedimientos.

Juzgamos de todo punto ocioso insistir aquí en la importancia de los metales para el desarrollo de la vida civilizada; muchas plumas maestras han trazado ya, de la manera más gráfica, el correspondiente cuadro comparativo, recapitulando las inmensas ventajas que resultan para el hombre del empleo de aquéllos, y exponiendo, por vía de contraste, lo que hubiera sido de la humanidad si no se hubiese cuidado de aprovechar los tesoros escondidos en la madre Tierra. Es cosa por demás evidente que el hombre halló en los metales el material más adecuado para el ejercicio de sus propensiones industriales y artísticas, y en las minas, con sus exigencias múltiples y especiales, un poderoso incentivo de su talento mecánico: las máquinas más diversas, ruedas hidráulicas, bombas, fuelles y otros aparatos, debieron su origen á las necesidades del minero y del fundidor, y los trascendentales inventos de la máquina de vapor y de las vías férreas tuvieron por cuna la boca de una mina. La extracción de los metales de sus minerales ó menas, las observaciones necesarias de las descomposiciones y combinaciones que en ella proceden, debieron llevar al hombre á pensar en la diversidad de las propiedades de la materia, ofreciéndole los metales, con sus particularidades tan característcas, medios seguros de comprobación. Pero, más que todo, el empleo tan extenso del fuego, sin cuya ayuda no eran posibles las operaciones metalúrgicas, dió lugar á nuevas experiencias respecto de los efectos de agente tan poderoso sobre toda clase de materias, cuya separación y combinación se mostraban en la relación más estrecha con los fenómenos del calor. De tal modo fué allanándose el camino hacia la ciencia moderna de la química, y en medio del maravilloso desarrollo que ésta ha alcanzado en

nuestros tiempos se trasluce todavía aquel origen, pues el pilar fundamental del grandioso edificio químico moderno se apoya histórica y esencialmente sobre el conocimiento exacto de la oxidación de los metales.

Merced al espíritu incansable de progreso que caracteriza á nuestro siglo, la explotación del reino mineral y el beneficio de sus productos han alcanzado un desarrollo nunca soñado; á los procedimientos que nos legaron nuestros antepasados, hanse agregado otros nuevos, fruto de numerosos é importantísimos descubrimientos é invenciones, de modo que actualmente se arrancan los metales de sus más recónditos escondites, produciéndolos en cantidades infinitamente superiores á la extracción de siglos anteriores. De aquí el papel cada vez más importante que vienen desempeñando los metales en la fabricación de multitud de objetos de todas clases, desde el más insignificante alfiler hasta la máquina de vapor más poderosa; desde la letra de molde más diminuta que se emplea en la impresión de nuestros libros, hasta las piezas de fundición más colosales. En millares de máquinas contemplamos el metal inerte como dotado de vida, mientras que el más útil de todos los metales sustituye á la madera y la piedra en multitud de edificios y construcciones, prestándose también á la formación y extensión de la inmensa red de vías férreas que estrechan los lazos fraternales de los pueblos, al par que ensanchan sus miras é intereses comunes.

Pero á la aplicación de los metales en su estado nativo debemos agregar el empleo de sus preparados químicos, es decir, los diversos óxidos, ácidos, sales y demás combinaciones, necesarios en tantos ramos de la industria y las artes, y cuya fabricación aumenta á pasos agigantados, abaratándose en la misma proporción, al paso que el consumo crece de una manera prodigiosa.

A pesar de todas las conquistas antiguas y modernas en el terreno que nos ocupa, su inmenso campo está lejos de agotarse, según lo evidencian los nuevos progresos que cada año se vienen realizando en diferentes partes del mismo. El descubrimiento de criaderos metalíferos antes desconocidos, así como la explotación más extensa de otros que no permitían los toscos medios de antaño; la perfección de los antiguos procedimientos de beneficio metalúrgico y el invento de otros nuevos; el descubrimiento de nuevas aplicaciones que determinaron la producción industrial de ciertos metales como el aluminio y el magnesio; los inmensos adelantos en la construcción de la maquinaria; las facilidades de comunicación, que permiten concentrar en puntos determinados los múltiples medios precisos para llevar á cabo ciertas empresas, todos éstos son fenómenos que, á pesar de su magnitud, distan mucho de representar el límite de lo posible. A cada momento se presentan nuevos problemas, y el porvenir nos reserva otros enigmas por descifrar; lejos estamos de obtener todo lo que pudiéramos con las fuerzas y los materiales que hoy empleamos, y la ciencia tiene todavía obra larga para poner coto debido al despilfarro tan sensible de unas y otros.

Con arreglo al plan que nos hemos propuesto, y después de haber considerado, en el tomo anterior, cómo procede el minero para extraer del seno de la tierra los minerales metalíferos, volvamos á éstos desde el punto de vista de su beneficio metalúrgico, ó sea de la extracción de los metales que contienen. De esta operación se encarga el metalurgo ó fundidor, en cuyas fábricas y talleres se inicia la serie de transformaciones por que pasan los metales hasta tomar las múltiples formas bajo las cuales se nos presentan en los objetos más diversos.

La extracción de los metales de esos minerales ó *menas*, como se dice en el lenguaje técnico, por los procedimientos metalúrgicos, descansa enteramente en principios químicos; razón por la cual, y aparte del interés especial que encierra la química en sí, hemos escrito la Introducción que encabeza este tomo. Sin embargo, son contados los casos en que las menas se obtienen desde luego tan puras que puedan someterse inmediatamente al tratamiento metalúrgico; al contrario, es preciso sujetarlas, por regla general, á una preparación mecánica, con el objeto de separar las partes metalíferas de la *ganga*, esto es, de los minerales terrosos inútiles (cuarzo, espato calizo, roca, etc.) que se presentan en los criaderos en unión más ó menos íntima con aquéllas. Esta preparación mecánica, que ora se reduce á un escogimiento hecho á mano, ora entraña el empleo de aparatos más ó menos complicados, y que suele llamarse *lavado* por el uso común que en ella se hace del agua, se verifica generalmente á la superficie de las minas, en talleres á propósito, y constituye como la transición entre los trabajos mineros propiamente dichos y los del fundidor. Por ello, y antes de ocuparnos de los procedimientos metalúrgicos, es necesario que hablemos de semejante operación.

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LAS MENAS

Al tiempo de excavar los criaderos en las labores subterráneas, el minero procura desde luego separar de primer intento la mena de la roca estéril, efectuando, también separadamente, su transporte y extracción por los pozos, por razones económicas evidentes. De este modo el producto bruto que se descarga en el taller de preparación mecánica se compone de trozos grandes, medianos y pequeños de mena, envueltos entre sí y casi todos aprovechables en parte, distinguiéndose entre ellos pedazos de mineral metalífero puro, que pueden beneficiarse desde luego, otros que presentan elementos relativamente grandes de dicho mineral puro, adheridos á elementos de ganga ó trozos de roca, pedazos en que el mineral útil en pequeñas partículas se halla más ó menos íntimamente mezclado con minerales inútiles, y, por último, una porción mayor ó menor de *menudos*, en forma de arena y polvo, que contienen todos los elementos útiles é inútiles del criadero respectivo.

Es evidente que de la proporción en que se presentan en el conjunto las diferentes clases enumeradas, depende el tratamiento, que varía también con arreglo al valor intrínseco del mineral útil objeto del beneficio, así como de la cantidad ó masa total de la producción diaria. Por ejemplo: puede suceder que una partida de mena contenga una proporción más ó menos considerable de trozos de mineral puro, susceptibles de ser separados á mano, en cuyo caso conviene efectuar esta separación valiéndose de los servicios de hombres viejos ó débiles, mujeres y niños, por ser el trabajo poco fatigoso; la operación suele



FIG. 28.—Separación á mano de las menas.

verificarse al aire libre ó bajo cobertizos abiertos, en los países de clima cálido ó templado, y en locales cerrados y caldeados (fig. 28) en los del Norte, proveyéndose cada operario de un martillo y una losa ó una plancha de hierro, á fin de que, con un mero golpe, pueda ir desprendiendo, al mismo tiempo que separa los trozos de mena pura ya sueltos, los que por un lado se hallan todavía adheridos á pedazos de roca. Aun siendo relativamente pequeña la proporción de mena pura por completo, suele someterse el producto bruto en su conjunto á una separación á mano, siempre que su cantidad sea relativamente reducida, teniendo entonces la operación por principal objeto una clasificación del género en partes más ricas y más pobres, acompañada en muchos casos de una separación de los diferentes minerales útiles que suelen presentarse juntos en el mismo criadero. Tratándose de menas de corto valor intrínseco, como las de hierro, y que por lo mismo sólo tiene cuenta explotar en grande escala, la separación á mano de que tratamos sería, económicamente

hablando, improcedente; como lo es también hoy en muchos casos en que, aun teniendo el mineral útil objeto del beneficio un valor intrínseco relativamente grande, y presentándose en estado puro en bastante proporción en la masa del criadero, las cantidades extraídas son tan enormes que la operación supondría una pérdida de tiempo incompatible con la empresa, amén de necesitar todo un ejército de operarios.

Por regla general conviene, por razones económicas, reducir á un mínimum la separación á mano de los minerales; y salvo en las minas más pequeñas, de producción muy limitada, es condenable la práctica, tan común en nuestro país, de combinar dicha separación con una trituración ó machacado á mano de las partes pobres de las menas, operación necesaria, sí, pero que se verifica mucho mejor, más pronto y económicamente por medios mecánicos. Entre éstos debemos mencionar, en primer término, el quebrantador inventado hace unos treinta años por el norteamericano *Blake*, y que es la máquina más á propósito para reducir á granos más ó menos menudos, en muy corto espacio de tiempo, grandes cantidades de menas. Dicho quebrantador, cuya sección vertical reproduce la figura 29, se construye de diferentes tamaños, admitiendo el de mayores dimensiones trozos de roca enteros de 500 kilogramos de peso, que reduce en un momento á pedazos menudos. El mecanismo es tan sencillo como ingenioso: se halla contenido dentro de un cuadro rectangular, muy sólido, de hierro fundido (figura 29 *a a*); consiste en dos gruesas planchas de hierro endurecido, la una, *b*, inmóvil y atornillada á la cara anterior interna del cuadro, y la otra, *c*, mucho más sólida y ligeramente encorvada, que se halla suspendida enfrente ó detrás de *b*, mediante un eje de hierro dulce *d*, que atraviesa su parte superior y descansa en soportes fijos en ambos lados del cuadro; dichas dos planchas dejan entre sí un espacio de sección triangular ó cuneiforme, limitada lateralmente por las caras correspondientes del cuadro fijo, y en cuya boca superior caen desde una tolva los trozos de roca ó mena que se trata de quebrantar; mientras la plancha *b* permanece fija, la *c* ejecuta un rápido movimiento de vaivén de delante atrás, aproximándose y alejándose sucesivamente de *b*, y abriendo y cerrando alternativamente la boca inferior del espacio referido; por consiguiente, el mineral que cae desde la tolva se encuentra fuertemente comprimido entre ambas planchas, quebrantándose cada vez más á medida que baja, y cayendo,

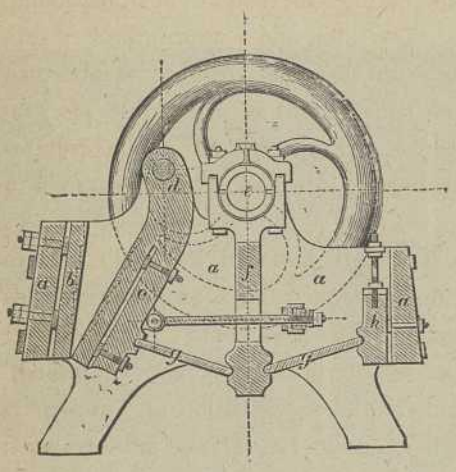


FIG. 29.
Quebrantador de Blake: sección vertical.

por último, en granos menudos por la boca inferior. El movimiento de vaivén de la plancha *c* lo determina un motor de vapor ó hidráulico, independiente del triturador ó combinado con él, mediante el árbol horizontal *e* (provisto de un volante), un pendolón *f* suspendido á una excéntrica en medio de dicho árbol, las dos planchas de hierro *g g* y una vara horizontal sujeta por un extremo á la parte posterior de *c* y por el opuesto á un fuerte muelle de acero ó de cautchuc; á medida, pues, que gira *e*, la excéntrica imprime á *f* un rápido movimiento de alza y baja en sentido vertical, elevando y deprimiendo sucesivamente las planchas *g g*, de modo que, merced á éstas, en combinación con la vara del muelle, el extremo inferior de la plancha principal *c* está obligado á aproximarse y retirarse alternativamente de su compañera *b*. A fin de poder graduar la abertura de la boca inferior del quebrantador, y por consiguiente el tamaño de los granos de mineral triturado, la plancha posterior *g* se apoya contra una cuña *h* que puede elevarse ó bajarse mediante un tornillo, abriendo y cerrando más ó menos dicha boca.

El producto de la trituración á mano, ó del quebrantador de Blake, constituye una mezcla de todos los elementos de la mena tratada, en granos de los tamaños más diversos, desde el polvo más ó menos fino hasta los pedazos de cuatro á cinco centímetros, y es necesario someterla á un lavado preliminar. Este puede consistir en un mero desenlodamiento, es decir, en limpiar la mena de la tierra menuda, arcilla ó cieno seco de las labores subterráneas, que la ensucian adhiriéndose á los pedazos, en cuyo caso la mena va pasando desde una tolva, y á impulso de un chorro de agua, por canales ó cajones de mampostería ó madera más ó menos inclinados; ó mejor todavía por el interior de grandes tambores de palastro armados de púas y que giran lentamente en recipientes llenos de agua. Pero en muchos casos dicho lavado preparatorio tiene por objeto, además del mero desenlodamiento, una clasificación, por tamaños, de los diversos elementos que componen la masa de la mena quebrantada; clasificación que, tratándose de menas complicadas que contienen minerales útiles diversos y que es preciso separar, facilita notablemente las operaciones sucesivas de la preparación mecánica. Empléanse al efecto cribas metálicas fijas ó de sacudimiento, con orificios de distintos diámetros, sobrepuestas unas á otras ó dispuestas en series inclinadas ó en gradas, sobre las que la mena es arrastrada continuamente mediante un chorro de agua, verificándose al paso la clasificación por tamaños, recogiéndose las diferentes clases en recipientes distintos, y yendo á parar las partes más finas, en forma de légamo, al llamado *laberinto* del taller de lavado, que describiremos más adelante. Dichas cribas fijas ó movibles son planas y ligeramente inclinadas, imprimiéndose á las últimas nombradas un movimiento regular de vaivén en sentido lateral ó longitudinal, acompañado de un sacudimiento brusco que promueve la clasificación deseada, manteniendo la mena en una agitación continua. Pero en los últimos tiempos

dichas cribas planas son sustituídas cada vez más con los llamados *tambores clasificadores*, que son más sencillos y se prestan mejor al objeto: compónense esencialmente de tres ó más ruedas de hierro, muy ligeras, fijas á cierta distancia una de otra sobre un eje común, de modo que formen un ligero armazón cilíndrico ó cónico truncado, en torno del cual se adaptan chapas agujereadas ó telas metálicas; el eje descansa por sus extremos en cojinetes, y está provisto de una polea de transmisión ó rueda de engrane, mediante el cual puede girar á impulso de un motor. Un tambor cilíndrico se coloca un poco inclinado para determinar el arrastre de la mena que en él penetra por el extremo superior; el eje de un tambor cónico, en cambio, se dispone horizontalmente, puesto que, penetrando la mena en el aparato por su extremo más estrecho, avanza naturalmente hacia el opuesto, en virtud de la inclinación que resulta de la forma cónica, combinada con la rotación. Según los casos, se emplean tambores sencillos (con agujeros de distinto diámetro), escalonados ó dispuestos en serie, de modo que la mena va pasando de uno á otro; ó bien, á falta del espacio que supone esta disposición, se construyen tambores compuestos, es decir, formados por una serie de cribas cilíndricas ó cónicas concéntricas, cada una con orificios de distinto diámetro, á través de los cuales pasan sucesivamente los elementos de la mena del tamaño correspondiente; á veces se combinan los dos sistemas, empleando juntos los tambores compuestos y los sencillos; pero sería demasiado prolijo y fuera de nuestro propósito entrar aquí en los pormenores de semejantes disposiciones, que varían naturalmente según la naturaleza de las menas sometidas á la clasificación.

Efectuada ésta, los trozos de mena más gruesos se someten generalmente á una separación á mano, apartándose el mineral útil puro que pueda resultar, desechándose los trozos inútiles y reservando los mixtos, es decir, que contienen partículas de mineral útil deseminadas en la ganga ó fuertemente adheridas á ella, para la trituración propiamente dicha, ó reducirlos á pedazos menudos. Se verifica esto con ayuda de las máquinas más diversas, siendo las más antiguas las llamadas *bocartes* (figuras 30 y 31), cuyo empleo data de principios del siglo XVI: consisten sencillamente, como indican nuestros grabados, en una serie de pilones, compuestos cada uno de un sólido madero de pino ó encina, é inferiormente de una pesada calzadura de hierro fundido endurecido de 20 á 30 centímetros de alto; sostenidos verticalmente entre fuertes montantes, y guiados por piezas horizontales, se levantan esos pilones hasta cierta altura, uno después de otro, á impulso de un grueso árbol motor de madera (figura 31), situado detrás y teniendo lenguas de hierro encorvadas, que se apoyan al girar bajo otras fijas á los pilones, que, al desprenderse, caen en virtud de su peso. La mena por triturar se introduce bajo las calzaduras desde tolvas situadas convenientemente, y el material triturado se retira en la parte anterior, por medio de palas, cuando la operación se verifica en seco, ó es arras-

trado continuamente por un chorro de agua á través de cribas metálicas, cuando conviene emplear dicho elemento líquido. El bocarte se emplea todavía con gran ventaja para triturar menas de oro, estaño y otras muy duras, que es preciso reducir al estado de arena muy fina ó polvo, por encontrarse el mineral útil muy diseminado en la ganga ó roca; en la actualidad se construye totalmentede hierro y acero, con arreglo á los modelos norteamericanos, formando un aparato mucho más compendioso y ligero que los bocartes antiguos de madera.

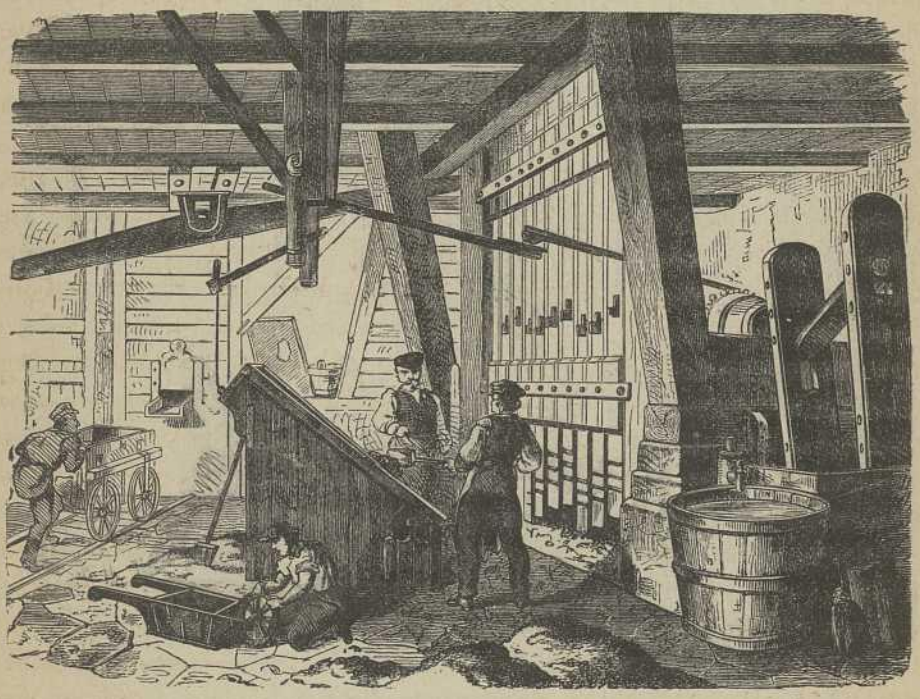


FIG. 30.—Bocarte: vista anterior.

Por lo mismo que el bocarte reduce la mena á polvo ó arena muy fina, su empleo no es recomendable fuera de los casos indicados; pues salvo éstos y otros que indicaremos luego, se debe evitar en la preparación mecánica, y en lo posible, la producción de polvo en demasía, que necesariamente da ocasión á pérdidas. Por esto se ha generalizado ya el uso de los llamados *cilindros trituradores* (fig. 32), que, según las necesidades, se construyen de diversas formas y tamaños. Compónese esencialmente una de estas máquinas de dos cilindros de hierro fundido *b*, con gruesos aros *a* de hierro ó acero fundido, susceptibles de ser quitados fácilmente cuando se desgastan, montados sobre fuertes árboles paralelos y horizontales *e*, en cuyos extremos se fijan ruedas de engrane, *i k*, destinadas á transmitir el movimiento de un motor de vapor, hidráulico ó fisiológico, pues hay aparatos relativamente pequeños que pueden moverse por

caballerías mediante un malacate. Los soportes de uno de los árboles están fijos, pero los del segundo pueden deslizarse en cajas reservadas en el armazón, y se apoyan, mediante barras de hierro, contra muelles de cautchuc ó acero, *o*, más ó menos fuertes, según la dureza de la mena que se trata de triturar; estos muelles mantienen el cilindro móvil contra el fijo, pero permiten su separación Para dejar pasar un trozo de ganga excepcionalmente duro, ó cualquier pedazo de hierro ó acero, procedente de una herramienta de mina rota, que pudiera

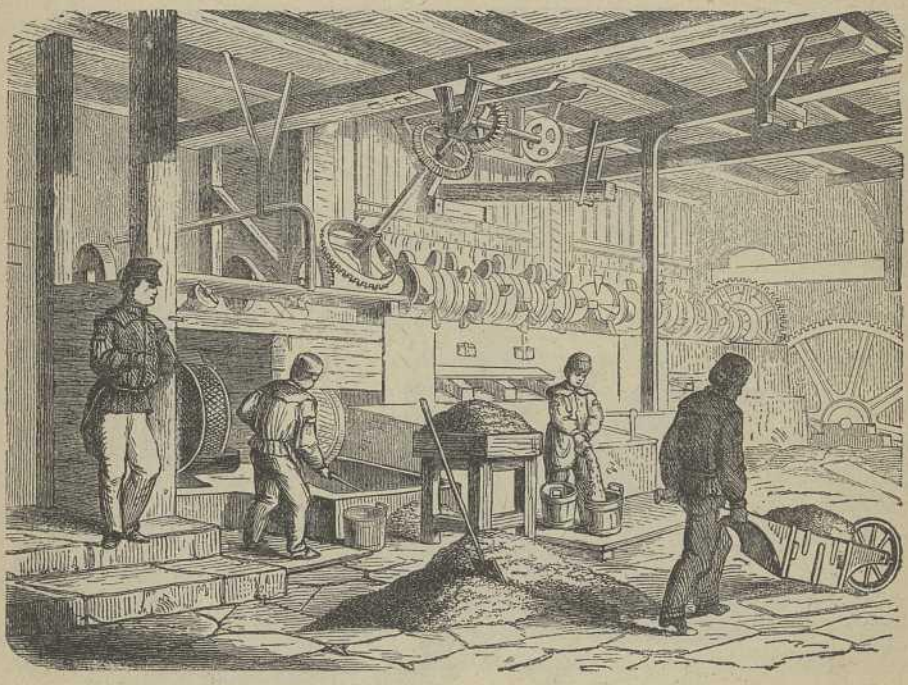


FIG 31.—Bocarte: vista posterior.

encontrarse casualmente en la mena, y que de otro modo daría lugar á una rotura de la maquinaria. Los cilindros giran en planos verticales y en sentidos contrarios, apoyados uno contra otro, pasando la mena entre ellos desde una tolva situada superiormente, y cayendo triturada en el tambor giratorio destinado á su recepción; para los casos en que convenga producir un material de grano menos fino, puede variarse la distancia entre los aros, mediante simples piezas de hierro de la longitud adecuada, que se colocan sobre el armazón entre los cojines de ambos árboles. Según la naturaleza de las menas, suele variar el diámetro de los cilindros entre 30 y 90 centímetros, pero nunca conviene que su ancho exceda de 26 centímetros, en razón del desgaste desigual de los aros más anchos; tambien varía mucho la velocidad que conviene imprimir á los cilindros y que influye notablemente sobre el resultado, debiendo ser tanto

menor cuanto más dura sea la mena; hay casos en que se reduce á 8 ó 9 vueltas por minuto, y otros en que se eleva á 50 vueltas en igual espacio de tiempo, sin que puedan establecerse reglas fijas.

Para la reducción de menas á polvo sumamente fino ó impalpable, como se necesita en vista de procedimientos de beneficio especiales, como la amalgamación, por ejemplo, se emplean varias clases de *molinos*, con muelas ó cilindros de piedra ó hierro, verticales ú horizontales, siendo uno de los más eficaces el inventado por *Dingey*. Pero son más recomendables los llamados *pulverizadores*, especialmente el de *Carr*, siempre que la mena que se trata de reducir á polvo no sea demasiado dura. El pulverizador de que hablamos, que representa en sección vertical la fig. 33, se compone de un árbol de hierro, *aa*, que descansa por ambos extremos en los cojinetes *bb* y puede girar á impulso de la polea de trans-

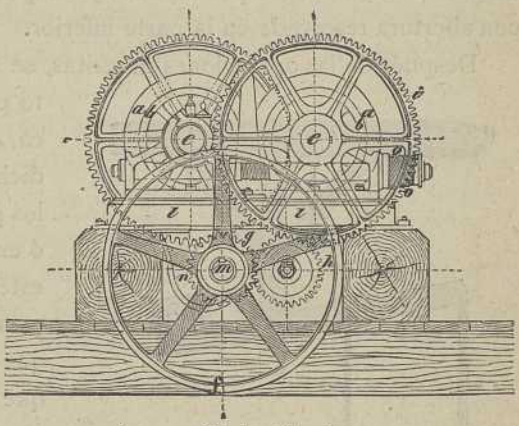


FIG. 32.—Cilindros trituradores.

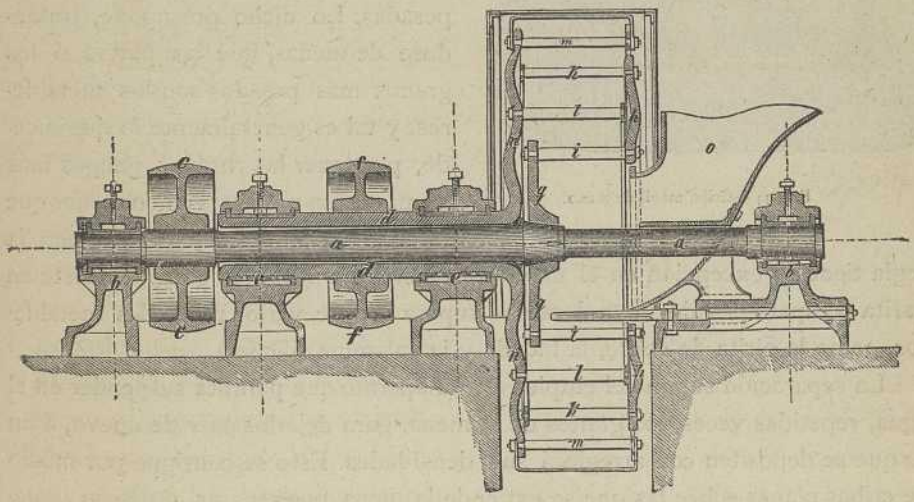


FIG. 33.—Pulverizador de Carr: sección vertical.

misión *c;* sobre dicho eje se encuentra otro hueco, *dd*, que descansa en los soportes *ee*, y gira independientemente del primero y en dirección contraria, mediante la polea *f;* el árbol *a* sostiene un disco *g* y un aro *h*, unidos por dos series concéntricas de varillas de acero *i* y *k*, mientras que el árbol hueco *d* sostiene las dos series de varillas *l* y *m*, por medio del disco *n*. El mecanismo de dis-

cos y varillas se halla encerrado en una caja de palastro provista de una abertura central, á la que se adapta una tolva, *o*, por la que se introduce en la máquina la mena objeto de la operación; á medida que entra es arrastrada violentamente por las varillas, las cuales, según el diámetro del aparato, giran con velocidades de 320 á 1.250 vueltas por minuto, y el polvo impalpable que resulta cae por una abertura reservada en la parte inferior.

Después de las operaciones descritas, se someten las menas al procedimiento principal de la preparación mecánica, ó sea á la *separación* propiamente dicha, que tiene por objeto enriquecer los productos, eliminando en lo posible ó en la medida conveniente, las partes estériles y dejando los minerales útiles más ó menos puros. El principio en que se funda la separación es el de que los cuerpos de densidad mayor van al fondo de un líquido más rápidamente que otros de igual tamaño y densidad menor; ó lo que es igual, que las partículas más ligeras son arrastradas por el agua más lejos que las más pesadas. Lo dicho presupone, tratándose de menas, que las partes ó los granos más pesados son los metalíferos, y tal es generalmente lo que sucede, por tener las rocas y gangas más comunes un peso específico menor que el de los minerales metalizados; pero la regla tiene su excepción en el caso, por ejemplo, en que la ganga consiste en barita ó espato pesado, cuya densidad supera á la de varios minerales metalíferos, como la pirita de cobre, la blenda y la calamina silicífera.

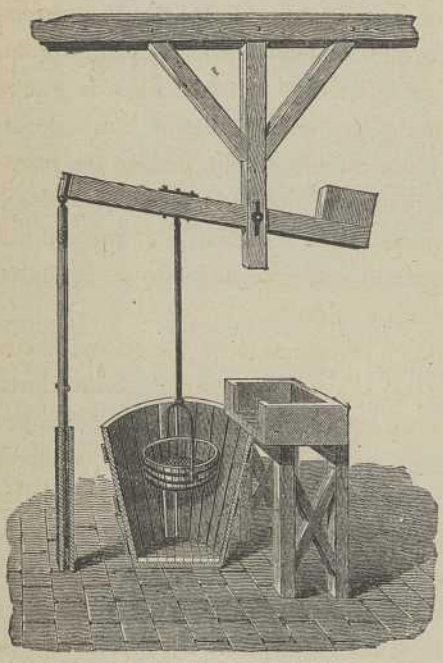


FIG. 34.—Criba móvil de mano.

La separación supone el empleo de un aparato que permita suspender en el agua, repetidas veces, los granos de la mena, para dejarlos caer de nuevo, á fin de que se depositen con arreglo á sus densidades. Esto se consigue por medio de cribas planas sobre las que se extiende la mena por separar, y que se someten á intervalos sucesivos y rápidos á la acción en sentido vertical de una corriente de agua, que eleva y deja caer alternativamente los granos. Las *cribas hidráulicas*, como se llaman, pueden ser móviles ó fijas; las primeras se suspenden en el agua y se las imprime una serie de sacudimientos en sentido vertical, mientras que con las segundas se consigue el mismo efecto impeliendo el agua á través de sus orificios por medio de un pistón. La fig. 34 representa una

de las varias formas que se dan en diferentes partes á las cribas móviles de mano, aparatos que cada vez caen más en desuso, merced á las cribas mecánicas. Como se ve, la criba misma, que es circular en este caso, pero también puede ser rectangular, se halla suspendida en una cuba (que se llena de agua hasta cierta altura), mediante una varilla, á una palanca, que lleva un contrapeso en su brazo corto, y en el extremo del largo otra vara guiada por un tubo fijo en el suelo. La operación consiste sencillamente en llenar la criba de mena revuelta, sumergirla en el agua tirando de la última vara nombrada, é imprimirle con la misma una serie de sacudimientos cortos y rápidos; los granos metalizados de la mena, más finos que los orificios de la tela metálica de la criba, caen en la cuba, quedándose los mayores en la criba, y formando los de ganga ó roca una capa superior que, al interrumpir el sacudimiento al cabo de algunos momentos, se saca y tira á un lado por medio de un pedazo de palastro; seguidamente se vuelve á cargar la criba, se repiten los sacudimientos, y así sucesivamente hasta que se halla reunida cierta cantidad de mineral útil puro, que se saca entonces de ella; el menudo que cae al fondo de la cuba, se saca cuando empieza á estorbar la acción de la criba.

Las cribas móviles mecánicas no difieren esencialmente de las manuales, salvo que se suspenden á palancas más cortas, y los sacudimientos se imprimen por medio de excéntricas fijas á un árbol horizontal que gira á impulso del vapor de un motor hidráulico. Pero los aparatos de este género que dan los mejores resultados y tienden, como ya dijimos, á hacer desaparecer los anteriores, son las *cribas mecánicas fijas*, esto es, las en que el tamiz de tela metálica ó palastro agujereado es inmóvil, mientras la corriente necesaria para elevar la mena se produce por medio de un pistón ó émbolo macizo de madera, cuadrado ó rectangular, que encuentra colocación y se mueve en sentido vertical debajo de la criba, en la misma caja que ésta, ó bien más comunmente en un compartimiento separado á un lado de dicha caja, y que comunica inferiormente con ella mediante una ancha abertura. Estas cribas, introducidas por el austriaco *Rittinger*, el célebre reformador de la preparación mecánica, eran al principio intermitentes, es decir, que se paraba el pistón para efectuar á mano la carga y descarga, como en las cribas móviles; de modo que se perdía tanto tiempo como con éstas, y los resultados venían á ser próximamente los mismos. Pero después se realizó un notable progreso con la invención de las cribas de pistón *continuas*, esto es, las en que la carga y la descarga, y por tanto la separación, se efectúan continua y automáticamente. La carga tiene lugar en un extremo de la criba, por medio de una tolva en combinación con un tornillo de Arquímedes, ó mecanismo análogo que regulariza la alimentación; la descarga automática se verifica de diversas maneras, siendo la más eficaz la que consiste en practicar aberturas rectangulares en la pared delantera del cajón, á diferentes alturas sobre el nivel de la tela de la criba, aberturas cuya sección puede regu-

larse por medio de una chapa suspendida, y por las cuales los minerales puro y mixto se derraman aisladamente á medida que se separan, cayendo en cajas dispuestas al efecto exteriormente; las materias más ligeras encuentran salida por otra abertura en el extremo de la criba, opuesto al en que se verifica la carga. Según la composición más ó menos compleja de las menas, se construyen estos aparatos continuos con una, dos ó mas cribas á continuación una de otra y al mismo nivel; la fig. 35 representa una criba continua doble, provista de dos tamices y dos pistones, cuyas varillas se ven en la parte posterior, tal como se construye en la acreditada fábrica de la Sociedad Humboldt, en Colonia.

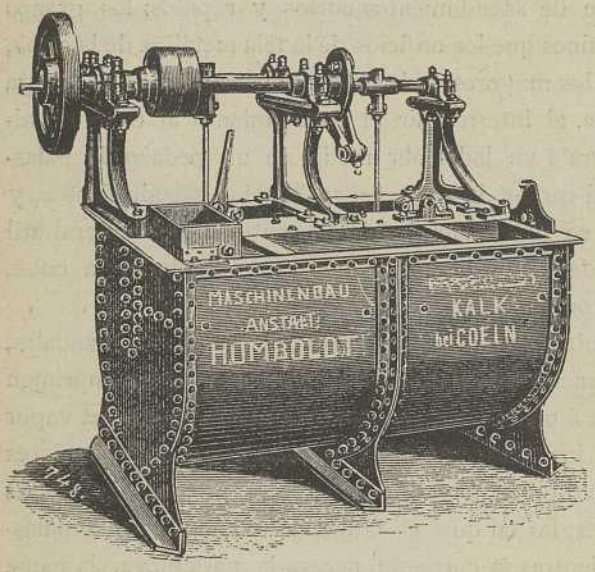


FIG. 35.—Criba continua doble.

Tenemos que hablar ahora de la preparación de los *finos*, ó sean las arenas finas y barros procedentes del desfangamiento de las menas al salir de la mina, de la clasificación de las mismas en tambores, antes y después de la trituración, así como del fondo de los cajones de las cribas de separación; generalmente hablando, lo son todas las materias cuyos granos mayores tienen un milímetro ó milímetro y medio de grueso, y se componen de minerales útiles é inútiles en diferentes proporciones, predominando, por lo común, los últimos. El tratamiento de semejantes productos consiste esencialmente en su división con arreglo al peso absoluto de sus granos, siguiéndole de una clasificación por tamaños que da por resultado su enriquecimiento definitivo.

La primera operación se funda en el modo de deposición de los finos en una corriente horizontal ó vertical de agua, cuya velocidad disminuye paulatinamente. Si las aguas procedentes de las diferentes operaciones anteriormente descritas, y más ó menos cargadas con materias finas en suspensión, se dejan correr en una serie de estrechas canales dispuestas de manera que disminuya la rapidez de la corriente en las canales sucesivas, se depositarán primero los granos de mayor peso, aunque de tamaños diferentes, más adelante los de peso mediano, y más allá todavía los más ligeros, que, como es consiguiente, permanecen más tiempo suspendidos en el agua, siendo arrastrados á mayor distancia. La serie de canales más ó menos largas, estrechas y hondas, dispuesta al efecto y de manera que, aumentando la anchura, disminuye gradualmente la

velocidad de la corriente, constituye lo que se llama el *laberinto*, cuyas partes se construyen de madera y ladrillo, recibiendo un desarrollo proporcionado á la cantidad de finos por preparar. La multiplicación necesaria de los canales ofrece muchos inconvenientes, pues no sólo aumenta en proporción de la cantidad de los finos, sino que, á menos de interrumpir las demás operaciones de la preparación de menas cada vez que sea necesario desocupar las canales, es preciso establecer un laberinto doble, á fin de que circule la corriente y se depositen las materias en una mitad, mientras se sacan las ya depositadas en la otra. Aparte del espacio considerable que esto supone, se pierde un tiempo precioso antes de que los finos depositados adquieran la consistencia necesaria para que

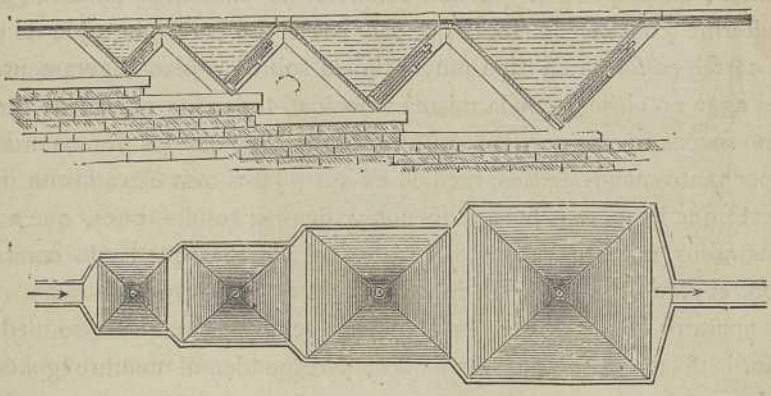


FIG. 36.—Cajones de punta.

puedan ser extraídos, y esta extracción resulta costosa por el número de brazos que ocupa. Por esto, y en los talleres de preparación bien montados, se sustituye hoy el laberinto con otros aparatos, conservando únicamente sus últimos canales ó depósitos mayores para la deposición de los barros más impalpables.

Una de las modificaciones más racionales del laberinto se debe al ya citado Rittinger, y consiste en una serie de cajones en forma de pirámides invertidas, llamados *cajones de punta* (fig. 36), situados á continuación uno de otro, generalmente en número de cuatro y de dimensiones crecientes. Semejante serie se coloca en el camino de la corriente de agua que arrastra los finos, y, como bien se comprende, á medida que ésta pasa de un cajón á otro mayor, se acorta notablemente su velocidad, dando lugar á la deposición sucesiva de granos de peso cada vez más reducido, esto es, los más pesados en el primer cajón de la serie y los más ligeros en el último. Pero la gran ventaja de este aparato consiste en la salida continua de las materias separadas, las cuales, sustrayéndose á la acción superficial de la corriente, bajan con lentitud al fondo de los cajones, y salen aquí por una abertura muy estrecha, derramándose directamente con el agua que las arrastra, sobre los aparatos destinados á su enriqueci

miento definitivo. La parte de finos que no se deposita en el último cajón es muy reducida, y generalmente tan tenue que no puede aprovecharse; en algunos casos conviene recogerla en un depósito grande de laberinto. El aparato de Rittinger ofrece grandes ventajas, pero tiene ciertos inconvenientes que han dado motivo para que en muchos talleres se sustituya por diferentes aparatos de construcción análoga, entre ellos los en que la separación de los granos se verifica á impulso de corrientes de agua *ascendentes*, cada vez más débiles, resultando más perfecta que en los cajones de punta sencillos.

La segunda operación á que se someten los finos, y que tiene por objeto su concentración ó enriquecimiento, está basada en el principio siguiente: si el agua que contiene en suspensión granos de mineral de diferentes tamaños, pero de peso uniforme (cual sucede con la que sale por el fondo de un cajón de punta), se deja correr en forma de capa muy delgada sobre un plano ligeramente inclinado, el agua no alcanza con la misma velocidad todos los puntos de cada grano, como sucede en una corriente más profunda, sino que los granos más gruesos, y por tanto menos densos, reciben en sus puntos más elevados un impulso más fuerte que los granos más pequeños y densos; resulta, pues, que aquéllos son arrastrados, mientras que éstos resisten al impulso, quedando como pegados sobre el plano, y de aquí la concentración de las partes más ricas.

Los aparatos empleados en esta concentración tienen, como se deduce de lo dicho, la forma de planos inclinados, y responden al nombre genérico de *mesas*. Las más antiguas y sencillas, que se encuentran aún en algunos distritos mineros, son el llamado *cajón alemán* y la *mesa durmiente*, que en lo principal consisten en un tablero inclinado de cortas dimensiones, rodeado de un cuadro de tablas, sobre el cual se deja correr una corriente continua de agua, mientras que un operario hace caer y extiende sobre la parte superior cierta cantidad de los finos procedentes de un laberinto; para promover el contacto del agua con todos los granos, el operario arrastra continuamente los finos contra la corriente, valiéndose de un rastro ligero de madera, de modo que las partes más ricas y densas se depositan en la cabecera, mientras las más pobres y ligeras son arrastradas por el agua. La conveniencia de sustituir este trabajo manual, tan imperfecto y lento, con uno mecánico más uniforme, condujo á la invención de la *mesa redonda*, ó *gandinguero*, como se llama en el Mediodía de España (donde los finos se llaman *gandinga)*. Este aparato constituye una cavidad cilíndrica de 3 á 6 metros de diámetro, cuyo fondo se inclina ligeramente desde el centro á la circunferencia, ó bien desde ésta al centro, resultando en el primer caso un gandinguero convexo, y en el segundo uno cóncavo. En el primero los finos, suspendidos en agua, se distribuyen sobre la mesa desde el centro, mientras que en el segundo esta distribución se verifica por la periferia, en tanto que en ambos casos, y mediante un árbol vertical provisto de dos ó más brazos horizontales y que gira en el centro por medio de un mecanismo, unas tablas ligeras,

fajas de lienzo ó pequeños haces de támaras, van lamiendo circularmente la superficie, determinando la distribución más perfecta de los finos y promoviendo la clasificación.

La operación de que tratamos se verifica todavía mejor sobre la llamada *mesa de sacudimiento* (fig. 37) en la que el trabajo de los rastros del gandinguero se halla sustituído por fuertes sacudidas, que se imprimen al aparato en sentido longitudinal. Como se ve en el grabado, la mesa, provista de bordes laterales para contener el agua, está suspendida á cuatro montantes por medio de cadenas, de las que las del extremo anterior se arrollan sobre un árbol horizontal, á fin de poder variar la inclinación de la mesa; las sacudidas se producen desde la parte posterior por medio de un árbol giratorio armado de lenguas (como el de bocartes) que, empujando la mesa un poco hacia adelante, la dejan retroceder en virtud de su peso y chocar contra un madero más ó menos elástico. Los finos suspendidos en agua caen en la cabecera de la mesa, después de atravesar un tablero distribuidor, y los sacudimientos tienden á producir el movimiento retrógrado de los granos de mineral, mientras que las vibraciones consiguientes favorecen la desagregación de las partículas que el agua clasifica. Como en los aparatos ya descritos, los minerales más finos y densos se depositan en la cabecera de la mesa, y los más gruesos y ligeros al pie, disminuyendo la riqueza del producto en el mismo sentido; cuando la capa depositada ha adquirido un espesor de 15 á 20 centímetros en la cabeza, se suspende la operación para retirar los finos clasificados, volviendo á pasar las partes inferiores. La inclinación de la mesa, el número y la fuerza de las sacudidas, la cantidad de agua y demás factores, varían según las circunstancias, y sólo pueden determinarse prácticamente.

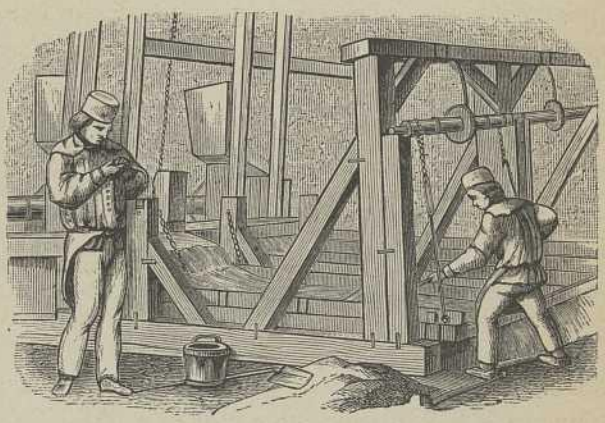


FIG. 37.—Mesa de sacudimiento.

Todas las mesas mencionadas hasta aquí pertenecen á la categoría de las *llenas*, porque se dejan acumular los minerales sobre ellas hasta cierto punto, operando el agua su clasificación sobre las superficies sucesivas de la capa creciente que van formando, superficies que no dejan de presentar desigualdades. Semejante inconveniente se evita con el empleo de las llamadas *mesas vacías*, en las cuales los finos se clasifican con arreglo al mismo principio, pero

alejándose las partes clasificadas poco después, ó á medida que constituyen una tenue capa sobre la superficie igual y lisa de la mesa misma. La *mesa de arroyo*, que se usa todavía con frecuencia en el Mediodía de España, constituye en cierto modo la forma primitiva de la clase; es una pequeña mesa durmiente empotrada en el suelo, por la cabecera de la cual penetra un chorro de agua clara, diluyendo los finos que un operario, sentado en dicha parte, hace caer sobre la superficie y remueve continuamente con un rodillo ó legón. Existe además una gran variedad de mesas vacías; pero los aparatos más perfectos del género son las *mesas giratorias* y las de *sacudimiento lateral*, inventadas por Rittinger; de

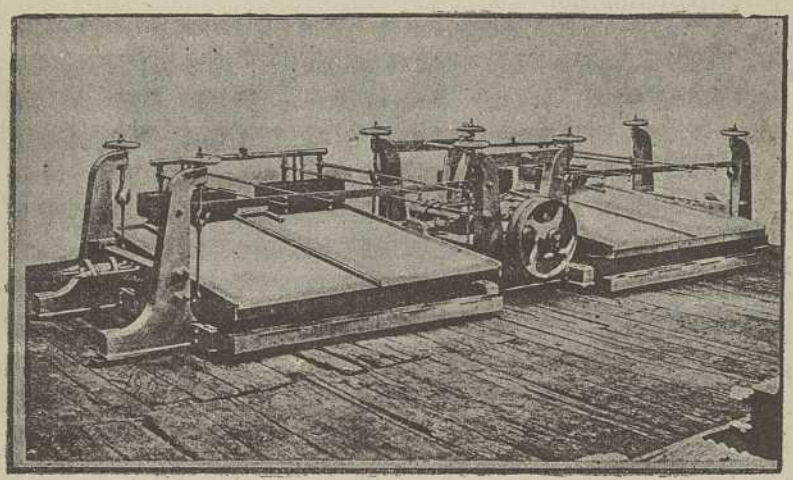


FIG. 38.—Mesas de sacudimiento lateral.

éstas últimas ofrecemos una vista en la fig. 38, según una fotografía que nos ha facilitado la Sociedad Humboldt. Este aparato se fabrica de hierro en todas sus partes, salvo la superficie de la mesa, que se hace de madera dura, perfectamente cepillada, ó bien de grandes planchas de pizarra ó mármol alisadas; cada mesa tiene unos 2,50 metros de longitud por 1,50 de ancho, recibiendo una inclinación de 3 á 6 grados, y de 200 á 300 sacudidas por minuto. Los finos suspendidos en agua llegan á la mesa por uno de sus ángulos superiores, al mismo tiempo que una tenue capa de agua clara baña continuamente y por igual la superficie de ella; participando los granos de mineral del movimiento lateral producido por los sacudimientos, tienden á seguir un camino transversal en virtud de su inercia, mientras que el agua tiende á arrastrarlos en la dirección longitudinal del plano; de aquí su descenso por una curva y su clasificación más perfecta, pues como el efecto de la inercia es más pronunciado en los granos más densos que en los ligeros, resulta que los diferentes minerales se separan pronto, siguiendo su camino curvilíneo en bandas aisladas, que se extienden

desde el ángulo superior de entrada hasta el borde inferior del plano, donde las diferentes clases de mineral caen en canales ó depósitos separados.

En los últimos años han adoptado algunos talleres alemanes una criba de pistón continua, parecida á la de nuestra figura 35, para la preparación ó concentración de las arenas más finas, y en varios casos los resultados han sido y son muy ventajosos. Además se han inventado y se inventan continuamente toda suerte de aparatos secundarios para la preparación mecánica de las menas, tales como reguladores de carga, tambores de mezcla y distribución, elevadores de rosario, circulares, hidráulicos, etc., bombas para aguas turbias, hélices de transporte, carretillas y demás, á cuyos pormenores no podemos descender. Se ha ensayado, sin resultado satisfactorio, el efecto de una corriente de aire para aventar, digámoslo así, clasificándolas, las menas reducidas á polvo, para los casos en que no se dispone del agua necesaria para el lavado; y, por último, se ha aplicado, con ventaja en algunos casos, el *electro-magnetismo* para la separación de ciertos minerales que tienen próximamente la misma densidad, procedimiento que ha adoptado nuestra Real Compañía Asturiana para la eliminación del mineral de hierro que acompaña al de cinc en los criaderos que beneficia en Guipuzcoa.

DE LOS PROCEDIMIENTOS METALÚRGICOS EN GENERAL

Preparadas las menas de la manera expuesta en los párrafos precedentes, puede procederse á su beneficio metalúrgico, si bien en muchos casos es preciso someterlas á nuevos tratamientos preparatorios antes de poder obtener los metales que encierran. En efecto, no basta siempre que los minerales metalíferos se hallen libres ó casi libres de las gangas y rocas con que estaban asociados en la Naturaleza, sino que es preciso en muchos casos eliminar determinados componentes de los mismos ó promover ciertas transformaciones para facilitar las operaciones del beneficio propiamente dicho. Para ello es necesario valerse de la afinidad química de los diferentes elementos, alejando de las combinaciones los que perjudicarían en los tratamientos ulteriores, y procurando sustituirlos con otros que luego resulten más beneficiosos; hay que tratar de ofrecer al metal amigo que se quiere obtener, la compañía, digámoslo así, que, con arreglo á las circunstancias, le sea agradable, hacia la que muestra mayor disposición á asociarse, y sobre la que se tiene la influencia suficiente para sacar el mejor partido de la asociación. El arte del químico consiste, en semejantes casos, en promover la reunión de los elementos entre sí más simpáticos, pero que al mismo tiempo le allanen el camino para alcanzar el objeto que se propone, cual es el de aislar los metales y extraerlos de la masa de la mena. Con este fin, es decir para romper la asociación de los metales con los elementos más afines,

necesita el químico obrar con el tacto correspondiente, ora respetando las susceptibilidades naturales del metal, ora distrayéndole con la compañía alegre de nuevos compañeros, á fin de hacerle olvidar amistades anteriormente contraídas, ora valiéndose de medios más rigurosos y violentos.

Es preciso, ante todo, dar á las moléculas de la masa de cuyo tratamiento metalúrgico se trata, la movilidad necesaria para hacer posible su separación ó combinación voluntaria, cosa que se consigue transformando la masa en estado líquido ó gasiforme. El oxígeno del aire es un agente poderoso en los procedimientos del químico, y su acción se aprovecha en muchísimos casos, apoyada por los efectos, en parte mecánicos, en parte químicos, del agua y el ácido carbónico. Allí donde su poder resulta insuficiente, se vale el metalurgo de ácidos y medios análogos para promover la solubilidad de la masa en agua, ó bien recurre al fuego promoviendo una fusión.

El proceso químico más sencillo á que suelen someterse ciertas menas, especialmente las de hierro, con objeto de prepararlas para los tratamientos metalúrgicos definitivos, consiste en exponerlas al aire libre, por cuyo medio, y andando el tiempo, se oxidan algunos de sus componentes, es decir, se combinan con oxígeno, perdiendo á la vez su primitiva consistencia y desmoronándose más ó menos. Pero se producen efectos semejantes mucho más pronto calentando ó calcinando las menas al aire libre ó en hornos y vasijas á propósito, esto es, elevando su temperatura á un grado inferior al de fusión, pero suficiente para hacerlas más friables, oxidar algunas de las sustancias que contienen, reducir ciertos óxidos y sales ya existentes, ó expulsar simplemente ciertas materias.

La mera *quema* de la mena produce efectos análogos á los que resultan de quemar la caliza para obtener cal viva, y á ella suelen someterse los minerales oxidados de hierro, la calamina, la casiterita ú óxido de estaño, ciertas pizarras cupríferas, etc., ora para expulsar el agua, el ácido carbónico y materias bituminosas que contienen, ora para promover su desintegración en virtud tan sólo de la fuerza expansiva del calor.

Los efectos de la *calcinación* propiamente dicha, son más diversos, pues la operación tiene, en general, por objeto la oxidación y volatilización de determinados elementos, especialmente tratándose de combinaciones de azufre, arsénico y antimonio. Así, por ejemplo, empieza el tratamiento metalúrgico de las menas sulfuradas de plomo, cinc y cobre con una calcinación, á fin de eliminar el azufre, el cual, mediante su combustión, ó sea su combinación con el óxido del aire, escapa en gran parte en forma de ácido sulfuroso. En la calcinación del cinabrio, ó sulfuro de mercurio, se consigue la completa oxidación del azufre, y al mismo tiempo la reducción del metal, que, volatilizándose, es decir, tomando el estado gasiforme en virtud del calor, se obtiene en su estado líquido ordinario mediante una condensación de sus vapores; tratándose de los demás meta-

les, la calcinación sólo los convierte en óxidos, y para reducir éstos á metal es necesario fundirlos con carbón. Las menas estañíferas que contienen piritas sulfurosas ó arsenicales suelen someterse á una calcinación antes de su preparación mecánica, á fin de convertir dichos sulfuros y arseniuros en óxidos más ligeros, en cuya forma pueden separarse más fácilmente por el lavado.

La calcinación se verifica de diferentes maneras. La más antigua, que todavía se practica en algunos distritos y tiene analogía con la carbonización de la leña en carboneras, consiste en amontonar la mena sobre una capa de leña (fig. 39), en medio de una era libre ó en un hoyo, reservando una chimenea ó respiradero en medio del montón; en esta chimenea se echan carbones encendidos, y cuando la mena contiene azufre, éste acaba por encenderse también, de modo que la calcinación procede con muy poco gasto de combustible. En las minas de Ríotinto se llaman *teleras* semejantes montones donde las piritas se calcinan al aire libre en grande escala. Por tan primitivo procedimiento la mayor parte del azufre se pierde en forma de ácido sulfuroso que apesta el aire, si bien en algunos puntos se procura encauzar la oxidación y obtener parte del azufre, como tal, cubriendo la telera con una capa delgada de tierra, arena ó materia análoga, é impidiendo así la entrada del aire hasta el punto de reducir notablemente la cantidad de ácido sulfuroso, aumentando, en cambio, la del azufre volatilizado, pero no óxido, que se recoge en vasijas dispuestas convenientemente sobre el respiradero ó chimenea. En Suecia, y en la calcinación de menas cobrizas, se obtienen cantidades considerables de azufre, disponiendo teleras muy largas sobre un piso inclinado, tapándolas bien con tierra y encendiéndolas en su extremo inferior, y poniendo sus extremos superiores en comunicación mediante canales cubiertos con un hoyo embovedado ó cámara de mampostería, dentro del cual se condensa el azufre volatilizado.

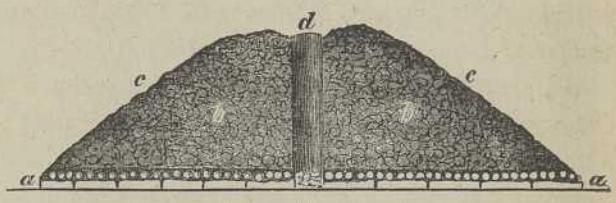


FIG. 39.—Telera.

Algo más racional que la calcinación en montones libres es la que se verifica en plazas muradas, cuyas paredes tienen al menos la ventaja de resguardar los montones de mena contra el enfriamiento y la acción del viento; pero aun así la calcinación resulta desigual y en la mayoría de los casos hay que repetirla con parte del mineral, y además no es fácil recoger y condensar los gases y las sustancias volátiles que se desprenden de los montones. Por estos motivos, es preferible calcinar en hornos, siempre que el valor de las menas pueda compensar el aumento de gastos que supone este procedimiento.

Los hornos que se emplean en la calcinación pueden ser de la clase llamada de cuba, ó de la de reverbero, variando mucho su construcción, según los casos.

Una calera ordinaria representa la forma más sencilla de semejantes hornos de cuba, pero su construcción sólo permite una calcinación intermitente, es decir, que después de cada operación hay que dejar enfriar el horno, vaciarlo y cargar y encenderlo de nuevo. Por esto son preferibles los hornos de acción continua, que suelen construirse en ambos lados de sólido muro (fig. 40 *aa)*, que sostiene un ancho canal embovedado *b*; el horno se caldea llenándolo de cok, y seguidamente se carga de mineral, que, á medida que se va calcinando, se retira por la rejilla y la abertura *d*, echando al mismo tiempo por la abertura *c* una partida nueva, de modo que la operación no se interrumpe; mediante el registro *e* se puede observar la marcha interior y regular del tiro, mientras que los gases pasan al canal *ó* y las cámaras de condensación en combinación con él. La fig. 41 da una idea de los hornos de reverbero que se emplean para calcinar menas y otros productos metalúrgicos en estado de arena ó polvo; el horno de forma rectangular se compone de una plaza llana, cubierta por una bóveda baja, en comunicación por un extremo con un hogar en el que se quema un combustible crudo, como la hulla ó el lignito, ó bien uno gasiforme, en cuyo último caso el hogar se convierte en generador; la mena, previamente calentada sobre la bóveda principal, cae sobre la plaza por una abertura reservada en aquélla, y se encuentra sometida aquí, de un lado, á la acción de las llamas procedentes del hogar, y de otro, al oxígeno del aire que penetra por las aberturas ó puertas laterales, que se mantienen abiertas ó cerradas, según mejor convenga, y por ellas se revuelve el mineral de cuando en cuando con un espetón ó rastro de hierro, á fin de que se caliente completamente y por igual.

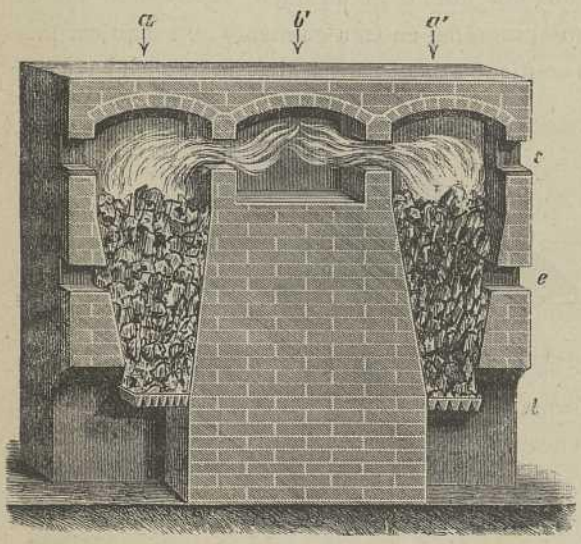


FIG. 40.—Horno de calcinación de acción continua.

A los hornos referidos, lo mismo que á los que se empelan en la fusión de ciertas menas, especialmente las de plomo y plata, se agregan, por lo general, cámaras ó galerías de condensación, en las que se enfrían y depositan, en parte, las materias volatilizadas, y que terminan en una chimenea elevada, que tiene por objeto, no sólo activar el tiro de todos los hornos de una fábrica, sino también el de dejar escapar los gases nocivos á bastante elevación sobre el suelo para que, difundiéndose en el aire y arrastrados por los vientos, no perju-

diquen la salud de los habitantes y la vegetación de la comarca. Semejantes cámaras y galerías deben tener, si han de ser eficaces, una capacidad ó un desarrollo considerable, y su construcción supone el gasto de un capital no despreciable; mas tratándose de menas de plomo y plata, por ejemplo, el gasto resulta bien pronto compensado por el valor de los productos volátiles que se recogen y pueden beneficiarse fácilmente, mientras que, si se trata de gases nocivos, como los ácidos sulfuroso y arsenioso, su construcción es en muchos casos un deber impuesto por la necesidad de no perjudicar la salud pública y el crecimiento normal de las plantas.

La condensación de las materias volátiles sólidas en forma de polvo suma-



FIG. 41.—Horno de reverbero para la calcinación.

mente fino, como los óxidos ó sulfuros de plata y plomo, el cloruro de cobre, etcétera, es relativamente sencilla, basándose en el enfriamiento de los humos ó en el contacto de éstos con grandes superficies, favoreciéndose la deposición del polvo mediante una reducción de la fuerza del tiro, cambios repentinos en la dirección de éste, ó bien por la filtración de los humos mismos. En cambio la condensación de los productos gasiformes que se escapan durante los procedimientos metalúrgicos, como los ácidos sulfuroso, arsenioso y muriático, ofrece, en la mayoría de los casos, dificultades muy serias y reclama aparatos costosísimos, fuera de toda proporción con el ínfimo valor de los gases mismos, cuyo aprovechamiento resulta, por lo general, impracticable. Es verdad que el ácido sulfuroso se puede utilizar en la fabricación de ácido sulfúrico, siempre que su proporción en los gases resultantes de la calcinación sea superior al 4 por 100 del volumen; pero tratándose de gases más pobres en ácido sulfuroso, como los procedentes de la calcinación en teleras, semejante aprovechamiento es imposi-

ble, y salvo en casos excepcionales en que concurren circunstancias locales favorables, como una gran abundancia de agua, es preciso contentarse con la difusión de los gases nocivos en la atmósfera, á la mayor elevación posible sobre el suelo, por medio de chimeneas muy elevadas. Nos concretamos aquí á estas generalidades, puesto que más adelante volveremos sobre tan importante tema para tratarlo con mayor amplitud.

El beneficio metalúrgico propiamente dicho de las menas bien preparadas, ó sea la extracción de los metales que contienen, se verifica, por regla general, por la fusión, esto es, por medio del fuego, ó la vía seca, como se dice técnicamente; en determinados casos, por ejemplo, en el beneficio de ciertas menas de plata y platino, se aplica la vía húmeda, es decir, la disolución mediante ácidos, ó la amalgamación. Tanto por una como otra de dichas vías, los métodos varían tanto y son tan diversos los procedimientos especiales, según la naturaleza de las materias tratadas, que en este capítulo preliminar habremos de limitarnos á meras generalidades, dejando la exposición de los más usuales para los capítulos sucesivos, en que trataremos en particular de los diferentes metales por sí.

La forma más sencilla de la fusión es la llamada *licuación*, aplicable á menas que contienen un metal fácilmente fusible en estado nativo; basta calentar la mena hasta el grado de fusión del metal que, liquidándose ó licuándose, se separa de las partes más refractarias de la masa. Este procedimiento se aplica rara vez, y principalmente tratándose del beneficio del bismuto.

En muchos casos contienen las menas, tal como proceden de la preparación mecánica, el metal en estado de óxido, mientras que en otros este estado se produce mediante la calcinación; de todos modos, las menas oxidadas son las que más comúnmente se someten á la fusión. En un óxido, como ya explicamos antes, se halla el metal en combinación con oxígeno, para eliminar el cual se funden las menas con carbón, procedimiento que se practicaba ya en tiempos remotos, cuando aún no se tenía la menor idea de la naturaleza de la reacción química en que se funda. En semejante proceso, es decir, en el horno de fundir, se acentúa la afinidad química entre el carbono y el oxígeno; ambos se combinan para formar dos productos gasiformes, el óxido de carbono y el ácido carbónico, mientras que el metal, privado de su oxígeno, se separa en estado regulino. Este proceso de *reducción*, como se dice, es particularmente interesante para el beneficio de las menas de hierro, si bien en este caso no se obtiene desde luego el metal puro, sino sólo una combinación del hierro con carbono, y es lo que llamamos hierro colado. Si se someten á la fusión reductiva las menas sulfurosas, previamente calcinadas, pero de las que no se logra eliminar por completo el azufre, se obtiene un resultado doble: de un lado se produce cierta cantidad de metal regulino ó puro, mientras que del otro resulta una proporción mayor ó menor de sulfuro fundido, ó sea una combinación del

metal con azufre, que se llama *mata*, la que se trata del mismo modo que un sulfuro natural, y para su beneficio es preciso calcinarlo, con el objeto de eliminar en lo posible el azufre que contiene é impide su reducción.

Hemos visto que, mediante la preparación mecánica, se logra purificar las menas de tal suerte, que pueden someterse con más facilidad al tratamiento metalúrgico; pero nunca resultan limpias hasta el extremo de conservar sólo sus componentes metalíferos. Al contrario, como hay necesidad de someter á la trituración cierta cantidad de roca y ganga, por encerrar partículas de mineral útil, la mena preparada contiene forzosamente una proporción mayor ó menor de dichas materias, y constituye, por lo mismo, una mezcla bastante complicada. Además, si se considera que las gotitas de metal, al separarse en el horno en medio de la masa esponjosa de mena y combustible, ó de mena sola, se hallan expuestas á oxidarse y volatilizarse merced al aire que penetra y á la temperatura elevada, y que, por consiguiente, es preciso protegerlas contra dichas influencias, cuya acción ilimitada originaría grandes pérdidas, es evidente que el metalurgo tiene que fijar su atención preferente en la composición de las menas que trata de beneficiar. Primeramente, y con arreglo á la constitución química de la mena, tiene que elegir el medio de reducción más á propósito para lograr su objeto; pero, en segundo lugar, debe tener en cuenta también la naturaleza de los productos secundarios que han de formarse durante la fusión, adoptando las medidas necesarias para convertir las partes inútiles de la mena en una escoria fusible que, envolviendo aquellas gotitas de metal reducido, las sustraiga á los efectos perjudiciales ya mencionados.

En contados casos, una mena determinada contiene ya las materias necesarias en la debida proporción para formar la escoria apetecida; en otros se logra obtener la proporción adecuada mezclando menas de diferentes procedencias que contengan materias terrosas distintas, procedimiento que consiente también el beneficio más económico de menas pobres en combinación con otras ricas; pero hay casos en que el metalurgo sólo dispone de una clase de mena que no llena las condiciones deseadas, ó no consigue establecerlas aun con la mezcla indicada, y entonces se ve obligado á echar mano de materias extrañas que reciben el nombre genérico de *fundentes*. Éstos pueden tomar una parte principal en las reacciones químicas que tienden á reducir y separar el metal en estado regulino; ó bien sólo llenan el objeto arriba indicado de envolver y proteger las gotas de metal reducido contra la volatilización, ó evitar que se conviertan nuevamente en óxido, en cuyo estado resultaría el metal disuelto por la escoria, formando nuevas combinaciones que dificultarían extraordinariamente, cuando no imposibilitarían, su beneficio. Es evidente, pues, que, si bien la escoria debe ser fusible, no conviene que lo sea en grado máximo, porque entonces dejaría de responder á aquella misión protectora respecto del metal, es decir, que resultaría demasiado líquida para envolver y arrastrar sus gotas. Claro

es también, por otro lado, que una escoria demasiado refractaria, ó poco fusible, origina perjuicios de distinta índole, pues no suelta debidamente, en el fondo del horno las gotas de metal arrastradas, sino que las retiene en gran proporción en su masa, dando lugar á pérdidas de consideración.

Entre las materias que más comunmente se añaden á las menas en concepto de fundentes, ora sea para facilitar las reacciones químicas inherentes á la reducción del metal, ora para promover la acción mecánica de la escoria, mencionaremos el carbón, la cal viva, la sal común, varios minerales comunes, como cuarzo y rocas silíceas (feldespato, hornblenda, clorita, etc.), piedra caliza, yeso, barita, arcilla, etc., y ante todo las escorias mismas procedentes de fundiciones anteriores. En casos determinados, como, por ejemplo, en el beneficio del cinabrio y de la galena, se agrega á las menas hierro metálico, así como en la extracción de la plata y el cinc, amén de otras muchas sustancias que pueden promover las reacciones químicas en procedimientos especiales. Como fundentes en la acepción limitada de la palabra, es decir, materias que promueven tan sólo la fusibilidad de la escoria, se emplean, por lo general, escorias muy fusibles, procedentes de operaciones anteriores, bórax, espato fluor, potasa, nitro, etc. Hay casos en que, como fácilmente se comprende, se halla más especialmente indicado tal ó cuál fundente que sería difícil ó imposible obtener en condiciones económicas, viéndose, por tanto, el fundidor obligado á renunciar á su empleo, y á valerse de otro menos eficaz que por acaso abunde en la comarca y puede obtenerse con facilidad No podemos descender aquí á más pormenores; pero basta lo expuesto para que se comprenda la importancia que entraña una

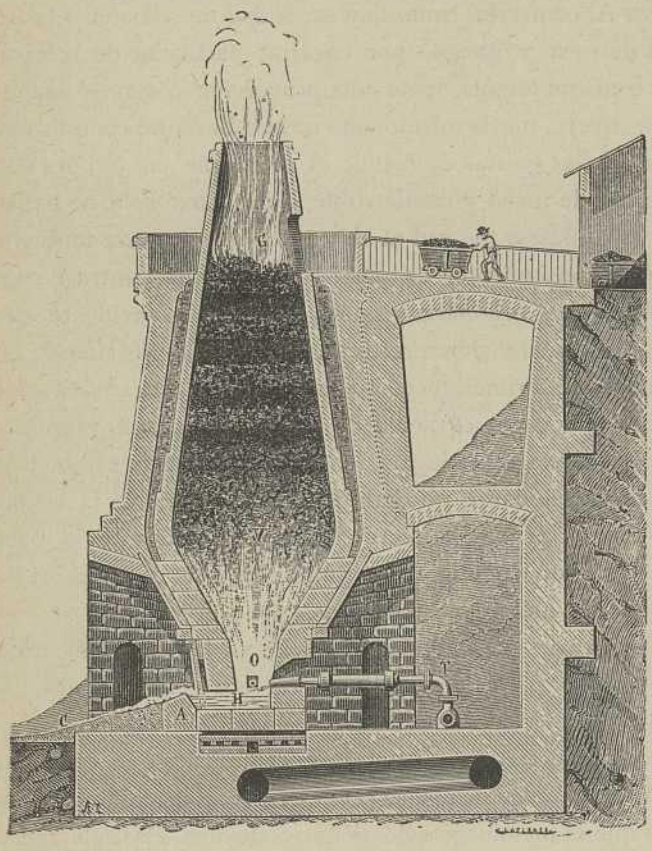


FIG. 42.—Horno de cuba. (Alto horno.

combinación bien entendida de las menas y demás materias que se someten á la fusión.

La fusión se verifica, por regla general, en hornos de cuba ó en hornos de reverbero, cuya construcción varía mucho en los diferentes casos; el llamado alto horno (fig. 42) que se emplea en la fusión de las menas de hierro, es ejemplo de los hornos del primer género, mientras que el reverbero que se construye especialmente para el beneficio de las menas sulfurosas de cobre (fig. 43), es muestra de los del segundo. No entramos aquí en detalles acerca de la construcción y la marcha de estos aparatos, porque tendremos ocasión de hacerlo



FIG 43.—Horno de reverbero.

más adelante; añadiremos únicamente que la fusión es de las operaciones metalúrgicas que pueden llamarse continuas, puesto que, una vez encendido el horno, continúa sin interrupción día y noche, relevándose el personal cada ocho ó doce horas, hasta que el interior del horno da señales de necesitar una reparación, ó que cualquier motivo de conveniencia imponga una suspensión del trabajo.

Además de la fusión, que constituye el núcleo, digámoslo así, de los procedimientos metalúrgicos, se aplican otros varios procesos especiales al beneficio de menas determinadas y de productos secundarios. El vasto campo de la metalurgia no se puede comprender en un esquema dado; cada caso especial reclama un tratamiento adecuado, que resulta, no sólo de la experiencia adquirida en el terreno técnico, sino también de comparaciones y cálculos minuciosos respecto de los precios de los materiales precisos, de los jornales y del valor de los productos en los mercados. Como en los grandes establecimientos

metalúrgicos hay continuamente enormes sumas en juego, la economía de un sólo céntimo en tal ó cual operación puede determinar la suerte de un negocio; pudiendo citarse, por ejemplo, el caso de las extensas fundiciones de cobre de Mansfeld, que después de arrastrar largo tiempo una existencia precaria, en razón de la pobreza de aquellas menas y las dificultades inherentes á su beneficio, empezaron de pronto á realizar buenas ganancias, merced á la invención de un procedimiento especial que permite aprovechar una cantidad de plata tan ínfima, que apenas la revela un análisis minucioso del mineral.

Dichos procedimientos metalúrgicos, de carácter más ó menos especial, se verifican en parte por la vía seca ó ígnea, en parte por la vía húmeda. Los más comunes entre los primeros son la *destilación* y la *sublimación*, que no difieren esencialmente uno de otro, y se encaminan á separar, mediante el calor, ciertos metales ó combinaciones volatilizables, de las materias refractarias que los acompañan en menas y productos análogos. El número de los metales que por su naturaleza son susceptibles de semejante tratamiento es muy reducido, comprendiendo el azogue, el cinc, el cadmio y el arsénico, y sus combinaciones llamadas ácido arsenioso, arsénico sulfurado y cinabrio ó sulfuro de mercurio. Si las menas contienen dichas sustancias en el estado en que se desean obtener, se trituran y someten, en hornos de vasijas cerradas, esto es, con exclusión del aire, á la temperatura necesaria para la volatilización consabida, conduciéndose los vapores á cámaras más frías, en donde tienen lugar de condensarse. Si, por el contrario, es preciso promover primero una descomposición química, á cuyo efecto las menas se mezclan con sustancias á propósito, el proceso puede resultar bastante complicado. En el curso de las operaciones metalúrgicas suelen aplicarse los procedimientos de destilación y sublimación, cuando se trata de eliminar de las menas sustancias volátiles, como el ácido arsenioso, que serían nocivas si se dejaran escapar al aire libre, ó cuando, en el procedimiento de la amalgamación, se trata de recuperar el azogue empleado en la extracción de la plata y del oro.

En cuanto á la via húmeda, eran antes contados los casos en que el metalurgo la aplicaba exclusivamente, reduciéndose á la extracción del platino y del oro por medio del agua regia, y el tratamiento de determinadas menas de cobre con ácido sulfúrico, para obtener la caparrosa azul. En la mayoría de los casos la vía húmeda constituía tan sólo un eslabón en la cadena de procedimientos á que se sometían las menas, después de hacerlas sufrir una descomposición previa á manos de los agentes meteóricos, la calcinación, etc.; pero hoy desempeña ya la vía húmeda en la metalurgia un papel más importante, siendo de presumir que su aplicación irá extendiéndose más y más en lo sucesivo. Así, por ejemplo, se someten algunas menas cobrizas, especialmente las piritas, á una calcinación con nitro, recogiéndose los gases en grandes cámaras de plomo, y condensándolos en forma de ácido sulfúrico, que se emplea para

extraer el cobre de las menas calcinadas, precipitándose el metal puro de la disolución obtenida por medio de hierro metálico. De las menas de hierro crómico se obtiene bicromato de potasa, calcinándolas con nitro y disolviéndolas; se emplean también ácidos en la separación del oro de la plata, así como en el beneficio de las menas de platino, y la extracción de la plata de sus menas, mediante los procedimientos de Augustin y Ziervogel, en los que las menas calcinadas se someten á un tratamiento con una disolución de sal común, á fin de transformar la plata en cloruro, todo ello constituye asimismo métodos por la vía húmeda, amén de otros varios que dejamos sin nombrar.

En los años recientes se ha aplicado á la metalurgia la corriente eléctrica, ora por la vía de la electrolisis, para separar plata y cobre de sus disoluciones respectivas, ora en forma del arco voltaico para la producción de aluminio y magnesio, como tendremos ocasión de explicar más adelante.

Los productos metalúrgicos son muy varios: mientras que nuestros antepasados se contentaban con pocos metales en su forma regulina, la civilización moderna ha creado necesidades que el metalurgo procura satisfacer, produciendo toda suerte de materias en cantidades que rivalizan con las de los metales mismos, y cuya importancia, en algunos casos, deja en la sombra la de éstos. De semejante modo se han convertido muchos establecimientos metalúrgicos en verdaderas fábricas de productos químicos, resultando de ello ventajas grandísimas para los numerosos ramos de industria que dependen de tales sustancias. Para el objeto de esta obra, sin embargo, los metales son lo principal, siguiéndoles de cerca los productos metalúrgicos propiamente dichos, que resultan de procedimientos especiales é independientes de la extracción de los metales, tales como el acero, el plomo duro, el óxido de hierro llamado *Caput mortuum* ó *colcotar*, el rejalgar, etc. Después de éstos tenemos los verdaderos productos secundarios, que con frecuencia constituyen importantes artículos de comercio, entre ellos el ácido arsenioso y las caparrosas verde y azul.

En muchos casos el metalurgo no puede lograr de primer intento la producción del metal en estado regulino, sino que tiene que contentarse con alcanzar su objeto en fases sucesivas, obteniendo productos intermedios, como matas, litargirio, aleaciones, etc., que hay que someter á nuevos tratamientos hasta sacar el metal deseado. Por último, el metalurgo produce enormes cantidades de escorias, que antes, y todavía hoy en muchos casos, se tiraban y tiran por inútiles, después de emplear alguna parte de ellas como fundente. Mas en este mundo todo es relativo; lo que ayer se despreciaba se sabe aprovechar hoy; y esta consideración es aplicable precisamente á muchas escorias. Los escoriales antiguos se preparan mecánicamente y se vuelven á fundir, obteniendo cantidades no despreciables de plata, plomo y cobre; las escorias tan ricas en níquel, procedentes de la fabricación del esmaltín ó vidrio de cobalto, que

todavía hace sesenta años se tiraban en Alemania por inútiles, se recogieron cuidadosamente como primera materia de gran valor, desde que empezó á desarrollarse, por el año 1830, la industria del metal blanco. Pero aparte de éstos y otros ejemplos que podríamos citar, aun las escorias realmente pobres, procedentes de los altos hornos, que hasta hace poco se utilizaban sólo en la reparación de las carreteras, se convierten hoy en ladrillos y sillares artificiales, excelentes para las construcciones, y también en losas que dan muy buenos resultados en las aceras de las calles. La llamada lana de escoria se aplica también á diversos usos en que se necesita una materia mal conductora del calor, obteniéndose muy fácilmente y en gran cantidad por el sencillo medio de someter la escoria, tal como sale del horno de fundir, á la acción de un fuerte chorro de vapor de agua, que la convierte instantáneamente en una ligera masa de fibras parecidas á la lana. Las escorias que resultan del procedimiento de la desfosforación del hierro se aprovechan actualmente para producir fosfatos terrosos muy apreciados como abono en la agricultura.

Antes de considerar los diferentes metales por sí y particularmente, creemos del caso ofrecer á nuestros lectores una lista comparativa de sus precios, á fin de que tengan una idea de su valor relativo. Tomamos como unidad de peso un kilogramo y los precios que regían á principios del año 1885,

	PESETAS por kilogramo.
Hierro colado	0,065
Acero	0,175
Plomo	0,31
Cinc	0,38
Antimonio	1,12
Cobre	1,55
Estaño	2,12
Mercurio	4,75
Níquel	8,62
Cadmio	11,12
Bismuto	22,50
Sodio	23,75
Aluminio	100,00
Magnesio	100,00
Plata	186,05
Platino	1.187,50
Iridio	2.500,00
Oro	3.499,87

Estos guarismos se refieren sólo á los metales en bruto, cuyo valor aumenta naturalmente al convertirse en objetos fabricados, en proporción del trabajo empleado. El hierro nos ofrece un ejemplo muy interesante de semejante cam-

bio de valor, pues mientras que colado, al salir del alto horno, sólo vale 3,50 pesetas por 50 kilogramos próximamente, en su forma de objetos de fundición vale 11,25; como hierro dulce en barras, 12,37; como palastro, 13,87; como alambre, 15; como acero fundido, 33,75; en forma de hojas de cuchillo, de 1.800 á 2.500, y en los muelles de escape más finos para relojes, más de seiscientas mil pesetas por 50 kilogramos.



EL HIERRO Y SU INDUSTRIA

Apuntes históricos.—Hierro y carbono.—Minerales de hierro.—Fusión de las menas de hierro.—Altos hornos.—Hierro colado.—Producción del hierro dulce. Afino; pudelaje.—Empleo del combustible gasiforme.—Martinete; compresor; molino de lupias; martillo de vapor.—Producción del hierro maleable directamente de las menas.—Elaboración del hierro dulce.—Producción del acero.—Composición y propiedades del acero.—Acero bruto ó pudelado.—Acero de cementación.—Aceros de Bessemer, Thomas Uchatius, y Martín.—Acero fundido; Krupp y el establecimiento siderúrgico de Essen.—Acero indio.—Fundición ó fabricación de objetos de hierro colado.—Estañado, cincado, niquelado, esmaltado, etc., del hierro.—Desarrollo actual de la industria siderúrgica y datos estadísticos.

En siglos pasados los astrólogos señalaban cada uno de los seis planetas que conocían con el signo de un metal, y fué en cierto modo profética la circunstancia de atribuir á la Tierra el del hierro, pues este metal desempeña un papel importantísimo respecto de la construcción en nuestro globo, en cuyo seno se halla en masas enormes, lo mismo que diseminado en todas las rocas firmes, las tierras sueltas y las aguas. Toma el hierro una parte activa en los procesos químicos del reino vegetal, y circula en nuestras venas como componente imprescindible de la sangre; siendo no menos indispensable al hombre como medio de existencia exterior, base, como lo es, de la actividad industrial, y fomentador pasivo de la civilización y del bienestar público.

La falta repentina del hierro sería para la humanidad una desgracia inmensa, de consecuencias verdaderamente incalculables; y sin embargo, tanto en nuestra patria como en otros muchos países, existían en remotos tiempos pueblos, miserables en verdad y semisalvajes, que no conocían el hierro ni otro metal alguno, y hacían sus toscos utensilios y armas con madera, piedra, hueso, cuerno y materias análogas. Más tarde, como tuvimos ocasión de exponer en la Introducción general á esta obra, llegaron algunos á aprovechar ciertos metales, como el cobre, el oro y la plata, que les brindaba la Naturaleza en estado nativo, y después aprendieron- de una parte, á extraer el estaño de sus minerales y á mezclarlo con el cobre para producir bronce, y de otra, á reducir á metal maleable ciertos óxidos de hierro. Dónde y cómo se hizo por vez primera tan importante descubrimiento, son preguntas que en vano pretenderíamos contestar; sólo sabemos, por hallazgos hechos en las ruinas de la antigua Nínive y en las pirámides de Egipto, que el hierro se empleaba ya hace miles de años, siendo casi indudable que los egipcios labraban sus enormes monolitos con herramientas de acero, y que aquel metal, y tal vez el acero mismo, gozaba de alto aprecio en la antigua Grecia. Homero lo canta, y en aquellas herrerías nació, sin duda, la idea del mítico oficio de Vulcano, cuyos ayudantes, los Cíclopes, con su ojo único en medio de la frente, fueron tal vez no más que los representantes imaginarios del herrero griego, que trabajara con una luz fija sobre la cabeza, cual lo hacen todavía los mineros en determinados países.

Más adelante el pueblo de los Chalybes, que tenía su asiento en la costa meridional del mar Negro, se hizo célebre por la bondad del acero que producía de minerales que aún abundan en aquellas regiones, por lo que los griegos adoptaron su nombre para designar el acero, llamándolo *Chalybs;* y se refiere que otros Chalybes, productores de acero, vivían en España á orillas de un río del mismo nombre, á cuyas aguas se atribuía la propiedad de endurecer el hierro. Además del hierro pontínico y español, tenían también fama por entonces el acero de la India y el hierro de la isla de Elba, y mucho antes del comienzo de nuestra Era se apreciaba bastante el hierro de Estiria. Es más que probable que los antiguos pueblos del Norte de Europa supieron reducir á metal sus minerales de hierro, independientemente de los griegos y romanos, pues en sus vetustas tradiciones y epopeyas desempeñan un papel importante las espadas milagrosas y los herreros que las forjaban. Los montones antiquísimos de escoria de hierro que se encuentran en más de sesenta puntos distintos del centro de Europa, también indican que en las comarcas respectivas, y en tiempos prehistóricos, se verificaba ya la extracción directa del hierro dulce de ciertos minerales oxidados; mientras que, respecto del período histórico, existen documentos que demuestran que la producción del hierro precedió en las montañas del Harz á la de la plata, puesto que se fabricaba aquel metal en Stolberg,

durante el siglo VI. Pero, generalmente hablando, parece que en la antigüedad fueron principalmente los guerreros los que reconocían y hacían valer las virtudes del hierro, á las que daban mucha menos importancia aquellas sencillas gentes en su hogar y el cultivo del campo; hoy todavía emplean los labradores de la Ukrania (Rusia), lo mismo que nuestros madereros de Sierra Segura, por ejemplo, carros de madera, de la construcción más primitiva, en los que no se encuentra ni siquiera un clavo de hierro.

Si en nuestra ignorancia respecto de cómo y dónde se logró por vez primera producir el hierro, quisiéramos aplicar el principio de que las invenciones se hacen generalmente allí donde donde las circunstancias especiales son las más favorables y donde se tropieza con menos dificultades, podríamos atribuir al Africa tan importante descubrimiento. En este inmenso continente, patria de la raza negra, y donde conservan aún los pueblos indígenas sus primitivas costumbres y bárbaro modo de vivir, la producción del hierro se conoce y practica desde tiempo inmemorial; en muchísimas partes se encuentran buenos minerales de hierro, y herreros hábiles que saben extraer el metal y hacer las armas y los utensilios de uso común. En el Sudán, según refieren todos los viajeros, se presentan por doquier á la superficie del terreno trozos de mineral oxidado, fácil de reducir, y que aquellos herreros benefician en pequeñas cantides á la vez. ora en hornillos de barro, ora en hoyos poco profundos, que excavan al efecto y revisten con arcilla; en unos y en otros se somete el mineral, en pequeños pedazos y mezclado con un poco de carbón vegetal, no á una fusión propiamente dicha, pues no bastaría para ello la temperatura que se obtiene por medio de tan toscos fuelles como los empleados (fig. 44), sino á una simple reducción del óxido y una licuación parcial del metal, que se recoge primero, después de la operación, en forma de glóbulos ó gotitas, ó de pequeñas masas esponjosas, diseminadas en la masa general, y que luego se caldean por sí y baten repetidamente, hasta obtener pedazos de hierro dulce de algún tamaño, con los que forja entonces el herrero, del modo más sencillo y en medio del campo, las puntas de lanza, azagaya y flecha, los cuchillos, las azadas, etc., que necesitan sus paisanos; y cuando afloja el pedido de semejantes objetos, se ocupa en la acuñación de moneda, es decir, que forja los pequeños pedazos de hierro en forma de hoz ó media luna, que en muchas partes de Africa se emplean como moneda en las sencillas operaciones de compra y venta.

También en las regiones meridionales de dicho continente se practican los mismos sencillos procedimientos de reducción y forja del hierro, á los que va asociado un comercio interior activo entre las comarcas productoras y las que carecen de las materias primeras. Entre los pueblos del Sur (los damaras y otros que solemos llamar hotentotes) el hierro no se aplica solamente á la fabricación de armas y utensilios ordinarios, sino que también se presta á satisfacer el gusto por el adorno ó el lujo de aquellas gentes; sus objetos de adorno, en especial los

escudos que ostentan sobre el pecho y los collares que llevan al cuello, están hechos de hierro finamente pulimentado, cuyo brillo se aprecia más que el del oro y del latón. Existen, pues, pueblos que no se dejan deslumbrar por el metal que nosotros consideramos como el más precioso. Pero salvo los negros africanos y los esquimales. que utilizan directamente los trozos de hierro nativo que suelen encontrarse en Groenlandia, cabe decir que todo pueblo productor de hierro merece el calificativo de civilizado; pues, en general, la extracción del

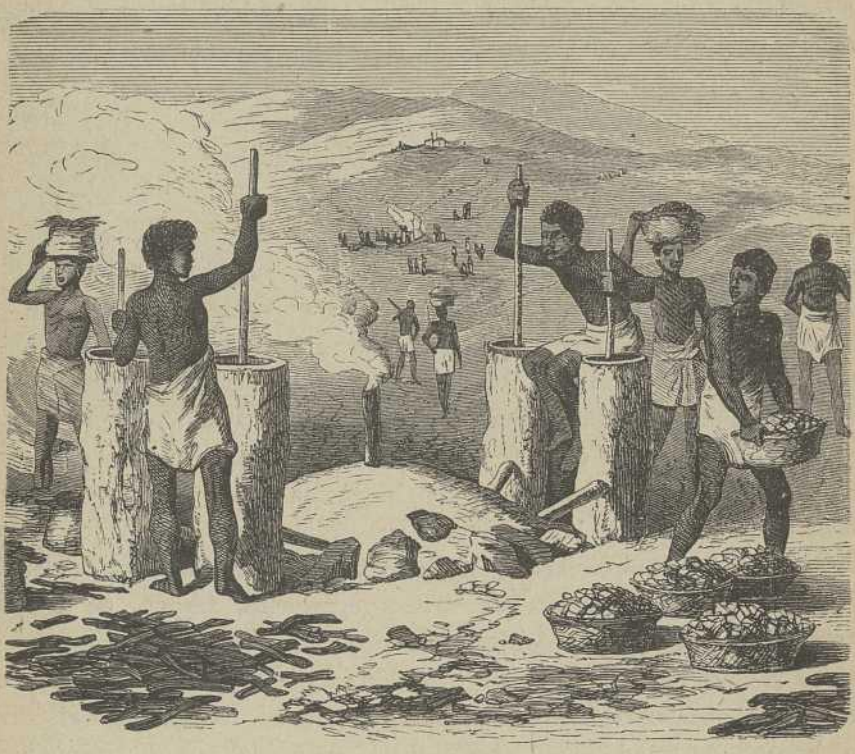


FIG. 44.—Reducción del mineral de hierro en el Sudán.

hierro de sus minerales que rara vez se presentan en condiciones tan favorables como en África, supone no poca habilidad técnica y cierta experiencia.

En ninguna parte del globo, que sepamos, y si exceptuamos las masas groenlandesas y los pocos trozos de hierro meteórico que se encuentran de vez en cuando y conservan como rarezas en nuestros museos, preséntase en la naturaleza el hierro en su estado nativo, hallándose, por el contrario, siempre oxidado, ó en forma de carbonato, sulfuro, etc. La razón de este fenómeno estriba en la poderosa afinidad química que existe entre el hierro de una parte, y el oxígeno y el azufre de otra; afinidad que se acentúa más entre los dos primeros, al punto de que el oxígeno es capaz de desalojar el azufre en sus combinaciones

con el hierro; encuéntranse con frecuencia minerales oxidados de hierro debidos á la transformación de la pirita ó sulfuro de este metal. La combinación del hierro con el oxígeno es lo que llamamos comúnmente orín, y el proceso á que se debe, ó sea la oxidación, es en cierto modo el signo de una lenta descomposición. Pero el hecho de que el hierro se sujeta tan fácilmente á dicho proceso es de la mayor importancia para la circulación de la materia en general y para la conservación de los organismos en particular, pues sólo así se transforma el metal en el estado en que puede ser disuelto por los ácidos naturales que se encuentran en la atmósfera y en el suelo. A esta circunstancia precisamente se debe el que el hierro pueda difundirse, digámoslo así, por todas partes, saliendo de sus depósitos primitivos y presentándose en diversas rocas y en la tierra vegetal, de la que sube á la planta y llega por su medio al cuerpo animado del animal y del hombre, donde constituye un elemento de la sangre, tomando parte en el proceso de combustión ú oxidación á que ésta se halla sujeta. Cuando el hombre anémico sale en busca de salud, la encuentra en muchos casos en una comarca que carece por completo de minerales de hierro, pero en la que se halla un manantial ferruginoso, cuyas aguas proceden de parajes remotos. Allí donde semejantes aguas ferruginosas corren ó se derraman por la superficie, se escapa el ácido carbónico que mantiene el hierro en disolución en forma de bicarbonato, el cual se deposita sobre el terreno, pero pronto pierde más ácido carbónico, oxidándose por combinación con el oxígeno del aire, y transformándose en masas porosas ó esponjosas, se endurece, por último, constituyendo mineral de hierro llamado hierro pantanoso (una especie de limonita ocreosa), que se recoge y beneficia fácilmente. Los habitantes de ciertas comarcas llanas y bajas de Dinamarca, Finlandia y Suecia no tienen otra fuente que ésta para proveerse de metal para sus herramientas; de modo que cabe decir, metafóricamente, que sus arados y hachas han brotado del suelo en aquellos manantiales.

El concepto de lo colosal, de lo ciclópeo, que solemos atribuir á la producción del hierro, y que despierta en nuestra mente expresiones como «alto horno» y «martinete de vapor,» es un concepto esencialmente moderno. Durante miles de años se practicó dicho ramo de la industria como mero oficio, sobre poco más ó menos como hoy se practica en Africa, y aun en el siglo XVI de nuestra Era se producía el hierro exclusivamente en los hogares que llamamos forjas catalanas, que se emplean todavía en el Norte de España, en Italia y Córcega, ó en hornos pequeños de unos dos metros de alto, en los que, con un gasto excesivo de combustible y una pérdida no menos excesiva de metal, se procuraba reducir los minerales más puros y ricos, sin fundirlos realmente, obteniendo un hierro más ó menos maleable ó dulce. Más tarde la construcción de los hornos, que tanta importancia tiene en la siderurgia ó metalurgia del hierro, se fué modificando de un modo notable, elevándose su altura, primero á la de tres á cuatro metros, y después hasta la de cinco á siete, con la cual, y mediante el

empleo de fuelles más poderosos (bombas soplantes), se logró una fusión propiamente dicha de los minerales más fusibles, obteniendo, no las masas pastosas de hierro acerado que resultaban antes, sino un hierro fundido, líquido, que se reunía en el fondo del horno, de donde se sacaba de cuando en cuando por el método llamado sangría. Semejantes hornos, relativamente bajos, se emplean todavía para el beneficio de menas muy fusibles; pero el deseo de aprovechar también las más refractarias, y, por consiguiente, la necesidad de elevar en gran manera la temperatura, condujo á la construcción de hornos cada vez más elevados, hasta llegar á los llamados altos hornos, hoy tan comunes, que tienen con frecuencia una altura de 15 á 20 metros, igual, por ejemplo, á la de nuestras casas de cinco pisos, y alcanzan, por excepción, la de 25 y hasta de 30 metros.

La producción del hierro fundido, esto es, en estado líquido, fué un descubrimiento de los más trascendentales. Antes del procedimiento propio de los altos hornos, cuyos primeros ensayos datan tal vez de principios ó mediados del siglo XVI, ningún herrero había visto el hierro en dicha forma, pues los hornos ú hogares más antiguos eran, como veremos más adelante, incapaces de promover la fusión de los minerales. La masa fluida de metal, tal como sale de un alto horno, puede utilizarse directamente, mediante los moldes apropiados, á la fabricación de multitud de objetos útiles, de los que llamamos de fundición; pero semejante aprovechamiento del producto era al principio cosa secundaria, adquiriendo gradualmente la importancia que hoy le atribuímos, á medida que se fué desarrollando la construcción de máquinas. Antes, se miraba principalmente el hierro fundido de que hablamos como primera materia para la producción del hierro dulce, y en su consecuencia se inventaron los métodos más diversos de afino, que en la actualidad han cedido el puesto al procedimiento llamado pudelación, al menos en todos los sitios donde se emplea como combustible la hulla ó carbón de piedra.

En otros tiempos se verificaba exclusivamente la reducción y la fusión de las menas de hierro por medio del carbón vegetal; el empleo de la hulla se inició por vez primera en Inglaterra, por el año 1730, y desde el punto de vista de la industria en grande debe considerarse como un progreso notable; pero respecto de la bondad del producto, dicha innovación constituye más bien un retroceso, y á pesar de los mayores gastos que supone, se emplea todavía en algunas partes el carbón vegetal para producir hierros de calidad especial, indispensables para ciertas industrias, y se emplearía este combustible todavía en mayor escala si no se opusiera á ello la necesidad de conservar las selvas que aún nos quedan. El país que cuenta actualmente con mayor abundancia de carbón vegetal, es Suecia, y por esto, y la buena calidad de sus minerales de hierro, mantiene su puesto á la cabeza de los países productores del hierro; la celebridad de la industria del acero inglés se debe en gran parte á los hierros suecos. En cambio, y respecto de la producción en masa y las múltiples aplicaciones del

hierro, los ingleses se han conquistado el primer puesto entre todas las naciones; desde fines del siglo pasado, y mediante la aplicación del vapor á las bombas soplantes, empezó la siderurgia inglesa á hacer progresos verdaderamente sorprendentes. Las minas de hierro se convirtieron en Inglaterra en verdaderas minas de oro, gracias á que la naturaleza había depositado en sus inmediaciones los medios para el beneficio de sus minerales, pues las menas de hierro más ricas son inaprovechables, cuando no se dispone de un combustible adecuado,

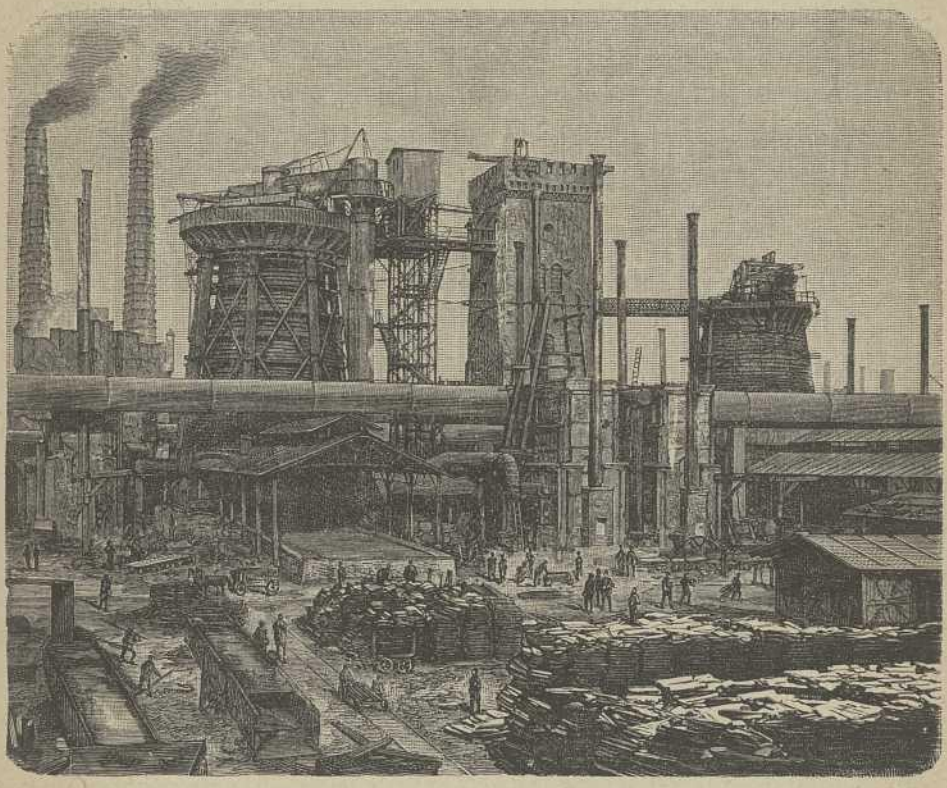


FIG. 45.—Altos hornos de Koenigshütte (Silesia).

abundante y barato; en dicho país se encuentran los minerales de hierro en la vecindad de la hulla, tan cerca en algunos casos, que ambos productos naturales se explotan en la misma mina, extrayéndose el hierro por un pozo y la hulla por otro. En las comarcas ferruginosas alemanas del Bajo Rhin y de Westfalia existen condiciones favorables análogas, y de aquí el desarrollo de una industria siderúrgica comparable á la inglesa; en algunas ramas se ha elevado ya la industria del hierro en Alemania al par de la de Inglaterra, y es superior particularmente en la producción del acero; y si en general las fábricas siderúrgicas alemanas no presentan la extensión de las británicas, algunas, como las de Krupp, en Essen, la Koenigshütte, en Silesia (fig. 45), y la Marienhütte,

en Sajonia, pueden competir con ellas respecto de la producción en masa.

Esta producción enorme explica los progresos en la aplicación del hierro, iniciados por los ingleses; los millones de toneladas de metal baratísimo que producían y producen año tras año sus fábricas siderúrgicas, buscaban empleo, y entonces empezó esa competencia entre el hierro, la madera y la piedra, que dió por resultado la construcción en hierro de puentes, casas, iglesias, palacios dichos de cristal, escaleras, bóvedas y otras muchas cosas. La historia de las vías férreas refiere cómo, en un período crítico para la industria de que hablamos, el dueño de unas minas escocesas tuvo la idea de sustituir los carriles de madera de sus tranvías mineros con planchas de hierro, porque no hallaba á la sazón otro empleo mejor para el metal; y tales fueron las ventajas de semejantes carriles de hierro, que después, y sin reparar ya en el precio más elevado del metal, empezaron los ingleses á construir vías férreas, utilizando cantidades enormes del nuevo material, favoreciendo notablemente tal sustitución la circunstancia de que las Islas Británicas apenas poseen madera alguna de construcción, teniendo hace tiempo que importar la que necesitan. También en otros países europeos se ha ido acentuando cada vez más la escasez de arbolado á propósito para las construcciones, y con ella la sustitución parcial con hierro; se empezó por utilizar como vigas los carriles usados é inservibles en los ferrocarriles, pasando luego á la fabricación de vigas de hierro de formas especiales y más adecuadas. Y así, no sólo en Inglaterra, sino en Bélgica, Francia, Alemania y otros países, y merced á los inmensos adelantos técnicos, han ido multiplicándose la producción y las aplicaciones del hierro; siendo de lamentar que España, con su carencia general de selvas de un lado, y de otro su riqueza nagotable en minerales de hierro de la mejor calidad y sus depósitos no despreciables de hulla, quede tan en zaga del progreso general y sea todavía en gran medida tributaria del extranjero para el metal y el combustible que emplea, como se verá más adelante por nuestros datos estadísticos.

La creciente producción y baratura del hierro se deben, en gran parte, no sólo á las modificaciones en la construcción de los hornos de que antes hablamos, sino también al empleo de combustibles más baratos que el carbón vegetal, como la hulla y el cok que se obtiene por su destilación, el lignito y hasta la turba; al mismo tiempo se realizó una economía considerable con el empleo en los altos hornos de aire previamente calentado, á cuyo efecto, así como para la calcinación de las menas, el afino del hierro y la generación del vapor, se utilizan los gases procedentes de la parte superior, ó sea el tragante de dichos hornos. El progreso más reciente en este sentido lo constituye el empleo de combustible gasiforme, de que nos ocuparemos en su lugar, y que permite utilizar los combustibles crudos de la peor calidad.

HIERRO Y CARBONO

Antes de ocuparnos en la siderurgia y sus numerosos procedimientos, es necesario considerar un poco más de cerca el metal de que se trata, inquiriendo, en primer lugar, lo que debemos entender por «hierro». Ocurre con este metal una circunstancia particular, y es que, mientras que el objeto de la metalurgia del cobre, del cinc y de la plata, por ejemplo, consiste en producir estos metales en el estado más puro posible, esto es, libres de sustancias extrañas, el hierro puro es cosa desconocida en la industria; nuestros procedimientos siderúrgicos no lo producen, y si tal hicieren, el producto resultaría inservible, pues el hierro puro sería demasiado blando. Para que el hierro tenga la utilidad, el valor, que se debe, entre otras condiciones, á su dureza, es preciso que se asocie á él otra sustancia, cual es el *carbono*. Entre este elemento y el hierro existe una afinidad que no se observa, ni con mucho, en igual grado con ningún metal; pues por la vía seca ó ígnea penetra aquél en la masa del hierro, alterando, de diversas y notables maneras, según su cantidad, la naturaleza de éste.

Durante miles de años se ha producido un hierro útil, empleando al efecto los medios adecuados, sin tener la idea más remota del cómo y porqué; pues ¿qué teoría pudo jamás haber concebido un herrero ó metalurgo de la antigüedad, salvo acaso la de que el fuego expulsa el metal de sus minerales? Pero vino la química moderna, basada en el descubrimiento del oxígeno, y enseñó que los minerales metalíferos son óxidos, es decir, combinaciones del oxígeno con metal, y que, cuando se someten á una temperatura elevada, promovida por la combustión de la leña, carbón, etc., su oxígeno se combina con el carbono del combustible, para formar ácido carbónico, que escapa, dejando el metal reducido al estado regulino. Esta explicación bastaba para todos los demás metales; pero el hierro se señalaba por su particular manera de ser, y sólo cuando se descubrió su relación especial con el carbono, pudo formarse un concepto verdadero de los procesos que presiden á su producción. Bien podemos congratularnos de que desde la antigüedad acá, el hombre no conociera otro medio para producir un calor fuerte, que la leña y el carbón; pues así, y sin darse cuenta de ello, escogió precisamente la materia sin la que hubiera sido tal vez imposible producir un hierro servible. En el mero hecho de caldear sus minerales con carbón, nuestros antepasados obtenían, sin sospecharlo siquiera, un *hierro carburado*, más ó menos parecido al hierro dulce ó al acero, y que podía forjarse desde luego; y lo obtenían en forma de una masa porosa y pastosa, porque en tales condiciones el hierro es sumamente difícil de fundir. Cuando, más tarde, se aprendió á trabajar con hornos más altos y una temperatura mucho más elevada, esto es, en condiciones que favorecen la afinidad entre el

hierro y el carbono, se obtuvo un hierro todavía más carburado y dotado de nuevas propiedades, entre otras la de ser muy fusible; hecho que en un principio debió ser muy mal visto, toda vez que este hierro fundido no es maleable, saltando casi como el vidrio bajo los golpes del martillo. Mas no por eso se desesperó, sino que, apelando de nuevo al fuego, y caldeando y golpeando repetidamente, se logró convertir el hierro quebradizo en metal dulce; y es que, siempre sin saberlo, no se hacía más, con estas operaciones, que expulsar la parte de carbono que el hierro fundido tiene de más que el dulce.

De lo expuesto resulta, pues, que, hablando industrial ó técnicamente, nunca se trata de hierro puro, sino siempre de uno carburado, es decir, que contiene más ó menos carbono. En su estado más carburado se funde el metal fácilmente, siendo entonces muy fluido, y al enfriarse ostenta una estructura cristalina basta, y es muy quebradizo; tal es el llamado *hierro colado*. El metal maleable, que llamamos *hierro dulce*, tiene la menor proporción de carbono, y entre él y el hierro colado tenemos el *acero*, que representa un término medio respecto de su contenido en carbono, pudiendo obtenerse, ora por la decarburación del hierro fundido, ora por la mayor carburación del dulce, como explicaremos más adelante. Nuestros conocimientos más exactos acerca de la naturaleza distinta del hierro fundido, del acero y del hierro dulce, los debemos principalmente á las investigaciones del célebre metalurgo alemán *Karsten*, que murió en 1853; en la actualidad, y en vista del prodigioso desarrollo de la siderurgia, se hace necesario una subdivisión de aquellas tres clases fundamentales de hierro, siendo la generalmente adoptada la que ofrecemos á continuación:

I.—HIERRO FACILMENTE FUSIBLE Y NO MALEABLE

HIERRO COLADO

FUNDICIÓN GRIS	FUNDICIÓN BLANCA
(con carbono cristalino (grafito) no combinado químicamente).	(con carbono amorfo químicamente combinado).

II.—HIERRO MALEABLE Y DIFÍCILMENTE FUSIBLE

HIERRO DE FORJA

HIERRO DULCE (QUE NO SE PUEDE TEMPLAR)		ACERO (QUE PUEDE TEMPLARSE)	
Fundición maleable (obtenido por fusión).	Hierro recocido (obtenido sin fundir).	Fundición maleable (obtenido por fusión).	Acero recocido (obtenido sin fundir).

La llamada *fundición maleable* comprende: 1.º, los hierros obtenidos por el procedimiento de Bessemer, por el de Martín en hornos de reverbero, y por los métodos de Perrot, Thomas y otros; y 2.º, el acero Bessemer, el acero Siemens.

Martín, producido en reverberos, el comúnmente llamado acero fundido, que se obtiene por fusión en crisoles, y algunas otras clases especiales.

El llamado genéricamente *hierro recocido* abraza los diferentes productos obtenidos por la pudelación, el afino y el recocido ó recalentamiento del hierro; mientras que el *acero recocido* comprende los aceros pudelados, afinados ó recalentados, así como el llamado de cementación y otras clases especiales.

De análogo modo que con el carbono, se combina el hierro con otras materias, como azufre, arsénico, fósforo, silicio, y tambien con metales propiamente dichos, cual el manganeso, el tungsteno, el cromo, la plata, etc. Estas combinaciones se distinguen por propiedades características, que enaltecen en parte el valor industrial del hierro y en parte lo perjudican. El azufre, el arsénico y el fósforo hacen el metal quebradizo; y como estas sustancias suelen hallarse presentes en los minerales de hierro ó en los que los acompañan en las menas, se comprende fácilmente que la bondad del producto ulterior depende en gran manera del procedimiento metalúrgico. El arsénico, aunque rara vez falta por completo en las menas de hierro, es la menos perjudicial de dichas sustancias. El fósforo, en forma de ácido fosfórico, se presenta principalmente en las limonitas ocreosas, minerales que, por lo mismo, dan un hierro colado muy fusible, que se aplica comunmente á la fabricación de objetos de fundición; pero el hiero dulce producido con semejante colado tiene, merced al fósforo que encierra, la propiedad desagradable de ser agrio y quebradizo en frío. En cambio el hierro maleable que contiene azufre resulta quebradizo cuando se forja en caliente. Los metales raros, como el cromo y el tungsteno, son de escasa importancia en la siderurgia ordinaria, pues su escasez no permite añadirlos á las menas en la cantidad conveniente para mejorar la calidad del hierro colado; por lo mismo, sólo suelen emplearse en la producción de las clases superiores de acero. En cambio, el manganeso, que se presenta con frecuencia en compañía de los minerales de hierro, tiene importancia para la fundición en los altos hornos, pues por una parte favorece de la formación de una escoria fusible, promoviendo la producción de la fundición blanca á una temperatura relativamente baja, mientras que, por otra parte, penetra en el hierro colado mismo, adaptándolo mejor para la absorción de mayor cantidad de carbono, circunstancia especialmente favorable para la producción de acero. En su consecuencia, el manganeso se añade con frecuencia á las menas de hierro, ora en forma de mineral oxidado (pirolusita, etc.), ora en la de una aleación con hierro (ferromanganeso).

MINERALES DE HIERRO

De lo dicho se desprende que no todas las formas bajo las cuales se presenta el hierro en la Naturaleza, son á propósito para la producción del metal. Las piritas, que tanto abundan, y en las que el hierro se halla combinado con el azufre, se descartan por completo en la siderurgia como menas de hierro, porque su beneficio, aunque posible, sería demasiado complicado y costoso, aparte de que nunca daría un metal de buena calidad, por ejercer el azufre una influencia harto perjudicial. Demasiadas molestias y sinsabores le proporciona al metalurgo la pequeña cantidad de azufre que se encuentra en el combustible (hulla y cok), así como en ciertos fundentes, y pasa de ellos al hierro durante la fusión de las menas, para que tenga interés en obtener el metal de las piritas férricas. Estas pueden beneficiarse de otros modos, bien calcinándolas con el objeto de obtener azufre ó ácido sulfúrico, y utilizando el residuo para producir la caparrosa verde, ó sulfato de hierro; bien dejándolas descomponerse al aire libre y extrayendo después la caparrosa y un óxido hidratado que se emplea como pigmento en la fabricación de colores, ó como pulimento.

Los únicos minerales de hierro aprovechables en siderurgia son los diferentes óxidos del metal, y la combinación natural de su protóxido con ácido carbónico, ó sea el carbonato ó hierro espático. Entre los minerales oxidados se distingue la *magnetita*, ó hierro magnético, que es un compuesto de protóxido y peróxido de hierro que, en su estado más puro, da hasta 72 por 100 de metal de la mejor calidad; pero este mineral se halla con frecuencia tan mezclado con pirita y otras impurezas, que no es aprovechable. Según su densidad, que varía mucho, y la naturaleza de las gangas que le acampañan, la magnetita corresponde, ora á las menas de hierro refractarias, ora á las fusibles; mezclada con espato calizo ó con hornblenda, por ejemplo, resulta su fusión tan favorable, que puede prescindirse del empleo de fundentes. A la magnetita se deben principalmente los excelentes hierros que se producen en Suecia y Noruega, y también en Rusia. El óxido de hierro propiamente dicho (peróxido), con 69 por 100 de metal, abunda en la Naturaleza mucho más que el hierro magnético, y constituye, por lo mismo, la mena más importante para el siderurgo; preséntase, ora en forma del mineral llamado *ematita* ó *hematites* (hierro rojo), ora como *hierro oligisto* ó brillante, ora mezclado con arcilla, en cuya forma constituye una masa terrosa roja; las mejores de semejantes menas contienen hasta el 65 por 100 de hierro metálico. Como ejemplo de los muchos é importantes depósitos de hematites que se conocen y explotan, podemos citar los de Vizcaya, especialmente en Somorrostro, que tienen un contenido de 56 á 60 por 100 de metal, y han llamado tan extraordinariamente la atención de los siderurgos

extranjeros en los últimos años; por otra parte, la isla de Elba encierra uno de los más importantes criaderos de hierro oligisto, el cual, sin embargo, se agotará al cabo de unos setenta años, si se continúa la extracción en la escala actual. El óxido de hierro en forma hidratada, es decir, combinado químicamente con agua, constituye el mineral llamado *limonita* ó *hierro pardo*, con 50 á 60 por 100 de metal, el cual se ofrece en diferentes variedades, que resultan de la descomposición del mineral puro, y contienen generalmente mayor ó menor cantidad de impurezas terrosas. La limonita se presenta en muchas partes formando masas considerables, siendo una de sus variedades el hierro ocreoso tan fusible, llamado de pantanos, de que hablamos antes; las fábricas siderúrgicas que lo consumen pueden distinguirse desde lejos por sus montones, tan característicos, de escorias azules, cuyo color proviene del fosfato de hierro que contienen.

Otro mineral de hierro bastante apreciado, aunque no contiene más de 45 por 100 de metal, es el carbonato, que se presenta puro en forma de *siderita* ó hierro espático, ó bien mezclado con arcilla en forma de masas esféricas ó arriñonadas, en cuyo caso recibe el nombre de *esferosiderita*. Estos minerales se encuentran, como los anteriores, en diversas partes, aunque generalmente con menos abundancia, salvo en Inglaterra, donde la esferosiderita constituye una mena de hierro muy importante, presentándose en compañía de la hulla y conteniendo su masa una proporción considerable de carbón, que le presta un color negruzco; á estas circunstancias excepcionalmente favorables se debe en gran parte, como ya dijimos, el inmenso desarrollo de la siderurgia inglesa, á pesar de que dicho mineral no es de los que se llaman ricos, ni mucho menos.

Los *silicatos de hierro*, es decir, combinaciones de los óxidos de este metal con ácido silícico, que tienen la misma constitución que las escorias procedentes del afino del hierro, se presentan con frecuencia en la Naturaleza; mas no constituyen por sí menas ventajosas para la producción del hierro, pues su fusión supone un gasto considerable de combustible y de fundentes calizos, por cuya razón sólo suelen utilizarse mezclados con menas oxidadas, en una proporción que no perjudica la fusibilidad de éstas. El ácido silícico hace siempre refractarias las menas, aun cuando no se halle en combinación química con el óxido de hierro, esto es, cuando sólo está mezclado mecánicamente con ellas en forma de cuarzo, por ejemplo; semejantes menas silíceas tienen que mezclarse con arcilla y cal, con las cuales, y durante la fusión, se combina el ácido silícico. En los casos más favorables se encuentra ya este ácido en las menas en combinación con aquellas bases, haciendo entonces innecesaria dicha mezcla, ó sea el empleo de fundentes. Debemos advertir, además, respecto de las menas silíceas, que durante su fusión, una pequeña parte de ácido silícico se reduce al metal correspondiente, ó sea á silicio, que es uno de los elementos que, como

el carbono, tienen afinidad con el hierro. Por esta razón el hierro colado contiene un poco de silicio; y por más que una cantidad excesiva de tal elemento perjudica mucho á la calidad del metal, es lo cierto que una pequeña proporción, cual se encuentra á veces en el acero, ejerce influencia favorable sobre su dureza.

La preparación mecánica de las menas de hierro es siempre muy sencilla, porque su corto valor intrínseco no permite la aplicación de procedimientos costosos. Las menas arcillosas son las que necesitan más la operación del lavado, á cuyo efecto suelen revolverse mecánicamente en grandes fosos llenos de agua, ó extenderse sobre eras entabladas y bañadas continuamente por una corriente. En otros casos se exponen simplemente las menas, durante varios años consecutivos, á la acción de la atmósfera y de los meteoros acuosos, con lo cual se promueve su descomposición y ahuecamiento; de este modo las pequeñas cantidades de pirita que se hallan presentes, se oxidan, convirtiéndose en sulfato de hierro (caparrosa) que las lluvias se encargan de disolver y eliminar. La calcinación de dichas menas es conveniente, cuando no necesaria, por varias razones; por ejemplo, para expulsar el agua y el ácido carbónico, que sólo contribuirían en el alto horno á rebajar la temperatura; para convertir el protóxido de hierro en peróxido, que se deja reducir más fácilmente á metal y se combina menos con la escoria, y también para volatilizar en lo posible el azufre y el arsénico, generalmente presente en los minerales. Semejante calcinación se verifica en montones al aire libre, ó en hornos de cuba parecidos á las caleras (fig. 40).

Antes de someterlas á la fusión, las menas de hierro, pobres y ricas, se mezclan unas con otras, á fin de igualar su contenido en metal, obteniendo el término medio más á propósito para el beneficio, con arreglo á la experiencia. Este contenido medio de hierro metálico en toda la masa, inclusas las materias extrañas y los fundentes, suele variar entre 30 y 40 por 100, no debiendo exceder nunca del 50. Al mismo tiempo, y mediante el análisis químico, se determina si es necesario agregar algún fundente, y cuál debe ser su naturaleza y proporción, á fin de promover la formación de una buena escoria. En esto se parte, por lo general, del principio de producir una escoria un poco menos fusible que el metal, de modo que la reducción del hierro y su carburación tengan lugar momentos antes de la formación de aquélla, porque de lo contrario la escoria absorbería gran parte del hierro en forma de protóxido. El análisis de las menas y la combinación más conveniente de las partidas que se preparan para la fusión son, pues, operaciones delicadas, de las que depende en gran manera el éxito del beneficio, y reclaman, por lo mismo, mucha experiencia y exactitud.

FUSIÓN DE LAS MENAS DE HIERRO

En todas partes donde la producción de hierro se practica en gran escala y el hierro colado constituye la primera materia para la fabricación del hierro dulce y del acero, se funden las menas en los llamados *altos hornos*. La forma y las dimensiones de estos varían muchísimo, con arreglo á la naturaleza de los minerales de que se dispone, la clase de combustible que se emplea y otros varios factores, á cuyo pormenor no podemos descender; mas para que nuestros lectores se formen una idea clara del procedimiento en cuestión, así como del horno mismo en que se practica, basta la descripción sucinta que les ofrecemos y la sección vertical de un alto horno del tipo más usual, tal como la presenta la fig. 46.

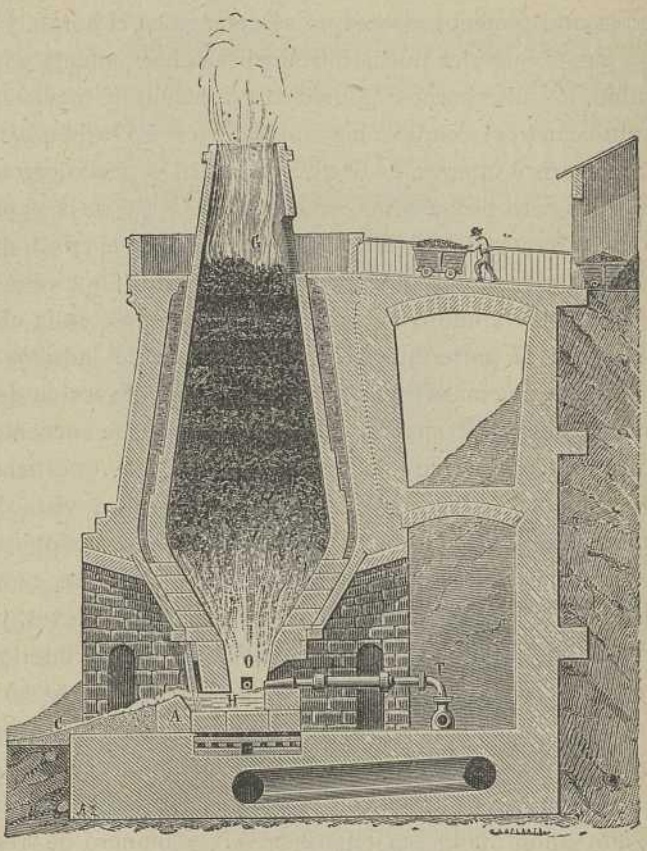


FIG. 46.—Sección vertical de un alto horno.

El alto horno es de la clase llamada de cuba, y ésta, ó sea el hueco principal del horno, es generalmente circular, ensanchándose gradualmente desde la parte superior hasta cierta profundidad, y luego estrechándose hacia abajo, de suerte que viene á constituir como dos conos huecos truncados, unidos por su base. Limita y encierra dicha cuba un sólido macizo de obra de mampostería, que en muchos casos se construye parcial y exteriormente con obra de hierro. La parte superior del hueco, entre *G* y *V* (véase fig. 46), constituye la *cuba* propiamente dicha; la parte más ancha, *V*, se llama *vientre*, y la inferior, *VO*, que se estrecha hacia abajo, es la denominada *obra*, y constituye la prolongación superior del *crisol*, *OH*, cuyo fondo es la *plaza* del horno. En la mayoría de los altos hornos en

que se quema el cok ó la antracita, fundiéndose menas refractarias, el *pecho* del horno, ó sea la parte delantera de la pared del crisol (á la izquierda en nuestro grabado) se halla abierta inferiormente, comunicando el crisol *OH* con el llamado *antecrisol*, cuyo límite anterior lo constituye una sólida piedra labrada, *A*, llamada *dama*. Tratándose de menas refractarias, cuya fusión está sujeta á entorpecimientos que podrían perjudicar notablemente la marcha normal, semejante disposición del crisol, ó, mejor dicho, el pecho abierto, es necesaria para que la escoria más ó menos viscosa no se detenga en el horno, y, caso de suceder esto, para que el fundidor pueda introducir una herramienta y franquear la salida. En cambio, los altos hornos destinados á la fusión de menas muy fusibles, especialmente cuando el combustible empleado es el carbón vegetal, se construyen sólo con crisol interior, es decir, que tienen el pecho cerrado, porque no son de temer los entorpecimientos indicados, en virtud de la gran fluidez de la escoria, la que en semejantes hornos se deja acumular en el crisol, dándole salida de cuando en cuando por una abertura lateral ó *piquera*, que en el ínterin queda tapada.

Volviendo á nuestro horno típico, distínguese en la obra la llamada *camisa*, que reviste la parte interior y se compone de ladrillos refractarios, es decir, hechos con una masa especial que resiste bien la acción del fuego; mientras que, entre la camisa y el macizo exterior del horno, se encuentra un espacio lleno de ceniza ú otro material mal conductor del calor, que tiene por objeto evitar el enfriamiento del horno y dejar cierto juego en vista de la expansión de la camisa. La obra exterior se construía antes de mampostería ordinaria, sólidamente hecha y de carácter permanente, puesto que, como se comprende fácilmente, es la camisa la que se halla sujeta á desperfectos, y puede, en caso necesario, repararse ó reconstruirse totalmente desde el interior; pero en los últimos tiempos se ha ido generalizando el empleo del hierro en la construcción de la obra exterior de los altos hornos, como indican nuestras figuras 45 y 50. En la parte inferior del horno, ó sea á cierto nivel por encima del fondo del crisol, se reservan en la obra las llamadas *toberas*, esto es, aberturas para la introducción del aire comprimido, por regla general en número de tres, una dando frente al pecho, y las otras dos á los lados. La parte superior de la camisa, en donde se escapan los gases de la combustión, se llama *tragante*, y en un lado del mismo se reserva una abertura, *G*, por la que se echan al horno los minerales, fundentes y el combustible. Cuando la configuración del terreno permite construir el horno al pie de un declive, las materias que constituyen la carga pueden trasladarse directamente desde lo alto al tragante, por medio de un sencillo puente de obra, como indica la fig. 46; pero cuando, por hallarse el establecimiento siderúrgico situado en una llanura, no ha lugar á semejante disposición, se levanta á un lado de los hornos una torre provista de un ascensor mecánico (compárese fig. 45), ó bien se elevan las menas y el combustible hasta la altura del tragante, por medio de planos ó puentes inclinados (fig. 50).

La llamada campaña en un alto horno se inicia encendiendo sobre la plaza una lumbre de leña, turba, etc., y cargando gradualmente más combustible (cok, antracita ó carbón vegetal, según los casos) durante seis semanas, hasta llenar la cuba; entonces se echa por el tragante un poco de mena y fundentes, dejando abiertos el pecho del horno y las toberas. Cuando aparecen en el crisol las primeras materias fundidas, se limpia cuidadosamente la plaza, sacando toda la ceniza, etc., y después de colocar la dama (fig. 46, *A*) se tapa el antecrisol con arcilla, se colocan las *busas*, ó sean los tubos cónicos de hierro ó cobre que descansan en las toberas y enchufan en los *portavientos T* (fig. 46), y se introduce aire en el horno á una presión moderada, mediante la bomba ó máquina soplante, que constituye un accesorio indispensable de todo alto horno, ó serie de ellos. Desde este momento se aumenta gradualmente la carga de la mena, alternando con combustible, así como la presión del aire. La fig. 47 representa la operación de la carga de un alto horno, en el tragante, y en la sección vertical (fig. 46) se ve claramente cómo las capas de mena y fundentes alternan con otras de combustible, en toda la altura de la cuba. Dicho se está que, á medida que la mena se funde y el combustible se consume, bajando la carga, es preciso seguir cargando, manteniendo el horno siempre lleno hasta el nivel del tragante. En el tercio superior de la cuba se va calentando gradualmente la carga, de modo que en medio de la misma se encuentren las capas en estado candente, con una temperatura de 600 á 900 grados; entonces, y merced á la gran cantidad de óxido de carbono gasiforme que se desarrolla, se opera la reducción del mineral llegando las partículas de hierro esponjoso al vientre del horno, bajo cuyo nivel



FIG. 47.—Carga de un alto horno.

se funden, absorben carbono y resultan envueltas y arrastradas hacia abajo por la escoria fluida; dicha fusión y carburación tiene lugar á una temperatura de 1.500 á 1.700 grados, que al nivel de las toberas se eleva á cerca de 2.000.

La reducción del mineral de hierro en el horno se debe, como decíamos, á la acción del óxido de carbono, gas que resulta de la descomposición del ácido carbónico producido por la combustión, y que, al pasar á través de las capas candentes de combustible, pierde la mitad de su oxígeno. Pero además de dicho óxido gasiforme, las combinaciones cianogénicas, compuestas de carbono y nitrógeno, ejercen también una influencia reductiva sobre el óxido de hierro, así como sobre los óxidos de silicio, manganeso, aluminio y otros metales presentes en las menas. El hierro reducido se va acumulando en el fondo del crisol, y sobre su baño metálico flota la escoria fundida, que encuentra salida por la abertura en el pecho del horno, ó sea por el antecrisol, rebosando sobre la dama y vertiéndose por el plano inclinado (fig. 46, *C)* dispuesto al efecto. Para dar salida al metal se reserva en la obra, á un lado de la dama, una abertura llamada *piquera*, que se mantiene cerrada con una masa de arcilla y cok, que se rompe con un espetón cuando el crisol se halla lleno de hierro fundido. Entonces sale éste en forma de un potente chorro candente, pudiendo utilizarse directamente en la formación de objetos de hierro colado, á cuyo fin se disponen los moldes correspondientes al pie del horno, ó bien (y ésta es la práctica más común) haciendo pasar la corriente de metal líquido por una serie de moldes abiertos, formados en arena, y produciendo así los *lingotes* del comercio, que tienen cada uno unos 50 kilogramos de peso, y constituyen el material para la fundición de objetos de hierro colado, y para la fabricación del hierro dulce y del acero. La *sangría* de un alto horno, como se llama la operación de dar salida al metal rompiendo la piquera, es digna de verse; pues cuando el hierro fundido se encuentra en estado muy líquido, como generalmente sucede, sale con gran fuerza por la estrecha abertura, con una luz blanca deslumbradora y echando multitud de chispas, brillantes como las estrellas.

Entre las mejoras más importantes introducidas en el procedimiento que acabamos de describir, debemos mencionar especialmente el empleo de aire calentado para alimentar los altos hornos, de lo que resulta una economía considerable de combustible. El calentamiento previo del aire se verifica en caloríferos especiales, por cuyo sistema de tubos circula el aire comprimido á su paso desde la máquina soplante al horno, y en cuya calefacción se utilizan ya, por lo general, los gases procedentes de los altos hornos mismos, que antes se desperdiciaban. Al efecto se recogen dichos gases por debajo del tragante del horno, antes que tengan lugar de encenderse, y por medio de tubos dispuestos la teralmente se conducen al hogar del calorífero donde, mezclándose con aire,se consumen; ó bien se promueve la mezcla directa de los gases calientes con el aire comprimido. Las figuras 48 y 49 dan idea de las dos maneras más comunes de

recoger los gases: según la primera, se reservan en la obra, por debajo del tragante, varias aberturas, *O O*, por las que los gases pasan al canal circular *C*, y desde éste al tubo *T*, en el que un ventilador promueve la aspiración necesaria; según la segunda, el tragante se cierra superiormente mediante un embudo fijo de palastro, *OO*, y otro móvil é invertido, *C*, que se adapta al orificio más estrecho del primero y puede bajarse para introducir la carga, de modo que los gases no encuentran otra salida que por el tubo *T*, que los conduce al calorífero. Semejante modo de utilizar los gases calientes de los altos hornos se practica hoy en la inmensa mayoría de los establecimientos siderúrgicos, no sólo para calentar el aire comprimido, sino también para la generación del vapor de

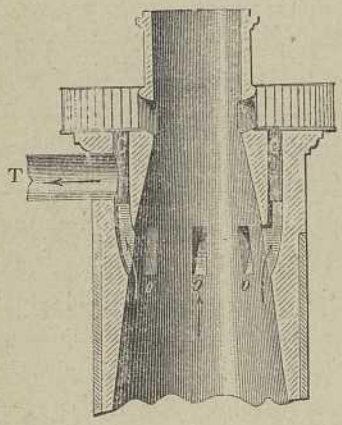


FIG. 48.

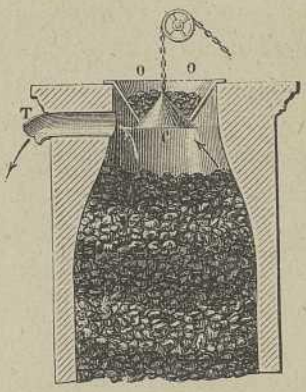


FIG. 49.

Disposiciones del tragante de los altos hornos, con el fin de utilizar sus gases.

agua en las calderas de las máquinas, para la calcinación de las menas, el calentamiento de los hornos destinados á la producción del acero de cementación, y hasta para la calcinación ó quema de la cal, y para cocer ladrillos, resultando en todas estas operaciones una ventaja inmensa, en razón del gran ahorro de combustible que se obtiene. Diremos, por último, que los gases procedentes de los altos hornos contienen cantidades bastante considerables de amoniaco, que en muchos casos se aprovechan también.

En cuanto á la aplicación del aire comprimido calentado á la fusión de las menas en los altos hornos, no pueden darse reglas fijas respecto de la temperatura más conveniente, pues ésta varía necesariamente con arreglo á la naturaleza de la carga; en la mayoría de los casos la temperatura del aire comprimido, antes de penetrar en el horno, se eleva de 200 á 400 grados; pero en algunos, casos, en especial donde se quema antracita, el aire suele calentarse hasta 500 ó 600 grados. Aunque en casos determinados el empleo del aire calentado puede redundar en beneficio del producto del horno, es indudable que, por

regla general, se funde el hierro bajo su influencia demasiado pronto, resultando más impuro que el que se produce con aire frío. En cambio, el procedimiento en cuestión ofrece grandes ventajas, dado el aumento consiguiente de la temperatura del horno, combinado con una economía notable de combustible, al par que un aumento considerable en la cantidad de hierro producido; la fusión marcha más rápidamente y con mayor regularidad, y puede reducirse también la proporción de fundentes. Otra ventaja del aire calentado para determinadas comarcas, reside en el hecho de que por su medio pueden utilizarse en los altos hornos ciertas clases de hulla cruda (antracita), si bien el hierro obtenido con semejante combustible es, por regla general, de calidad inferior.

No hay para qué decir que la fusión en los altos hornos es continua, interrumpiéndose tan sólo cuando sea preciso renovar la camisa del horno, ó que la marcha del negocio imponga una paralización. Prescindiendo de esta última causa, la duración de una campaña, como se dice, depende de la construcción del horno, de la naturaleza de las menas y los combustibles, y de otros factores secundarios; algunos altos hornos pueden funcionar continuamente durante dos ó tres años, otros resisten por espacio de ocho ó nueve, y se registran casos excepcionales en que la marcha ha continuado sin interrupción en un mismo horno durante quince ó veinte años. El beneficio de menas muy fusibles por medio del carbón vegetal ofrece naturalmente las condiciones más favorables para la conservación de un alto horno. La producción de uno de estos aparatos también varía muchísimo, habiendo horno que da sólo 100 quintales métricos en cada semana, mientras que otro produce 1.200 en igual período; cuando por casualidad llegan á escasear ó faltar los materiales necesarios para la carga, no es necesario apagar el horno, sino que basta tapar herméticamente todas sus aberturas (piquera, antecrisol, toberas, tragante, etc.), con lo cual conserva su calor durante semanas y aun meses. Como ejemplo de altos hornos de construcción reciente más perfecta, citaremos los de la fábrica de Furness, en el condado de Cumberland (Inglaterra), cuya vista reproducimos en la fig. 50; estos diez hornos, en los que la obra exterior es enteramente de hierro, son capaces de producir diariamente 7.000 quintales métricos de metal; como indica el grabado, los materiales destinados á la carga se elevan hasta los tragantes por medio de puentes de hierro inclinados, á impulso de máquinas de vapor, hallándose unidos los diferentes hornos de la serie por puentes horizontales, provistos de vías férreas, mientras que un ferrocarril que pasa al pie surte á la fábrica de menas, combustible y fundentes, llevando, en cambio, al mercado el metal fundido.

El producto metálico que resulta de la fusión en los altos hornos es el *hierro colado*, sobre cuya calidad influyen, no sólo la naturaleza de las menas, de los fundentes y del combustible, así como el contenido del metal en carbono, silício, azufre, fósforo, manganeso, etc., sino también la temperatura habida durante la fusión, las dimensiones del horno, el empleo de aire caliente ó frío, y

hasta la rapidez ó lentitud del enfriamiento de los lingotes. Por esto pueden distinguirse bastantes especies de hierro colado, dotadas de propiedades más ó menos distintas, que determinan sus diferentes aplicaciones industriales; pero todas ellas pueden comprenderse en dos clases principales, ó sean hierro colado *blanco* y *gris*, cuya producción depende de la voluntad del fundidor, puesto que las condiciones generales para obtenerlas son conocidas.

El hierro colado blanco se distingue por su dureza; es de un blanco asemejable al de la plata, de estructura interior granulada fina, y más agrio y más fusible que el hierro colado gris, si bien en estado líquido tiene menos fluidez

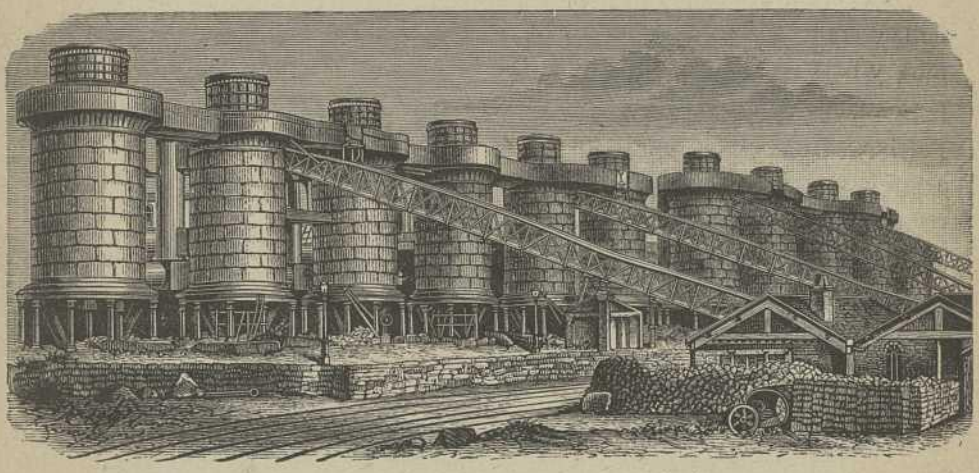


FIG. 50.—Vista de la fábrica de Furness (Cumberland).

que este último, siendo, por lo mismo, menos á propósito para la fundición ó fabricación de objetos pequeños y finos, pero adaptándose mejor, en cambio, á la fabricación del acero. Una clase especial de hierro colado blanco es el llamado *hierro especular*, por ostentar sus superficies de fractura una estructura cristalina, muchas veces laminar ú hojosa, siendo más brillante que el hierro colado blanco común, y tan duro que no se puede labrar aun con instrumentos de acero; su punto de fusión es más elevado que el del hierro blanco ordinario, si bien es más fluido que éste. El contenido del hierro colado en carbono varía entre 3,5 y 6 por 100; el gris no contiene más que el blanco, sino que, por el contrario, su carbono rara vez excede de 4,8 por 100; lo que sucede es que, mientras en el hierro colado blanco todo el carbono se halla químicamente combinado con el metal (salvo de medio á uno por ciento que está mezclado mecánicamente), el hierro colado gris contiene hasta 3,75 por 100 de su carbono distribuido mecánicamente en su masa, en forma de partículas de grafito, y de aquí su color más oscuro. El hierro especular, que es la clase más rica en carbono químicamente combinado, contiene también mayor proporción de man-

ganeso que las demás clases de hierro. Los hierros colados blanco y gris se pueden transformar con facilidad uno en otro; si se deja enfriar rápidamente e gris, que contiene en disolución el carbono grafítico, se obtiene hierro blanco, porque dicho carbono no tiene tiempo de cristalizar y separarse en la masa; si, por el contrario, el hierro colado blanco, fundido á una temperatura elevada, se deja enfriar lentamente, se obtiene hierro gris, habiendo tenido el carbono lugar de cristalizarse en forma de grafito. Como se ve, el fundidor tiene hasta cierto punto en la mano el poder convertir una clase de hierro colado en otra, y en esto se funda la producción del llamado *hierro colado endurecido*, promoviendo un enfriamiento rápido y superficial de los objetos fundidos, de modo que se forma exteriormente una delgada capa de hierro blanco, mientras que el resto de la masa queda en el estado de hierro gris. Dentro de los altos hornos mismos, y bajo las condiciones ordinarias, se produce siempre hierro colado gris; pero cuando se carga el horno de manera que alternen capas de mena gruesas y delgadas, se obtiene el hierro llamado *mixto*, esto es, un metal en cuya masa están mezcladas y pueden distinguirse partes de hierro blanco y otras de hierro gris.

El carácter de esta obra no nos permite entrar en más pormenores acerca de las muchas variedades de hierro colado, correspondientes á las dos clases referidas, y acerca del papel que en las mismas desempeñan los elementos extraños, como maganeso, silício, azufre y fósforo. Nos ocuparemos, pues, de los otros dos productos principales de la siderurgia, el hierro dulce y el acero, que se distinguen del hierro colado por sus propiedades químicas y físicas, y en su consecuencia, encuentran diferentes aplicaciones en la industria. Ambos se diferencian químicamente del hierro colado por su contenido menor en carbono, y su producción se funda esencialmente en la descarburación parcial de dicho metal fundido, esto es, en la eliminación de cierta parte del carbono que éste contiene. Se emplean al efecto en la siderurgia diversos procedimientos, de los que los principales serán objeto de nuestras consideraciones en las páginas siguientes.

PRODUCCIÓN DEL HIERRO DULCE

Para transformar el hierro colado, tan fusible, pero agrio y quebradizo bajo el martillo, en hierro maleable, se somete á un afino por medio del fuego; pero además de éste, es precisa la cooperación de un elemento invisible, que es el aire. Al fundirse de nuevo el hierro colado en presencia del aire, el oxígeno de éste promueve la combustión ú oxidación de parte del carbono contenido en el metal, transformándolo en ácido carbónico, mientras que al mismo tiempo, y bajo la misma influencia, parte del hierro se convierte en óxido. Mientras que es capa el gas ácido carbónico, el proto-peróxido de hierro obra sobre el hierro

metálico, eliminando de él, por oxidación, todavía más carbono; y este proceso doble sigue su curso hasta que se halla tan disminuido el contenido en carbono, que, *sin bajarse la temperatura empleada*, el metal va perdiendo su fluidez, y acaba por convertirse en una masa pastosa, tomando las propiedades características del hierro de forja. Durante el procedimiento, desempeña un papel importante la escoria que resulta de la combustión del silicio y del manganeso contenidos en el hierro, y al propio tiempo el carbono, presente en forma grafítica, se transforma y combina químicamente. Como va disminuyendo la fusibilidad

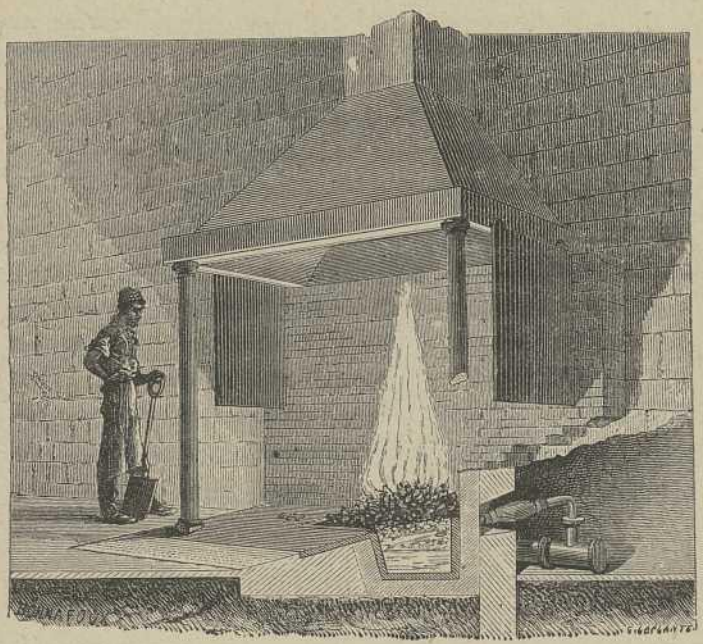


FIG. 51 —Horno alemán de afino.

del hierro á medida que pierde carbono, el afinador puede apreciar, durante la operación, cómo progresa la descarburación.

El procedimiento más antiguo para convertir del hierro colado en hierro dulce, es el alemán llamado *frischen*, ó afino. Se verifica en un hogar bajo, formado con planchas de hierro, según se ve en la fig. 51, y que se llena con carbón vegetal, alimentando el fuego con aire fresco, por medio de un fuelle ó una bomba soplante. Sobre la carga de carbón se colocan de una vez de 100 á 150 kilogramos de hierro colado, que se funde y baja al fondo del hogar, donde se convierte pronto en una masa pastosa. Esta *lupia*, como se llama, se divide frecuentemente con un espetón, revolviendo los trozos en el hogar á fin de promover la acción del oxígeno del aire; al cabo de dos á tres horas, cuando el afino resulta suficiente, se saca la lupia, convirtiéndola, con un pesado martinete, en una torta plana, limpiándola así de la escoria que contiene, y después de

cortarse con un cincel en tres ó cuatro pedazos, se caldean éstos en el hogar y forjan en forma de barras, mediante el martinete ó el laminador.

Como lo indica su nombre, no tiene por objeto único este procedimiento la descarburación parcial del hierro, sino al mismo tiempo su purificación, esto es, la eliminación de gran suma de las materias extrañas que contiene, que se efectúa en parte químicamente, en parte mediante la acción mecánica del martinete. Para lograr esta purificación, ó este afino propiamente dicho, se emplean en el procedimiento diferentes fundentes, como cal, mineral de manganeso, arcilla, sal común, escorias, etc., con arreglo á la naturaleza del hierro y el modo de proceder se modifica además según que se aplica al hierro colado blanco ó al gris. El afino, pues, como el lector comprende fácilmente, resulta con frecuencia mucho más complicado de como lo dejamos descrito, contándose toda una serie de procedimientos del género, más ó menos distintos. Con algunas clases de hierro colado de muy buena calidad, basta una sola fusión, mientras que otras clases menos puras necesitan afinarse dos ó tres veces consecutivas para obtener un buen hierro maleable.

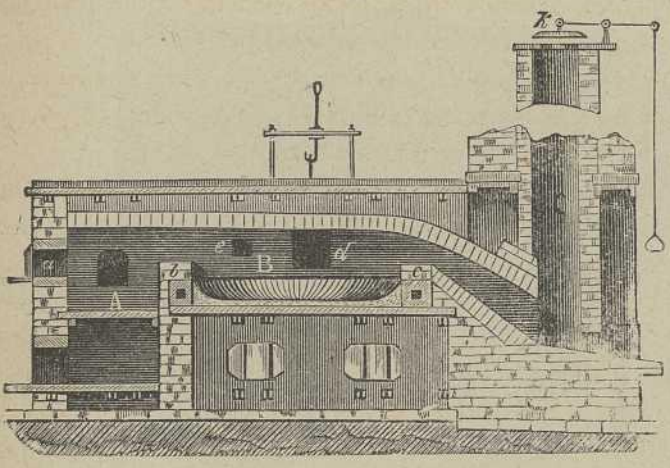


FIG. 52.—Sección vertical de un horno de pudelar.

El procedimiento moderno, mediante el cual se convierte el hierro colado en hierro dulce, es el llamado *pudelaje*, de origen inglés, que se practica generalmente en grande escala y en hornos reverberos de construcción especial, llamados hornos de pudelar; distínguese principalmente del antiguo proceso alemán, antes descrito, en que se presta al tratamiento de masas mucho mayores de metal, y que se puede emplear en él la hulla, porque el hierro no entra en contacto con el combustible, sino sólo con la llama de éste. La fig. 52 representa en sección vertical un horno de pudelar, de construcción ordinaria, y en él se distingue el hogar *A*, con su correspondiente rejilla, sobre la que arde la hulla; el puente *b*, sobre el cual pasan las llamas, y el llamado *laboratorio B*, en cuya *plaza* se funde el hierro. El combustible se echa en el hogar por la puerta *a*, y merced á la elevada chimenea *C* y el tiro consiguiente, arde con gran viveza, desarrollando llamas largas que, en virtud de lo bajo de la bóveda del horno, se extienden en el laboratorio, calentándolo rápidamente. La plaza se forma sobre una gruesa plancha de hierro con arena de cuarzo, cubriéndose con escoria pul-

perizada, procedente del pudelaje; y cuando, á consecuencia de la elevada temveratura, esta capa empieza á ablandarse, se introducen por la puerta *d* unos 150 á 300 kilogramos de hierro colado, con los fundentes correspondientes. El metal se funde pronto, y entonces, y por medio de espetones ó rastros, que se introducen en el laboratorio por la abertura *e* ú otra reservada en la puerta *d*, se *pudela* la masa fundida, es decir, que se divide y revuelve, de manera que, mediante el oxígeno del aire que penetra en el horno, se oxiden el silicio y el manganeso, así como parte del hierro, promoviendo la descarburación; el óxido de carbono gasiforme que resulta, produce un espumaje en la masa, y arde en multitud de pequeñas llamas azules, convirtiéndose en ácido carbónico. Una vez descarburado bastante el metal, se divide su masa pastosa sobre la plaza del horno en cinco ó siete lupias que, después de caldearse convenientemente, se sacan y transforman bajo el martinete en bloques rectangulares, que pasan directamente al laminador para ser convertidos en barras.

Por regla general, semejantes barras no son bastante limpias, es decir, contienen demasiada escoria para poder utilizarse desde luego como buen hierro dulce, por cuya razón se cortan con una poderosa tijera mecánica en pedazos de un metro de largo, que se colocan uno sobre otro, formando los llamados *paquetes*, y se someten de nuevo á la acción del fuego en el horno de pegar ó recalentar, que es una especie de fragua, á manera de horno reverbero, que generalmente se halla unido al de pudelar, formando un segundo laboratorio á continuación del principal. Sobre su plaza se colocan los paquetes, y mientras se eleva la temperatura, se vuelven frecuentemente, á fin de que se calienten por igual; cuando su incandescencia llega al blanco, iniciándose la pega de los trozos de hierro, se sacan y llevan directamente al laminador, martinete ó martillo pilón, mediante cuyos aparatos se verifica su pega y estiramiento definitivos, produciendo barras y planchas de diversas dimensiones. Debemos advertir que se entiende por *pega* la unión de dos ó más pedazos de hierro dulce entre sí, unión que tiene lugar á la incandescencia blanca del metal, y que se promueve y asegura mediante repetidos golpes ó una fuerte compresión; el hierro colado no se presta á la pega, pero sí el maleable y el acero.

Un horno de pudelar, con su correspondiente plaza de recalentar, puede producir semanalmente de 12.000 á 16.000 kilogramos de hierro dulce, y se necesitan cinco de ellos para transformar el hierro colado procedente de un solo alto horno. En cambio, la producción de un horno de afino, según el sistema antiguo, no pasa de 3.500 kilogramos de hierro dulce por semana, con un gasto de carbón vegetal equivalente á 150 kilogramos por cada 100 de hierro dulce producido.

El pudelaje es una operación muy fatigosa y puramente mecánica, y hace tiempo que los inventores se preocupan de aliviar al pudelador, sustituyendo el trabajo manual con algún mecanismo; pero los diferentes aparatos que

primero se ensayaron no dieron resultados satisfactorios. Entonces se cayó en la cuenta de variar de principio, haciendo girar el horno, en vez de revolver la masa de hierro candente con herramientas giratorias, procedimiento que ofrece cierta analogía con el tostado del café en esferas ó cilindros huecos; y como la introducción del aire necesario para la oxidación del carbono ofreciera dificultades, se trató de promover la descarburación del metal mediante la adición de minerales de hierro ricos en oxígeno. En esto se funda el procedimiento de *Ellershausen*, según el cual el hierro colado, al salir por la piquera del alto horno, se mezcla con minerales pulverizados, pudelándose después en mucho menos tiempo que por el método ordinario. Pero el nuevo principio ha alcanzado su mayor desarrollo en el *horno de pudelar rotativo*, inventado por *Danks*, y los buenos resultados que se han obtenido en la práctica con este aparato, nos obligan á ofrecer á nuestros lectores una explicación sucinta de él y del procedimiento.

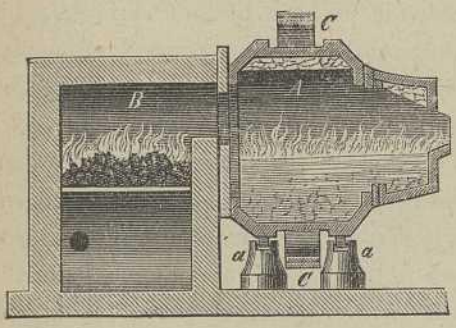


FIG. 53.—Sección vertical del horno de pudelar rotativo, de Danks.

Como se ve por la sección vertical representada en la fig. 53, el horno de Danks se compone esencialmente, como el de pudelar ordinario, de un hogar, *B*, y de un laboratorio, *A;* pero en lugar de constituir estas dos partes principales un conjunto fijo, el laboratorio está construído de manera que, adaptándose por un lado herméticamente contra el puente y la bóveda del hogar, puede girar en torno de su eje en un plano vertical. Dicho laboratorio está hecho de hierro fundido, en forma de tambor proximamente cónico, y descansa sobre cuatro rodillos, *aa*, pequeños, pero sólidos, de los que sólo se ven dos en nuestro grabado; en su periferia se halla sujeta una rueda de engrane, *C*, mediante la cual, y una máquina motriz, se le hace girar sobre los rodillos. Durante la rotación, la abertura lateral correspondiente al espacio sobre el puente del hogar, permanece siempre en la misma posición, de modo que los gases del combustible que arde en *B*, pasan continuamente sobre la masa fundida en *A*, escapando por una chimenea situada lateralmente y que no se ve en el grabado. En el lado opuesto del laboratorio se encuentra otra abertura para la introducción de los materiales destinados al tratamiento, y que se cierra mediante una puerta. El tambor se halla revestido interiormente de una masa refractaria compuesta de una arcilla roja especial (bauxita) y mineral de hierro, que tiene por objeto proteger las paredes del aparato contra la acción del fuego; pero recibe además otra capa ligera de mineral ferruginoso, que se hace adherir fuertemente fundiéndola á medida que gira el tambor, y tiene por objeto descarburar el hierro colado, entregándole el oxígeno necesario. Después de introducido el hierro y fundido

se hace girar lentamente el tambor (de una á dos vueltas por minuto), de modo que la masa líquida se revuelve, entrando en contacto con dicho revestimiento de óxido de hierro; al mismo tiempo se dirige un fino chorro de agua contra las paredes del laboratorio, cuyo efecto es hacer saltar pequeñas partículas del mencionado óxido y de su escoria que caen y se disuelven en el metal fundido; el oxígeno del mineral, ú óxido de hierro, se combina con el carbono del hierro colado, formando óxido de carbono, que al escapar arde con llamas azules; la masa de metal se vuelve cada vez más pastosa, hasta convertirse en hierro maleable, lo que tiene lugar generalmente al cabo de pocos minutos. Terminada esta fase química de la operación, se saca del horno la escoria y se aumentan el calor y la velocidad de la rotación, á fin de dividir la masa de hierro, mediante un movimiento más brusco, y obtener el metal en forma de bolas ó lupias, que se sacan y someten al martinete, laminador ó aparatos análogos. El peso total de las lupias resultantes es de 10 á 15 por 100 mayor que el del hierro colado empleado, porque durante la operación se reduce una parte no despreciable del hierro contenido en el mineral del revestimiento, convirtiéndose también en hierro maleable. Con uno de estos hornos rotativos de Danks se pueden tratar á un tiempo unos 350 kilogramos de hierro colado.

Antes de hablar de los aparatos que se emplean en la elaboración definitiva de las lupias procedentes del pudelaje, dedicaremos algunas palabras á la consideración de un invento de la mayor importancia, relacionado con la generación del calor en los hornos de pudelar, y que se aplica también á los hornos más diversos en distintos ramos de la industria. Nos referimos al empleo de *combustible gasiforme*, que permite aprovechar las hullas, los lignitos y las turbas de la calidad más inferior, así como toda suerte de desperdicios; sistema que se inició en Alemania hace unos treinta años, y cuya aplicación se generaliza cada día más. Al tratar más adelante de la fabricación del vidrio, tendremos ocasión de entrar en los pormenores relativos á la construcción del aparato necesario, por lo que nos limitaremos aquí á una exposición sucinta de los principios en que se funda el nuevo sistema.

La idea de producir ó generar combustible gasiforme nació precisamente á consecuencia de los ensayos hechos para aprovechar los gases procedentes de los altos hornos, en calentar los de pudelar; ensayos que en la mayoría de los casos no dieron los resultados apetecidos. El invento consiste en convertir en gases parecidos á los de dichos altos hornos, pero de mejor calidad, los combustibles crudos y sólidos ordinariamente empleados, produciendo ó generándolos á medida que se consumen, evitando de este modo las irregularidades experimentadas en aquellos ensayos. La parte principal del aparato ideado al efecto, es el llamado *generador*, un hogar ú horno á modo de horno de cuba, que se coloca junto al que se trata de calentar, y reemplaza en los hornos reverberos al hogar común. El combustible sólido, debidamente triturado y seco, se

introduce en el generador por una abertura que tiene en su parte superior, provista de una tapa doble, convenientemente dispuesta para evitar el escape del gas durante la operación de la carga. El material, que descansa inferiormente sobre una rejilla, llena siempre el horno hasta una altura relativamente grande, lo cual es de necesidad para el éxito; en la parte inferior del horno se sostiene un fuego vivo, pero que no se extiende mucho hacia arriba, atravesando la masa superior y mayor del combustible solos los gases de la combustión, que calientan la masa hasta el punto de que se desprende de ella un gas combustible, el hidrógeno carburado, mientras que al mismo tiempo el ácido carbónico producido por la combustión inferior se convierte en óxido de carbono, que también es un gas combustible. El producto del generador es, pues, una mezcla de gases combustibles en su mayor parte, que pasa directamente por un tubo ó canal al horno destinado á ser calentado, ó bien atraviesa primero un espacio ó cámara en que suelta el polvo y la ceniza que arrastra. Pero de cualquier modo, y antes de penetrar en el horno último nombrado, los gases se mezclan con aire que se obliga á entrar por una serie de toberas, y que, por regla general, se calienta previamente, haciéndolo pasar por tubos dispuestos en la parte inferior de la chimenea. En el punto donde penetra el aire tiene lugar la inflamación de los gases del generador, y según el número de las toberas, penetran en el laboratorio del horno otras tantas llamas. A veces dicha inflamación produce explosiones, como no puede menos de suceder con gases de la naturaleza de los que nos ocupan; pero se evitan fácilmente los perjuicios

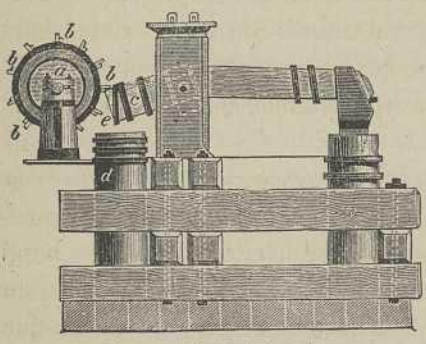


FIG. 54.—Martinete de cola.

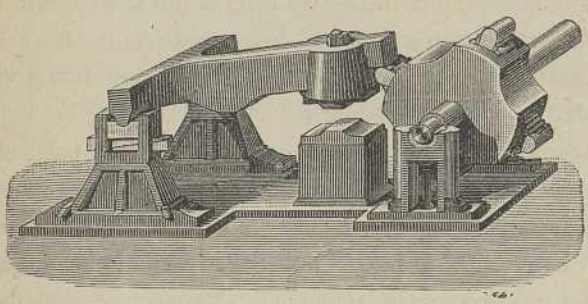


FIG. 55.—Martinete de frente.

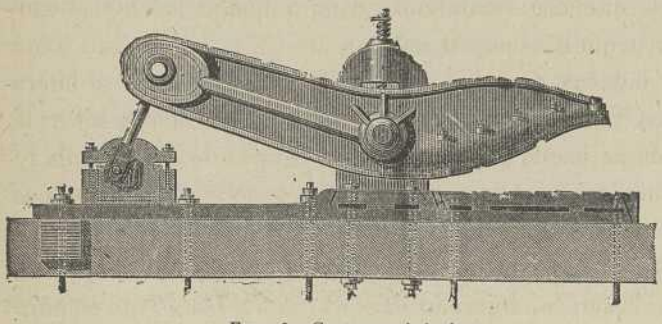


FIG. 56 —Compresor de lupias.

que pudieran resultar de tales accidentes, mediante cierto número de puertas pequeñas de hierro, dispuestas en las paredes del espacio donde tienen lugar la mezcla y la inflamación, y que se abren hacia afuera. Una de las grandes ventajas de este sistema de generación del calor consiste en que se pueden aprovechar los combustibles que contienen azufre, cual sucede con tantas clases inferiores de hulla; pues los vapores de azufre se convierten desde luego, en las llamas de los gases, en ácido sulfuroso, que no ejerce influencia perjudicial alguna sobre el metal que se funde.

Prosiguiendo ahora nuestra descripción de las operaciones relativas á la producción del hierro dulce, diremos que para batir las lupias candentes procedentes del horno de afino ó del de pudelar, se emplean hace mucho tiempo pesados martillos ó martinetes, movidos por ruedas hidráulicas. Según el punto en que se aplica la fuerza motriz, se distinguen martinetes de cola (fig. 54), en que el árbol prolongado del motor *(a)*, mediante las lenguas de hierro *(b)* dispuestas en su periferia, obra sobre la cola *(e)* del martillo, detrás de su punto de apoyo, levantando y dejando caer sucesivamente la cabeza sobre el yunque; y martinetes de frente (fig. 55), en que dicho árbol motor obra sobre la cabeza del martillo. En ambos casos la fuerza del golpe depende únicamente de la altura á que se levanta la cabeza del martillo y del peso de ésta, que suele ser de 2.300 á 5.000 kilogramos.

Pero los instrumentos más modernos de este género son el compresor, el molino de lupias y el martillo-pilón ó de vapor. El primero (fig. 56) es de construcción muy sencilla, y visto de lado, como en nuestro grabado, podría tomarse por una tijera mecánica; pero en realidad el brazo libre de su poderosa palanca doble tiene en su parte inferior una superficie ancha, y la gruesa plancha de hierro que se halla debajo constituye un yunque. El brazo opuesto se halla unido al árbol de la máquina motriz por medio de una biela y una cigüeña, de modo que, á medida que gira el motor, sube y baja dicho brazo, mientras su compañero baja y sube, cual enorme mandíbula, comprimiendo las lupias candentes y blandas de hierro, que al efecto se colocan debajo y se vuelven sobre el yunque como mejor convenga. Cuanto más se aproxima una lupia al fulcro ó punto fijo de la palanca, tanto mayor es la compresión que tiene que sufrir; la escoria que contiene su masa resulta exprimida como el agua de una esponja, y el hierro se purifica mejor y en la cuarta parte del tiempo que bajo los golpes del martinete.

El molino de lupias (fig. 57) ejerce una acción análoga á la del compresor, si bien de distinto modo. En un sólido armazón descansa y gira un gran cilindro de hierro, de unos dos metros de diámetro por 75 centímetros de ancho, cuya superficie exterior se halla provista de costillas angulares. Debajo de este cilindro, y sólidamente sujeto al armazón, se encuentra un semicilindro con la superficie interna también provista de costillas; pero esta segunda parte del apa-

rato está colocada un poco excéntricamente respecto del cilindro que gira dentro de ella, de modo que el espacio que queda entre ambos se va estrechando gradualmente de un lado á otro, ó sea desde *f* hasta *g* (véase el grabado). Mientras gira el cilindro en el sentido de las agujas de un reloj, y á razón de veinticinco vueltas por minuto, se introducen las lupias candentes por la parte más ancha del espacio intermedio (en *f*), saliendo seguidamente por el lado opuesto (en *g*), de modo que el lector puede figurarse con cuanta energía resultan comprimidas y purificadas, y, dada la velocidad indicada, cuán rápidamente se puede preparar con semejante molino una partida considerable de metal.

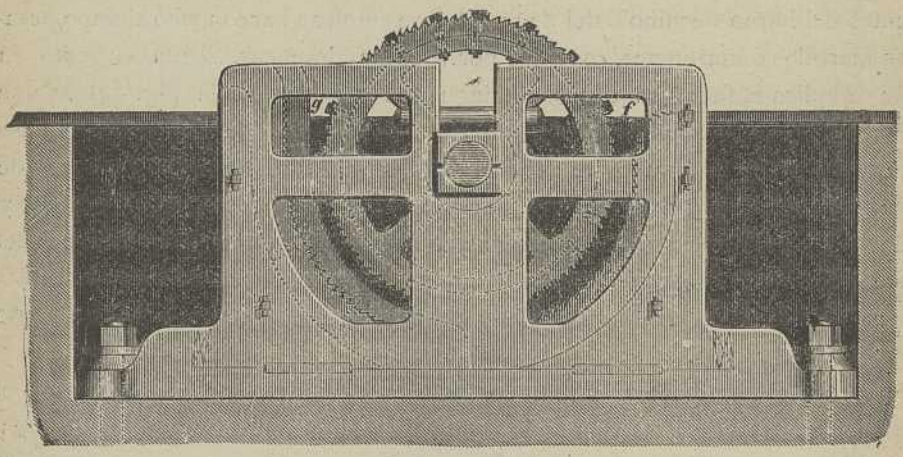
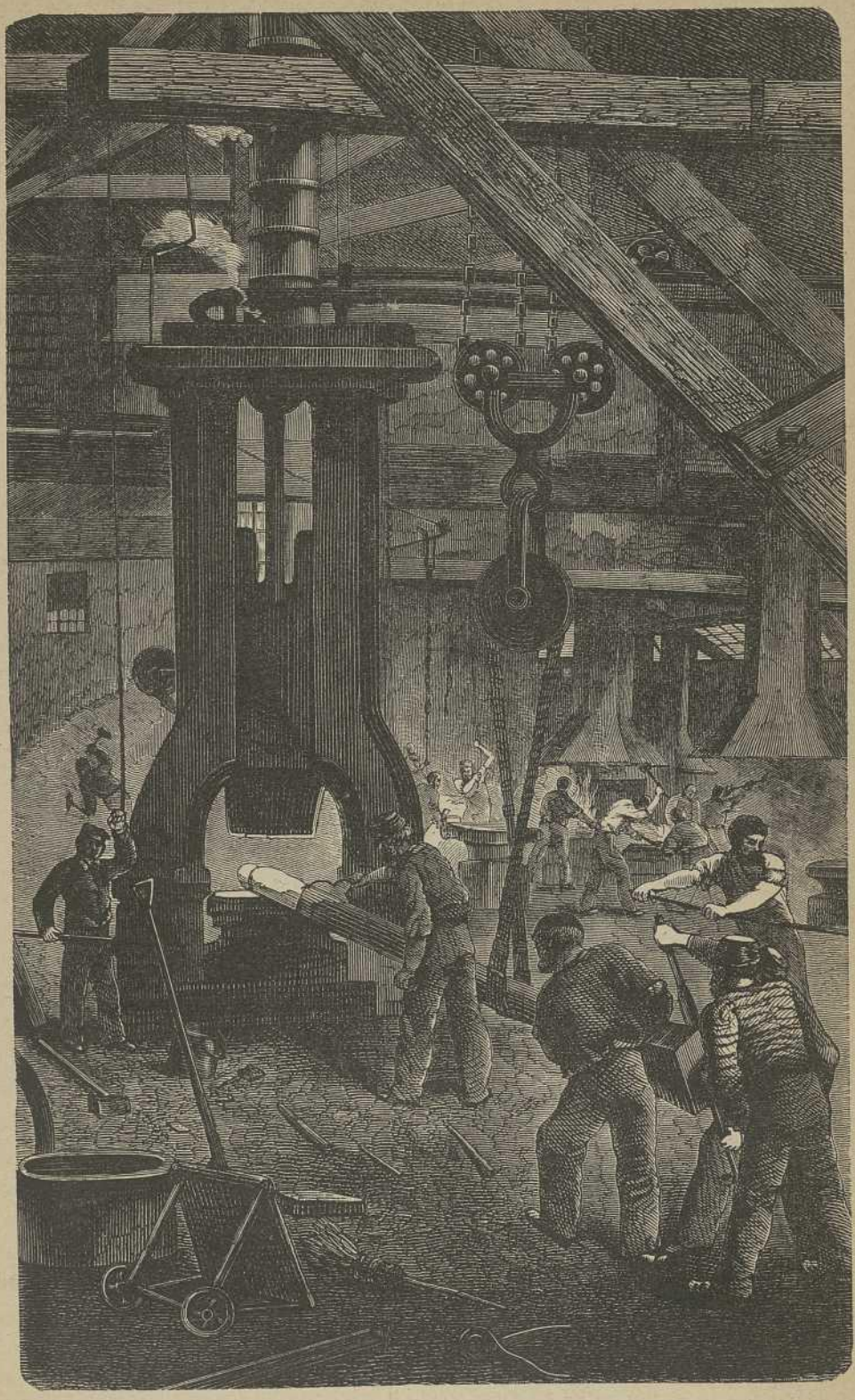


FIG. 57.—Molino de lupias.

El martillo-pilón ó de vapor, cuyo invento se debe al inglés *Nasmyth* (1838), es una máquina indispensable para batir grandes masas de hierro y acero, siendo también de gran utilidad para comprimir las lupias procedentes del pudelaje. Ofrece, entre otras ventajas, las de que sus golpes se producen en sentido vertical, mientras que los martinetes y martillos ordinarios describen un arco de círculo mayor ó menor, y que la fuerza de cada golpe se puede graduar como se quiera, desde la potencia mayor de que es capaz el vapor, hasta una equivalente á cero, puesto que la cabeza del martillo se puede detener al instante en cualquier punto de su corrida. Según puede colegir el lector por nuestra lámina II, la cabeza del martillo ó maza de hierro acerado se halla fija en el extremo inferior de la sólida vara de un émbolo, que puede subir y bajar en un cilindro de vapor, sostenido verticalmente sobre un yunque, entre dos fuertes pilares de hierro. La lupia ó masa de hierro candente colocada sobre el yunque recibe, pues, el golpe consiguiente á la caída directa de aquella maza, aumentado por la fuerza directa del vapor que actúa sobre la cara superior del émbolo; pues si bien en un principio se construían los martillos-pilones sólo de efecto sencillo, sirviendo el vapor únicamente para elevar la maza, que caía entonces en vir-



Martillo-pilón ó de vapor

tud de su propio peso, no tardaron en construirse martillos de acción doble, en los cuales el vapor obra primero debajo del émbolo, para elevarlo, y luego sobre su cara superior, imprimiendo á la maza un ímpetu mucho más considerable que el que antes resultaba de su mera caída libre. Mediante un ingenioso mecanismo de distribución del vapor, el maquinista puede graduar la fuerza del golpe con precisión tal, que á la vez que está en su mano estremecer todo el establecimiento en que funciona el instrumento, puede romper la cáscara de una avellana colocada sobre el yunque, sin dañar ó machacar la carne de la fruta. Semejantes martillos piñones se construyen generalmente con maza de 250 á 4.000 kilogramos de peso, y corrida de 50 centímetros á un metro; pero en algunos casos se hacen mucho más poderosos, y en la célebre fábrica siderúrgica de Krupp, en Essen, existe uno con maza de 50.000 kilogramos y corrida de tres metros, capaz de dar un golpe próximamente diez mil veces más fuerte que el que puede producirse con la maza más pesada, manejada por un hombre.

El hierro dulce producido por la pudelación es rara vez tan puro y maleable como el que resulta del procedimiento más antiguo del afino. Pues allí donde éste se practica todavía, la primera materia, ó sea el hierro colado, procede de la fusión con carbón vegetal, y es por sí un producto superior, mientras que en el afino mismo se emplea también dicho combustible, que está siempre libre de sustancias perjudiciales. Sin embargo, el pudelaje tiene también sus ventajas, pues en este procedimiento el trabajo es más sencillo, barato y tan enérgico, que mediante él puede convertirse el hierro colado más impuro en un hierro dulce de mejor calidad, que podría producirse en igualdad de circunstancias por medio del afino.

Para que nuestros lectores formen una idea de las proporciones colosales que toma el pudelaje en las grandes fábricas siderúrgicas, reproducimos en la lámina III una vista del taller de pudelar del establecimiento de Burbach, cerca de Saarbrücken (Prusia Renana), donde se convierte en hierro dulce el colado procedente de los altos hornos de la misma Sociedad, que emplea dentro del recinto de la fábrica ocho locomotoras para el transporte de los diferentes productos.

En rigor, y para convertir el hierro colado en hierro dulce, se puede prescindir del pudelaje del afino, sustituyendo estos procedimientos por un mero caldeo del hierro colado, bajo la influencia oxidante del aire ó de medios oxidantes como el óxido de hierro. Semejante método no es, sin embargo, adecuado para la producción en grande, pero se aplica en la práctica para hacer más resistentes, esto es, menos quebradizos, toda suerte de pequeños objetos de fundición; los cuales se caldean de manera que, sin fundirse ni variar de forma, se consume parte del carbono que contienen, resultando un hierro blando, aunque necesariamente impuro, pero que llena el objeto con un gasto muy módico. Semejante producto es lo que se llama *hierro colado maleable*.

PRODUCCIÓN DEL HIERRO MALEABLE DIRECTAMENTE DE LAS MENAS

Hemos dicho que en Europa antiguamente, y hoy todavía en África y la India, se producía y produce directamente el hierro maleable por la mera reducción de óxidos naturales muy puros, ricos y fusibles; y más de una vez en nuestros tiempos ha surgido la idea de hacer lo propio con las menas de hierro más comunes, evitando los grandes gastos que supone la fusión de dichas menas en los altos hornos para obtener el hierro colado. Varios han sido los métodos propuestos y ensayados, y mediante la mezcla íntima de las menas con carbón y su reducción á una temperatura relativamente baja, se ha logrado obtener un hierro esponjoso, que luego se fundía en un horno especial, para purificarlo de la escoria que contenía; pero semejantes medios resultan siempre harto complicados para poder responder ventajosamente á las exigencias de una producción en mayor escala, por lo que, en general, se han abandonado al cabo de los primeros ensayos. A estas breves consideraciones, pues, quedaría reducido lo que pudiéramos exponer aquí respecto de tan interesante materia, si no fuera por el genio del célebre *Siemens*, uno de los inventores más incansables de nuestra época, que recientemente, y por vías distintas por completo de las seguidas hasta aquí, ha alcanzado resultados de la mayor importancia para el porvenir de la industria siderúrgica.

El invento de Siemens se remonta al año 1868, habiendo sufrido desde entonces varias modificaciones. Al principio se encaminaba á la descarburación parcial y la purificación del hierro colado, añadiendo á éste, en estado de fusión, minerales de hierro ricos en oxígeno, que al propio tiempo, y en virtud de perder dicho elemento, quedaban también reducidos á metal. Pero la escoria, tan rica en protóxido de hierro, que se formaba durante la operación, corroía rápidamente las paredes del horno, hasta hacerlo inservible, y esta circunstancia dió motivo á una modificación del aparato y del procedimiento. Siemens ideó un horno, que llamó *de cascadas* ó saltos, compuesto de diferentes laboratorios escalonados; en el superior, situado más cerca del generador (pues es de advertir que empleaba el combustible gasiforme), se fundía primero la mena con los fundentes, y esta masa líquida se dejaba caer entonces en dos laboratorios inferiores, en los que se revolvía con carbón y mineral de hierro triturado; todo lo cual tenía por objeto, no sólo la reducción del mineral á hierro colado, sino al mismo tiempo la descarburación y purificación de éste, esto es, la producción casi directa de un hierro maleable, sin necesidad del pudelaje propiamente dicho. No satisfecho el inventor con el resultado de semejante modificación, se valió después de un horno rotativo, parecido al de Danks (compárese fig. 53), el cual, después de calentado hasta la incandescencia blanca por medio de com-

bustible gasiforme, se carga con los minerales de hierro y los fundentes respectivos, poniéndose entonces en rotación lenta; cuando toda la masa se halla fundida, se le añade la cantidad necesaria de carbón, en pedacitos del tamaño de nueces, imprimiendo al mismo tiempo la mayor velocidad á la rotación del horno, á fin de promover la mezcla más íntima del carbón con la masa fundida; la reducción procede muy rápidamente, como indica el desarrollo de óxido de carbono, que arde en multitud de llamitas azules, y cuando ha terminado la reacción, se da salida á la escoria y se aumenta nuevamente la velocidad del horno con el fin de transformar el metal en lupias.

Es verdad que por este procedimiento no se ha logrado todavía obtener un hierro dulce de tan buena calidad como el que resulta del pudelaje ó afino del hierro colado; pero el producto en cuestión es muy adecuado para la fabricación del acero, disolviéndose al efecto en un baño de hierro colado, fundido, que es el principio en que se funda el procedimiento llamado de *Siemens-Martín*, por haberse originado en la mente de estos dos ingenieros. Mas si hasta el presente el resultado de Siemens para obtener hierro dulce directamente de los minerales no ha sido tan brillante como fuera de desear, hay que tener en cuenta que ha transcurrido todavía poco tiempo desde las primeras pruebas, y que las condiciones actuales de la industria siderúrgica no son favorables para hacer ensayos costosos. Por último, conviene decir en este lugar que se producen actualmente grandes cantidades de hierro dulce, en estado fundido, por el procedimiento de Bessemer, de que trataremos más adelante.

ELABORACIÓN DEL HIERRO DULCE

Para que el producto bruto del pudelaje resulte, en lo posible, homogéneo y puro, y con el fin de darle las formas que reclaman sus diversas aplicaciones ulteriores, es preciso someterlo á un afino propiamente dicho, y luego á una elaboración especial; operaciones que suelen verificarse á continuación una de otra, sin dar lugar á que el hierro se enfríe innecesariamente. El afino consiste en el caldeo del hierro en hornos de recalentar, y en estirarlo por medio de martillos y laminadores, faenas que se repiten cuantas veces sea necesario, complementándose con el corte de las barras, la reunión de sus pedazos en paquetes, la pega de éstos, etc., por cuyos medios se cambia en cierto modo la naturaleza del metal. En efecto; el hierro pierde por dicho tratamiento la estructura cristalina que le es propia, natural, volviéndose tenaz y flexible, y presentando su superficie de fractura una estructura fibrosa. Que esta estructura es en realidad artificial ó ajena á la verdadera naturaleza del hierro, lo prueba el hecho, conocido de todo industrial, de que el hierro dulce más tenaz recobra con el tiempo, y por una mera vibración, su estructura cristalina original, llegando á ser tan

quebradizo ó agrio como el hierro colado; por esta razón, y al cabo de un tiempo determinado, se desechan siempre los ejes de las ruedas de locomotoras y carruajes de los ferrocarriles, por ejemplo, por más que exteriormente no revelen por la señal más leve semejante cambio de estructura, que basta para hacerlos inservibles por el peligro de romperse.

Las diversas formas que tiene el hierro dulce, tal como se ofrece á la venta, respondiendo á las exigencias de las varias industrias que lo emplean como primera materia, las recibe en los establecimientos siderúrgicos por medio del aparato llamado *laminador*. Como se desprende fácilmente de las figuras 58 y 59, consiste éste aparato en una serie de pares de cilindros acanalados de hierro fundido, montados horizontalmente entre sólidas columnas de hierro, de modo que los cilindros inferiores de todos los pares, unidos entre sí por sus extremos mediante collares, constituyen un árbol, que forma la prolongación del árbol motor de una poderosa máquina de vapor, provisto de un volante muy pesado (véase la fig. 59, á la derecha), mientras que los cilindros superiores, unidos también entre sí, constituyen otro árbol paralelo al anterior; ambos árboles están provistos, en el extremo próximo á la máquina, de fuertes piñones ó ruedas dentadas de corto diámetro, cuyo engrane determina la rotación de los cilindros superiores en un sentido, cuando, á impulso del motor, los inferiores giran en el sentido contrario. La acanaladura de cada par de cilindros está hecha de manera que, cuando se hallan sobrepuestos, presentan una serie de aberturas de perfil y dimensiones diferentes, cada vez más estrechas, al pasar por las cuales, y siguiendo el orden de mayor á menor, el hierro candente se va estirando, merced á la compresión de los cilindros (que se regula por medio de tornillos de presión), tomando al mismo tiempo y sucesivamente la forma de las diferentes aberturas. Se comprende, pues, que para obtener cada una de las diferentes clases de hierro en barras, se necesitan diferentes pares de cilindros, cuya acanaladura corresponda á las diferentes secciones de dichas clases; en la figura 58, por ejemplo, el par de cilindros de la derecha está dispuesto para la producción de barras de sección cuadrada, mientras que con el de la izquierda se obtienen las llamadas platinas, ó sean barras aplanadas de sección rectangular. Las barras redondas se forman por medio de acanaladuras semicirculares en cada cilindro, mientras que para producir planchas y chapas hay que emplear cilindros de superficie lisa, cuya mayor ó menor aproximación entre sí determina el grueso de aquéllas.

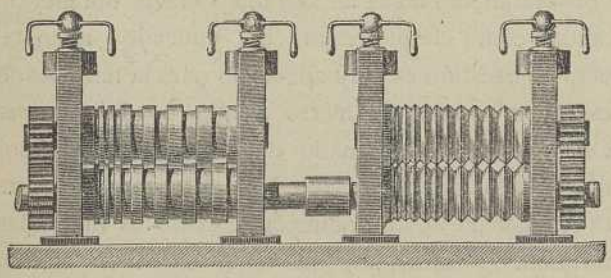
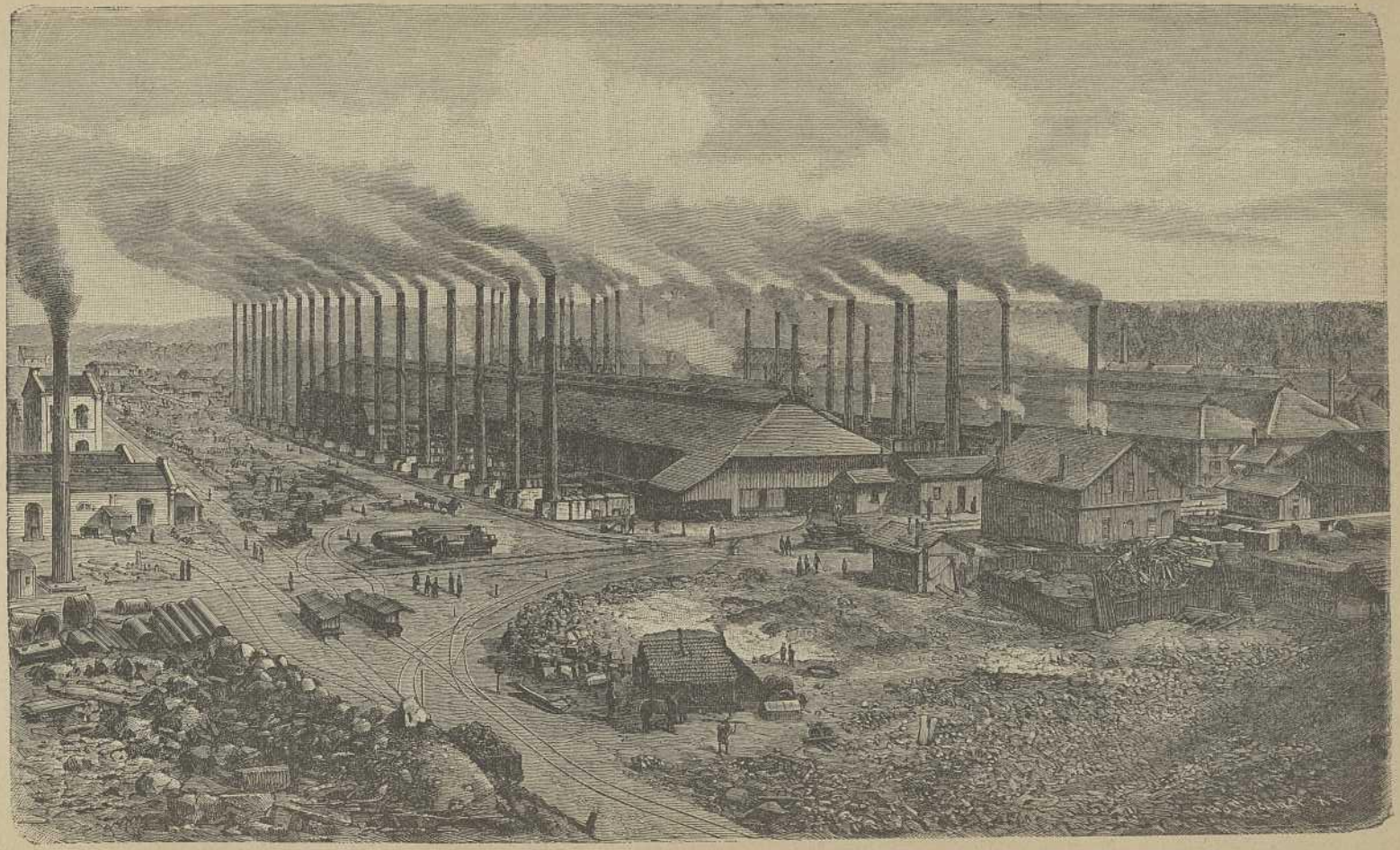


Fig. 58.—Cilindros laminadores.



Taller de laminadores de la fábrica de Burbach, cerca de Saarbrücken.

Además de estas formas usuales, se producen, por medio de acanaladuras especiales, todas las variedades de hierro en barras que hoy se encuentran

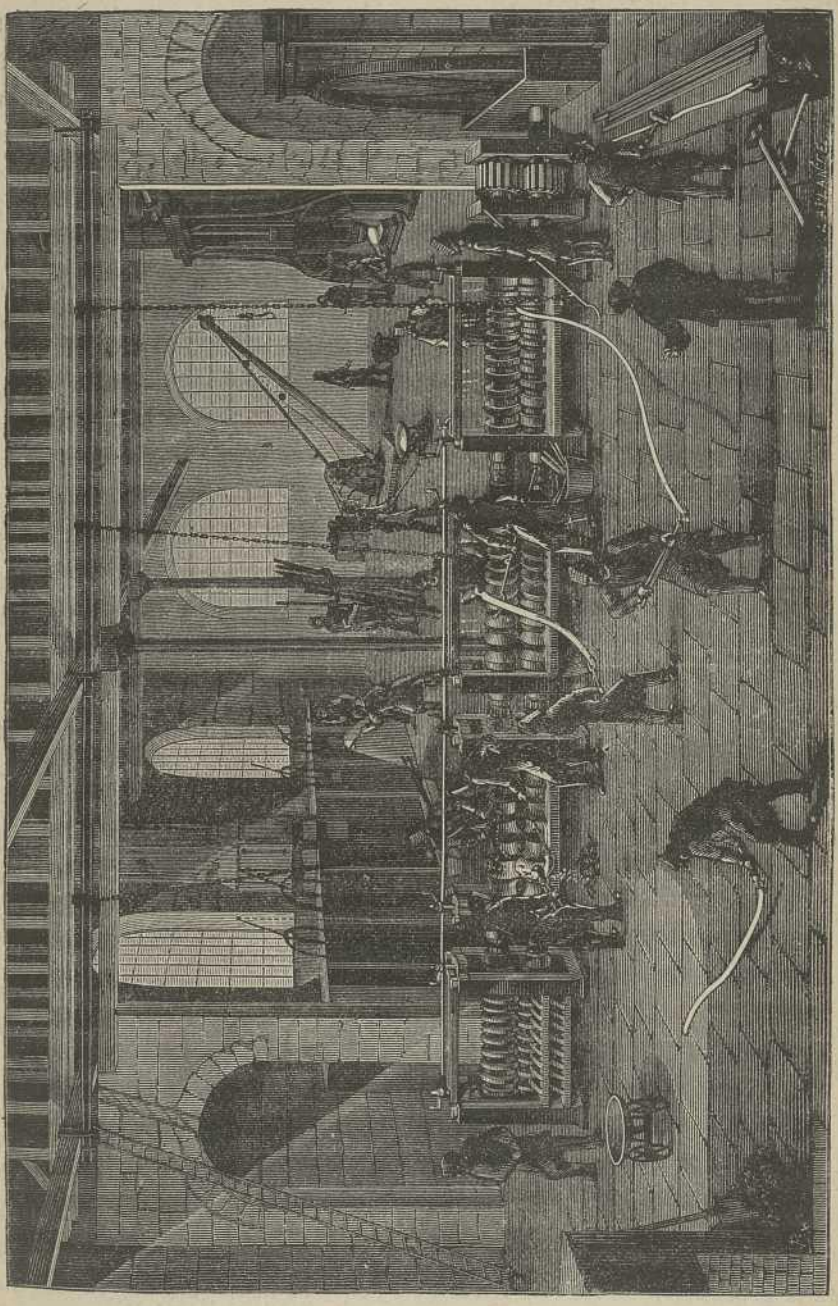


FIG 59.—Taller de afinar y laminar en una fábrica siderúrgica.

en el mercado, y responden á necesidades creadas por el desarrollo que han tomado en los últimos tiempos las construcciones de hierro, así como al deseo

de facilitar la obra del herrero y del constructor de máquinas. Así, por ejemplo, el laminador produce barras de sección hexagonal, que no hay más que cortar en pedacitos y terrajar para obtener las tuercas tan necesarias en la maquinaria, y cuya forma hexagonal, producida á mano, supone un trabajo bastante entretenido y la pérdida consiguiente de tiempo; y con objetos análogos se laminan barras de sección pentagonal, octogonal, oval, etc. Pero donde el laminador presta servicios inapreciables es en la producción de las diferentes clases de hierro de ángulo, que presentan secciones en forma de L, de T, de T doble (I), de cruz (+), y comprenden las pesadas vigas que tanto se emplean hoy en la construcción de edificios y puentes, los rails ó carriles de nuestras vías férreas y tranvías, y otras muchas clases más ligeras; debiéndose también al mismo aparato los hierros especiales cuya sección tiene la forma de una media caña, de una U, etc., á cuyo empleo responde esa combinación de fuerza y ligereza que caracteriza á tantos instrumentos y objetos modernos, como los agrícolas y los bancos y sillas de jardín, por ejemplo.

La fig. 59 nos ofrece la vista interior de un taller de afinar y laminar, operaciones que, como indicamos anteriormente, se verifican combinadas: en el fondo, á la izquierda, se ven varios hornos de recalentar, en los que se caldea el producto bruto del pudelaje, llevándose el hierro candente, mediante carritos de mano, desde la puerta del horno al martillo-pilón (en el fondo á la derecha), de éste al laminador, en el que tiene lugar el primer estirado, y vuelta al horno para sufrir nuevo caldeo; repitiéndose estas operaciones hasta poder estirar definitivamente las barras destinadas á la venta, que, candentes aún, se enderezan y cortan á la medida deseada sobre una larga plancha de hierro que se ve á la derecha en el primer plano del grabado. Tratándose de barras relativamente delgadas, semejante corte de los extremos desiguales se efectúa á mano por medio de un cincel y un mazo; pero los rails de ferrocarril, las pesadas vigas angulares y las barras más gruesas se igualan hoy por medio de un par de sierras circulares, fijas en los extremos de un eje, al que se imprime una rotación muy rápida, después de sujetar el rail ó la viga en la posición adecuada. No hay para qué decir que semejante aserrado tiene lugar en caliente, esto es, mientras que el hierro candente ofrece la blandura necesaria, y cada corte, que ocupa sólo algunos segundos, va acompañado de una verdadera lluvia de chispas de colores preciosos, semejante al efecto producido por los fuegos artificiales. Nuestra lámina VIII reproduce la vista interior de la nave principal del magnífico taller de laminadores de la célebre fábrica siderúrgica del Creuzot (Francia), de que hablaremos más adelante, taller que se halla montado expresamente para la producción de rails de ferrocarril y hierros de ángulo de grandes dimensiones. Es el mismo que citamos en el tomo I de esta obra, al tratar de las construcciones de hierro, y la lámina referida sirve como de complemento á la ilustración que allí dimos (véase tomo I, fig. 257) de la inmensa armadura de su techo.

En la fabricación de las clases más gruesas de alambre se emplea actualmente el laminador, que ha sustituído ya, casi por completo, al antiguo banco de estirar (fig. 60), en el cual, y mediante una especie de tenazas que agarraban la extremidad de las varillas candentes de hierro, se obligaba á éstas á pasar repetidas veces por los agujeros de una plancha, hasta reducir su grueso en la medida deseada. Los laminadores que hoy se emplean son de construcción parecida á la de los destinados á la producción de hierro dulce en barras, aunque mucho menos pesados que éstos, componiéndose de una serie de pares de cilindros, dispuestos, ora á continuación uno de otro, ora sobrepuestos. Las aberturas que prestan las acanaladuras de los cilindros van disminuyendo gradualmente de tamaño, de modo que una barra de hierro candente, relativamente gruesa, se va transformando poco á poco en alambre, á medida que pasa de un modo sucesivo por la serie de aquéllas. Para evitar la necesidad de volver á caldear el hierro durante la operación, las acanaladuras del laminador no presentan todas una sección redonda, sino oval en su primer tercio y cuadrada en el segundo; de esta manera resulta el hierro comprimido ó estrujado de tal suert e durante la operación, que conserva el calor suficiente hasta que, transformado en alambre, se arrolla sobre el torno dispuesto al efecto. Los rollos de alambre así obtenidos se encierran en seguida en cajas de palastro, y se dejan enfriar con lentitud en un local convenientemente calentado, á fin de que el hierro no se vuelva agrio; después se sumergen en ácido sulfúrico muy diluído, q ue disuelve la cascarilla de óxido de hierro formada en la superficie del alambre durante la laminación, y entonces los rollos se lavan en agua clara y se secan. A esto se reduce la fabricación de los números más gruesos; pero para obtener las clases de alambre más finas, los rollos procedentes del laminador se colocan sobre el tambor de un banco de estirar, delante del que se encuentra una planchita vertical de acero, taladrada con agujeritos de diámetro distinto. Introduciendo la punta del alambre por el agujero mayor, y sujetándola á un torno dispuesto al intento, y que se mueve á máquina, se hace pasar todo el rollo por dicho agujero, con cuyo estiramiento queda reducido notablemente su grueso; y, si se quiere obtener aún más fino, se repite la operación una ó más veces con agujeros más pequeños, sometiendo el alambre de cuando en cuando á un caldeo, á fin de que no se torne agrio. El alambre fino de acero se estira de la misma manera; pero en este caso pasa por agujeros practicados en ágata ú otra piedra análoga muy dura, porque no bastarían al efecto los taladros en una simple plancha de acero, por muy duro que éste fuera.

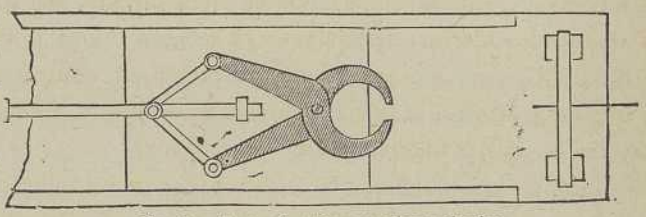


FIG. 60.—Banco de estirar, para hacer alambre.

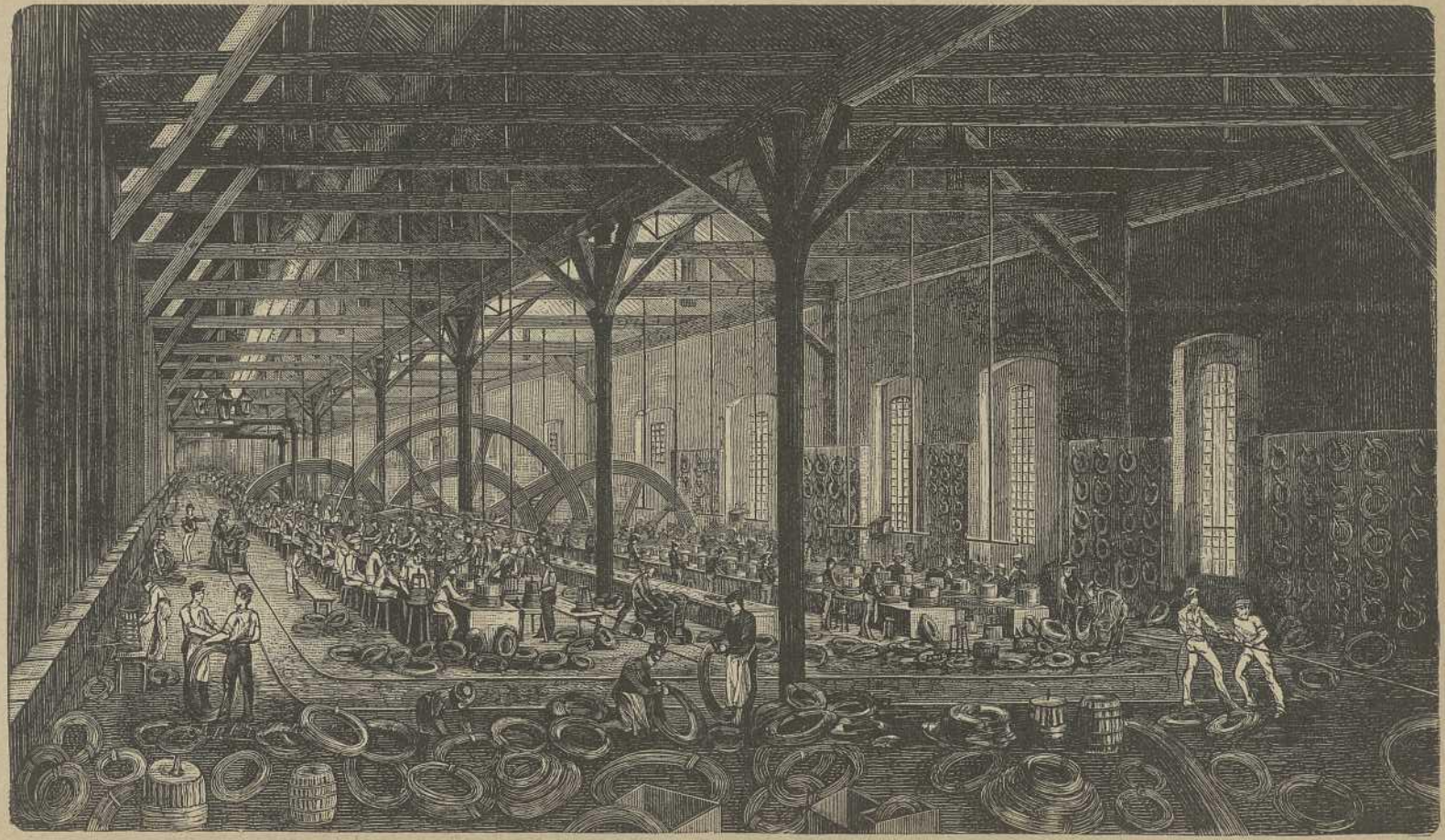
Nuestra lámina IV reproduce la vista interior de la gran fábrica de alambre de hierro de Funke, Borbet y Compañía, en Langendreer (Westfalia); en medio de la nave se ven los poderosos volantes de la máquina motriz y de los laminadores, desde los cuales, y á derecha é izquierda, se extienden dos largas series de bancos de estirar, para los alambres finos, con sus tambores, planchitas y tornos, que reciben su movimiento desde abajo, mientras que entre dichas series se ve la mesa ó mostrador en que se limpia el alambre con ácido sulfúrico.

Aparte de los minerales de hierro, los productores de este metal sacan un partido no despreciable de otra fuente que en nuestros tiempos ofrece materia primera en abundancia: nos referimos al hierro, tanto colado como dulce, procedente de objetos rotos ó usados, que constituye, bajo el nombre de *hierro viejo*, un artículo de comercio bastante importante, existiendo muchas fábricas siderúrgicas en comarcas que carecen de minerales, pero que se alimentan exclusivamente con él. Basta considerar, en efecto, las enormes cantidades de rails y ejes de vagones de ferrocarril que hay que reponer de vez en cuando, para comprender el desarrollo que han adquirido semejantes establecimientos. El hierro colado viejo se funde sencillamente en los hornos de cuba llamados *cubilotes*, de los que hablaremos más adelante, mientras que el hierro dulce se somete nuevamente al afino en los hornos de recalentar y pegar, y después al batido y á la laminación, á cuyo efecto los pedazos más pequeños se reunen y atan con alambre, formando los llamados *paquetes*, antes referidos, que se caldean y pegan bajo el martillo-pilón.

PRODUCCIÓN DEL ACERO

La siderurgia actual se basa principalmente, como hemos visto, en la producción del hierro colado, y acabamos de explicar cómo se convierte éste en hierro dulce; el acero, de que vamos á tratar, se puede obtener por un tratamiento adecuado, lo mismo del uno como del otro de dichos productos.

El antiguo método de reducción de los minerales de hierro en hornos bajos tendía siempre á producir un hierro más ó menos aceroso, y con menas puras y el empleo de mucho carbón, trabajo y tiempo, se puede obtener un acero bueno, aunque no muy duro, por semejante procedimiento directo. Actualmente esta pequeña industria de antaño, que se relaciona con la gran industria siderúrgica moderna, como el oficio del tejedor casero con el tejido á máquina, se halla ya relegado á los países donde aún no se han introducido los progresos de nuestro siglo. Pero si bien, y merced á los adelantos de las ciencias naturales, nuestra siderurgia se ha desarrollado sobre principios distintos del antiguo, alcanzando proporciones verdaderamente colosales, la teoría respecto de la producción del acero parece todavía bastante lejos de su resolución definitiva, puesto que aún no se ha conseguido por completo reunir en un cuerpo de doctrina



Interior de la fábrica de alambre de hierro, de Funke, Borbet y Compañía, en Langendreer.

fijo las muchas experiencias prácticas relativas á dicho metal. Es verdad que no tenemos motivo para abandonar la creencia en el papel que desempeña el carbono en el hierro; pero sabemos, sin embargo, que otros varios elementos, absorbidos por el hierro en mínimas proporciones, son capaces también de prestarle dureza y propiedades propias del acero.

El elemento fundamental del cuarzo, ó sea el silicio, por ejemplo, un cuerpo químicamente parecido al carbono, forma parte, en proporciones muy reducidas y al lado del carbono, de la mayoría de las clases de acero; y se sabe que dicho elemento contribuye á la dureza del metal, obteniendo un producto especial, que ha recibido el nombre de «acero de silicio». Lo propio sucede con el manganeso, que se puede incorporar al acero en cantidades relativamente grandes, y que, sin que su presencia perjudique al producto, puede considerarse como un medio purificador, por cuanto desaloja otras materias dañosas como el azufre y el fósforo; por esta razón son preferidas las menas de hierro manganesíferas para la producción del acero, designándose muchas veces con el nombre honorífico de «menas de acero». Después de lo dicho, los nombres de acero de níquel, de titano, de cromo, de tungsteno, etc., se explican por sí mismos, pues indican claramente que se han añadido pequeñas cantidades de semejantes elementos al acero para mejorar su calidad; sin embargo, á veces se han adoptado denominaciones puramente arbitrarias, como las de acero de plata y acero de aluminio, cuyas clases no tienen de tales metales más que una aproximación á su brillo ó color. Varias de estas clases compuestas de acero se hallan todavía en el período de prueba, ofreciendo un interés más bien puramente científico; algunas otras, en cambio, constituyen ya productos normales de la industria, habiéndose construído con acero de cromo, por ejemplo, el gran puente sobre el Misisipí, en San Luis.

El *tungsteno* es de los elementos que aumentan notablemente la dureza del acero, por cuya razón se emplea el llamado *acero de tungsteno* para diferentes usos especiales; hubo un tiempo en que este producto cayó en descrédito, pero el hecho era debido solo á que solían ofrecerse á la venta como tal, aceros ordinarios. La aplicación del tungsteno á la fabricación del acero data del año 1856 próximamente, debiéndose la innovación á un tal Jacob, de Viena; antes de dicha fecha la *wolframita*, que contiene tunsgsteno como ácido en combinación con los protóxidos de hierro y manganeso, y es un mineral relativamente raro, encontrándose más en especial en los criaderos de estaño de Bohemia, se consideraba como inútil, salvo para figurar en las colecciones mineralógicas de sabios y aficionados; mas desde el descubrimiento de Jakob, la wolframita es un mineral muy estimado por el siderurgo. Para utilizarlo se calcina primero, á fin de expulsar el azufre y el arsénico que suelen hallarse mezclados con él, y entonces se extraen el hierro y el manganeso por disolución en ácido clorhídrico, obteniendo como residuo el ácido túngstico en forma de un polvo amarillo, que

se reduce, sometiéndolo á la acción del fuego en presencia de carbón, resultando así el metal tungsteno, el cual, por ser muy duro de fundir, constituye siempre una masa esponjosa ó muy porosa. El tungsteno forma con el acero una aleación (es decir, una mezcla y no una combinación química), y en la proporción de un 5 por 100 eleva la dureza y la solidez del producto por encima de las del mejor acero fundido inglés, haciéndole muy á propósito para la fabricación de ciertas herramientas cortantes, si bien el acero de tungsteno es muy difícil de trabajar. Además se recomienda el empleo del tungsteno en la producción del hierro colado, también para aumentar su dureza, y el tungsteno metálico, al tenor de 80 á 90 por 100, constituye un artículo de comercio. Sin embargo, tiene actualmente mayor importancia industrial el llamado *ferromanganeso*, mediante el cual se produce el *acero de manganeso*. El primero es un hierro colado muy rico en manganeso, pudiendo contener hasta 70 por 100 del mismo y 6 por 100 de carbono, y se emplea en gran cantidad en el procedimiento de Bessemer, en sustitución del llamado hierro especular, obteniéndose con tal objeto, por la fusión en los altos hornos, de minerales de manganeso mezclados con los de hierro; en semejante fusión es preciso agregar un fundente muy básico y rico en cal, para evitar de que gran parte del manganeso pase á la escoria, pues el silicato de manganeso, una vez formado, no se deja reducir por el carbón. Añadiendo del ferromanganeso al acero ordinario, se obtiene el llamado acero de manganeso, que es muy duro.

Es cuestión que está todavía por resolver la de si el nitrógeno contenido en pequeñas proporciones en el acero, ejerce una influencia especial sobre su naturaleza; es posible, ya casi probable, que así sea, pues hace mucho tiempo que se emplean empíricamente en la fabricación del acero llamado de cementación, ciertas materias como raspaduras de cuerno, harina de huesos, ferrocianuro de potasio, etc., cuya acción beneficiosa es indudable, y que son precisamente sustancias nitrogenadas. Sin embargo, tanto respecto del nitrógeno como de los demás elementos referidos, los hechos que hemos expuesto carecen todavía de cierto enlace científico, de modo que, como medida ó guía para juzgar de la calidad acerosa del hierro, tenemos que atenernos principalmente al carbono.

El acero, como producto intermedio entre el hierro dulce y el hierro colado, compartiendo con el primero la maleabilidad, contiene también una proporción media, aunque muy variable, de carbono. No parece sino que la ley de las proporciones fijas, base de toda la química, pierde su validez tratándose de las combinaciones del carbono con el hierro. Al hierro más blando, que sólo contiene indicios de carbono, puede hacérsele absorber más de este elemento; cuando llega á contener medio por ciento próximamente, empieza á volverse aceroso, pero permaneciendo siempre relativamente blando; tan luego como el metal, sometido al tratamiento correspondiente, produce chispas con el pedernal (y

ésta es la prueba más concluyente), el industrial le llama acero. Continuando la absorción de carbono, el metal, antes tan blando, acaba por convertirse en hierro colado y agrio. Tratándose de un material puro, un contenido en carbono equivalente al 1,5 por 100 señala el punto de la transformación en que el acero, después de enfriado, posee un grado notable de dureza, y, al mismo tiempo, su mayor tenacidad; más allá puede aumentarse la dureza, pero entonces el acero empieza á tornarse agrio, y cuando la proporción de carbono asciende al 2 por 100, el metal ya no se deja pegar, y es llegado el límite entre acero y hierro colado.

La gran utilidad del acero, y lo que hace que no sea sustituíble como material para instrumentos cortantes, estriba en la propiedad singular, que sólo comparte con él (hasta cierto grado) el hierro colado, de dejarse ablandar ó endurecer por meros cambios de temperatura, sin perder su naturaleza acerosa. Sabido es que el acero, por mero caldeamiento y enfriamiento lento, se vuelve tan blando, que puede labrarse como el hierro más dulce; mientras que, por otra parte, si se torna á caldear y se enfría rápidamente, sumergiéndolo en agua fría, por ejemplo, el acero alcanza un grado de dureza que puede elevarse á la del vidrio; es decir, que, en tal estado, el acero raya el vidrio y el cuarzo y no produce impresión alguna en él la lima más dura.

Semejante acero, duro como el vidrio, vuelve á recorrer inversamente toda la escala de dureza, por la aplicación adecuada del calor, y á medida que pierde en dureza y aspereza, aumenta en elasticidad. En cambio, el acero fuertemente calentado, pero no caldeado, es decir, sin que llegue á ser incandescente, no se endurece por sumersión en agua fría, sino que, por el contrario, se vuelve más blando. El industrial se vale de todos estos hechos para sus fines, y en ellos se funda toda una serie de procedimientos para endurecer el acero, ó *templarlo*, como se dice, como, por ejemplo, el que consiste en sumergir el acero candente en plomo ó estaño fundido, en cuyo secreto estuvieron iniciados mucho tiempo sólo los ingleses. Sin que podamos entrar en pormenores respecto de semejantes modos, diremos únicamente que en el endurecimiento ó *temple* del acero sirven de guía al industrial los cambios de color que sufre el metal á diferentes temperaturas, pasando sucesivamente por el amarillo pálido, el amarillo de paja, el pardo, el pardo con manchas purpúreas, la púrpura, el azul claro, el azul oscuro y el azul negruzco. Si la temperatura se aumenta todavía más, la misma serie de colores se vuelve á reproducir, aunque en matices menos distintos. Para instrumentos de acero que deben tener mucha dureza, como las navajas de afeitar y los quirúrgicos, el temple conveniente está indicado por el color amarillo, que corresponde á una temperatura de 220 á 230 grados; para tijeras, cinceles y cortafríos, el color debe ser el pardo, que se presenta á los 254 grados; á los cuchillos de mesa corresponden la púrpura y los 265 grados; á las hojas de sierras finas y de espada, cuadra el azul claro ó violeta (288 grados), mientras que el

azul oscuro, á la temperatura de 316 grados, corresponde á los resortes de reloj, que reclaman el mayor grado de elasticidad.

De lo dicho hasta aquí se desprende claramente que en la producción del acero, tal como se practica hoy, se trata, bien de eliminar cierta cantidad de carbono del hierro, bien de aumentar su contenido en dicho elemento. El primer sistema, ó sea el de la descarburación, se refiere al hierro colado, y da como producto el acero bruto ó pudelado; el segundo, basado en la carburación, exige como primera materia el hierro dulce, y produce el acero de cementación. Un tercer sistema se funda en ambos principios á la vez, produciendo acero por la fusión de hierro colado con hierro dulce; de modo que el carbono contenido en ambos en diferentes proporciones, se reparte por igual en la masa común. La producción antigua del acero dependía tanto del acaso, que el producto tenía siempre que examinarse ó probarse para determinar si servía mejor como acero ó como hierro dulce; actualmente el siderurgo sabe mejor por dónde se anda, especialmente si toma como base de sus operaciones el hierro colado, cuya riqueza en carbono le ofrece siempre un punto de apoyo fijo, por más que ha de tener en cuenta las diferentes calidades de esa primera materia.

Acero bruto ó pudelado.—La conversión del hierro colado en acero bruto puede efectuarse de diferentes maneras: por el procedimiento antiguo en el horno alemán de afino (fig. 51), que corresponde al que se practicaba para obtener hierro dulce; por el pudelaje, y desde una fecha relativamente reciente, por el procedimiento especial de Bessemer. La aplicación del pudelaje á la producción del acero tropezó al principio con grandes dificulades; pero el deseo de evitar el empleo de un combustible tan escaso y caro como el carbon vegetal, dió lugar á repetidos ensayos, que por fin dieron el resultado apetecido mediante la aplicación de una temperatura sumamente elevada; salvo este detalle esencial, la operación es por entero análoga al pudelaje del hierro. Uno de los principales inconvenientes resultaba del azufre contenido en la hulla, y sólo se logró apartarlo sometiendo este combustible á una purificación preliminar; su conversión en cok, que se practicaba hace tiempo, no basta para expulsar totalmente el azufre, de modo que hubo necesidad de recurrir á una preparación mecánica de la hulla, por medio del agua, triturando el combustible y lavándolo en cribas, hasta separar de él los minerales sulfurosos que determinan su impureza. En efecto, el azufre no se halla diseminado por toda la masa de la hulla, sino que se encuentra combinado con hierro, en forma de pirita, que se presenta en nódulos y granos aislados; y como éstos son mucho más pesados que la hulla, es fácil separarlos por clasificación con la criba. La trituración de la hulla no es inconveniente, puesto que en la lumbre se aglomera pronto.

El procedimiento en el horno de afino, con carbón vegetal, se asemeja tanto al afino ó la reducción del hierro, antes descrito, que el no perito apenas notaría diferencia alguna, salvo acaso que el hogar del horno suele ser más pequeño.

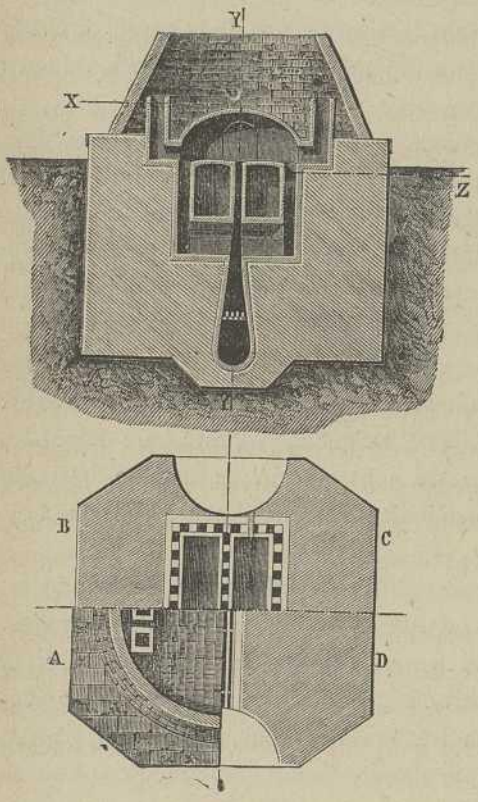
El que practica la operación sabe que, en general, tiene que conducirla á una temperatura más baja que cuando se trata de hierro, y también con corriente de aire moderada, manteniendo la masa fundida protegida por una capa de escoria; la operación dura también menos tiempo, puesto que no se trata de oxidar tanto carbono como en la producción de hierro dulce. El producto que se obtiene es un acero bruto, de calidad bastante desigual, que se forja seguidamente en forma de barras; en estado todavía candente, se echan éstas en agua fría, á fin de endurecerlas, y luego se hacen pedazos, que se clasifican con arreglo al aspecto de la fractura, pegando, batiendo y laminando los de naturaleza uniforme, y obteniendo así el acero llamado de afino, que, á consecuencia de la pérdida inevitable de carbono habida durante los caldeos repetidos, se asemeja más al hierro dulce, siendo relativamente blando.

Acero de cementación.—El procedimiento por medio del cual se convierte en acero el hierro dulce, es enteramente distinto del anterior, fundándose en el hecho de que dicho hierro, en estado candente y puesto en contacto con sustancias ricas en carbono, absorbe cierta cantidad de este elemento, transformándose en acero desde el exterior hasta el interior. Es verosímil que semejante propiedad se conociera en una época muy remota, aunque durante largo tiempo sólo se aplicara al endurecimiento superficial de herramientas y otros objetos pequeños. Sin embargo, su aplicación á la conversión total de barras de hierro dulce en acero cuenta ya relativa antigüedad, puesto que hace dos siglos la producción del llamado acero de cementación se hallaba bastante desarrollada, no diferenciándose el procedimiento esencialmente del que hoy se practica.

La conversión de que hablamos se verifica sencillamente caldeando las barras de hierro durante algunos días consecutivos en receptáculos cerrados, después de rodearlas y cubrirlas con el llamado polvo de cementación, en el cual desempeña el papel principal un carbón que contiene nitrógeno, escogiéndose al efecto el de abedul, haya ú otra madera de árboles de hojas planas, rica en potasa. El efecto se intensifica mezclando dicho carbón con sustancias nitrogenadas, principalmente animales, como cuero carbonizado, hueso y cuerno, y también el hollín lustroso que contiene brea, y la ceniza de leña, que se aprecia por su contenido en potasa. Otras sustancias antes recomendadas, como la sal común, el bórax y el alumbre, parecen haber caído en desuso, y en Inglaterra suele emplearse tan sólo el carbón vegetal, sin mezcla alguna. Pero el hecho de que la añadidura de carbón animal y de ceniza de leña favorece desde luego la operación, así como la observación de que el polvo de cementación pierde su eficacia después de empleado tres ó cuatro veces, hacen sospechar que el nitrógeno y el potasio, que acaban por desaparecer, desempeñan, digámoslo así, el papel de interventores entre el hierro y el carbono. Es probable que durante el procedimiento se forme cianuro de potasio, cuyos vapores se desprenden de

carbono en la superficie del hierro, atraviesan la capa porosa así formada, entrando cada vez en contacto con nuevas partes del metal.

Esta cementación del hierro se efectúa en hornos especiales, de cuya construcción dan idea las figuras 61 y 62, en secciones vertical y horizontal, y en los que las llamas procedentes del hogar, situado en la parte inferior, envuelven ó bañan dos ó más vasijas á manera de cajas, hechas con arcilla refractaria, y que tienen de tres á cuatro metros de largo. En dichas cajas se apilan las barras de hierro dulce, alternando con capas de polvo de cementación de uno á dos centímetros de espesor, y el conjunto se cubre con una capa de arena infusible y humedecida. Dispuestas así las cajas, y tapado el orificio que facilitaba la operación, se enciende la lumbre y aumenta gradualmente el calor, de modo que al cabo de veinticuatro horas se hallan las cajas y su contenido á la incandescencia blanca. Como combustible se emplean, según los casos, leña, hulla, gases de generador ó de los altos hornos. El tiempo que dura la operación depende de la naturaleza del hierro, el grueso de las barras, el combustible y las dimensiones del horno, variando generalmente entre cuatro y doce días. A fin de poder observar la marcha de la conversión, se introducen en las cajas barras de prueba, que pueden sacarse por aberturas dispuestas al efecto en la pared del horno; dichas barras se rompen, apreciándose el progreso del acerado en vista de su superficie de fractura; pues como el hierro se va transformando desde el exterior hasta el interior, mientras la conversión no es completa, queda siempre en medio de la barra un núcleo azulado de hierro. Cuando este núcleo ha desaparecido, indicando que toda la barra se ha convertido en acero, se apaga el fuego en el hogar y se deja enfriar el horno, sacando luego de las cajas el producto.



FIGS. 61 y 62.—Secciones vertical y horizontal de un horno de cementación.

La carga ordinaria de un horno de cementación se eleva á 15.000 ó 20.000 kilogramos de hierro; si éste es muy puro, aumenta algo su peso por su conversión en acero, importando comúnmente dicho aumento un 3/4 por 100; en

cambio, si el hierro empleado no es de los más puros, el aumento de peso resultante de la absorción de carbono, etc., resulta igualado por la pérdida de las impurezas, de modo que el acero producido tiene próximamente el mismo peso que el hierro original. Durante el proceso no llega á fundirse el hierro, pero sufre un ablandamiento, como lo prueban las impresiones que dejan en él el polvo de carbón y las ampollitas que se observan en toda la superficie de las barras. Este fenómeno se explica por la presencia en el hierro de partículas de escoria y óxido, materias oxigenadas que promueven la formación de óxido de carbono, que retiene en parte la masa de acero.

Es digno de referir que el hierro candente no sólo puede absorber el carbono procedente de materias sólidas con que se halla en contacto inmediato, sino también de gases que tienen dicho elemento, convirtiéndose también, por su medio, en acero. Basados en este hecho, producen los ingleses un acero caldeando barras de hierro dulce en vasijas cerradas, á través de las que se conduce una corriente de gas del alumbrado. También existe un privilegio de invención para una conversión semejante por modo inverso, aunque no sabemos si se practica. Según este procedimiento, en vez de carburar el hierro dulce, se descarburan barras de hierro colado, caldeándolas durante varios días consecutivos, empleando al efecto, como se comprende, un polvo de cementación de naturaleza distinta que el ordinario, puesto que, en vez de aportar carbono, tiene que dar oxígeno; una materia á propósito es el óxido de hierro, en forma de hematites rojo, por ejemplo. Semejante procedimiento, que se ensayó por vez primera en Leoben (Estiria) por el año 1855, da un acero barato, de calidad inferior, que puede emplearse en la fabricación de objetos que no sea preciso endurecer.

El producto de los hornos de cementación es un acero bruto, quebradizo, de estructura cristalina basta, que es preciso someter á otros tratamientos para poder utilizarlo en la industria. Se clasifica y afina, pega y estira hasta obtener acero en barras, ó bien se somete á la fusión convirtiéndolo en acero fundido.

Al lado de los dos procedimientos típicos, fundamentales, que acabamos de describir, ó sean el afino ó pudelaje y la cementación, se han desarrollado con el tiempo varios procedimientos especiales, á cual más interesantes, para la producción del acero en grande escala, siendo los más importantes, de una parte el de Bessemer, y de otra los de Uchatius, Martín y Thomas: de ellos damos noticia en los siguientes párrafos.

Procedimiento de Bessemer.—Cuando se considera que el acero bruto se obtiene por el procedimiento antiguo del afino y el pudelaje, sometiendo el hierro colado líquido ó semilíquido á la acción de una corriente de aire, no parece sino muy lógica y racional la idea de modificar el proceso, obligando al aire, no ya á bañar la superficie del metal líquido, sino á atravesar su masa, entrando

en contacto más íntimo y completo con ella, y abreviando, por tanto, notablemente la operación. Sin embargo, cuando en 1854 trató el inglés *Bessemer* de realizar semejante pensamiento, y sacó al efecto su primer privilegio de invención, muchos hombres prácticos se burlaron de él. Verdad es que el inventor tuvo al principio que vencer algunas dificultades técnicas hasta conseguir resultados relativamente satisfactorios, y las primeras muestras del producto nuevo que expuso en 1862 no merecieron la aprobación general, puesto que algunos negaban que el metal tuviera el verdadero carácter del acero. Pero desde entonces el procedimiento de Bessemer ha pasado victoriosamente por el período crítico de prueba, habiéndose adoptado en todas partes donde se practica la siderurgia en grande escala.

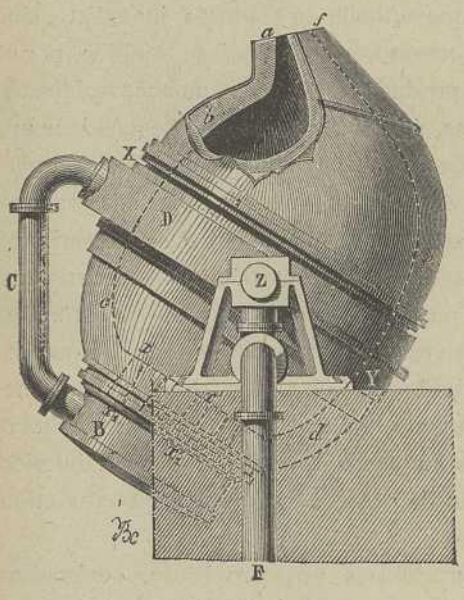
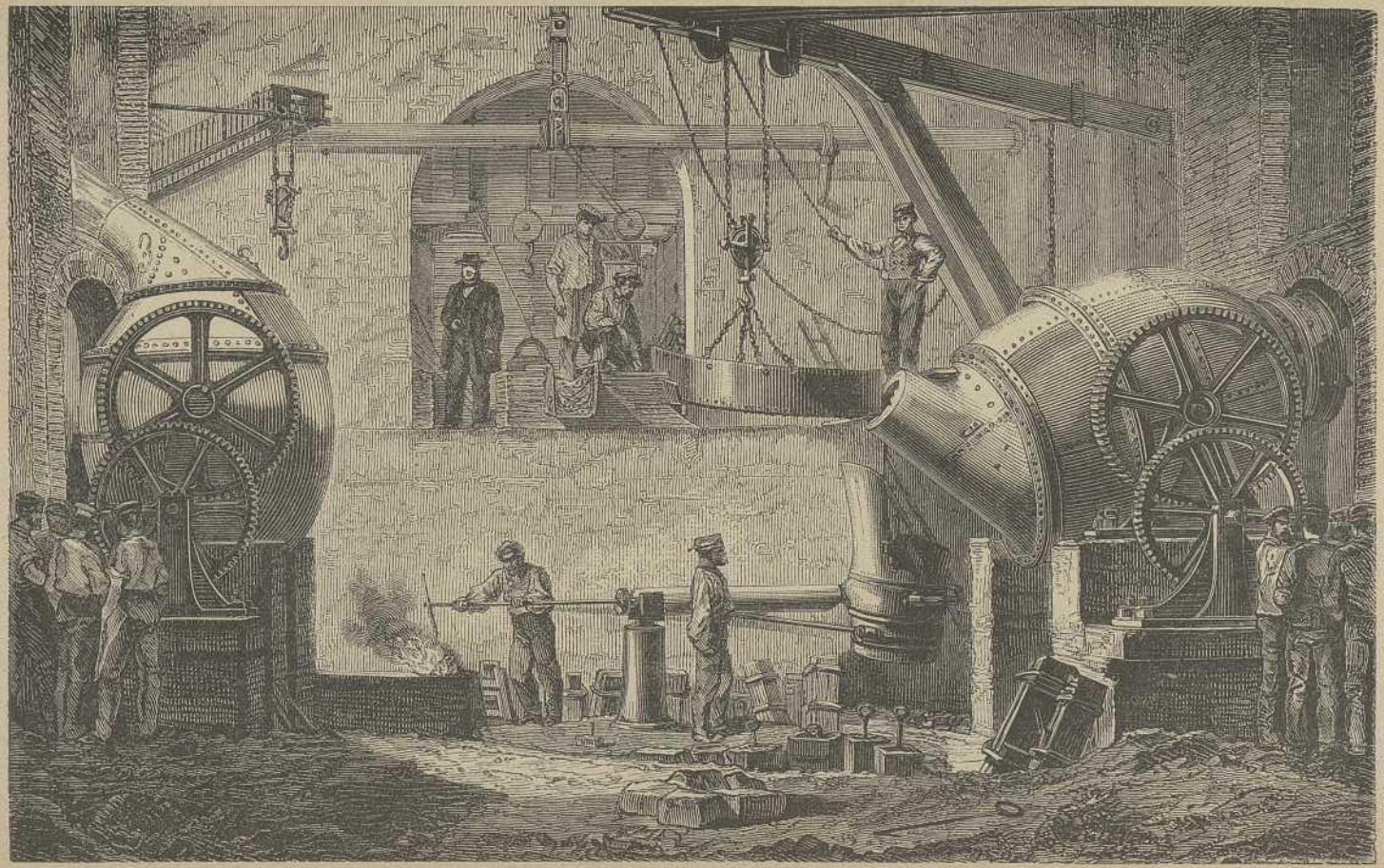


FIG. 63.—Convertidor de Bessemer.

En un principio, quiso Bessemer convertir de una vez el hierro colado líquido en acero, cosa bastante difícil, puesto que no se acierta fácilmente á suspender la combustión en el momento preciso en que aún queda en la masa fundida la cantidad de carbono correspondiente al acero. Por esto el procedimiento primitivo que, por haberse desarrollado principalmente en Suecia, suele llamarse sueco, ha caído, por lo común, en desuso; adoptándose, en cambio, el procedimiento perfeccionado, ó método inglés, según el cual el hierro colado se descarbura completamente, añadiéndosele luego hierro colado fino (hidroespecular), cuyo contenido en carbono se conoce exactamente, en la proporción precisa para que el conjunto resulte con las propiedades del acero. Con semejante variación de principio han cambiado también los aparatos, y en vez del horno de cuba especial que se empleaba antes para la descarburación, se usa casi exclusivamente una especie de retorta colosal, en forma de pera, que los ingleses llaman *converter* (convertidor), y de cuya construcción é instalación dan idea la fig. 63 y la lámina V. La retorta se compone de un casco exterior de hierro fundido ó de planchas de hierro dulce ribeteadas, y de una camisa interior (ó forro) de una masa de arcilla muy refractaria. En la fig. 63, y merced a corte de su parte superior, dicho revestimiento refractario se ve en *a b*, representando su continuación la línea punteada *c d e f;* el fondo de la retorta *B* es doble ó hueco para la recepción del aire comprimido, comunicando con el espacio principal por medio de unos 40 orificios ó busas de 18 milímetros de diáme-



Fabricación del acero Bessemer.

tro, *xx*, reservados en la camisa refractaria; el aire comprimido, procedente de una enorme bomba soplante, penetra en el aparato por el tubo *F*, pasando por el anillo hueco *D* y el tubo *C* al fondo *B*, y repartiéndose desde éste por dichos orificios *x x*. La retorta se halla suspendida por medio de dos gorrones, *Z*, entre dos sólidos soportes de hierro, de modo que puede girar en un plano vertical, determinando el movimiento un engranaje combinado con un motor, según se ve en nuestra lámina.

La marcha en el procedimiento Bessemer es como sigue: el hierro colado se funde primero en un horno ó cubilote, y pasa desde éste, en estado líquido, á la retorta, que se calienta previamente para su recepción, inclinándose horizontalmente (véase la lámina V á la derecha); el metal introducido no debe rebasar la línea de los orificios del fondo, ocupando próximamente la sexta parte de la retorta; entonces se abre la válvula que deja expedito el paso al aire comprimido, y al mismo tiempo se endereza el aparato (véase lámina V, á la izquierda); la presión del aire mantiene libres los orificios del fondo, y se obliga al aire á atravesar el hierro líquido, quemando ú oxidando á su paso el silicio, el manganeso y el carbono, en virtud de cuya combustión la temperatura se eleva extraordinariamente, liquidándose todavía más el metal, agitándose la masa fluida y escapando los gases encendidos por la boca de la retorta. Según los efectos de luz y color producidos por estas llamas, que se observan por medio de un espectroscopio, el que dirige la operación sigue la marcha del proceso y sabe cuándo se halla terminada la descarburación. Con una carga de 50 á 100 quintales métricos de metal, dura la combustión de veinte á veinticinco minutos. En el primer período de escorificación, que sólo tarda cinco ó seis minutos, se oxidan el manganeso, el silicio y parte del hierro, formándose una escoria silícea y elevándose la temperatura hasta unos 2.900 grados; al mismo tiempo la masa de hierro se afina, disolviéndose en ella el carbono grafítico y combinándose químicamente. En el segundo período, ó de ebullición, que dura de seis á ocho minutos, el carbono se oxida, merced á los óxidos de hierro formados, y se presentan llamas azules de óxido de carbono. En el tercer período, ó de afino, por último, se oxida el resto del carbono y un poco de hierro. Entonces se inclina la retorta introduciendo en ella de cinco á diez por ciento de hierro especular, se vuelve á enderezar el aparato, soplando un ratito para promover la mezcla de los dos hierros, y acto continuo se procede á verter el acero producido.

Esta operación, lo mismo que la inclinación de la retorta, la introducción del hierro, etc., se verifica siempre por medios mecánicos, puesto que serían impotentes los brazos del hombre para manejar aparatos tan enormes y masas tan grandes de metal. Por regla general, se trabaja con dos retortas, dispuestas en ambos lados del cubilote, como indica nuestra lámina, pasando el hierro fundido desde el horno á la boca de ellas, mediante un canalón de hierro suspendido á una grúa, y vertiéndose el acero en una caldera sostenida en el

extremo de una grúa hidráulica giratoria, mediante la cual se llenan sucesivamente los moldes dispuestos en círculo en el piso del taller. El movimiento de las retortas suele verificarse también por medio de motores hidráulicos, es decir, por la presión del agua en tubos dispuestos al efecto, de modo que todos estos aparatos y estas masas de metal tan pesados se mueven ó trasladan como por ensalmo, merced á la abertura de tal ó cuál válvula, ó al peso de la mano sobre una palanca, obedeciendo así á la voluntad del hombre.

El acero Bessemer, ó sea el producto bruto del procedimiento que acabamos de describir, se convierte en parte en acero comercial, ó sea en barras, carriles, planchas, etc., por medio del horno de recalentar y pegar, del martillo-pilón y del laminador; mientras que parte de él se utiliza en la producción del llamado acero fundido, como diremos más adelante. El invento de Bessemer ha causado una revolución completa en la industria del acero, que se ha transformado, en su consecuencia, en grande, de pequeña que era antes; y la baratura actual del acero permite que se aplique á la fabricación de multitud de objetos que antes se hacían exclusivamente de hierro; sus excelentes propiedades hacen posible que en determinados casos sustituya al bronce, que es mucho más caro.

La producción anual de acero Bessemer puede calcularse actualmente en 5.800.000 toneladas métricas, elevándose el número de *convertidores* ó retortas en actividad, á más de 360. De esa producción total corresponden 1.461.000 toneladas á Inglaterra, 1.300.000 á Alemania y 1.500.000 á los Estados Unidos, repartiéndose el resto entre Francia, Bélgica, Austria, Rusia y Suecia. En España no existen (que sepamos), más que dos convertidores Bessemer, que montó en 1886 la Sociedad de Altos Hornos de Bilbao, de modo que nuestra producción de acero es muy pequeña (20.000 toneladas en 1886). Lo dicho da á la vez idea del beneficio que el procedimiento ha reportado á su inventor, puesto que hasta 1870 los fabricantes que lo adoptaron tuvieron que pagar á Bessemer, por derechos del privilegio, 2,50 pesetas por cada quintal métrico (100 kilogramos) de acero que producían. Respecto de la bondad del producto, el acero inglés obtenido por este procedimiento no es de los mejores, porque el hierro colado no es tan puro en Inglaterra, y la calidad del acero depende siempre de la del hierro; por esto son preferibles los aceros suecos y austriacos. Actualmente se ven los rails de acero en casi todas las vías férreas, pues aún siendo más ligeros que los de hierro, su resistencia y duración son mucho mayores, y su precio es sumamente módico. Las planchas delgadas ó chapas, que se obtienen hoy con el laminador, hacen ya seria competencia á las de cobre y latón, pues reunen las propiedades de éstas con la ventaja de una baratura sin igual; las chapas de acero se pueden doblar y perforar con el punzón en frío, empleándose con gran ventaja en la fabricación de sartenes, cazuelas y otros objetos análogos, y también en la de las calderas de vapor; asimismo se han construído ya locomotoras enteras de acero.

Hasta hace algunos años ofrecía el procedimiento de Bessemer el inconveniente de no eliminar el fósforo, y era preciso, por consiguiente, emplear en él un hierro colado, libre en lo posible de dicha sustancia. Pero los ingleses *Thomas* y *Gilchrist* han logrado recientemente convertir en la retorta de Bessemer el hierro colado más fosfurado en acero y hierro dulce enteramente libres de fósforo. Este invento trascendental consiste, en esencia, en el empleo de grandes cantidades de fundente básico y la aplicación de una masa básica al revestimiento refractario de la retorta, á fin de obtener, con el ácido silíceo procedente de la combustión del silicio del hierro, una escoria básica; dicho fundente consiste en cal viva, mientras que para el revestimiento se hacen ladrillos de caliza dolomítica ó que contiene magnesia. Estas fuertes bases se combinan con el ácido fosfórico resultante de la combustión del fósforo contenido en el hierro, é impiden, gracias á su presencia en exceso, la formación de silicatos (escoria) ácidos, que pronto libertarían nuevamente el ácido fosfórico, cuyo fósforo, reducido por el carbono, pasaría otra vez al hierro. La escoria básica que se obtiene por este método, y contiene de 15 á 20 por 100 de ácido fosfórico, constituye actualmente un nuevo y muy apreciado abono para los campos.

Procedimientos de Uchatius y Martín.—La idea de producir acero mediante la fusión del hierro colado con óxidos de hierro, no es nueva, pues Reaumur la expresó en un escrito fechado en el año 1722. La reacción que debe buscarse en semejante proceso consiste en que el oxígeno de los óxidos consuma parte del carbono en el hierro colado, de modo que éste resulte más pobre en dicho elemento, y al mismo tiempo que el hierro puro producido por la reducción se combine con el carbono que queda. Este principio, sin embargo, no había encontrado aplicación para la producción de acero, salvo la referida anteriormente, que consiste en recalentar pequeños objetos de hierro fundido en presencia de óxidos de hierro, transformándolos superficialmente en una especie de acero; pero no hace mucho que un oficial de la artillería austriaca, llamado *Uchatius*, fundó en él un procedimiento, que al principio llamó mucho la atención. Él fué el primero en descubrir que el tamaño de los pedazos de hierro colado empleados para producir acero, ejercía una influencia notable sobre la calidad de este producto; por esto su proceso empieza con la granulación del hierro colado, ó sea su reducción al tamaño de perdigones, lo que se verifica fundiendo el hierro colado en grandes crisoles de grafito y vertiendo el metal líquido en agua en movimiento; cuanto más pequeños son los perdigones, tanto mejor resulta el acero. El hierro granulado se funde entonces con una mezcla de hierro espático (carbonato de hierro) y un poco de limonita, y si se quiere producir un acero blando, se añade á la carga cierta cantidad de hierro dulce.

Esta fusión se verifica también en crisoles, cuya masa refractaria contiene buena proporción de grafito, y el producto es un acero homogéneo, tenaz y

elástico, que se vierte primero en moldes á propósito, forjándose luego, pudiendo adquirir una dureza considerable y siendo muy apropiado para la fabricación de martillos y mazas. Merced al empleo de los minerales de hierro, la cantidad de acero producido en una operación resulta mayor que la del hierro colado invertido; y como la producción de acero bruto y de acero fundido se verifica, digámoslo así, de una vez, es evidente la ventaja del procedimiento; en cambio sólo da buenos resultados con hierro colado blanco obtenido por la fusión de las menas con carbón vegetal; consume mucho combustible y los crisoles cuestan muy caros, por ser difícil obtener su masa en condiciones que les permitan resistir la acción escorificante de los protóxidos de hierro y manganeso.

En vista de estos inconvenientes, se ha probado en Inglaterra sustituir los crisoles con hornos de reverbero, lo que ha conducido al desarrollo del procedimiento de *Martín*, del que también se ha ocupado mucho en los últimos años el mundo industrial. El llamado acero de Martín es un producto que ocupa un puesto intermedio entre el acero de afino y el de cementación, por cuanto en su producción entran hierro dulce, pobre en carbono, y hierro colado, rico en él. El hierro colado se funde con una escoria muy fusible sobre la plaza ó solera de un horno de reverbero, y entonces se añade al baño líquido hierro espático, hasta que el conjunto adquiere la condición del hierro dulce; en este estado se agrega á la masa la cantidad adecuada de hierro colado, á fin de elevar el contenido en carbono al grado correspondiente al acero. También en este procedimiento, lo mismo que en el de Bessemer, hanse introducido recientemente notables mejoras, encaminadas, entre otros fines, á eliminar el fósforo del hierro; y ha entrado recientemente en una nueva fase mediante su combinación con el procedimiento de Siemens, de que hablamos al tratar de la producción de hierro dulce directamente de las menas.

Acero fundido.—Es en realidad el niño mimado, digámoslo así, de la siderurgia moderna; niño que á la verdad, y al contrario de lo que suele suceder con los seres acariciados con exceso, ha respondido ampliamente, con sus relevantes virtudes, á los prolijos cuidados de que ha sido objeto; en rigor este niño ha cumplido ya más de cien años; pero en tiempos recientes se ha rejuvenecido en Alemania de tal manera, que aún está justificada la figura que empleamos. El nuevo y cariñoso padre adoptivo de nuestro niño fué el célebre Krupp, de Essen, con el cual, y mediante un procedimiento original, alcanzó tal poder su protegido, que acabó por hacer con él lo que antes no se había soñado siquiera. En efecto, merced á Krupp, no sólo puede hablarse hoy de *acero fundido* con mucha más propiedad que antes, sino que su aplicación, lejos de limitarse, como otras veces, á la fabricación de herramientas é instrumentos pequeños, se ha extendido á la de los objetos más pesados y voluminosos. Muchos de nuestros lectores habrán observado en las hojas de navajas, cuchillos, cinceles, martillos y otras herramientas por el estilo, de procedencia inglesa y fran-

cesa, las palabras *cast steel* y *acier fondu*, que en las lenguas respectivas significan «acero fundido»; y habrán creído sin duda que dichos objetos, tales como los veían, eran, en efecto, de metal fundido ó colado. Sería difícil precisar cómo vino á adoptarse semejante denominación, pues el acero nada tiene de la fluidez y capacidad de amoldarse que caracterizan al hierro colado; y si bien es verdad que puede fundirse, sólo se logra obtener de esta manera lingotes más ó menos informes y ampollosos, que tienen que ser recalentados y forjados si se quieren convertir en un producto á propósito para la fabricación de las herramientas referidas, que en realidad apenas tienen de acero *fundido* más que el nombre. Krupp fué el primero que logró producir el acero fundido en grandes masas homogéneas, es decir, libres de ampollas en el interior.

La experiencia enseña, y es, por otra parte, perfectamente comprensible, que tanto el acero de afino ó pudelado, como el de cementación, no ofrecen una masa homogénea, es decir, que siempre varían la estructura y la dureza en diferentes puntos de una misma pieza; tan es así, que el operario más experimentado sólo logra una homogeneidad aproximada. Este inconveniente, propio de los aceros de que hablamos, es en ocasiones muy serio, pues si á cualquiera puede disgustarle hallarse con que el corte ó filo de su navaja tiene puntos duros y blandos, júzguese del enfado del trabajador cuando, después de terminar una pieza que exige sumo cuidado, como, por ejemplo, la rueda de escape de un reloj, ve que al templarla se alabea ó tuerce á consecuencia de la desigualdad de su masa, quedando, por lo mismo, inutilizada; ó cuando una pieza que tiene que pulir con esmero, no admite por igual semejante pulimento.

A consecuencia de repetidos disgustos de esta índole, el relojero inglés *Huntsman* cayó en la cuenta de fundir el acero que empleaba, partiendo sin duda de la idea de que, con revolver el metal en estado líquido, lograría darle la homogeneidad de que carecía. Después de vencer muchas dificultades, sus ensayos dieron un resultado tan satisfactorio, que en el año 1740 estableció cerca de Sheffield una fábrica de acero fundido, que existe todavía, y cuyo producto se acreditó en los mercados bajo el nombre de *acero de Huntsman*. Poco después le salió á la palestra un competidor, montando otra fábrica que producía el llamado *acero de Marshall*. Estos primeros fabricantes de acero fundido, y otros que siguieron su ejemplo en Inglaterra, tuvieron que luchar largo tiempo, hasta entrado el siglo actual, con dificultades y preocupaciones serias; la necesidad de producir una temperatura sumamente elevada no se llenaba entonces con facilidad, mientras que los consumidores tardaron mucho en convencerse de que el nuevo producto era más homogéneo y mejor que el acero de afino que se importaba de Alemania y se hallaba muy acreditado. Pero desde el momento en que quedó vencida esa preocupación, los fabricantes de acero de Estiria y Carintia, que antes tenían el monopolio de dicha industria, se hallaron amenazados por una competencia cada vez más seria. En efecto; el acero fundido, por más que su

naturaleza dependa en gran manera de una elección cuidadosa de la primera materia, se deja elaborar, en razón de la mayor igualdad de su masa, mucho mejor que el acero de afino, prestándose á cualquier grado de temple; por esto su empleo acabó por generalizarse, hasta el extremo de que hoy se aplica exclusivamente á la fabricación de instrumentos finos y herramientas que reclaman mucha dureza y tenacidad.

La preparación del acero fundido consiste en la mayoría de los casos, en la fusión del acero bruto procedente, tanto del pudelaje y de las retortas de Bessemer, como del horno de cementación. El acero de cementación hecho con los

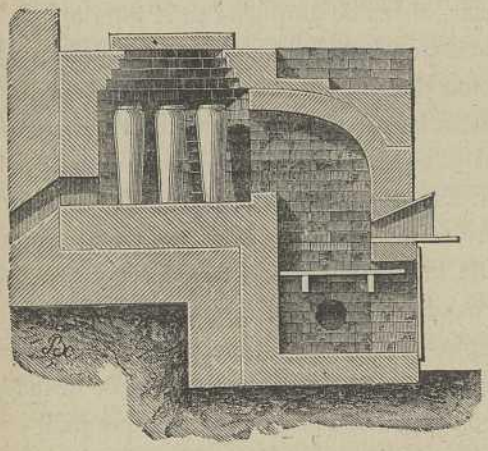


FIG. 64.

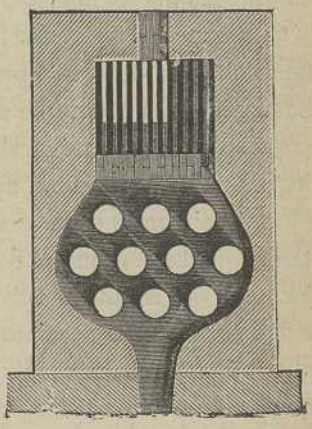


FIG. 65.

Secciones vertical y horizontal del horno de crisoles para el acero fundido.

mejores hierros dulces suecos y rusos, sirve para la producción del acero fundido superior, destinado á fabricar instrumentos y herramientas, cuya producción alcanza su mayor desarrollo en Inglaterra; el acero del pudelaje y el de Bessemer se convierten en acero fundido, principalmente en Westfalia (Krupp, Meyer), destinándose el producto á la fabricación de objetos de gran volumen ó peso, como ciertas piezas de maquinaria, ejes, cilindros, aros de ruedas, cañones, campanas, etc., cuya masa debe ser muy tenaz y densa.

Para producir el acero fundido destinado á instrumentos, se toma el acero bruto, previamente estirado en varillas delgadas y endurecido, y rompiéndose en pedazos cortos, se echa en crisoles estrechos de unos 40 centímetros de altura, y que no pueden contener más de 12 á 15 kilogramos. Estos crisoles constituyen un elemento muy importante para la operación, debiendo componerse de una masa sumamente refractaria de arcilla ó *chamotte*, á pesar de lo cual rara vez resisten más de tres fusiones; además deben ir provistos de tapas que cierren bien, pues de lo contrario penetrarían en ellos el aire y los gases de la combustión, dando lugar á cambios perjudiciales en la masa del acero. El horno

destinado á la recepción de los crisoles se construye como indican las figuras 64 y 65, pudiendo contener, según sus dimensiones, de tres á diez de aquéllos, que se introducen por una abertura reservada en la bóveda, la cual se tapa con gruesas losas de masa refractaria; para la generación del calor intenso que supone la fusión del acero, se emplea el cok ó el combustible gasiforme, y merced á tan elevada temperatura, es preciso reparar el horno al cabo de tres ó cuatro días.

Cuando, después de tres ó cuatro horas, el acero se halla por completo fundido, depende mucho el resultado de que se vierta en los moldes á la temperatura conveniente, que no debe ser demasiado alta ni demasiado baja; los moldes son de hierro colado, divididos en dos partes, que ajustan perfectamente, variando sus dimensiones, según que estén destinados á recibir el contenido de uno ó de más crisoles. El acero, al salir del molde, constituye una barra, que en tal estado no es aplicable á ninguna industria; pues aparte de que el acero fundido no es capaz de tomar bien la forma de ningún molde, no pudiendo emplearse, por lo tanto, como el hierro colado, ostenta en su superficie de fractura, ó sea en el interior de su masa, una estructura granulosa, áspera y desigual, con multitud de pequeñas ampollas ó cavidades, hallándose generalmente en la parte media de la barra una cavidad mayor, cuyas paredes están revestidas de agujitas ó cristales agudos. Por esto, y con el fin de obtener un producto servible, es preciso forjar y laminar las barras de acero fundido, teniendo cuidado de operar rápidamente y á una temperatura constante, haciendo valer la maña más bien que la fuerza, y evitando con cuidado la incandescencia blanca. El acero de mejor calidad se elabora siempre bajo el martillo, mientras que para el de calidad inferior se emplea también el laminador. Que el acero fundido se preste ó no á la pega, depende de su contenido en carbono; cuanto mayor sea la proporción de este elemento, tanto más difícil será la pega.

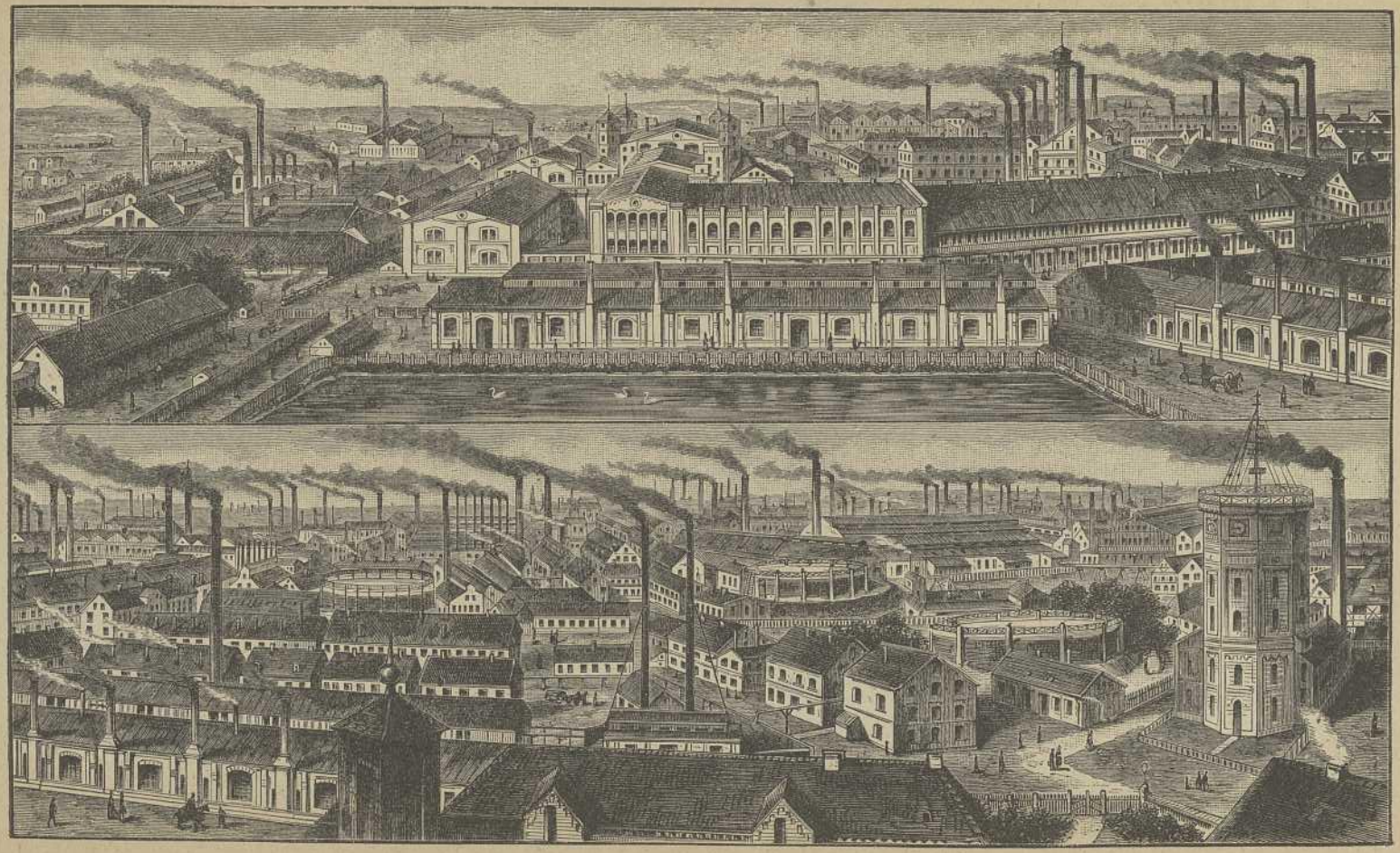
Para la producción del acero fundido en masa ó en grandes cantidades se puede proceder de dos maneras. Según la primera, se disponen hornos análogos á los ya referidos, pero muy prolongados, en los que cabe gran número de crisoles, cuyo contenido se vierte y revuelve en una gran vasija previamente caldeada, antes de proceder á llenar el molde. Tal es el método que emplea Krupp, y en la fabricación de sus colosales piezas de fundición se vale de centenares de operarios, militarmente disciplinados, que trabajan con una precisión y rapidez extraordinarias, trasladando cada dos de ellos un crisol, mediante un instrumento á propósito, y vertiendo el metal líquido en la vasija referida. Según el otro método, se prescinde por completo de los crisoles, fundiendo grandes masas de acero directamente en hornos reverberos de construcción especial. Como en este caso el metal no se puede proteger por medio de una tapa contra las influencias perjudiciales del aire y de los gases del horno, se procura resguardarlo bajo una capa líquida de fundente, que flota en la superficie del baño metálico; en un principio guardaban secreto los fundidores ingleses sobre la

composición del fundente más á propósito; pero pronto se reconoció que se prestaba perfectamente al objeto la masa del vidrio común con sólo añadirle un poco de bórax para hacerla más fusible, puesto que semejante fundente llena el requisito preciso de permanecer indiferente en contacto con el metal, sin quitar ni poner nada.

En este estado las cosas, es decir, hace unos treinta y cinco años, salió Krupp á la palestra con su nuevo procedimiento, llenando de sorpresa á los siderurgos de todos los países; pues no sólo había logrado fundir piezas de acero de dimensiones nunca soñadas, sino de una masa perfectamente homogénea, cosa que conseguía y consigue mediante una manipulación enérgica de las piezas, todavía calientes, bajo el martillo-pilón. Esta manipulación constituye lo original y esencial del procedimiento de Krupp, y lo que le permite fabricar piezas tan enormes con los colosales martillos de vapor que supo montar, y superan, por su tamaño y fuerza, á cuantos se han construído hasta la fecha; pero la inmensa ventaja del método consiste en obtener directamente un acero homogéneo, susceptible de aplicarse á la fabricación de grandes objetos, que antes tenían que hacerse de hierro colado ó dulce, ó bien de bronce. Como es natural, el constructor de máquinas, el arquitecto, el artillero, tenían el mayor interés en poder aprovechar un material tan excelente como el acero fundido, y no es extraño el rápido desarrollo del nuevo ramo de la industria siderúrgica, que ha alcanzado las mayores proporciones en el distrito carbonífero del Ruhr, tan abundante en minerales de hierro.

El establecimiento siderúrgico de Krupp, en Essen (Prusia Renana), supera, por su grandiosidad y excelente disposición, á cuantos existen, rayando casi en lo increíble el hecho de ser la creación de un solo hombre, en el corto espacio de unos cuarenta años. Es verdad que Federico Krupp, el padre de Alfredo, había montado en 1816 una pequeña fábrica de acero fundido; pero murió de disgusto, á los treinta y nueve años de edad, después de haber gastado inútilmente en la empresa casi todo lo que poseía; de modo que, cuando se encargó del negocio su hijo mayor, tuvo que vencer todo género de dificultades, hasta alcanzar algún exito. Alfredo Krupp comenzó á prosperar después de la Exposición Universal de Londres en 1851, y al morir en una fecha reciente (1888), á la edad de setenta y seis años, bien podía estar satisfecho de una obra que tiene pocas que le igualen en los anales de la industria.

En los primeros tiempos de su apogeo no se otorgaba á nadie absolutamente el permiso de visitar el establecimiento de que hablamos, y hasta los directores ó jefes subordinados ignoraban lo que pasaba fuera de su esfera de acción; pero en los últimos años se han hecho excepciones de esta regla, pues no podía temerse que personas como el shah de Persia ó los individuos de una embajada marroquí, profundizaran y divulgaran los secretos de la fabricación; además, la vista más superficial de tan extensos talleres supone una jornada



Vista general de la fábrica de Krupp, en Essen.

entera. En nuestra lámina VI ofrecemos una vista del establecimiento de Krupp en su estado actual, advirtiendo que la mitad inferior del grabado representa la continuación de la mitad superior, á la derecha; no nos es posible entrar aquí en una descripción detallada; pero para que el lector se forme idea de la magnitud de semejante empresa, apuntaremos algunos datos interesantes, tomados de una Memoria publicada por Krupp en 1884. Mientras que en 1860 el número de operarios empleados en el establecimiento no pasaba de 1.760, se elevaba diez años más tarde á 7.084, y llegaba casi á 20.000 en la fecha del documento citado; los demás miembros de las familias de estos operarios eran entonces en número de 45.776, de modo que dependía directamente del establecimiento un total de 65.381 personas, de las que 19.000 habitan casas pertenecientes á Krupp. La fábrica de Essen contiene 439 generadores ó calderas de vapor, 450 máquinas de vapor de 2 á 1.000 caballos de fuerza, ó sean en suma 185.000 caballos; funcionan además 11 altos hornos y otros 1.542 hornos de diversas clases, 82 martillos de vapor de 1.000 á 50.000 kilogramos de peso cada uno, y 21 juegos de laminadores. La casa posee también cuatro altos hornos en Duisburg, Neuweid y Sayn, 547 minas de hierro en Alemania y otras varias en Vizcaya. Durante el año 1881 se produjeron en el establecimiento de Essen 260 millones de kilogramos de acero y hierro dulce, ascendiendo el consumo *diario* de hulla y cok á la enorme cifra de 3.100 toneladas (de á 1.000 kilogramos), y el de los minerales de hierro en los altos hornos, á 1.500 toneladas. No hay para qué decir que, además de las mencionadas, se encuentra en el establecimiento un sinnúmero de máquinas accesorias y herramientas mecánicas de diversas clases, muchas de las cuales han sido inventadas expresamente para trabajos especiales; mientras que por varias de las calles comprendidas en el gran recinto circulan locomotoras y trenes empleados en el transporte de materiales y productos. Por último, merece referirse que Krupp ha cuidado siempre del bienestar y el porvenir de sus dependientes, construyendo gran número de casas para obreros, estableciendo almacenes de comestibles y fundando y dotando escuelas para la instrucción de los niños, y hospitales para la curación de los enfermos.

Merced á Krupp, se operó una verdadera revolución en la artillería, pues el acero fundido por él resultó ser un material excelente para cañones. Un cañón de bronce, que tanto cuesta, apenas resiste más de 800 disparos, mientras que uno de acero fundido puede quedar perfectamente intacto después de hacer 3.000. Esta inmensa ventaja quedaba ya demostrada hace más de treinta años, por repetidas pruebas que se hicieron en Hannover, Brunswick y Baviera; pero la demostración más práctica la hizo Napoleón en su campaña italiana de 1859, empleando con ventaja notoria los cañones rayados de Krupp, y desde entonces la fabricación de armas tan temibles tomó en Essen un desarrollo extraordinario, respondiendo á los pedidos de casi todos los Gobiernos. Sin

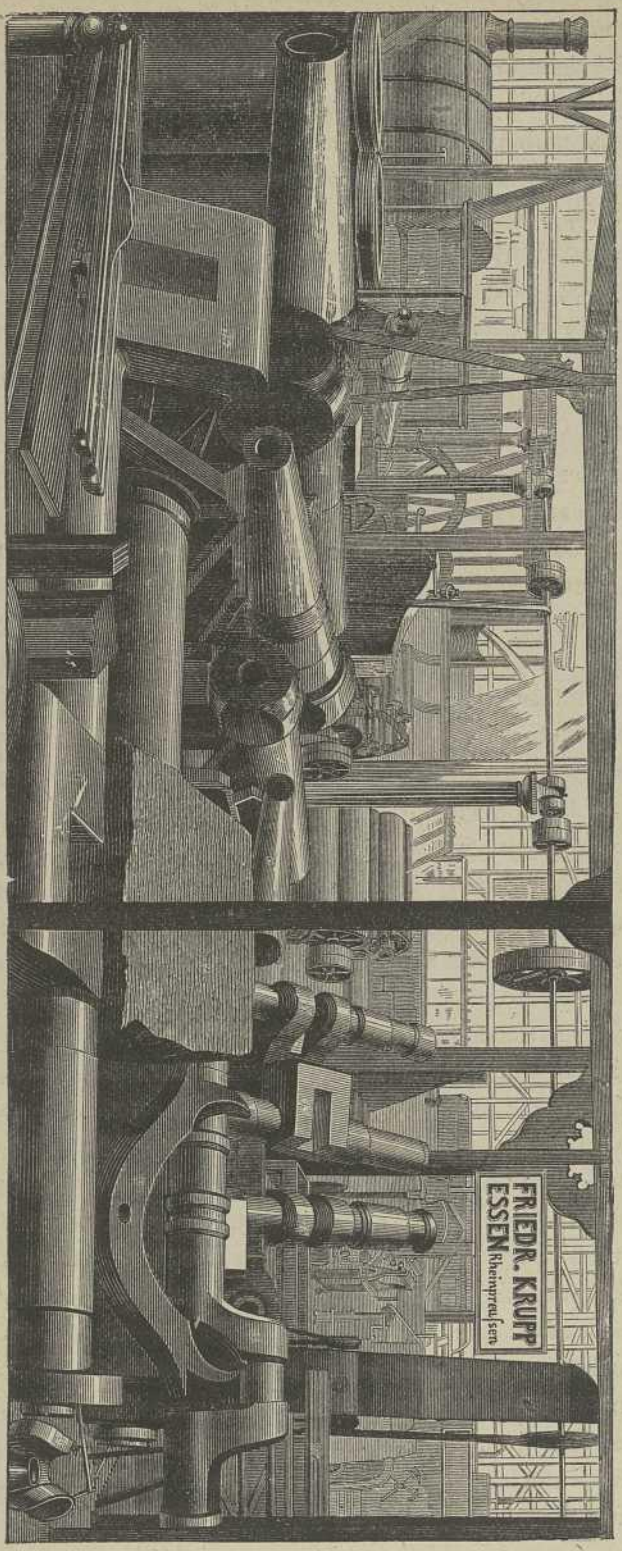


Fig. 66.—Objetos de acero fundido, expuestos por Krupp en la Exposición londonense de 1862.

embargo, los cañones de acero tienen un flaco grave, y es que, al reventar, como á veces acontece, sus trozos son lanzados con violencia en todas direcciones, causando desgracias fatales, mientras que los cañones de bronce, al reventar, sólo se rasgan, sin producir más daño; por esto, y también porque el bronce conserva un valor muy superior al del acero, se ha vuelto á emplear en la artillería, como tendremos ocasión de exponer en el tomo VI de esta obra. Con acero fundido se hacen también planchas para los buques de guerra acorazados.

En vista de los cañones, bloques de acero hasta de 2.250 kilogramos de peso, y otros objetos que presentó en la Exposición de Londres en 1851, Krupp fué el único fabricante de acero fundido que obtuvo premio. En la segunda Exposición londonense de 1862 su instalación, de la

que reproducimos una vista en la fig. 66, fué mucho más imponente, llamando la atención un cilindro macizo de acero fundido de tres metros de largo y 110 centímetros de diámetro, que pesaba 20.000 kilogramos; se hallaba en el mismo estado que como salió del molde, sin haber sufrido elaboración alguna, pero se había partido por medio al cabo de más de cien golpes del martillo de vapor de 50.000 kilogramos, á fin de demostrar la superioridad del metal, y cómo es posible obtener acero fundido denso y libre de ampollas, sin necesidad de forjarlo. Otro bloque, de 4.000 kilogramos de peso, se hallaba forjado en una mitad y sin elaborar en la otra, habiéndose también partido en toda su longitud á fin de que se pudiera apreciar en un mismo pedazo la estructura del acero bruto y el mejoramiento producido por la elaboración bajo el martillo. Además se veían en dicha instalación varias barras gruesas y planchas, que se habían doblado y torcido para demostrar la tenacidad del material, y la fabricación de ruedas de ferrocarril, sin pegadura, estaba ilustrada en todas sus fases por medio de una serie de muestras. Las ruedas de acero de Krupp se habían adoptado á la sazón, no sólo en las vías férreas europeas, sino también en las de los Estados Unidos y de la India; sus ejes de acero son asimismo inmejorables por su duración y seguridad, y hace ya años que Krupp viene ofreciendo una indemnización de 45.000 marcos (56.250 pesetas) para el caso en que uno de dichos ejes se rompiera durante los primeros diez años de usarse. En la Exposición de que hablamos hallábanse ejes rectos para vagones de ferrocarril, otros de cigüeña doble para locomotoras y máquinas de los buques de vapor, habiendo uno de esta última clase, que se ve en el primer plano de nuestro grabado (figura 66), que pesaba 15.000 kilogramos. También había expuesto Krupp otras muchas piezas colosales de su acero, en forma de enormes anclas, tornillos para poderosas prensas, etc., y, por último, diferentes muestras de sus célebres cañones, de todos calibres.

Pero Krupp, por nadie igualado en la industria de que tratamos, se excedió á sí mismo, pues en la Exposición parisiense de 1867 presentó un bloque de acero fundido de 40.000 kilogramos, á cuyo lado apareció aquel cañón monstruo de 50.000 kilogramos de peso, que tanto dió que hablar en el mundo entero y del que nos ocuparemos en el tomo VI de esta obra. En la Exposición de Viena de 1873 la instalación de dicho fabricante comprendía, entre otras cosas, un bloque de acero de 262.500 kilogramos y un cañón de acero de 36.600; pero desde entonces ha producido Krupp cañones mucho mayores, hasta de 121.000 kilogramos de peso (sin contar la cureña), con un calibre de 40 centímetros y una longitud de 16 metros.

Otro fabricante alemán de acero fundido que se distingue por la superioridad de sus productos, es *Meyer*, de Bochum, en Westfalia, el cual, además de fabricar ruedas y ejes de ferrocarril y excelentes planchas de acero, se ocupa con especialidad de la fundición de campanas. La bondad de estas campanas de

acero se halla ya bien acreditada, celebrándose la pureza y fuerza de su sonido, al par que la inmensa ventaja que ofrecen sobre las de bronce respecto del precio, puesto que Meyer no pide más de 1,87 pesetas por kilogramo, ó 1,50 si el peso de la campana excede de 350 kilogramos. En la Exposición internacional de París, en 1855, se exhibieron por vez primera tres de semejantes campanas; y como los peritos no querían creer al fabricante y declararon que el metal con que estaban hechas era hierro colado, hubo necesidad de sacrificar una de ellas, que se hizo pedazos, los que se forjaron y templaron repetidamente, hasta convencer á los más incrédulos de que el metal era en realidad acero.

Acero indio.—Mientras en Europa es relativamente reciente la invención del acero fundido, su producción en pequeña escala data en la India, según parece, de tiempo inmemorial. El acero indio, célebre hace mucho tiempo bajo el nombre *wootz*, ó acero de Bombay, es el material con que hacen, indios y persas, sus inmejorables hojas de sable, distinguiéndose por su dureza, que disminuye poco por el caldeo y dificulta mucho la elaboración. Se emplea en Europa más especialmente en la fabricación de instrumentos cortantes finos; pero el verdadero *wootz* es muy raro, introduciéndose, por lo general, bajo este nombre un acero que los ingleses producen en la India, reduciendo con carbón vegetal un buen mineral de hierro magnético del país.

El método seguido por los indios para obtener hierro y acero ha sido descrito repetidamente por los viajeros, y no se diferencia en lo esencial del de los negros de África, de que antes hablamos. En un hornillo cilíndrico, hecho con una masa de arcilla y estiércol de vaca, se echan alternativamente, formando delgadas capas superpuestas, el mineral de hierro magnético, reducido á polvo, y carbón vegetal mezclado con estiércol de vaca seco y leña menuda, y se aviva el fuego mediante un fuelle doble, formado con pellejos de cabra, hasta que, al cabo de varias horas, la carga se halla en estado candente; entonces se sigue soplando durante ocho horas, añadiendo repetidamente nuevas porciones de mineral y combustible, y después de enfriado el hornillo se saca el producto en forma de una lupia de buen hierro dulce de unos 20 kilogramos de peso. Para obtener acero, se divide dicha lupia en pequeños pedazos, los cuales, mezclados con una cantidad determinada de carbón vegetal y hojas verdes de ciertas plantas, se encierran en pequeños crisoles de arcilla, herméticamente tapados con la misma masa, en cada uno de los que cabe de medio á un kilogramo de hierro. Estos crisoles se colocan entonces en un pequeño horno provisto de fuelles, de modo que forman como una bóveda sobre el fuego, y se someten durante dos horas y media á la temperatura más elevada que puede obtenerse en aparato tan primitivo; después de enfriado el horno se encuentra en cada crisol una pequeña masa de acero fundido, que se caldea repetidamente hasta obtener un producto maleable. La producción del *wootz* legítimo se halla reducida á corto número de distritos de Missore y de Salem, en la presidencia

de Madrás, empleándose al efecto, según se afirma, un mineral que contiene cromo.

Otro producto de la industria oriental consiste en las hojas, tan célebres, de acero damasquino, que ya se fabrican poco, y son ó, mejor dicho, eran maravillas de flexibilidad y tenacidad, pudiendo cortar clavos de hierro sin sufrir mella en el filo. No están hechas con ninguna clase especial de acero, sino que se componer de diversas clases, ó bien de delgadas tiras de acero y hierro superpuestas, caldeadas, pegadas y torcidas repetidamente. Las líneas ó vetas, digámoslo así, que presentan dichas hojas, se producen mordiéndolas con un ácido, por cuyo medio se ponen de relieve las partes oscuras y claras resultantes del empleo de diferentes materiales.

FABRICACIÓN DE OBJETOS DE HIERRO COLADO

Desde una antigüedad bastante remota se practica el arte de hacer objetos de metal fundido, vertiéndose éste en moldes á propósito, pero el material era principalmente el bronce, de composición más ó menos variable; el hierro colado era totalmente desconocido, pues, como hemos visto, su producción depende del empleo del alto horno, es decir, de una temperatura mucho más elevada que la que podía obtenerse con los aparatos antiguos. Es verdad que con un calor relativamente bajo puede obtenerse un hierro colado blanco, el cual nunca resulta bastante fluido ó líquido para poder ser vertido en moldes, adaptándose únicamente á este objeto el hierro colado gris, ó el llamado mixto. Con la construcción de hornos cada vez más elevados y espaciosos, y el empleo de fuelles ó máquinas soplantes, cada vez de más potencia, los siderurgos no tuvieron al principio otro objeto que el de aumentar la producción; de modo que cabe atribuir á la casualidad, hasta cierto punto, la obtención de un material tan útil como el hierro colado, cuya importancia no necesitamos ponderar, toda vez que se manifiesta á todos en las formas más diversas, desde las piezas de maquinaria y construcción más colosales, hasta los objetos de lujo más delicados.

En la fabricación de objetos de metal fundido, ó sea en la *fundición*, como se dice con más laconismo que propiedad, los dos factores principales son la masa fundida y los moldes. Respecto á estos últimos, lo que cabe decir es esencialmente de aplicación general, pues se comprende fácilmente que en muchos casos un molde destinado al hierro colado puede emplearse lo mismo con otros metales. En cuanto á la masa fundida, ó sea á los metales mismos, su diversa naturaleza supone consideraciones y tratamientos más especiales.

El moldeamiento del hierro colado resulta indudablemente más sencillo y económico cuando tiene lugar al pie del alto horno, es decir, durante la primera

fusión, pasando el hierro líquido directamente desde el crisol del horno, por la piquera, al molde dispuesto convenientemente para recibirlo. Es verdad que el metal conserva de este modo todas sus impurezas naturales; pero son muchos los casos en que éstas no constituyen un inconveniente. Pero tratándose del moldeamiento de objetos más finos, el empleo directo del producto de los altos hornos es inadmisible, y hay que someter los lingotes á una segunda fusión, que se verifica generalmente en hornos de cuba más pequeños, de crisol interno, llamados *cubilotes*. Según su calidad, el hierro colado aguanta mayor ó menor número de fusiones repetidas sin daño alguno; al contrario, su solidez aumenta con ellas hasta cierto límite; pero una vez alcanzado éste, dicha calidad empeora rápidamente con nuevas fusiones.

Para el moldeamiento propiamente dicho del hierro colado hay que tener en cuenta sus impurezas naturales. Un hierro rico en azufre no se liquida bien y se consolida irregularmente; pero una pequeña proporción de azufre no es muy perjudicial, de modo que un hierro colado que, en vista de su contenido en azufre, produciría desde luego un hierro dulce de mala calidad, puede emplearse con frecuencia en la fundición. El fósforo modifica también esencialmente la naturaleza del hierro colado, si bien de un modo muy aceptable para determinados objetos; aumenta mucho la fluidez del metal, hace que se consolide lentamente, y le presta una estructura compacta y un grano fino, al par que tiende á hacerlo más blanco. Por esto el hierro fosfurado se emplea con frecuencia en la fundición; mas como á pesar de su dureza carece de tenacidad, sólo es aplicable á la fabricación de pequeños objetos ó de los mayores que no tienen que resistir ningún esfuerzo mecánico y ningún golpe; en pasando el contenido en fósforo de medio por ciento próximamente, resulta el hierro demasiado quebradizo aun para dichos objetos de fundición. El hierro colado gris oscuro que, al enfriarse, expele muchas escamitas de grafito y presenta, por lo mismo, una superficie áspera, es inservible cuando se trata de obtener formas acabadas, porque no rellena bien los huecos más finos de los moldes; en cambio su empleo está en su lugar tratándose de la fundición de objetos de hierro colado endurecido, de que hablaremos más adelante.

Prescindiendo del modo directo al pie del alto horno, la fundición de que tratamos se practica en crisoles, hornos reverberos ó en los cubilotes ya mencionados. Según el primer método indirecto, el hierro colado se funde en pequeños crisoles de arcilla ó masa de grafito, de una cabida de tres á cuatro kilogramos de metal, que se colocan en un hornillo de tiro natural ó en un pequeño horno de cuba, provisto de fuelle; el hierro se altera poco, puesto que no se halla en contacto con el combustible; pero el consumo relativamente grande de éste y el precio no despreciable de los crisoles, haeen caro en demasía un procedimiento tan cómodo, por cuya razón sólo se practica en determinadas industrias pequeñas, en especial en la fabricación de objetos de bisutería y artísticos de

corto tamaño, en los que no se tiene en cuenta el valor del material; de este modo se fabrican hoy cosas tan delicadas y ligeras, que á un kilogramo de hierro colado corresponden hasta 20.000 piezas distintas.

La fundición de las piezas ordinarias de maquinaria, de vasos, utensilios, etc., de hierro colado, se verifica en cubilotes, empleándose como primera materia los lingotes procedentes de los altos hornos, y también hierro colado viejo y los desperdicios resultantes de tornos, máquinas de taladrar y cepillar, etc. Un cubilote es un horno de cuba con crisol interior, cuya forma interna suele ser más ó menos cónica ó cilíndrica; el combustible consiste en todo caso en carbón vegetal ó un cok de buena calidad, variando, según él, la elevación y el diámetro del horno; para el carbón vegetal se construyen cubilotes de tres á cinco metros de alto, relativamente estrechos, mientras que para el cok se les da sólo de uno á tres metros de alto y una anchura relativamente mayor; las paredes del cubilote están hechas con ladrillos refractarios ó de una masa análoga apisonada, y se hallan siempre rodeadas de una capa exterior de hierro; su tragante queda abierto y su pecho cerrado, encontrándose delante la piquera, al nivel del fondo del crisol, y detrás la tobera para la introducción del aire comprimido. La fusión tiene lugar de un modo análogo al de los altos hornos, cargándose alternativamente por el tragante el combustible y el hierro colado en pequeños pedazos, y avivándose el fuego por medio de una bomba soplante ó un ventilador centrífugo; en muchos casos se emplea con ventaja el aire previamente calentado. Durante la fusión se combinan la ceniza de combustible y las materias extrañas que contiene el hierro con la sílice que se desprende de las paredes del horno para formar una pequeña cantidad de escoria; pero los cambios químicos que tienen lugar son insignificantes, comparados con los que se verifican en el alto horno, entre otros porque la fusión en el cubilote tiene lugar con demasiada rapidez; la naturaleza química del hierro no se modifica esencialmente, pero suele resultar un metal de grano más fino y apretado que el de los altos hornos. Con el cubilote no se funde de continuo, como en el alto horno, sino que suele suspenderse la operación durante la noche.

Cuando es necesario fundir grandes cantidades de hierro colado (2.500 á 5.000 kilogramos) de una vez, se emplean reverberos sin fuelle ó cosa parecida, pero provistos de elevada chimenea para obtener el tiro preciso. El combustible es hulla ó gas, cuyas llamas, como sucede en todo horno reverbero, pasan sobre el hierro que se trata de fundir, el cual se encuentra sobre una plaza un poco inclinada, de modo que el metal líquido se acumula en el extremo más profundo donde se halla la piquera. En el reverbero ejerce el aire cierta influencia sobre el hierro, cambiando su naturaleza por la oxidación del carbono; por esto es preciso que la fusión se verifique rápidamente, es decir, en tres y media á cuatro horas; porque, de prolongarse más la descarburación, se perjudicaría la fluidez del metal; la descarburación parcial que tiene lugar, es favora-

ble, por cuanto el hierro gana en blandura y tenacidad, ventajas que no se obtienen en el cubilote. Por lo mismo, se emplea el reverbero en la fundición, no sólo de las piezas mayores en que entra mucho hierro, sino también en la de aquéllas que han de resistir grandes esfuerzos mecánicos y no deben ser quebradizas.

Para trasladar el hierro fundido del horno al molde, se emplean, como es natural, diferentes medios, según la masa ó cantidad de que se trata. A veces se deja correr el metal líquido directamente desde la piquera al molde, por un



FIG. 67.—Fundición de proyectiles en el arsenal de Woolwich (Inglaterra).

canal vaciado en la arena del piso del taller; pero, por regla general, se traslada en grandes cazos ó pequeñas calderas de hierro colado ó de palastro, revestidos interiormente con arcilla, y que, según su capacidad, están provistos de un mango, llevándose por un hombre solo, ó tienen dos mangos dobles, como indica la fig. 67, manejándose entonces por dos operarios; para masas aún mayores, de 200 á 1.000 kilogramos, se emplean grandes calderas suspendidas á una grúa, que las trae y lleva desde el horno al molde. Tratándose de la fundición de muchos miles de kilogramos, el contenido de semejantes calderas se va vertiendo previamente en un gran depósito de hierro, revestido de arcilla y bien caliente, que se halla montado sobre ruedas y carriles para facilitar su traslado al sitio en donde se encuentra la boca del molde, y desde el cual se vierte el metal abriendo una pequeña compuerta en un extremo del depósito.



Interior del taller de fundición de la fábrica de Gruson, en Buckau, cerca de Magdeburgo.

Tanto tratándose del hierro colado como de otro metal cualquiera, es preciso siempre tener dispuesta la cantidad necesaria para el objeto que se quiere vaciar, á fin de que el molde pueda llenarse en una sola corrida, ó sea sin interrupción; pues de otro modo, la masa de la pieza no tendría una consistencia uniforme.

Nuestra lámina VII representa parte del gran taller de fundición de Gruson, en Buckau, cerca de Magdeburgo, ventajosamente conocido por la fabricación de proyectiles de artillería, de hierro endurecido, para los Gobiernos alemán, francés, ruso, etc.; en el fondo se ve el elevado cubilote, desde el cual corre el hierro fundido por un canal, llenando al paso los moldes, distribuídos convenientemente por el piso del taller.

Uno de los trabajos más importantes, y á veces más difíciles, relacionados con la fabricación de objetos de hierro colado, es la formación de los moldes, que constituye la ocupación de operarios especiales, y varía muchísimo según el objeto. Para moldear es preciso ante todo tener un modelo exacto de la cosa que se trata de fundir, de cuya hechura se encarga el carpintero, pues en la mayoría de los casos los modelos son de madera. La masa destinada á recibir la impresión del modelo, y por lo tanto á constituir el molde, consiste esencialmente en arena bien limpia y tamizada, que se mezcla con frecuencia con polvo de cok y otras materias. Cuando se emplea la arena pura es preciso humedecerla, pues de otro modo no tendría plasticidad y no conservaría la impresión del modelo; si, por el contrario, se emplea arena mezclada con cierta proporción de arcilla, no sólo resulta mayor la plasticidad en estado húmedo, sino que la impresión se conserva intacta después de seca la masa.

De aquí la distinción que se hace entre moldes húmedos, que son los preparados con arena sola y hay que emplear antes que se sequen, y moldes secos, que se preparan con una masa arcillosa y se secan antes de su empleo en un espacio cerrado, calentado al efecto por los gases procedentes del horno de fundir. El éxito del modelaje y de la fundición depende mucho de la calidad de la arena empleada, que debe ser de granos finos, no redondeados, sino más bien angulosos ó en forma de astillitas; cuando se humedece debe tener cierta plasticidad, y la proporción de arcilla no debe ser excesiva, porque en tal caso se corre el riesgo de que parte de la masa quede adherida al modelo al tiempo de preparar el molde, el cual resultaría con superficies ásperas ó desiguales; por último, la arena destinada á los moldes debe estar libre de carbonato de cal y magnesia, así como de yeso.

Según la forma de los objetos que se trata de fundir, se emplean moldes abiertos ó cerrados: los primeros sirven únicamente para aquellos objetos que sólo tienen una cara limpia, como, por ejemplo, planchas para inscripciones, estufas y cosas análogas; mientras que todos los objetos con dos ó más caras de vista, tienen que fundirse en moldes cerrados ó de caja-

Los moldes abiertos se preparan en arena húmeda extendida sobre el piso del taller de fundición. El modelo se imprime en la masa, que se apisona bien alrededor del mismo, y entonces se levanta cuidadosamente y se vierte el metal fundido en el hueco. Si la plancha que de tal modo se funde ha de llevar alguna inscripción, ésta se forma sobre la cara correspondiente del modelo, pegando en ella las letras de molde que al efecto se tienen en reserva, y suelen ser de metal, como las de imprenta, ó bien de madera.

Los moldes cerrados ó de caja, como se dice, que se emplean en la fabricación de los objetos que tienen dos ó más caras de vista, se preparan en

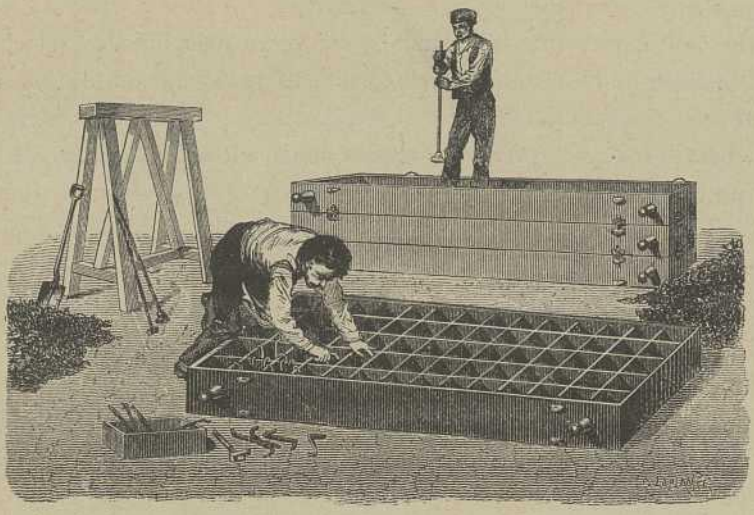


FIG 68.—Preparación de los moldes de caja.

cajas especiales de hierro, que se componen de dos ó más cuadros ó marcos superpuestos. Para moldes de dimensiones relativamente grandes, la parte inferior de la caja constituye á modo de un enrejado de planchas de hierro colado (fig. 68), cuyos huecos se rellenan con la masa arenosa, formando así una base más consistente, sobre la cual se coloca el molde propiamente dicho, cuya preparación se verifica de la manera siguiente: se rellena con la masa arenosa un marco de hierro, se coloca en medio el modelo, oprimiéndolo hasta hundirlo á la mitad de su altura ó grueso, como indica la fig. 69, y entonces se apisona bien la arena alrededor, dejando la cara superior perfectamente igual á la altura del borde del marco; después de salpicar dicha cara y la parte sobresaliente del modelo con polvo de carbón vegetal, se coloca sobre el primer marco otro exactamente igual, que se rellena á su vez con la masa, apisonándola de modo que se adapte también perfectamente al modelo; entonces se levanta con cuidado el segundo marco, cuyo relleno lleva en su cara inferior la impresión de la mitad del modelo, como indica la fig. 70; impresión perfec-

tamente limpia, puesto que el polvo de carbón ya referido impide que la masa húmeda se adhiera al modelo. Si después de quitar éste del primer marco, se vuelve á colocar el segundo como estaba, es evidente que queda en medio de la masa arenosa un hueco exactamente igual al modelo, y en el cual no hay más que verter el hierro colado para obtener un objeto de la misma forma. Al efecto, los dos marcos superpuestos se atornillan fuertemente entre sí, por medio de las orejas exteriores que se ven en nuestros grabados, y se practican en la masa del marco superior un orificio embudiforme, en comunicación con el hueco del molde, y por el cual se introduce el metal fundido, así como varios agujeros para el escape de aire y demás gases, y entonces se procede á la fundición de la pieza.

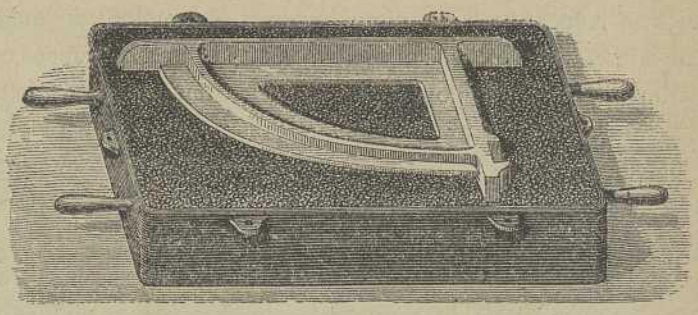


FIG. 69.—Mitad inferior de un molde de caja, con el modelo.

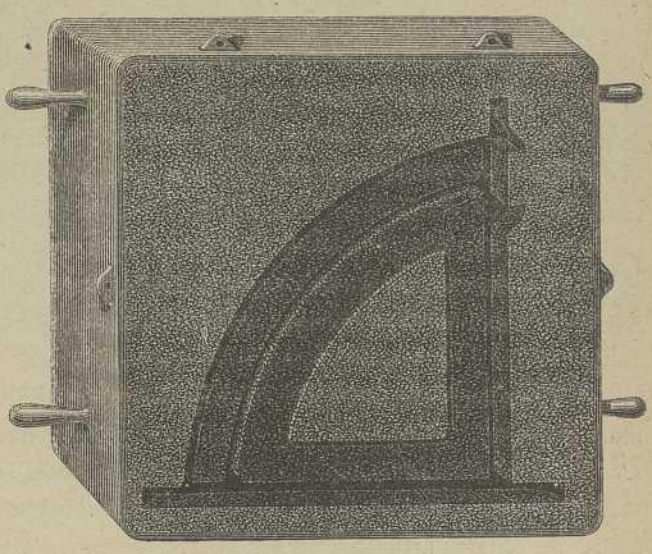


FIG. 70.—Mitad superior del molde de caja.

La manera de moldear que acabamos de describir sólo es posible cuando el modelo se deja levantar ó sacar fácilmente de la arena, sin perjuicio para el molde; en caso contrario, es preciso recurrir á los moldes dichos de cuñas, cuya preparación requiere á veces mucha pericia, y exige cuidado. Supongamos que se trate de fundir un brazo con una mano medio abierta; es evidente que la posición de los dedos no permite sacar el modelo sin destruir en parte el molde. En tal caso se hunde el modelo en la masa hasta la mitad, con la palma de la mano, y por tanto los dedos, vuelta hacia arriba; después de apisonar á la altura conveniente, se procede á moldear el hueco de la mano, formando con la masa húmeda piezas

cuneiformes que se adaptan perfectamente una contra otra, pero de modo que puedan sacarse por separado, á cuyo fin se salpican bien con polvo de carbón; hecho esto, se coloca un segundo marco sobre el primero, y se prepara la mitad superior del molde, como dijimos antes; levantando entonces este segundo marco, se sacan las cuñas referidas de la mano y se sujetan por medio de alambres al sitio respectivo de la mitad superior del molde, de modo que, después de alejado el modelo, queden reservados ó intactos los huecos correspondientes á la palma de la mano y los dedos. Si se examina un objeto de hierro colado, recién fundido en semejante molde, es fácil distinguir los sitios moldeados con piezas cuneiformes, pues siempre queda alguna señal de sus junturas en la superficie del objeto, en forma de delgadas prominencias ó hilitos de metal, que se quitan luego con un cincel y una lima; también en los objetos fundidos en moldes cerrados ordinarios resultan pequeñas desigualdades en la línea divisoria entre las dos mitades del molde, y que se hacen desaparecer de idéntica manera.

Los moldes destinados á la fundición de piezas huecas, como tubos, morteros, etc., reciben un alma que ocupa el sitio correspondiente al hueco, y se compone, por lo general, de una masa arcillosa mezclada con pelo de vaca, á fin de aumentar su consistencia, masa que se aplica en torno de un ligero armazón de alambre ó varillas de hierro. La preparación de semejantes almas requiere cuidado, debiendo aplicarse la masa en capas delgadas concéntricas que se dejan secar cada vez; la forma definitiva la recibe el alma en una prensa, ó por medio del torno, y entonces se cuece en un horno. Tratándose de moldes muy grandes, como los de tubos ó cilindros de mucho diámetro, las almas se hacen huecas, con lo que se ahorra material y trabajo; pero no sólo el alma, sino también el molde mismo, suele en tales casos formarse con arcilla, secándose perfectamente al calor artificial antes de usarse.

Los modelos para la formación de moldes se hacen comúnmente de madera, como ya dijimos; pero tratándose de objetos de uso frecuente y de fabricación continua, se emplea como modelo para los moldes sucesivos una pieza ya fundida de hierro colado, latón, cinc, estaño ó plomo, que dura naturalmente más y conserva mejor su forma que el modelo de madera. Ciertos objetos de arte se modelan primero con cera, sobre este modelo se aplica la arcilla, y una vez seca ésta, se derrite la cera, quedando así hecho el molde; para obtener copias de objetos artísticos ya existentes, se toma primero la impresión de los mismos en yeso, se saca luego el relieve con cera y se hace entonces el molde definitivo con arcilla, del modo ya indicado.

Cada pieza que se funde supone la preparación de un molde nuevo, pues la masa arenosa ó arcillosa se quebranta y deshace cada vez; únicamente los moldes de metal pueden servir por tiempo más ó menos ilimitado; pero en semejantes moldes sufre el hierro colado un endurecimiento extraordinario, desde su superficie hacia el interior de su masa. Este endurecimiento es una

consecuencia del rápido enfriamiento de la masa fundida, merced á la conductibilidad del molde; el carbono disuelto en el hierro fundido no tiene tiempo de cristalizarse en forma de grafito, sino que permanece químicamente combinado con el metal; la pieza fundida se compone, pues, en su interior de hierro gris relativamente blando, y al exterior de hierro blanco, en extremo duro. La producción industrial del llamado hierro colado endurecido se funda en el fenó-

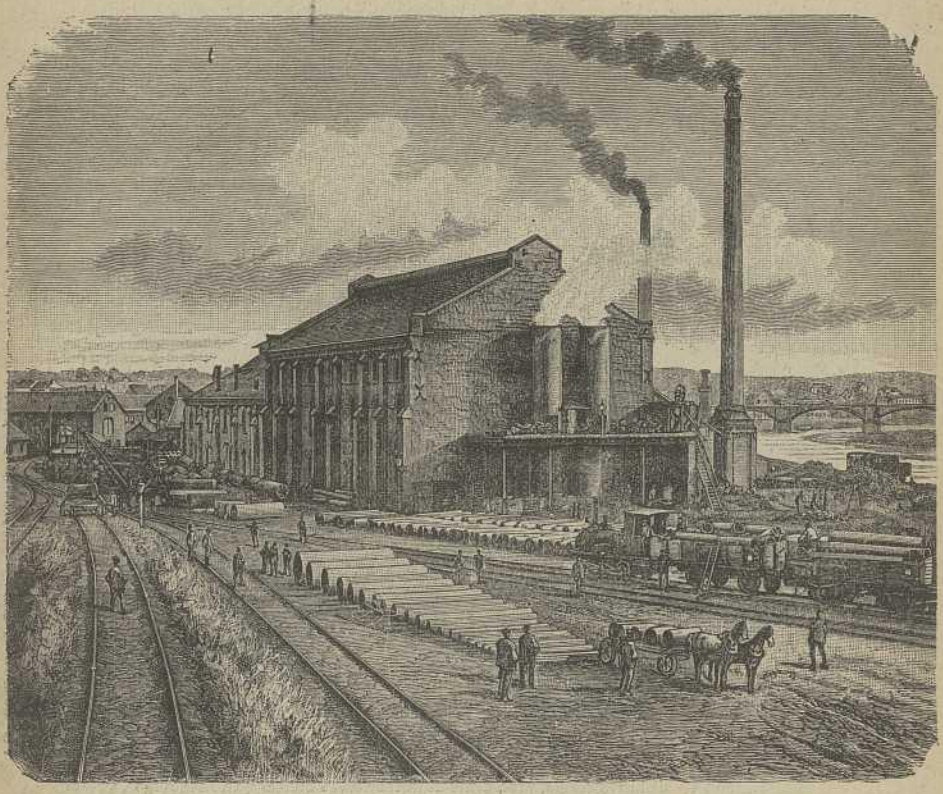


FIG. 71.—Fundición de tubos en Mühleim sobre el Ruhr (Prusia).

meno de que hablamos, y, por consiguiente, en el empleo de moldes de hierro, el procedimiento es excelente para la fabricación de cilindros laminadores, ruedas de carruajes ferrocarrileros y objetos análogos, cuya superficie está expuesta á gastarse pronto, y en Inglaterra se aplica con éxito á la fundición de los pesados proyectiles para cañones colosales, proyectiles que antes se hacían de acero. En muchos casos se quiere endurecer sólo determinadas partes de una pieza de fundición, y para conseguirlo se emplean moldes mixtos, es decir, compuestos en parte de masa de arena y en parte de hierro; tal sucede, por ejemplo, en la fabricación de yunques y ruedas ferrocarrileras. Si se quiere obtener un hierro excepcionalmente duro, se emplean moldes de cobre, que promueven un enfriamiento todavía más rápido que los de hierro; pero

hablando, en general, la fabricación de objetos de hierro endurecido no tiene ya la importancia que otras veces, desde que se ha generalizado el empleo del acero Bessemer.

Como comprenderán fácilmente nuestros lectores, dada la gran diversidad de formas de los objetos de hierro fundido que se fabrican, la formación de los moldes correspondientes se verifica con arreglo á varios procedimientos, á cuyo pormenor no podemos descender, limitándonos sólo á citar algunos ejemplos



FIG. 72.—Bandeja de hierro colado, procedente de la fábrica de Stolberg, en Ilsenburgo.

por vía de ilustración. Tratándose de piezas largas de diámetro ó sección uniforme, como, por ejemplo, tubos ó vigas, no es necesario un modelo de la pieza entera, sino que basta un trozo corto del mismo, con el que se va formando el molde por trozos sucesivos, hasta que tenga la longitud deseada: tal es el método seguido en la célebre fundición de tubos, llamada de Federico Guillermo, en Mühlheim sobre el Ruhr (fig. 71). Tampoco se emplea un modelo completo para la formación de los moldes de grandes ruedas de engrane; se hace primero el molde como para una rueda de periferia lisa, en torno de la cual se van fomando los dientes en la arena con un modelo que sólo contiene algunos de ellos, ó bien (y esto resulta más exacto) no se emplea para el engrane modelo alguno, sino un mecanismo especial que corta los dientes en la masa arenosa con regularidad y limpieza perfectas. Para los grandes tornillos de prensa, que

suelen fundirse, no sería posible formar moldes de la manera ordinaria, ó sea en los marcos ó cajas de dos mitades antes referidos, porque, dada la inclinación de la rosca, se inutilizaría el molde al tiempo de sacar el modelo. En su consecuencia, el modelo entero del tornillo se coloca verticalmente en medio de una caja de hierro, se apisona bien la masa alrededor en toda la altura, y luego se saca con cuidado desde arriba desatornillándolo, cual si se tratara de sacarlo de una tuerca. Tratándose de la fundición de gran número de objetos muy pequeños, se forman los moldes, muy juntos, en el piso del taller, reservando entre ellos canalitos de comunicación por los cuales pueda correr el metal fundido, que se vierte entonces por un solo orificio en medio del conjunto; después del enfriamiento, se encuentran unidas todas las piezas como por un enrejado de metal que se deshace fácilmente con algunos golpes de martillo, con lo que quedan aquéllas separadas.

En tiempos recientes ha recibido gran impulso, adquiriendo una perfección extraordinaria, la fabricación de objetos artísticos de hierro colado, que rivalizan con los de bronce y cinc. Los fabricantes de bisutería de Berlín fueron los primeros en demostrar prácticamente cómo se adapta el hierro colado á la fabricación de los objetos más pequeños y delicados, y desde entonces ha tomado, la industria de que hablamos, gran desarrollo en Alemania, Francia é Inglaterra, produciendo toda suerte de estatuas, candelabros, columnas, estufas, muebles y ornamentos artísticos. Uno de los centros más importantes del género, es el llamado Instituto artístico de la fundición del conde de Stolberg, en Ilsenburgo (Prusia), cuyos productos, como demuestra la bandeja reproducida en la fig. 72, rivalizan, por lo delicados y acabados, con las mejores obras de orfebrería.

ESTAÑADO, CINCADO, NIQUELADO Y ESMALTADO DEL HIERRO

La afinidad entre el hierro y el oxígeno es causa de graves perjuicios, por cuanto es origen de la formación del orín, para combatir la cual apenas bastan los medios que tenemos á nuestra disposición. El acero y el hierro colado se oxidan aún más fácilmente que el hierro dulce. El mejor medio acaso para prevenir la oxidación de nuestros instrumentos de acero, especialmente los cortantes, consiste en conservarlos lo más secos posible; en cuanto á los demás objetos de hierro, suele recurrirse á la pintura; la que resulta más duradera y eficaz, especialmente para las grandes piezas de fundición, es el alquitrán mineral extendido en caliente sobre el metal previamente calentado, siendo aún mejor sumergir la pieza de hierro, durante algún tiempo, en un baño de alquitrán. Los objetos pequeños, como calderas, cazuelas, etc., suelen pintarse con un barniz hecho con alquitrán y aceite de linaza, que se fija en la superficie del hierro, sometiendo dichos objetos á cochura en un horno. En algunos casos,

como, por ejemplo, en el pavonado de los cañones de escopeta, se busca el remedio, ó, mejor dicho, la prevención, en el mal mismo, produciendo en la superficie del hierro una delgada capa artificial de óxido, que cierra el paso al oxígeno del aire. En otros casos se aplica sobre la superficie del hierro una delgada capa de otro metal, siendo el procedimiento más antiguo de este género el *estañado* del hierro, mediante el cual se produce, entre otros, el artículo tan importante que llamamos hoja de lata.

Para la fabricación de la hoja de lata se caldean primero, en hornos cerrados, las hojas de palastro que proceden del laminador, hasta ablandarlas; se sumergen entonces en ácido sulfúrico diluído, ó en vinagre de madera, para limpiarlas perfectamente, y luego se friegan con arena y agua hasta producir una superficie de color gris homogéneo, aunque sin brillo. En tal estado, se conservan sumergidas las hojas de palastro en agua pura, hasta que se proceda á estañarlas. Para esta operación se necesita una serie de calderas rectangulares, montadas cada una sobre un hogar independiente; la primera caldera contiene sebo derretido, en el cual se sumergen verticalmente las hojas de palastro hasta que desaparezca toda su humedad por evaporación, adquieran la temperatura conveniente y se cubran con una capa uniforme de grasa. Las hojas de palastro así dispuestas, pasan directamente á la segunda caldera, que contiene estaño fundido, preservado contra la influencia oxidante del aire por una capa de sebo derretido que flota sobre la superficie; de ese modo permanecen una hora próximamente en este baño metálico, formándose en su superficie una capa que consiste en una aleación de hierro y estaño. Merced al contacto directo y repetido de los dos metales en este primer baño, el estaño que lo constituye siempre contiene algún hierro; razón por la cual las hojas estañadas de primer intento pasan luego á otra caldera que contiene estaño puro, y en la cual se disuelve en parte la capa de la aleación antes formada, depositándose, en cambio, estaño más puro y adquiriendo la superficie mayor uniformidad. Como al cabo de algún tiempo el segundo baño resulta con una cantidad apreciable de hierro disuelto, se muda el metal al primero, sustituyéndolo con estaño puro. Cuando las hojas han estado sumergidas el tiempo suficiente, se sacan una á una, colocándolas sobre una mesa y quitando el estaño sobrante por medio de un puñado de cáñamo, hecho lo cual se vuelven á sumergir por algunos momentos en otra división de la misma caldera que contiene estaño perfectamente puro, á fin de que desaparezca toda huella del frotamiento. Entonces pasan las hojas inmediatamente á una nueva caldera con sebo derretido, en cuyo baño se desprende todo el estaño que no se haya aleado con el hierro; esta parte de la operación reclama gran cuidado, pues de estar la temperatura muy elevada, ó de permanecer las hojas demasiado tiempo en el baño, se desprendería más estaño de lo que conviene. La grasa que acompaña á las hojas durante todo el proceso, y que tiene por objeto inmediato proteger el hierro y el estaño contra la oxidación,

desempeña además en la caldera última referida, así como en la que le sigue, y cuya temperatura es más baja, otro papel; por su medio se mantienen ambos metales á igual temperatura, previniendo el enfriamiento más rápido del estaño, que de otro modo sobrevendría y produciría grietas en la capa superficial. Cuando las hojas se han enfriado suficientemente en el último baño de sebo, resta alejar de su canto inferior las pequeñas gotas ó bultitos de estaño que en él se han formado, merced á la posición vertical; al efecto, se sumerge dicho canto ó borde en un baño muy somero de estaño, hasta que dichos bultitos se ablandan, separándose entonces mediante un golpe en el borde superior de la hoja. Por último, se quita la grasa de las hojas, frotándolas con salvado y polvo de creta, y después de limpiarlas con un trapo, están listas para el mercado. De algún tiempo á esta parte se va generalizando cada vez más el empleo de palastro estañado de acero, en lugar del de hierro, y las hojas se hacen hoy de dimensiones mucho mayores que otras veces.

Ciertos utensilios comunes, como cucharas y cazos de hierro, se forjan primero y estañan después; pero el estañado interior de cazuelas y vasos análogos de hierro fundido se halla ya sustituído casi completamente por el procedimiento del esmaltado. El estañado por la vía húmeda se practica, por regla general, sólo con pequeños objetos de latón ó de bronce. El estaño sólo protege al hierro contra la oxidación mientras lo cubre por completo; desde el momento en que la humedad ha penetrado por la grieta más leve, la oxidación procede con mayor rapidez aún que si el hierro se hallara enteramente al descubierto, porque en una cadena de estaño, hierro y agua como la que se forma en tal caso, el hierro es el metal electro-positivo, y atrae, por consiguiente, al oxígeno con más fuerza.

Esta observación sugirió el pensamiento de bañar el hierro con cinc, en vez de con estaño, puesto que el cinc se comporta positivamente respecto de todos los demás metales, los cuales resultan preservados por su contacto mientras el cinc mismo se oxida. Por esta razón se llamó al hierro cincado, hierro *galvanizado;* no porque en realidad el baño ó capa de cinc que recibe sea un precipitado galvánico, sino porque su efecto preservativo se atribuía á la acción de corrientes eléctricas ó galvánicas. La experiencia ha demostrado, sin embargo, que la capa de cinc, lo mismo que la de estaño, sólo preserva al hierro mientras esté completamente intacta, y que el hierro se oxida lo mismo cuando ocurre alguna falta de continuidad. De todos modos, el cincado constituye una protección por lo menos tan eficaz como el estañado, y ofrece las ventajas de que el cinc es más duro y más barato que el estaño. Por esto se bañan con cinc los alambres del telégrafo eléctrico, las cuerdas ó cables de alambre, tornillos, clavos y cosas análogas, planchas de hierro y acero, proyectiles de artillería, etc., procediendo de la manera que describiremos con brevedad. Después de limpiar perfectamente la superficie de objetos de hierro, sometiéndolos á la

acción de mordientes, fregándolos, etc., se les da primero un ligero baño de cinc por la vía húmeda, que es de importancia para el cincado definitivo. Los objetos se sumergen al efecto en una disolución de cloruro de cinc con un poco de sal amoniaco, durante uno y medio á dos minutos, ó sea el tiempo suficiente para que se inicie la mezcla entre los metales, disolviéndose un poco del hierro y depositándose en su lugar un poco de cinc. Cubiertos de esta manera con una capa delgadísima de cinc, los objetos se secan perfectamente sobre una plancha metálica calentada, y todavía calientes se sumergen en un baño de cinc fundido. Al cabo de corto tiempo, cuando los objetos han adquirido la temperatura del cinc, se sacan del baño, se les da algunos golpes para desprender el cinc sobrante, y con esto queda terminada la operación.

De un modo análogo puede cubrirse la superficie del hierro con una delgada capa de cobre ó de plomo, metales que, al parecer, encuentran todavía una aplicación muy restringida en tal sentido. En cambio se ha desarrollado de un modo extraordinario, durante los últimos años, el empleo del níquel para revestir los objetos de hierro y acero con un baño protector, preferencia que se comprende fácilmente teniendo en cuenta que el níquel forma una capa que no se altera bajo las influencias atmosféricas y es susceptible de un hermoso pulimento, casi tan brillante como la plata. Se someten hoy al niquelado toda clase de objetos, como las partes más finas de diversas máquinas, herramientas de todas clases, instrumentos quirúrgicos, llaves y cerraduras, cadenas, espuelas, etc., y la operación se verifica siempre por la vía húmeda, ó más propiamente dicho, por electrolisis. Los objetos se suspenden al efecto en un baño de sulfato amoniacal de níquel, por el que se hace pasar una corriente eléctrica originada, bien en una batería galvánica, bien por medio de máquinas dinamo-eléctricas. Para asegurar el éxito del procedimiento es preciso que los objetos estén perfectamente limpios; que los anodos, ó sean los electrodos positivos, se compongan de níquel químicamente puro, y por completo libre de cobre; que la sal doble de níquel que se emplea sea también químicamente pura, y que el baño se acidule ligeramente mediante una pequeña porción de ácido cítrico.

Por último, se protege también el hierro por medio de una capa de esmalte, procedimiento hoy muy en boga para cazos, cazuelas, calderillas, sartenes y utensilios de cocina análogos, ora de hierro colado, ora de hierro dulce. Semejantes utensilios no se adaptarían bien á su objeto sin ser bañados, puesto que prestan á los alimentos preparados en ellos un sabor y un color desagradables; mas como el hierro es infinitamente más barato que el cobre, y los utensilios hechos con este metal reclaman la más escrupulosa limpieza para que no se forme en ellos el cardenillo tan venenoso, limpieza que supone bastante trabajo, hace ya tiempo que se trató de mejorar las condiciones de aquéllos, á cuyo fin se sometían al estañado interior; pero el baño de estaño sólo resiste en cuanto se halle cubierto por el líquido que se cuece; en las partes descubiertas se calienta el metal dema-

siado, el estaño se funde y sus gotitas se encuentran luego en los alimentos. Por esta razón vino á adoptarse el procedimiento del *esmaltado*, por más que al principio los resultados obtenidos fuesen poco satisfactorios, toda vez que la capa de esmalte se agrietaba y desprendía en virtud de la diferencia de contractibilidad entre ella y el hierro bajo la influencia del calor y del frío. Sin embargo, al cabo de muchos ensayos, algunos fabricantes han logrado producir un esmaltado duradero, y sus productos se hallan ya bien acreditados. No podemos entrar aquí en pormenores acerca de las muchas fórmulas que existen para la composición del esmalte; pero diremos que, por regla general, se da primero un baño con una mezcla barata, que se cubre con un esmalte más fino. Para la capa fundamental se emplea cuarzo, bórax, arcilla, feldespato, cal, yeso, etc., en estado de polvo impalpable, que se fija en la superficie de los objetos, bien mediante una fusión parcial en un horno, bien en estado pastoso mediante una brocha. Para la capa externa más fina se forman diferentes mezclas de aquellas materias (salvo la arcilla), á las que se añade óxido de cinc, empleándose también blanco; semejantes mezclas se someten primero á un calor elevado, sin fundirlas, se pulverizan luego finamente, salpicando con el polvo los objetos húmedos, los cuales se secan entonces y se someten á una cochura en una mufla, quedando así fundido y fijo el baño de esmalte.

Despues de haber manifestado cuán perjudicial es el orín, y expuesto sucintamente los diferentes medios que tenemos para preservar contra sus efectos los productos de hierro y acero, justo es advertir, por otra parte, que el orín nos presta también muy señalados servicios. Hemos dicho ya que se produce artificialmente una delgada capa de óxido en la superficie externa de escopetas y carabinas, á fin de protegerlas contra las influencias deletéreas de la atmósfera; pero una de las ventajas principales del orín consiste en el cierre hermético que produce fácilmente en casos en que costaría un trabajo inmenso obtenerlo por medios mecánicos. Las junturas de las planchas de hierro ó acero que componen el casco de nuestros buques modernos, las calderas de vapor, las grandes campanas de nuestras fábricas de gas del alumbrado, etc., se cierran herméticamente humedeciéndolas, después de unidas y ribeteadas las planchas, y dejando que se forme en ellas el orín ú óxido de hierro que rellena por completo los menores intersticios. De análogo modo se asegura la unión de los tubos de una cañería de hierro, ó se fijan barras de hierro en la piedra, mediante una pasta compuesta de limaduras de hierro y agua con un poco de sal amoniaco; pasta que, merced á la oxidación de las limaduras, tiende naturalmente á ocupar mayor espacio que antes, consolidándose y constituyendo una masa muy compacta.

PRODUCCIÓN DEL HIERRO: DATOS ESTADÍSTICOS

Habiendo expuesto en las páginas precedentes, y con la concisión que supone el limitado espacio de que disponemos y la índole de este libro, los principales procedimientos de la siderurgia, y reservando para otras partes de nuestra obra hablar de las elaboraciones especiales á que se someten el hierro y el acero en diferentes ramos de la industria, réstanos ofrecer á nuestros lectores algunos datos precisos acerca de la producción del hierro en diferentes países, así como algunas consideraciones generales respecto de la inmensa importancia que ha adquirido metal tan útil en nuestro siglo de progreso. Verdad es que las vías férreas cruzan los países en todos sentidos, y que por doquier la locomotora con voz silbante proclama la importancia del hierro; mas á muchísimos de nuestros lectores, sobre todo en España, les serán completamente ajenas las impresiones que se reciben en los grandes centros comerciales del extranjero, donde se acumulan cantidades enormes de productos de hierro y acero, en los puertos de mar donde entran y salen inmensos buques de hierro, en los distritos siderúrgicos donde arden los altos hornos, y en esas grandes fábricas en que se producen instrumentos, utensilios y objetos artísticos, así como máquinas de todas clases, ó bien en donde se ve á las máquinas mismas prestando su servicio diario, hilando y tejiendo, imprimiendo, cepillando, aserrando, cortando, taladrando, prensando, cosiendo, etc.

Respecto de la producción, es un hecho que va en aumento de año en año, creciendo en proporción el consumo; pues, salvo algunas vacilaciones excepcionales, los precios se mantienen bastante constantes. La producción total de hierro colado en todo el globo no llegó en 1875 á 16.000.000 de toneladas, mientras que actualmente pasa de 21.000.000, distribuídas principalmente entre los países siguientes:

Gran Bretaña	8.600.000	toneladas.
Estados Unidos	4.696.000	»
Alemania	3.420.000	»
Francia	2 033.000	»
Bélgica	717.000	»
Austria-Hungría	573.000	»
Rusia	467.000	»
Suecia	435.000	»
España (en 1886)	147.703	»

En cuanto al incremento progresivo que en las islas Británicas ha tomado la

producción del hierro desde el año 1740, los siguientes guarismos ofrecen la prueba más concluyente:

Año de	1740.....	17.628	toneladas de hierro colado.
—	1788.....	69.000	» »
—	1796.....	127.700	» »
—	1806.....	262 300	» »
—	1826.....	590.300	» »
—	1835.....	1.005.000	» »
—	1840.....	1.418.750	» »
—	1845.....	1.536.750	» »
—	1855.....	3.268.050	» »
—	1865.....	4.896.550	» »
—	1868.....	5.049.900	» »
—	1878.....	6.512.500	» »
—	1874.....	7.118.500	» »
—	1882.....	8.620.000	» »

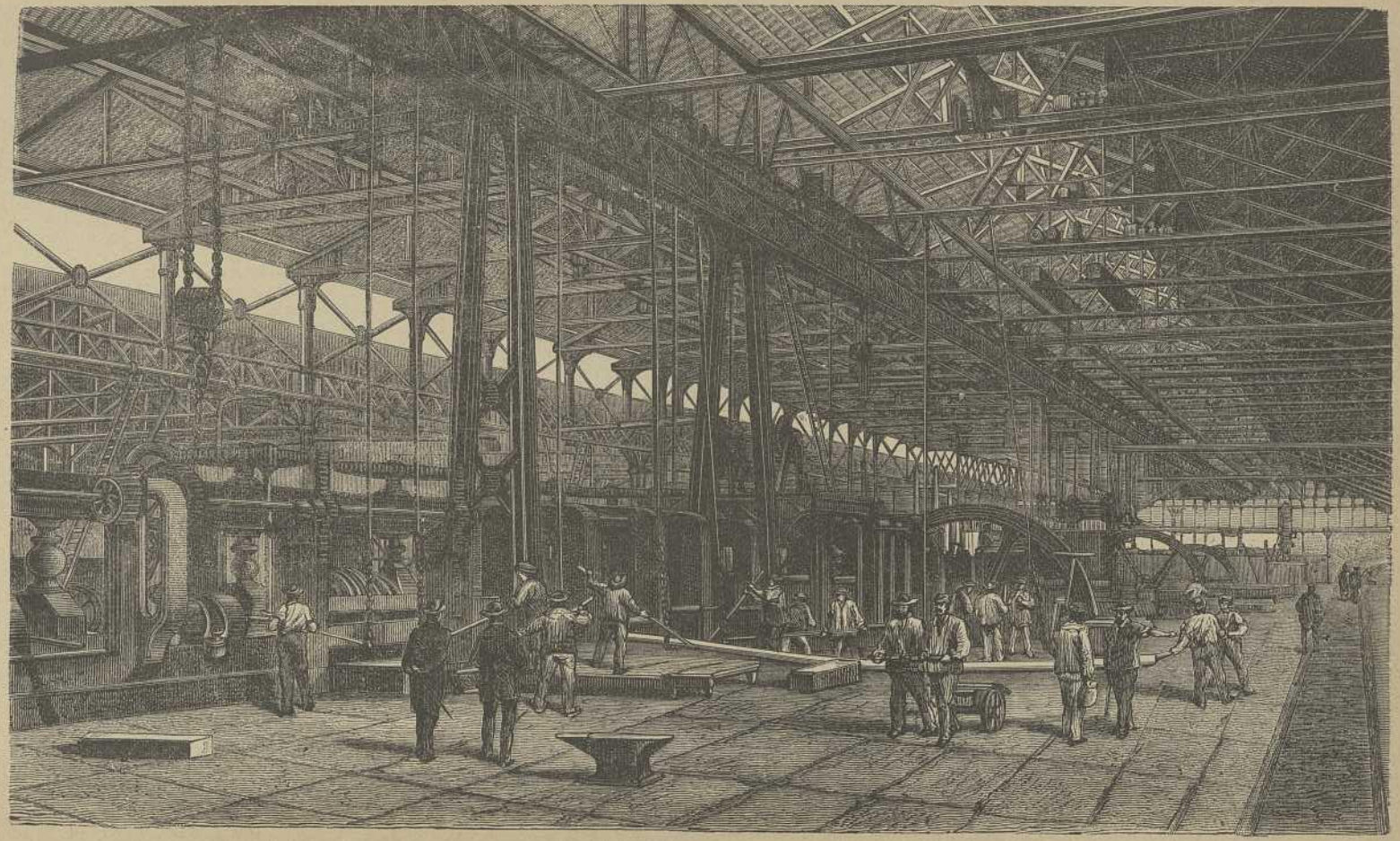
Esta enorme cifra última representa la producción de 161 fábricas inglesas y 25 escocesas, que cuentan nada menos que 565 altos hornos.

En los Estados Unidos de la América del Norte se registra también un aumento progresivo en la producción del hierro colado, habiendo crecido desde 30.000 toneladas en 1810, hasta 4.000.000 en 1875, y acercándose actualmente á 5.000.000. Pero el ejemplo más sorprendente del desarrollo rápido de la industria siderúrgica lo ofrece Alemania, cuya producción pronto equivaldrá á la mitad de la de Inglaterra, cuando en 1875, es decir, hace sólo trece años, apenas pasaba de la sexta parte de la misma. Antes era Alemania tributaria de Inglaterra para la mayor parte de su material de ferrocarriles, llegando todavía en 1870 la importación por tal concepto á 52.660 toneladas; pero en el año 1881 quedaba reducido este guarismo á 305, gracias al impulso dado por Krupp y otros á la fabricación de rails de acero y hierro inmejorables, así como al notable desarrollo de la construcción de locomotoras en Berlín, Chemnitz, Munich, Augsburgo, Esslingen, etc., cuyas fábricas, no sólo cubren hoy las necesidades patrias, sino que envían sus máquinas á Suiza, Francia, Rusia y hasta la India. Además, Alemania compite hoy ventajosamente con Inglaterra en la fabricación de todo género de objetos de ferretería, acreditándose cada vez más sus instrumentos cortantes, sus agujas para coser y sus cuerdas de acero para pianos, de los que tanto tiempo tuvo Inglaterra el monopolio; y hoy ya florecen en aquel país, además del importante establecimiento de Krupp, bastantes fábricas siderúrgicas que rivalizan en importancia con las inglesas. Citaremos, por ejemplo, la fábrica de la Unión en Dortmund, que emplea 7.000 operarios y produce anualmente unas 120.000 toneladas de hierro colado y 74.000 de hierro dulce, en diferentes formas; las fábricas de Laura y Koenigshütte, en Silesia, con 13 altos hornos, que producen 125.000 toneladas

de hierro colado y 100.000 de hierro laminado, dando ocupación á unos 9.000 operarios; la fábrica de Borsig, también en Silesia, que emplea más de 5.500 trabajadores, y, por último, la gran fábrica de Burbach, en el distrito de Saarbrucken, ya mencionada, y de la que reproducimos una vista en la lámina III, y que comprende 4 altos hornos, 85 hornos de pudelaje y de recalenta y 12 juegos de laminadores, en cuyo movimiento se invierten máquinas de vapor con una fuerza total de 7.884 caballos, alimentadas por 125 calderas.

Entre los importantes establecimientos siderúrgicos de Francia, debemos mencionar el del Creusot, en el departamento de Saone-et-Loire, fundado por Schneider en 1837, que ocupa actualmente unos 15.000 operarios, y comprende 10 altos hornos, 50 hornos de pudelaje, 45 de recalentar, varios juegos de poderosos laminadores, y 9 martillos de vapor, el mayor de los cuales tiene un peso de 1.000 quintales métricos. La lámina VIII ofrece una vista del magnífico taller de laminadores, del que salen diariamente unos 550.000 kilogramos de hierro en barras y rails. Además, dicha fábrica puede producir anualmente 110 locomotoras y otras máquinas de vapor, hasta la fuerza en total de 5.000 caballos. Bélgica cuenta, entre otros, con un establecimiento siderúrgico no menos importante, en Seraing, cerca de Lieja, cuya fundación, en 1816, se debe al célebre industrial inglés Cockerill, y pertenece hoy á una Sociedad anónima; comprende altos hornos, hornos de pudelaje, laminadores y extensos talleres de construcción, capaces de producir cada año 100 locomotoras y 14 buques de vapor, además de diversas máquinas y productos fundidos y laminados; emplea unos 11.000 operarios, cuyos sueldos importan al año más de 10 millones de francos, y el valor anual de sus productos asciende á 40 millones.

Aunque, como se ve por los datos estadísticos presentados más arriba, España se halla todavía al pie de la escala como productora de hierro, á pesar de la abundancia y bondad de sus minerales y su riqueza no despreciable en hulla, no podemos prescindir de hablar de su industria siderúrgica, que se encuentra en su mayor desarrollo en Vizcaya y Oviedo, pues de la producción total de 147.000 toneladas de hierro colado, correspondiente al año 1886 (último dato de publicación oficial), 109.530 proceden de los altos hornos vizcaínos y 30.637 de los ovetenses. Según la última estadística minera y metalúrgica, formada por la Junta superior facultativa, la siderurgia de Vizcaya recibió en 1886 un nuevo y poderoso impulso, merced á la terminación de las obras de la fábrica titulada *Nuestra Señora del Carmen*, perteneciente á la *Sociedad de altos hornos y fábricas de hierro y acero de Bilbao*, á la que corresponde la gloria de ser la primera que ha establecido en nuestro país la importantísima fabricación del acero Bessemer. Dicha fábrica, sita en término de Baracaldo, comprende 5 altos hornos, 2 convertidores Bessemer, 14 hornos reverberos, 10 de afino, 17 forjas, 6 cubilotes y 40 máquinas de vapor, con fuerza de 6.000 caballos; el mineral procede de Somorrostro, y se beneficiaron en dicho año



Nave principal del taller de laminadores de la fábrica de Schneider y Compañía, en el Creusot (Francia).

106.668 toneladas, obteniéndose 18.490 de hierro colado, 7.979 de hierro dulce y 20.025 de acero Bessemer, ocupándose en la fabricación 1.300 operarios. Usando lingote de esta fábrica, y próximo á ella, se montó un importante taller de fundición, que puede producir anualmente de 4 á 6.000 toneladas de tubos, y de 4.000 á 7.000 piezas varias; tiene cuatro cubilotes y una máquina de vapor de 60 caballos, ocupando 200 operarios. La fabrica de *Santa Ana*, en Bolueta, tiene 3 altos hornos, que se alimentan con carbón vegetal, 2 de manga, 13 reverberos, 12 forjas y 5 motores hidráulicos; ocupa 240 operarios y produce 460 toneladas de hierro colado y 2.372 de hierro dulce. La de *San Francisco*, en término de Sestao, propiedad del marqués de Mudela, cuenta con 4 altos hornos y 14 máquinas de vapor, con fuerza de 1.100 caballos, empleando 590 operarios y produciendo 44.579 toneladas de lingote. Como un anexo á esta fábrica se ha establecido otra de fundición, con el nombre de *Aurrerá*, con dos cubilotes, que puede producir diariamente de 14 á 15 toneladas de objetos de hierro colado, mediante el concurso de 165 operarios. La fábrica llamada *Vizcaya*, en la jurisdicción de Sestao, tiene 2 altos hornos, que benefician mineral de Galdames, produciendo 4.600 toneladas de lingote y dando ocupación á 320 operarios. La fábrica de la *Purísima Concepción*, en Amorevieta, produce hierro dulce directamente del mineral por el procedimiento de Tourangin, con hornos de manga ó cuba, de reverbero y de afino; mientras que otras fábricas se limitan al afino del lingote, dedicándose exclusivamente la de la Sociedad Aldecoa y Compañía, en término de Amoroto, á la fabricación de sartenes, de las que produjo en 1886 10.000 docenas, con peso de 60 toneladas próximamente. En cuanto á la provincia de Oviedo, la estadística que nos sirve de guía no contiene datos concretos, salvo que produjeron sus fábricas siderúrgicas, en suma, 30.637 toneladas de hierro colado, 29.537 de hierro dulce y 80 de acero.

En el hierro se halla latente, digámoslo así, una fuerza de competencia poderosísima, y al parecer innagotable; desenvolviéndose la civilización de los pueblos antiguos, no tardó en sustituir á las armas y utensilios de piedra, cobre y bronce, y en nuestros días ha vuelto á vencer á los bronces en su fortaleza al parecer inexpugnable, esto es, en el terreno de la fundición de cañones de artillería y de campanas. Hace tiempo que se inició la sustitución de la madera por el hierro; pero hoy dicha sustitución se acentúa cada vez más. Muchas personas que aún viven recordarán los principios de este cambio gradual de utensilios é instrumentos domésticos de madera por otros de hierro; el arado moderno de hierro, para sólo citar un ejemplo, representa un progreso inmenso sobre los arados antes en uso, y lo mismo puede decirse respecto de tantos instrumentos que hoy tiene á su disposición el agricultor, y cuya construcción con madera hubiera sido imposible. Otro servicio de importancia grandísima, y siempre creciente, nos presta el hierro en forma de tubos, servicio que jamás podría espe-

rarse de la madera: el que recorre las calles de una ciudad alumbrada con gas y bien abastecida de agua no tiene idea de la enorme cantidad de hierro en forma de tubos que yace escondida bajo sus pies; es preciso, para ello, examinar detenidamente los planos especiales, ó, mejor aún, presenciar las obras mismas de semejantes canalizaciones. En su aplicación como material de construcción, el hierro no sólo sustituye á la madera, sino también á la piedra, superando á ambas en solidez y duración, y haciendo posibles obras que no se podrían ejecutar en madera ó piedra, como, por ejemplo, esos grandiosos edificios de muchas de nuestras Exposiciones universales, y especialmente los colosales puentes que hoy se construyen y de que dimos cuenta en el tomo I de esta obra.

También en los últimos tiempos el hierro viene desempeñando un papel importante como material para la fundición de objetos artísticos, por más que en este terreno el cinc empiece á disputarle la supremacía. Cada nueva Exposición nos ofrece pruebas de la perfecta adaptabilidad del hierro á trabajos que antes sólo se podían ejecutar en latón ó bronce. Hemos hablado ya de los excelentes productos del género que salen de ciertas fundiciones, como la de Ilsenburgo, cuyo campo de acción abarca toda clase de objetos artísticos, desde la estatuíta más diminuta hasta la figura más monumental, inclusa toda una serie de artículos de bisutería, hasta las botonaduras más finas para camisa que, por extraño que parezca, se hacen también de hierro colado. Recordamos haber visto recientemente en una Exposición nada menos que un *abanico* de hierro colado, el cual, sin ser, como es natural, tan ligero como sus congéneres hechos con plumas de avestruz, ostentaba una labor calada tan sumamente delicada y primorosa, que á simple vista nadie hubiera sospechado en él otro material que los que de ordinario se emplean para este objeto, la madera dura ó el marfil, por ejemplo.

Menos aparentes á los ojos del público en general, pero de grandísima importancia en la técnica, son los servicios que presta el alambre de hierro y acero en forma de cuerdas y cables. En esta forma compite hoy el hierro ventajosamente con el cáñamo, material que se usaba antes casi exclusivamente (omisión hecha de las cadenas) en el cordelaje de los buques y en las minas, hasta que, hace unos cincuenta años, se ensayaron las cuerdas de alambre en las minas del Harz (Prusia). La fabricación de semejantes cuerdas ha alcanzado ya hoy suma perfección, tanto en Inglaterra como en Alemania, y su empleo aumenta de día en día, toda vez que su fuerza y duración son hechos generalmente comprobados, siendo también su peso y precio, en igualdad de circunstancias, inferiores á los de las cuerdas de cáñamo y pita. En las minas se emplean sobre todo para la extracción por los pozos; pero ya se ha extendido, entre otros usos, á la transmisión de fuerza á distancias relativamente grandes: existen muchas vías férreas dispuestas sobre planos inclinados, cuyos carruajes se mueven á impulso de un motor fijo, mediante cuerdas de alambre sin fin; en la vía de Durham-Sunderland (Inglaterra) tiene semejante cuerda una longitud

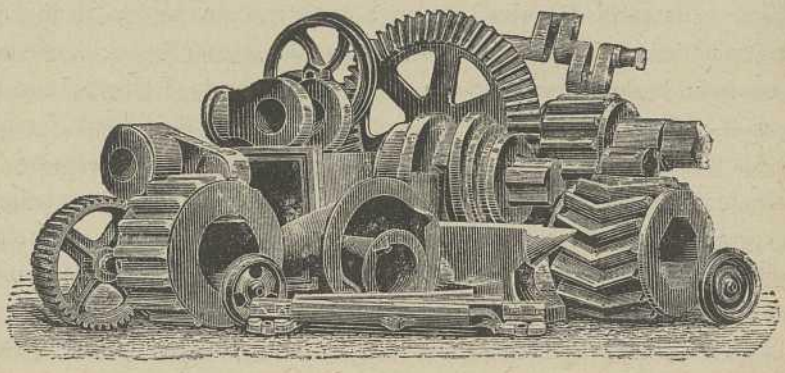
de 15 kilómetros. También pudiéramos citar numerosos ejemplos de establecimientos industriales que utilizan la fuerzamotriz del agua, transmitiéndola á distancias de 300 á 1.200 metros, mediante cuerdas de alambre, único medio de transmisión posible, salvo el de la corriente eléctrica. Recordamos á este propósito el sistema de transmisión perfeccionado de *Hirn*, quien le llamó «cable teledinámico,» y que obtuvo la medalla de oro en la última Exposición de París. Por último, mencionaremos la aplicación de las cuerdas de alambre á los llamados ferrocarriles aéreos ó funiculares, que cruzan los terrenos más quebrados y difíciles; en la región montañosa de Gyalar (Transilvania), por ejemplo, funciona actualmente una vía funicular en una longitud de más de 30 kilómetros, salvando 60 elevados montes y 62 valles de 200 á 470 metros de ancho, y á una elevación, en algunos casos, de 250 metros sobre su fondo.

Pero el triunfo más señalado y trascendental que ha alcanzado el hierro en nuestros días sobre la madera, estriba, sin duda, en su aplicación á la construcción de buques. Hace tiempo que el hierro se había familiarizado, digámoslo así, con el mar, en forma de anclas y cadenas; pero un casco de nave, un edificio flotante, hecho con un material que por sí no flota, era antes una cosa nunca soñada siquiera. Más después de que la aplicación de la máquina de vapor como motor de los buques había dado lugar á notables modificaciones en la construcción de éstos, y á la introducción de costillas, planchas y otros refuerzos de hierro, cuyo número y dimensiones aumentan con el tamaño de las naves modernas, tomó por fin cuerpo la idea de hacer de hierro el casco del buque en su totalidad. La marina mercante no vaciló en apadrinarla, y pronto surcaron los mares muchos buques de hierro, cuyas dimensiones fueron creciendo hasta alcanzar los límites extremos en el llamado *Leviathan* ó *Great Eastern*, una nave colosal proyectada en 1857 por el ingeniero Brunel y construída en un astillero del Támesis; tenía 203 metros de eslora, 25 de manga, y 12.000 toneladas de desplazamiento, impeliéndose á la vez por ruedas de paleta y hélice, cuyos motores de vapor desarrollaban una fuerza de 2.600 caballos. Más tarde adoptaron el hierro las marinas de guerra, y en 1860 se construyó en Francia la primera fragata blindada, que abrió la nueva era de esos enormes monitores y baterías flotantes, en cuya construcción siguen rivalizando las grandes naciones. Por último, en los últimos años, y tanto en la marina mercante como en la de guerra, el acero viene sustituyendo al hierro, construyéndose con él grandes vapores, cuyo casco resulta mucho más ligero y resistente.

En las tres modificaciones del hierro—el colado, el dulce y el acero—tenemos, en efecto, tres metales de propiedades muy diversas. El hierro colado ofrece una gran resistencia, puesto que una barra de él, de un centímetro cuadrado de sección, puede sostener un peso de 5.000 kilogramos, sin romperse; pero es agrio ó quebradizo, faltándole la elasticidad y la tenacidad que distinguen al hierro dulce, cuya resistencia es, por lo mismo, tres veces superior á la

del colado. El acero, por su parte, aventaja considerablemente al hierro dulce, puesto que su resistencia es del doble al triple de la de éste, y por consiguiente de seis á nueve veces mayor que la del hierro colado. Dada, pues, la gran fuerza de competencia que atribuímos al hierro, no es extraño que en sus tres modificaciones compita también consigo mismo, sustituyendo una clase de hierro á otra de calidad inferior ó menos adecuada para un objeto dado. Por ejemplo, cuando las vías férreas se hallaban en su infancia, limitándose al transporte de materiales en las minas de hulla, sus carriles se hacían de hierro colado; tan luego como empezaron á desarrollarse los ferrocarriles públicos, se adoptaron para ellos rails de hierro dulce, porque bajo el peso de las locomotoras los carriles colados se rompían como el vidrio; desde entonces ha salido á la palestra el acero como material para los rails, habiendo empezado la reforma acerando la cabeza de los rails de hierro dulce, y concluyendo por adoptarse el rail entero de acero. Las ventajas de semejantes cambios son evidentes, cuando se considera que la resistencia de los tres materiales se halla en la proporción de 1 á 2 á 6; es decir que, en igualdad de circunstancias, el acero puede durar dos veces más que el hierro dulce, y seis veces más que el colado. En los puentes y otras construcciones análogas, se empleó también al principio el hierro colado, sustituyéndolo después el dulce en forma de cadenas, alambre, vigas de reja y tubos, el cual á su vez cede ya el puesto en muchos casos al acero; porque siendo éste mucho más resistente, se necesita emplear menos material, resultando la construcción tan sólida, por lo menos, como con hierro, y al mismo tiempo más ligera.

Con lo dicho en el presente capítulo queda, pues, demostrada hasta la evidencia la inmensa utilidad del hierro, y cómo se muestra de mil maneras cual amigo leal del hombre, ayudándole y excitándole en la vida del progreso. Y sin embargo, el hierro es de aquellos dones de la Naturaleza que menos voluntariamente, digámoslo así, se nos ofrece: poco aparente, y sustrayendo su verdadera naturaleza á la vista más perspicaz, yace á nuestros pies en forma de mineral; pero hace tiempo que el hombre reconoció su valor, y libertándolo de sus prisiones, lo cuidó y educó hasta convertirle en su más útil y fiel servidor.





CINC, CADMIO
COBALTO, NÍQUEL, ANTIMONIO
Y BISMUTO

CINC: Apuntes históricos é importancia de este metal.—Beneficio metalúrgico de los minerales de cinc.—Impurezas del cinc.—Cinc laminado.—Fabricación de objetos de cinc fundido.—Preparación del blanco de cinc.—CADMIO: Producción y aplicaciones.—COBALTO y NÍQUEL: Apuntes históricos.—Minerales de cobalto; su beneficio y aplicación del óxido.—Minerales de níquel y su beneficio.—De las diferentes aleaciones del níquel con otros metales.—ANTIMONIO: Minerales y beneficio.—Preparados y aleaciones de antimonio.—BISMUTO: Minerales, beneficio y aplicaciones.

CINC

Pocos siglos han transcurrido desde que el hombre tuvo conocimiento de un nuevo metal, el cinc; hasta entonces el nombre alemán *zink*, con el que se designa hoy este metal en todas partes (salvo la sustitución de la *z* por una *c*, que han tenido por bueno introducir en su nuevo *Diccionario* nuestros académicos de la lengua), se había aplicado por aquellos mineros á cierto mineral, ó sea á la calamina cristalizada, aplicación que se conservó hasta el siglo XVIII. Y, sin embargo, desde tiempos muy remotos, y mucho antes de que el hombre sospechara su existencia, le venía dicho metal prestando señalados servicios, de modo que su historia puede dividirse en un período antiguo

secreto, y otro moderno y público. Como habremos de exponer más adelante al tratar del cobre, el cinc formaba ya parte, en tiempos antiguos, de las aleaciones cobrizas que llamamos hoy bronce y latón, y que se obtenían á veces con ayuda de la calamina; se conservan bastantes objetos antiguos de latón, especialmente entre las monedas romanas. Pero los trabajadores en metal se contentaron, durante siglos, con la regla, abonada por la experiencia, de que cierto mineral, fundido con el cobre, prestaba á éste mayor fluidez y un color amarillo; en cuanto al «cómo» y al «por qué», no se curaban de averiguarlo, ó si tal hicieron, llegaron sin duda á cualquiera explicación errónea; en una palabra, el cinc puro no se conoció en la antigüedad, lo cual no debe llamarnos la atención, dada la circunstancia de que dicho metal se volatiliza en el acto de reducirse. Sólo se produciría á veces casualmente, como producto secundario é inaprovechable, pues no cabe duda de que el *pseudargyros*, de que habla Estrabón, fuera cinc metálico en forma de gotitas.

Basilio Valentino describió en el año 1420 cierto residuo de la fundición de menas, que se encuentra en los hornos formando como estalactitas, dándole el nombre de *zinken*, que en alemán quiere decir *púa* ó *diente;* y cien años más tarde aplicó Paracelso el nombre *zink* á un metal procedente de Carintia, respecto del cual dijo que no era maleable y se diferenciaba de los demás metales, debiendo considerarse sólo como una especie bastarda de los mismos. Por el año 1550 descubrió Agrícola un metal en los residuos de los hornos de fundición de Goslar, al que dió del nombre *Zink* ó *Conterfey;* mas no sabía que procedía de la calamina. Como por aquel tiempo no se conocía la utilidad de dicho metal, no se le atribuía importancia alguna, confundiéndolo además frecuentemente con el bismuto. Mayor curiosidad hubo de despertar, al parecer, el óxido de cinc, tan ligero, que se desprendía en forma de humos blancos de los minerales cincíferos durante su tratamiento al fuego; tal se colige al menos de las singulares denominaciones que recibió dicho óxido, como *lana philosophica* y *nihilum album* (lana filosófica y la nada blanca). El célebre químico Stahl formuló en 1718 la teoría de la formación del latón, diciendo que por la reducción de la calamina se producía primero cinc, que luego entraba en combinación con el cobre; y desde entonces se ocuparon los químicos más especialmente de dicha reducción, que no ofrece dificultad siempre que se cuide de practicarla en vasijas cerradas, á fin de que el oxígeno del aire no convierta el cinc en óxido. Antes de esta época se había traído cinc metálico á Europa desde China (vía de la India), pero tenía escasa importancia como artículo de comercio, dado el corto consumo de semejante metal; este cinc de la India se llamaba *spiauter*, nombre que se oía frecuentemente en Alemania á principios de este siglo, y se ha conservado con una ligera modificación (*spialter*) en los distritos mineros de Aquisgrán y Stolberg; en Inglaterra se llama todavía el cinc en bruto, *spelter*, reservándose allí el nombre *zinc* para el metal refinado ó elaborado.

Al principio se conocía el cinc tan sólo como un metal no maleable, que no se dejaba elaborar bajo el martillo, ni laminar, y que no se podía siquiera doblar con seguridad ni trabajar con la lima. En tales condiciones poco podía esperarse del porvenir industrial de semejante metal; pero desde el principio de nuestro siglo las circunstancias han cambiado de tal modo, que debemos considerar el cinc como uno de los metales más útiles. Lo que primero contribuyó á esto fué el descubrimiento del galvanismo, que colocó al cinc á la cabeza de la serie de excitantes eléctricos, abriéndole un ancho campo de aplicación en los procesos físicos y técnicos basados en el galvanismo. De este puesto no se puede desalojar al cinc, y la importancia que en él ha alcanzado bastaría por sí sola para asegurarle para siempre su carácter de indispensable, aun cuando no sirviera para otra cosa. Una parte considerable del cinc que hoy se produce, se consume en las baterías galvánicas de las estaciones telegráficas, talleres y laboratorios diversos, en las que su existencia metálica se sacrifica para la generación de corrientes eléctricas; además, el cinc desempeña un papel químico en la metalurgia, especialmente en el desplate del plomo, la preparación de sulfato y cloruro de cinc, la generación del hidrógeno, etc.

Prescindiendo de semejantes aplicaciones del cinc, de las que nos ocupamos en otras partes de esta obra, su gran importancia industrial data del año 1805, cuando los ingleses *Hobson* y *Sylvester* descubrieron su propiedad especial de adquirir una ductilidad considerable bajo la influencia de cierta temperatura. Desde el punto de ebullición del agua en adelante, ó sea desde 100 á 150 grados, pero muy especialmente á los 120° centígrados, el cinc pierde su estructura cristalina ú hojosa y se vuelve tan dúctil, que puede martillarse, laminarse y estirarse en forma de alambre; y, una vez estirado de este modo, conserva su ductilidad después de enfriado. Si en este estado se somete á temperaturas más elevadas, el metal se torna otra vez tan quebradizo, que salta en pedazos bajo el martillo y puede ser reducido á polvo.

En vista, pues, de la posibilidad de laminar el cinc, obteniéndolo en forma de planchas delgadas, extendióse de un modo notable su campo de aplicación, mientras que por otra parte su producción y consumo aumentaron mucho desde que se abandonó el antiguo procedimiento de producir el latón, que consistía en fundir minerales de cinc y de cobre juntos, adoptando el método más sencillo de fundir directamente cobre y cinc en estado metálico. A estos usos, es decir, en la forma de planchas laminadas y para la producción del latón, hallábase limitado principalmente el cinc hace unos treinta años, y aun así tenía el metal laminado que luchar por la existencia; no se hacía entonces de tan buena calidad como hoy, pues al doblarlo se rompía con facilidad, y aun en Silesia, el país del cinc, el empleo de las planchas como material de techumbre ganaba poco terreno; los fundidores tenían todavía que aprender, pero no tardaron en perfeccionar sus procedimientos y en obtener un producto cada vez mejor y más dúctil.

El cinc expuesto á la intemperie se muestra en sumo grado durable; es verdad que se cubre pronto con una capa de óxido de color gris; pero esta capa, que se adhiere fuertemente, sirve, cual un barniz, de protección al metal, porque después de formada, la oxidación sucesiva procede con gran lentitud; además, es tan tenaz, que resiste mucho tiempo á la acción de las aguas llovedizas, pues según los experimentos de Pettenkofer, una capa de óxido de la diezmilésima parte de un milímetro de espesor, tarda veintisiete años en ser completamente arrastrada por la lluvia. Con arreglo, pues, á este dato, un tejado de cinc debiera durar muchos siglos, aunque sólo tuviera un grueso de medio milímetro. Semejantes tejados son muy comunes en Francia, Bélgica é Inglaterra, y resultan muy ventajosos durante violentas tempestades; en Alemania cayeron al principio en algún descrédito, merced á imperfecciones y descuidos en su colocación, y aun hoy son menos comunes que en esos otros países. Para que un tejado de cinc no resulte defectuoso, es preciso que las planchas estén colocadas y sujetas de tal manera, que los pequeños movimientos debidos á la dilatación y la contracción del metal bajo la influencia de cambios de temperatura, se efectúen sin impedimento alguno; las planchas no deben clavarse á la armadura, ni tampoco soldarse entre sí, sino sujetarse por medio de grapas ó ganchos especiales, de modo que tengan cierto juego en todas direcciones.

Pero llegó el día en que se buscaron nuevas aplicaciones para el metal de que hablamos; la especulación se apoderó del asunto, y cuando se encontraba un nuevo mercado en el extranjero, ó se vislumbraba algún nuevo modo de utilizar el cinc, subían de repente los precios, para luego bajar cuando las esperanzas resultaban ilusorias. El precio del cinc vacilaba entonces entre 24 y 100 pesetas por cien kilogramos, y hubo de subir hasta 200; hoy que ya se ha calmado esa efervescencia, el precio del cinc laminado sólo suele variar entre 44 y 50 pesetas por cien kilogramos.

Actualmente son bastante numerosas las diversas aplicaciones que tiene el cinc. Además de su empleo en baterías galvánicas y en la fabricación de ciertos preparados químicos, forma parte, con otros metales, de varias aleaciones, siendo la más importante, después del latón y el bronce, el llamado argentán. Hemos referido ya el empleo del cinc laminado en los tejados de edificios; pero sirve además, en esta forma, para hacer los canalones y tubos destinados á alejar las aguas llovedizas de aquéllos, siendo infinitamente mejor al efecto que la hoja de lata; y se utiliza cada vez más para revestimiento de muros, paredes, buhardillas y chimeneas, así como en hacer cornisas, limas, guardapolvos de ventanas, aleros, salidas de humo y un sinnúmero de pequeños adornos arquitectónicos; mientras que dentro de las casas se encuentra en forma de baños, aljofainas, zafras y otros utensilios por el estilo. Debemos advertir en este lugar que el cinc no es bueno para vasijas destinadas á contener alimentos líquidos ó húmedos, incluso el agua potable, en razón de su fácil solubilidad; casi con

todos los ácidos forma fácilmente combinaciones solubles en agua, y como en los líquidos de los alimentos se encuentran con frecuencia ácidos, ó se forma alguno en presencia precisamente del cinc, no es á propósito para los utensilios de cocina; las sustancias que contienen una disolución de cinc tienen un sabor desagradable y causan repugnancia y vómitos. Muchos buques se forran con planchas de cinc, en vez de las de cobre, y actualmente los botes salvavidas que llevan las grandes naves á bordo suelen hacerse por entero de cinc. Por último, el cinc laminado se emplea en la imprenta y el grabado, en la satinación del papel, para muestrarios, inscripciones, etc.; mientras que, en forma de alambre, se recomienda por su baratura, su resistencia á la intemperie y la facilidad con que se suelda. Una aplicación reciente, y que va ganando más terreno cada día, es la que consiste en la fabricación de objetos artísticos de cinc colado; y una cantidad considerable de ese metal se convierte también, al tiempo de producirse, en el llamado blanco de cinc (su óxido), que se emplea en pintura y en medicina.

Estas diversas aplicaciones suponen un consumo cada vez mayor, y de hecho la producción de cinc ha aumentado considerablemente en los últimos veinte años, como demuestra el estado adjunto, relativo al cinc en bruto (toneladas de 1.000 kilogramos), producido en los países europeos en los años que se citan:

	1860	1870	1882
Silesia	40.354	36.518	69.846
Provincia Renana y Westfalia	8.592	18.006	35.546
Bélgica (Sociedad *Vieille Montagne*)	28.925	48.112	48.861
Bélgica (otras fábricas)	9.144	14.476	35.625
España (Real Compañía Asturiana)	1.777	3.048	5.047
Francia	—	—	11.423
Otras procedencias francesas	—	500	—
Inglaterra	6.104	16.000	25.581
Polonia	1.500	3.625	4.544
Austria	1.500	1.000	3.199
TOTAL	97.896	141.285	239.672

La producción de cinc en los Estados Unidos se eleva actualmente á más de 34.000 toneladas al año.

El cinc puro tiene un color gris claro y azulado, ostentando sus superficies frescas un brillo metálico y una estructura cristalino-hojosa. Su peso específico es igual á 7,15 ó 7,3, según que esté sólo fundido ó laminado. Es más duro que la plata, pero menos que el cobre; es agrio y no se deja elaborar bien con la lima; se funde á la temperatura de 412 grados; se enciende en el aire á los 500,

ardiendo con una llama clara y verdosa, y á los 930 grados, según los experimentos de Violle, entra en ebullición y se volatiliza; por esto es susceptible de ser destilado en vasijas herméticamente cerradas. El cinc del comercio contiene generalmente un poco de hierro y plomo, que constituyen sus principales impurezas.

BENEFICIO METALÚRGICO DE LOS MINERALES DE CINC

El mineral cincífero más importante es la *calamina*, ó espato de cinc, que se conocía ya en la antigüedad, llamándose *cadmia*, y es un carbonato natural de dicho metal, del que contiene hasta el 52 por 100. Los más extensos depósitos ó criaderos de calamina se encuentran: de una parte, en las inmediaciones de Aquisgrán, junto á la frontera belga; y de otra, en la Silesia superior y las regiones polacas vecinas. La explotación de los criaderos de cinc en la llamada Montaña Vieja *(Vieille Montagne)*, cerca de Aquisgrán, data de muy antiguo, habiéndose practicado ya probablemente en tiempo de los romanos; la Sociedad anónima del mismo nombre, que la prosigue en la actualidad en gran escala, adquirió las minas en 1837, y produce al año cerca de 40.000 toneladas de mineral, parte en territorio belga, parte en territorio alemán, empleando más de 6.000 operarios. Los inmensos criaderos calaminíferos de Silesia, de los que da una idea nuestra lámina IX, se vienen beneficiando desde fines del siglo pasado, después que un alemán trajera de Inglaterra el secreto de la destilación del cinc, montando la primera fábrica silesiana en Wesollo (1798); pero dichos criaderos son ya menos abundantes, especialmente en mineral de primera calidad, y empiezan á notarse las consecuencias en la producción general del país. Otros depósitos de calamina, menos importantes, del centro de Europa, se encuentran en Stolberg, cerca de Aquisgrán, en Wiesloch (Baden), en Brilon é Iserlohn (Westfalia), Raibl y Bleiberg (Carintia), y otros puntos; los de Wiesloch se explotaban ya en el siglo XI, pero sólo en vista del mineral plomizo que llevan, desechándose la calamina por inútil. En Inglaterra se beneficiaba la calamina á fines del siglo XVII y durante el XVIII; pero este mineral se halla agotado, quedando sólo la blenda. En Francia se encuentra asimismo muy poca calamina; pero España, en cambio, la tiene en cantidades enormes, especialmente en la provincia de Santander, de cuyas minas se extrajeron, en 1866, 28.026 toneladas. La mayor parte de esta cantidad, ó sean 23.109 toneladas, procedieron de las minas de Reocín, Comillas y Udias, que explota desde 1853 la *Real Compañía Asturiana*, beneficiándose metalúrgicamente en las fábricas que la misma posee en Avilés y en Auby (Francia). Además se extrajeron de nuestro suelo, en dicho año, 2.017 toneladas de calamina en la provincia de Oviedo; 3.175, en Murcia; 1.420, en Almería, y otras partidas menores en Vizcaya, Guipuzcoa, Granada y las Baleares, exportándose el producto al extranjero. También se



Explotación de la calamina, cerca de Scharlei (Silesia).

sacan cantidades respetables de calamina en Suecia y la isla de Córcega, y se explotan extensos criaderos del mismo mineral en los Estados Unidos, especialmente en Illinois y Pensilvania.

Otro mineral de cinc, menos abundante que la calamina propiamente dicha, pero que se encuentra casi en todas partes en los mismos criaderos, es la *calamina silicífera*, ó silicato de cinc, de cuyo metal contiene hasta el 53 por 100.

Más común que las combinaciones dichas del óxido de cinc es la que forma naturalmente el metal con azufre, constituyendo el mineral llamado *blenda*, ó sulfuro de cinc. Como primera materia para la producción del metal no tiene tanto valor como la calamina, pero se aprovecha también al efecto, especialmente en los últimos tiempos. La blenda se presenta en gran cantidad en Inglaterra; pero la mayor parte del cinc producido en este país no resulta del beneficio de la blenda, sino de la de calaminas importadas desde España y otras partes. La combinación química de la blenda parece muy á propósito para su beneficio metalúrgico, toda vez que consiste en dos partes de cinc metálico con una parte de azufre; pero los dos elementos son muy difíciles de separar, habiendo que someter el mineral á calcinaciones previas, que antes resultaban incompletas y aumentaban demasiado los gastos. Sin embargo, se han perfeccionado ya los hornos y métodos de tal suerte, que dicha calcinación se efectúa hoy de una manera bastante completa, utilizándose además el ácido sulfuroso que se desprende para la fabricación de ácido sulfúrico, y desde entonces se ha generalizado más el beneficio de la blenda, utilizando, no sólo el mineral que se extrae hoy de los criaderos, sino revolviendo los antiguos escoriales en busca de la blenda, que antes se tiraba por inútil.

En algunas blendas se encuentran dos metales singulares, que antes no llamaron la atención por presentarse en cantidades tan sumamente pequeñas, que sólo pudieron ser descubiertos mediante el análisis espectral. Tales son, el *indio*, que descubrieron Reich y Richter, en 1863, en la blenda de Freiberg, y el *galio*, que descubrió Lecoq de Boisbaudran, en 1875, en la blenda de Pierrefitte, y se presenta también en la negra de Bensberg (Prusia), y en la amarilla de Asturias. Ambos metales sólo ofrecen, hasta el presente, un interés puramente científico: el indio tiene el color y brillo de la plata; es muy blando, se funde á los 76 grados, y arde en el aire con una luz violada y un humo pardusco, convirtiéndose en óxido; su espectro se caracteriza por una raya azul de añil (índigo), y de aquí su nombre. Mientras que el indio conserva su brillo bastante tiempo, aun expuesto al aire húmedo, el galio se oxida pronto, perdiendo el suyo, y se funde hasta al calor natural de la mano, ó sea á los 30 grados; en pequeñas cantidades permanece líquido, como el mercurio, durante semanas enteras; su espectro está caracterizado por dos rayas violadas.

Además de los minerales referidos, utilízanse como primera materia para la producción del cinc las masas oxidadas que se depositan sobre las paredes de

los hornos, en su parte superior, durante el beneficio de las menas de cobre, plomo, hierro, etc., y son producto de la volatilización de minerales cincíferos que se hallan con frecuencia mezclados con dichas menas, aun después de su preparación mecánica.

Antes de proceder al beneficio metalúrgico propiamente dicho de los minerales de cinc, hay que someterlos á cierta preparación. La calamina, así como la calamina silicífera que suele acompañarla, se dejan, por lo general, expuestas algún tiempo á la intemperie, á fin de que se desmoronen, facilicitando así la separación del mineral útil de la ganga; después de separadas á mano las partes más ricas, se prepara mecánicamente la masa restante por medio de tambores clasificadores y cribas. La blenda, que se presenta con frecuencia en los criaderos en compañía de otros minerales metalíferos, se somete también á la preparación mecánica, para separarlo de éstos y de la ganga. En cuanto á la calamina, podría en rigor procederse desde luego á su beneficio, efectuada la preparación referida: mas como contiene ácido carbónico y agua, se somete primero á una quema sencilla en hornos á manera de caleras, á fin de expulsar dichos componentes, que durante la reducción del mineral darían margen á una pérdida de calor, amén de la oxidación de parte del metal ya reducido, que podría suceder en virtud de la acción del ácido carbónico. Además, la calamina silicífera, de suyo más refractaria que la calamina propiamente dicha, se ahueca mediante dicha quema, prestándose mejor á la reducción. Respecto de la blenda, hemos dicho ya que es preciso expulsar el azufre de la manera más completa posible, dejando el metal convertido en óxido, operación que se verifica en hornos de reverbero de construcción ordinaria (fig. 73), después de triturada la blenda, en cuyo caso es necesario revolver de continuo la masa para exponer sucesivamente todas sus partes á la acción oxidante del aire; ó mejor, en un horno especial, inventado recientemente por Hasenclever y Helbig, en el que dicha remoción de la masa pulverizada se verifica de un modo automático, y que además facilita la utilización del ácido sulfuroso en la fabricación del sulfúrico.

El óxido de cinc obtenido por la quema y calcinación de la calamina y la blenda, se beneficia por el procedimiento de la destilación; en cuanto á la blenda, se halla ya en estado de polvo; pero la calamina, que se quema en pedazos irregulares, tiene que ser triturada, después de separados los trozos muy ferruginosos, pues el hierro, que se presenta con frecuencia en dicho mineral, dificulta su beneficio metalúrgico, por cuanto el óxido de hierro ataca las vasijas de destilación, formando con su masa arcillosa una escoria muy fusible. Dicha separación se hace fácilmente, puesto que el hierro presta á la calamina, de suyo blanca, un color más ó menos rójizo.

Para la conversión del óxido cíncico en cinc metálico, se vale el metalurgo, como tratándose de los demás metales, de la acción reductiva del carbón; pero en el caso del cinc el proceso difiere de la reducción ordinaria, en cuanto el

metal no se funde directamente, sino que se evaporiza primero, ó destila, condensándose luego sus vapores en gotas liquídas. La razón de semejante modificación estriba sencillamente en la circunstancia de que la temperatura bajo la cual tiene lugar la reducción del óxido á metal es muy superior al punto de fusión de éste, de modo que es preciso que reine en el horno ese calor elevado con exclusión del aire. El cinc metálico se funde á la temperatura de 400° próximamente; á la incandescencia blanca empieza á hervir y se convierte en vapo-

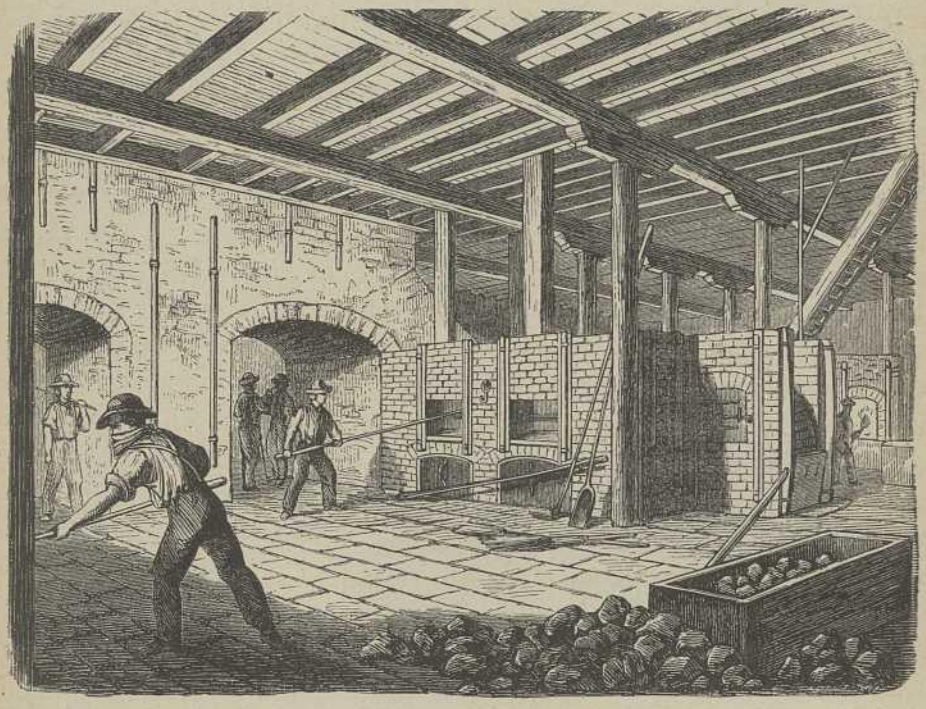


FIG. 73.—Calcinación de los minerales de cinc en hornos de reverbero.

res; si la vasija se halla herméticamente cerrada, pueden éstos ser conducidos á otra más fría, donde se condensan; mas si la operación tiene lugar en presencia de aire, los vapores se encienden y arden con una luz blanca, deslumbradora, convirtiéndose en óxido de cinc, que forma delicados copos blancos, que constituyen, como dijimos anteriormente, lo que antiguamente se llamaba «lana filosófica» ó «la nada blanca.» De semejante comportamiento del metal en presencia de oxígeno se desprende la regla fundamental de que, en el beneficio de los minerales de cinc, hay que evitar que penetre el aire, así como el empleo de fundentes que pudieran desprender oxígeno, pues de lo contrario el metal reducido se volvería á convertir en óxido.

Con arreglo al método de Silesia, se practica la destilación del cinc del siguiente modo: la calamina, preparada de la manera ya expuesta, se mezcla

con igual volumen de cok menudo y se encierra en muflas de arcilla refractaria (fig. 74), que tienen dos metros de largo y están provistas de dos aberturas en su extremidad anterior; por la superior se introduce la mezcla de mineral y cok, ajustando después herméticamente el tubo vuelto de arcilla refractaria, *o;* la abertura inferior, que se cierra mediante una losa, está destinada á la extracción de los residuos de cada destilación. Los hornos en que se verifica esta operación se construían antes para la recepción de dos series de muflas adosadas, con cinc ó seis de éstas en cada serie, como indica la fig. 75, *b b;* pero hoy se emplean hornos con 30 y hasta con 72 muflas, pudiendo beneficiar en los mismos hasta 3.550 kilogramos de mineral diariamente. Inmediatamente sobre las canales *B C*, que atraviesan la parte inferior del horno, se encuentra la parrilla del hogar, en el que se quema hulla, y los gases de esta combustión escapan por las aberturas *o o*. Los tubos vueltos, *b b*, ponen el interior de las muflas en comunicación con los crisoles *z z*. Hallándose las muflas cargadas y el horno caldeado hasta el punto necesario, el cinc se volatiliza, se condensa en los tubos referidos y cae en los crisoles, que se encuentran debajo; al principiar la reducción, los tubos condensadores están tan fríos, que los vapores del cinc se condensan inmediatamente en forma sólida, ó sea en la de polvo metálico; pero luego, al aumentar el calor, cae el cinc en los crisoles en estado líquido, ó sea por gotas.

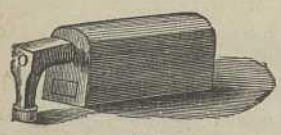


FIG. 74.
Mufla para la destilación del cinc.

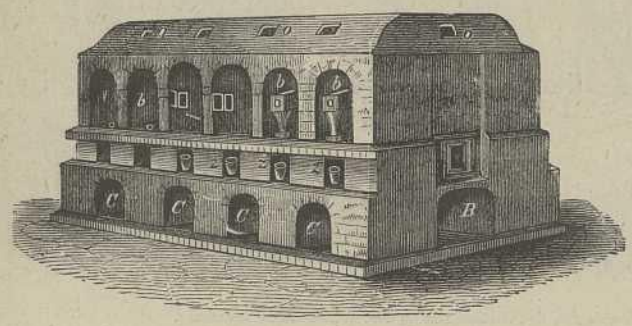


FIG. 75.—Horno para la destilación del cinc.

Terminada la destilación al cabo de veinticuatro horas, se introduce en las muflas una segunda carga de mineral y cok, que se destila á su vez, y luego se repite la operación con una tercera carga. Sólo después de tres destilaciones se destapa el orificio inferior de las muflas para sacar los residuos, que consisten en sílice, procedente de la calamina silicífera, en alúmina, óxidos de hierro y manganeso, una pequeña porción de óxido de cinc, y á veces un poco de óxido de plomo y carbón. Si durante la destilación salta una mufla, al momento se nota, pues los vapores de cinc salen por la grieta y se encienden al contacto con el aire, ardiendo con su llama característica. Pero aun sin semejante accidente, no deja de escaparse algún vapor y formarse algún óxido de cinc en la desembocadura de los tubos condensadores, hasta el punto de cegarla á veces completamente, ó mezclarse con el metal fluido que cae en los crisoles. Dicho

óxido se recoge, naturalmente, agregándose á la siguiente carga de mineral, exceptuando siempre el que se forma al principio de la destilación, y ostenta un color amarillo, porque contiene óxido de cadmio, metal que es objeto de un beneficio especial, como diremos más adelante.

Según el método belga, la reducción de los minerales de cinc no tiene lugar en muflas, sino en tubos cilíndricos de arcilla refractaria, cerrados en su extremidad posterior, que tienen una longitud de metro á metro y medio y unos 18



FIG. 76.—Interior de una fábrica de cinc, en Silesia.

centímetros de diámetro, y están provistos en su extremidad anterior de otro tubo cónico, compuesto de dos partes, en el cual se condensan los vapores y se acumula el cinc metálico. Semejantes vasijas se disponen en el horno ligeramente inclinadas hacia adelante, en series superpuestas y en número de 75 á 150, de modo que estén todos bañados, digámoslo así, por las llamas y los gases de combustión que suben desde el hogar. Exteriormente los hornos de destilación belgas ofrecen el aspecto que reproducimos en la fig. 77.

En Inglaterra se verifica la destilación del cinc en grandes crisoles, con un orificio en su fondo, que, al tiempo de cargarse, se cierra con un tapón de corcho ó madera, mientras que la boca del crisol se cierra herméticamente con una losa y arcilla refractaria. Una vez caldeado el horno, dicho tapón se carbo-

niza, franqueando la salida á los vapores de cinc, que penetran en el tubo condensador, situado debajo, y que se mantiene frío por medio de un chorro de agua, cayendo el cinc metálico en otra vasija al pie del tubo.

Tanto en el método de Silesia como en el belga y el inglés, la calefacción de los hornos se ha verificado hasta aquí con hulla; pero recientemente se ha introducido en las fábricas de cinc el combustible gasiforme, de que hablamos al tratar del hierro, y mediante el cual se obtiene en la destilación de 1 á 2

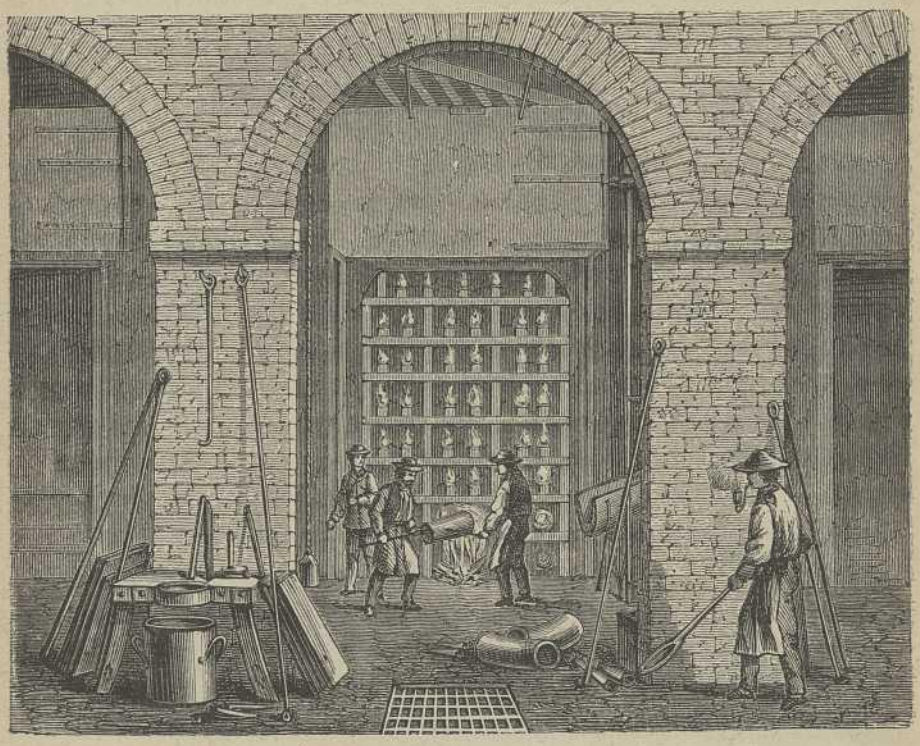


FIG. 77.—Destilación del cinc en Bélgica.

por 100 de cinc más del que se obtenía antes. Esta novedad ha dado lugar á las modificaciones consiguientes en la construcción de los hornos, no perdiéndose de vista, naturalmente, la cuestión tan importante del mayor ahorro posible en combustible, que va á la par con el empleo de aire calentado antes de su introducción en el hogar, para lo cual se utiliza el calor procedente de los mismos hornos.

El cinc fundido resultante de la destilación se vuelve á fundir en crisoles de hierro, con el objeto de purificarlo ó refinarlo. Después se vierte en moldes, produciendo los lingotes del comercio, en cuya forma se emplea en la fundición de objetos artísticos y la fabricación del latón y blanco de cinc; ó bien se pasa por el laminador, formando las planchas de diversos gruesos, cuyas aplicaciones

hemos referido anteriormente. Cien kilogramos de calamina preparada dan unos 48 de cinc fundido, que quedan reducidos por el refino á unos 41 de metal puro; á éstos hay que añadir cuatro kilogramos resultantes de los óxidos recogidos durante la destilación, de modo que se obtiene, en suma, el 45 por 100 del contenido de la carga. Pero los 100 kilogramos de calamina preparada, que corresponden á 150 del mineral en bruto, contienen 68 por 100 de cinc, de por lo que resulta, en último término, una pérdida de consideración, que tiene lugar en parte durante la destilación, y no es posible evitarla del todo por ninguno de los procedimientos de beneficio conocidos.

La destilación de la blenda calcinada, es decir, convertida en óxido de cinc, se verifica de idéntica manera que la de la calamina, practicándose en Inglaterra, Bélgica y Alemania, así como en Achenrein, en el Tirol, Davos, en el cantón suizo de los Grisones, y algunos otros puntos, desde que se vencieron las dificultades anejas á la calcinación de dicho mineral. Pero en los últimos años se ha dado un paso más, pues se ha logrado beneficiar directamente la blenda, destilándola mezclada con cierta proporción de mineral de hierro, ó de hierro colado y de cal, que se asimilan al azufre, haciendo innecesaria la calcinación previa.

El cinc del comercio, aun el laminado más dúctil, contiene siempre pequeñas cantidades de otros elementos. El menos perjudicial, al parecer, es el cadmio, que antes se encontraba en las planchas procedentes de Silesia, hasta en la proporción del 6 por 100, sin que su calidad desmereciera notablemente; pero desde que dicho metal se beneficia y utiliza aparte, aquella proporción se halla reducida á menos del 1 por 100. El metal destinado á la fabricación del blanco de cinc debe hallarse enteramente libre de cadmio, porque el color del óxido de éste perjudicaría naturalmente al producto de que hablamos. El plomo, que casi nunca falta en el cinc, ablanda este metal, haciéndolo menos tenaz; cuando contiene más de medio por ciento de plomo, se abre ó agrieta bajo el laminador, mientras que un cuarto por ciento resulta perjudicial para la producción del latón. El hierro se presenta también generalmente en el cinc, y procede de los crisoles y moldes en que éste se afina y se vierte. Los dos metales raros, indio y galio, que se encuentran en el cinc de determinadas procedencias, no perjudican su calidad, por hallarse en proporción insignificante: el cinc de Freiberg (Sajonia), por ejemplo, sólo contiene, por cada diez mil partes, de tres á cinco de indio. Hace poco se han descubierto en el cinc de Silesia cantidades sumamente pequeñas de plata (de 0,0006 á 0,002 por 100); pero en los cines de la *Vieille Montagne* y de América no se ha encontrado el menor indicio de dicho metal precioso. El carbono tiene una afinidad especial para el cinc, mas no altera, al parecer, sus propiedades físicas en lo más mínimo; sólo resulta perjudicial dicho elemento en un cinc destinado á la generación del gas hidrógeno, porque éste lo disuelve en parte y resulta impuro y de olor desagrada-

ble. Lo mismo puede decirse respecto del arsénico y el antimonio, que suelen presentarse en pequeñas cantidades en el cinc procedente de la destilación de la blenda, no habiendo sido expulsados completamente durante la calcinación de ésta.

El cinc puede contener también, como impureza, su propio óxido, cuando su refundición ó afino se ha practicado á una temperatura demasiado elevada. Semejante metal se llama cinc quemado, y no sirve para la fundición de objetos ni para otro uso cualquiera; no se puede aprovechar siquiera fundiéndolo con cinc puro, pues es mayor el perjuicio que la ventaja. El cinc correspondiente al segundo tercio de la destilación es más libre de materias extrañas que el que se produce al principio y al fin de dicha operación; de modo que se puede obtener el metal relativamente puro, recogiendo el producto del tercio intermedio, aparte del de los tercios inicial y final; mas si se quiere un cinc muy puro, para fines químicos ó técnicos especiales, es preciso someter el metal ordinario al afino propiamente dicho. Consiste éste esencialmente en granular el cinc, vertiéndolo fundido en agua fría, con lo cual se obtiene en forma de perdigones, y luego en fundirlo ó destilarlo en crisoles herméticamente cerrados, después de mezclado con la cuarta parte de nitro, en cuya operación se consume el carbono contenido en el cinc, mientras que el arsénico y otros metales extraños se oxidan y combinan con la escoria.

La elaboración del cinc en forma de planchas tiene lugar en laminadores de la construcción ordinaria, es decir, como los en que se forman las planchas de hierro; pero es necesario primero verter el cinc fundido de modo que se obtengan planchas de poco grueso, de unos 35 centímetros de largo por 22 de ancho. Hay que poner especial cuidado en mantener el cinc, durante su laminación, á la temperatura precisa para que resulte dúctil, que es la de 100 á 150 grados; para ello se tiene siempre á mano un horno, en el cual, y durante dicha operación, se calienta cada plancha repetidas veces hasta el punto deseado, esto es, hasta que una gota de agua, que se deja caer sobre su superficie, éntre en ebullición y se evapore. En vez del horno referido se emplea tambien una disolución de sal común en agua que se mantiene en ebullición y en la cual se sumergen las planchas. También se adoptan medios para mantener los cilindros del laminador á una temperatura constante de 100 grados, siendo el más sencillo el que consiste en calentarlos interiormente mediante vapor de agua. Cuando las planchas han adquirido cierta delgadez, se acaba de laminarlas en paquetes, ó sea pasando varias de ellas juntas.

FABRICACIÓN DE OBJETOS DE CINC FUNDIDO

Hemos dicho que la importancia del cinc ha subido de punto, de algunos años á esta parte, merced á su aplicación á la fundición de objetos artísticos, y nos proponemos ahora entrar en algunas consideraciones acerca de esta nueva industria.

El cinc se puede verter perfectamente en moldes á una temperatura inferior á la incandescencia roja, en cuyo caso reproduce las formas de aquéllos hasta en los menores detalles, de modo que el objeto fundido apenas necesita retoque alguno. Pero el cinc, empleado de esta manera, se muestra agrio en grado sumo, y, por consiguiente, sólo es aplicable á objetos que no tienen que sufrir golpe ó esfuerzo alguno, como estatuas y figuras artísticas, adornos arquitectónicos y cosas semejantes. En las últimas Exposiciones universales se ha mostrado ya, la industria á que nos referimos, con un desarrollo muy notable, y la baratura de sus productos, comparados con los de bronce y aun con los de hierro, es un factor que tiende, naturalmente, á aumentar cada vez más su popularidad.

La fundición de objetos de cinc se verifica en moldes de arena, y no difiere esencialmente de la del hierro, salvo que resulta mucho más fácil que ésta: primero, en vista del punto de fusión tan bajo del cinc; y segundo, en atención á que este metal se deja soldar, lo que permite fundir separadamente diferentes piezas para luego unirlas, cosa imposible con el hierro colado. Por ejemplo, mientras que las estatuítas, los candelabros y otros objetos huecos de hierro tienen que ser fundidos enteros con un alma, se pueden producir en cinc en piezas separadas que después se sueldan, ahorrando así mucho tiempo y trabajo en la preparación de los moldes. Los objetos planos, en cambio, se funden en cinc enteramente lo mismo que en hierro.

Entre la fundición de hierro y la de cinc existe esta diferencia: que en la segunda casi nunca se emplean moldes con alma, la cual no es compatible con la fuerte contracción del cinc al tiempo de enfriarse; el metal se abriría ó partiría sobre un alma fija y sólida. En algunos casos se emplea un alma de masa de arena, atravesada en su centro por una varilla de madera que se retira inmediatamente después de vertido el metal en el molde; de este modo el alma queda hueca, gracias á lo cual y á la naturaleza de la arena, cede bajo la presión de la contracción. Pero tratándose de objetos huecos de cinc que se funden enteros, es mucho más común el procedimiento seguido por los fundidores de estaño y los moldeadores de yeso, ó sea la llamada *decantación*, que consiste en llenar completamente el molde con el metal fundido, cual si se tratara de obtener un objeto macizo, y acto continuo invertirlo, esto es, volverlo hacia abajo; el metal, todavía líquido, se vierte, quedando sólo el que se ha consolidado ya en virtud de su con-

tacto con las paredes relativamente frías del molde, de modo que resulta un objeto hueco; cuanto más pronto se decanta, tanto más delgada resulta la capa de cinc que constituye el objeto en cuestión, que puede reducirse hasta el grueso de un par de milímetros. En la fundición del cinc es preciso calentar los moldes hasta cierto punto, á fin de que el enfriamiento del metal no sea demasiado rápido. La fusión del cinc tiene lugar en crisoles de grafito que se caldean en un horno parecido al que emplea el fundidor de latón. La soldadura de las piezas de cinc fundido se verifica con estaño y plomo.

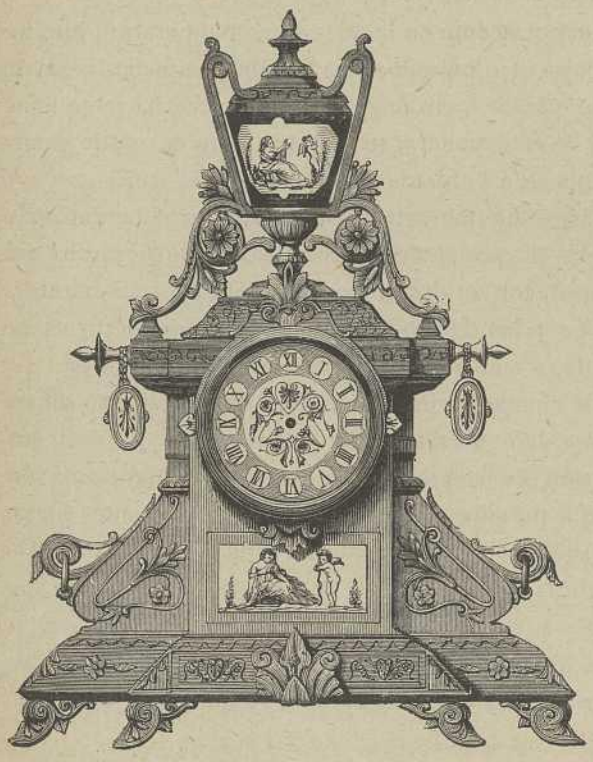


FIG. 78.—Reloj de mesa, con caja de bronce de cinc.

Con cinc fundido se hacen hoy muchos adornos arquitectónicos, y á veces cornisas enteras de edificios; por ejemplo, la cornisa superior del edificio principal de la Universidad de Berlín, que tiene un metro de saliente, es de fundición de cinc. Asimismo, casi todas las decoraciones de las fuentes del parque de Postdam están hechas con dicho material, entre otras el célebre grupo de ranas de Kahle, en grandes dimensiones; el águila que corona el palacio imperial de Berlín, y que mide nueve metros entre las extremidades de sus alas abiertas, es también de cinc fundido, no habiendo costado más de 3.750 pesetas. Además, se emplea hoy el cinc fundido en la fabricación de proyectiles de artillería, como la metralla, revistiéndose con él los granates, etc.

Las estatuas, monumentos y objetos parecidos de cinc, se revisten frecuentemente con bronce, á fin de aumentar su duración y mejorar su aspecto. Es verdad que se conservan bien sin semejante revestimiento, cubriéndose bajo la influencia de la atmósfera con una delgada capa de óxido; pero el color gris de ésta no agrada tanto á la vista como el bronce. También pueden pintarse ó barnizarse los objetos de cinc fundido, y tratándose de estatuas, suelen pintarse de blanco, imitando el mármol; pero, generalmente hablando, estos medios no son recomendables, pues la pintura, al contrario de lo que sucede con el

hierro, se adhiere muy imperfectamente á la superficie del cinc; parece que tiene lugar alguna acción química entre este metal y el aceite, á causa de la cual la pintura se grietea en todos sentidos y se desprende pronto en pequeñas hojas. Este inconveniente se trata de obviar preparando previamente la superficie del cinc con ácidos y otros mordientes, ó bien sometiéndola á la galvanización; pero poco se adelanta por semejantes medios, y los artistas se muestran contrarios á la pintura, porque influye desfavorablemente sobre los contornos de sus obras. Mucho se habría ganado si se consiguiera, por algún medio químico, disponer el cinc de modo que su superficie se transformara en una capa de su propio óxido *blanco*, siempre que las junturas soldadas tomasen idéntico color; la Sociedad Berlinesa para el fomento de la industria ha ofrecido hace ya años un premio para la solución de dicho problema; pero la pelota, como suele decirse, sigue en el tejado, á pesar de los esfuerzos hechos.

En París ha alcanzado gran perfeccionamiento la fabricación de objetos de cinc bronceado, ó de bronce de cinc, como se dice para distinguir el material del bronce verdadero. Es verdad que para el perito y el ojo artísticamente educado semejantes objetos desmerecen bastante al lado de los de bronce propiamente dicho; pero satisfacen al público en general, y tienen la inmensa ventaja de que su módico precio los pone al alcance de todas las fortunas. El bronce de cinc se emplea más especialmente en la fabricación de cajas de relojes de mesa (fig. 78), candelabros, estatuítas y objetos análogos, y desde la Exposición parisiense de 1869 ha tomado también esta industria un incremento notable en Alemania, donde tanto se va desarrollando nuevamente al gusto artístico.

FABRICACIÓN DEL BLANCO DE CINC

Una parte considerable del cinc que se produce se vuelve á convertir en óxido, esto es, en el llamado blanco de cinc del comercio; y como la operación constituye un procedimiento metalúrgico, hemos de dedicarle algunos párrafos en este capítulo.

Durante mucho tiempo sólo se ha empleado el óxido de cinc en medicina, llamándole «lana filosófica» los doctores; y si bien en el siglo pasado propusieron algunos químicos franceses y alemanes utilizarlo en lugar del albayalde ó blanco de plomo, tan venenoso, tardó bastante en ganar terreno semejante aplicación, sin duda porque el material era todavía demasiado caro. El pintor *Leclaire*, de París, cuya salud se había quebrantado bastante en las fábricas de albayalde, fué el primero en ocuparse seriamente del asunto, y consiguió preparar el óxido de cinc en gran cantidad y tan barato, que pudo entrar en competencia con aquel producto. La Sociedad de la *Vieille Montagne* se encargó entonces del desarrollo de la nueva industria, fundando grandes fábricas en Bélgica, Francia y Ale-

mania, y contribuyó no poco á perfeccionar el procedimiento y á generalizar el empleo del consabido blanco de cinc; de modo que, siguiendo el ejemplo otros fundidores en los países del Rhin y en Silesia, pronto alcanzó la producción proporciones enormes, ascendiendo actualmente á miles y miles de toneladas al año. Pero lo singular del caso es que, lejos de haber muerto la industria del albayalde, no han disminuido en lo más mínimo la producción y el consumo de esta materia.

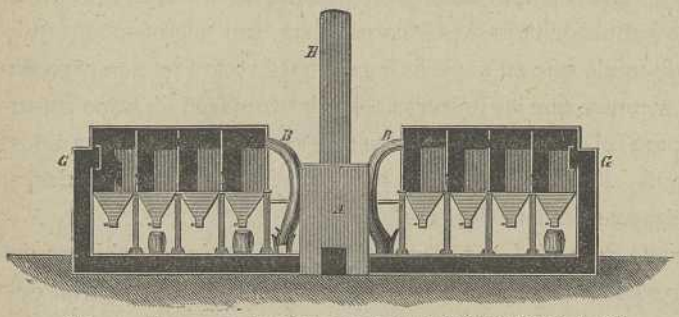


FIG. 79.—Horno y condensadores para la producción del blanco de cinc.

La preparación del blanco de cinc tiene lugar por la vía seca ó ígnea, mediante la combustión de los vapores de cinc, ó bien por la vía húmeda, en combinación con la seca, por cuanto el producto, en este caso, tiene que ser sometido á la incandescencia. Aunque la preparación por la vía húmeda es poco común, se recomienda en todos los casos en que se dispone de disoluciones de cloruro ó sulfato de cinc que no encuentran mejor empleo. Entre los diferentes procedimientos ideados, el mejor es el que se practica en las fábricas de la *Vieille Montagne:* la disolución de cinc se trata con un exceso de amoniaco, de modo que el óxido de cinc, precipitado al principio, se vuelve á disolver, mientras que los precipitados de óxidos de hierro y manganeso quedan intactos y se separan por deposición ó filtración; entonces el exceso de amoniaco se aleja por medio del vapor de agua, recogiéndose y empleándose nuevamente; el óxido hidratado de cinc vuelve á precipitarse, y sólo resta filtrarlo, secarlo y someterlo á una temperatura elevada para expulsar su agua de combinación.

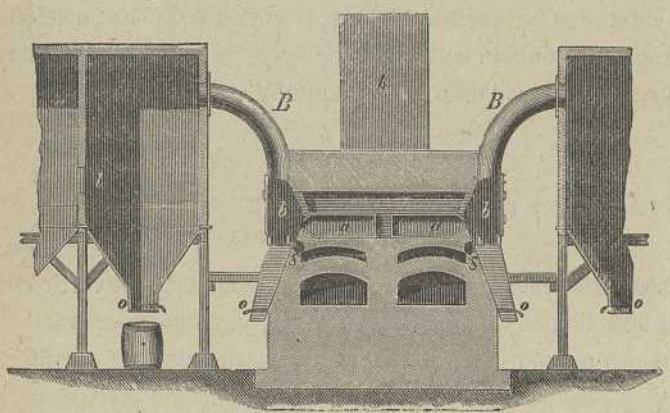


FIG. 80.—Sección transversal del horno para producir blanco de cinc.

La preparación por la vía seca es mucho más sencilla, fundándose en la combustión de los vapores del cinc en presencia del aire, que se introduce en el horno en la cantidad necesaria. La fig. 79 reproduce una vista exterior de este horno, y la 80 su sección transversal, en medio de dos series de cámaras desti-

nadas á la deposición del óxido. El horno contiene dos series adosadas de muflas ó retortas de arcilla que desembocan hacia el exterior (fig. 80, *aa*); delante de cada boca se encuentra una caja, *b*, con una puerta, que sólo se abre para introducir en la retorta una nueva porción de cinc; desde dicha caja parte un ancho tubo, *B*, que conduce el óxido, ó flores de cinc como suele decirse, á la primera cámara de condensación; desde la parte inferior de la caja desciende también un tubo cerrado abajo por medio de una plancha, *o*, y sirve para recoger las partículas de óxido que no resultan arrastradas hacia arriba por el tiro. El cinc se funde en las retortas, y la combustión de sus vapores tiene lugar en las cajas, *b b*, á cuyo interior llega el aire, previamente calentado, por los canales *S*, inmediatamente debajo de las bocas de las retortas.

Una vez encendido el horno y caldeadas las retortas, el trabajo es de los más sencillos, pues se reduce á introducir en éstas los lingotes de cinc á medida que se van consumiendo. El metal se funde pronto, entrando en ebullición; los vapores escapan por la boca, entran en contacto con el aire caliente en las cajas referidas, y se convierten en el acto en óxido. Merced al tiro que rige á través de todo el sistema, los copos de óxido llegan á la primera cámara de condensación, que es de hierro, en atención al calor del horno; las demás cámaras son de madera, ó bien de lienzo basto clavado sobre bastidores. En la primera cámara se depositan las partículas más pesadas, tanto en las paredes como sobre el fondo embudiforme; merced á las impurezas del cinc, este primer producto resulta más bien de color gris que blanco, y se vende, por lo mismo, á bajo precio, ó se purifica. Lo que no se deposita en la primera cámara pasa por una abertura (fig. 80, *b*) en la pared divisoria á la segunda, y así sucesivamente, de modo que en la última cámara se deposita el producto más fino. Todas las cámaras están dispuestas de manera que puedan ser vaciadas por su fondo. Desde la última de cada serie parten canales para el aire (fig. 80, *G G*), cuya entrada está protegida por un tamiz de gasa, á fin de que no pase el óxido, y pasando por debajo del piso van á desembocar al pie de la chimenea del horno; de este modo se promueve el tiro necesario á través de las cámaras, á cuyo efecto dicha chimenea tiene que ser muy alta, á menos que se prefiera activar la circulación por medio de un ventilador ó un aparato análogo.

El producto de las cámaras que resulta, como hemos dicho, de diferentes calidades, se somete generalmente á una levigación, obteniéndose un número de clases de blanco aun mayor, y, en caso necesario, se hermosea mediante un lavado químico. Las partículas de óxidos de plomo y cadmio, metales que generalmente acompañan al cinc, prestan al blanco un matiz más ó menos amarillento, color que desaparece lavando el producto con ácido acético ó sulfúrico diluídos, ó bien con la disolución de algún carbonato. A consecuencia de estas operaciones, el blanco de cinc no se presenta siempre en el mercado en forma de «flores», sino en la de polvo blando que, de dejarse expuesto al aire, puede

endurecerse, tal vez en virtud del ácido carbónico de la atmósfera que absorbe.

Respecto del valor del blanco del cinc como sustituto del albayalde, he aquí los resultados de la experiencia. Aun cuando el óxido de cinc se halla comprendido en la categoría de los venenos, no es tan peligroso como el carbonato de plomo. Comparado con éste, ofrece la gran ventaja de no volverse negro bajo la acción del hidrógeno sulfurado, mientras que la pintura del albayalde toma un color gris ó pardo cuando le alcanzan los gases de las alcantarillas, por poca que sea su cantidad. El empleo del blanco de cinc no resulta más caro que el del albayalde, sino más bien algo más barato; es verdad que para cubrir bien las superficies que se pintan es necesario dar cinco manos de blanco de cinc por tres de albayalde; pero merced á su mayor ligereza, se adelanta más con el primero, pues con un kilogramo de blanco de cinc se cubre la misma superficie que con kilogramo y cuarto de albayalde; mientras que como compensación del trabajo mayor que suponen las cinco manos, se ahorra con el cinc la operación previa, tan molesta, de frotar las superficies, que es precisa con el plomo. La pintura de cinc se vuelve muy dura, siendo susceptible de un hermoso pulimento, razón por la cual es superior á la del plomo para trabajos de laca.

Entre los residuos ó productos secundarios resultantes de la destilación del cinc, el llamado *polvo de cinc* constituye, desde algún tiempo, un artículo de comercio; consiste en cinc metálico en polvo impalpable, mezclado con un poco de óxido del mismo metal, y se produce al principio de la destilación, cuando los tubos condensados están todavía relativamente fríos. En esta forma la afinidad del metal para el oxígeno es tal, que el polvo obra como un modo de reducción de los más poderosos, encontrando aplicación en este sentido en diferentes procesos químicos; por ejemplo, en la preparación de colores procedentes del alquitrán.

Respecto de las numerosas aplicaciones del cinc en forma de vitriolo, cloruro, y como componente de muchas aleaciones (latón, metal blanco, etc.), reservamos nuestras consideraciones para otros artículos de esta obra.

CADMIO

Hablando más arriba de las materias extrañas que contienen los minerales de cinc, y por ende el metal mismo, mencionamos el cadmio, que es en cierto modo, el hermano del cinc, acompañándolo tanto en la calamina como en la blenda. Donde abunda más es en la calamina de Silesia, que contiene hasta más de 5 por 100 de cadmio; en todos los minerales de otras procedencias, dicho contenido se reduce al 2, al 1 ó á menos por 100. Por esto la producción del cadmio sólo tiene cuenta en Silesia; y aun allí, y á pesar del elevado precio de dicho metal (actualmente unas 14 pesetas por kilogramo), algunos fundidores

prefieren vender el polvo de cinc á extraer de él el cadmio, en vista de la prolijidad del procedimiento.

El cadmio se descubrió el año 1818, casi simultáneamente por *Stromeyer*, en Hannover, y *Hermann*, en Schönebeck, reconociéndolo ambos como un metal especial. Respecto de sus propiedades, ocupa un puesto intermedio entre el estaño y el cinc; es más duro que estos metales y apenas se deja cortar, pero, en cambio, es muy dúctil y maleable. Se presenta generalmente en el mercado en forma de varillas redondas, de 19 centímetros de largo por uno de diámetro, para doblar las cuales se necesita hacer un gran esfuerzo, mientras que varillas de estaño de las mismas dimensiones se doblan fácilmente, y las de cinc se rompen al momento cuando se trata de doblarlas. El cadmio tiene un hermoso brillo metálico blanco, que se conserva mucho tiempo en aire seco, empañándose el metal y tomando un color gris azulado bajo la influencia del aire húmedo.

Por regla general, el metal se obtiene en las fábricas de cinc mediante la destilación, pues su extracción por la vía húmeda es un proceso más prolijo. El beneficio por la vía seca se funda en la circunstancia de que el cadmio, que se encuentra en el llamado polvo de cinc, se volatiliza en forma de vapores pardo-amarillos, á una temperatura bajo la cual sólo el cinc empieza á fundirse, pero no se convierte todavía en vapor. Por esto los vapores de cadmio constituyen el primer producto de toda destilación de cinc, siempre que dicho metal se halla presente en el mineral que se beneficia, y se depositan en compañía de polvo y óxido de cinc en los tubos condensadores de las retortas. Esta mezcla pulverulenta constituye, pues, la primera materia para obtener el cadmio, á cuyo efecto se revuelve con carbón y se somete á la destilación en pequeñas retortas de hierro, cuidando de no elevar demasiado la temperatura, á fin de que no se evapore el cinc; los vapores de cadmio se condensan en el tubo de la retorta, pasando primero al estado líquido y luego solidificándose. Pero el metal siempre contiene algún cinc, por cuya razón es preciso destilarlo repetidas veces, hasta obtenerlo relativamente puro; el cadmio, por completo libre de cinc, sólo puede obtenerse por la vía húmeda.

Esto se verifica disolviendo en un ácido el polvo de cinc, ó bien la calamina cruda, y tratando la disolución con hidrógeno sulfurado. No se precipita sulfuro de cinc alguno, sino solamente el sulfuro de cadmio, y fué precisamente este precipitado el que condujo á los químicos referidos al descubrimiento del nuevo metal. Este sulfuro amarillo se separa del líquido y se descompone por medio de ácido clorhídrico concentrado, obteniéndose así una disolución de cloruro de cadmio, de la que, y mediante un carbonato alcalino, se precipita el metal en forma de carbonato. Tal precipitado se seca y caldea para expulsar el ácido carbónico, y el óxido de cadmio puro que resulta se mezcla con carbón y se destila de la manera arriba descrita, para convertirlo en cadmio metálico. La

producción total de cadmio en Alemania apenas excede de 3.000 kilogramos al año.

El cadmio se emplea principalmente, no en forma metálica, sino en la de sus combinaciones con azufre, bromo y yodo. El sulfuro de cadmio constituye un pigmento de un amarillo hermosísimo y muy duradero, que los pintores llaman «amarillo brillante», y que aprecian mucho. Se emplea además en el tinte de la seda, así como para dar color á los jabones finos que se llaman comúnmente jabones de miel; á este fin, se mezcla el pigmento primero con aceite, revolviéndose luego con la masa caliente de jabón. En la preparación del sulfuro de cadmio para la pintura, es preciso disolver el metal puro en un ácido y tratar la disolución con hidrógeno sulfurado; toda impureza hace desmerecer la hermosura del color, pues la mayor parte de los precipitados de sales producidos por dicho gas tienen un color negro ó pardusco, de modo que los indicios más leves de los mismos resultan perjudiciales. El yoduro y el bromuro de cadmio se prefieren por los fotógrafos á otras combinaciones de yodo y bromo, en vista de su constancia, su fácil disolución en alcohol y éter, y porque no prestan color alguno al colodio. El sulfato de cadmio, que forma una sal blanca, y cristalina, sólo se emplea raramente en medicina (enfermedades de la vista).

Con ciertos metales, especialmente con oro, cobre y platino, el cadmio, á pesar de su blandura y ductibilidad, sólo forma aleaciones duras y muy agrias; en cambio produce otras dúctiles y maleables con plomo, estaño y plata. Pero una de sus propiedades especiales consiste en formar con determinados metales aleaciones más fácilmente fusibles aún que las que pueden obtenerse con bismuto; por ejemplo, por la fusión, en proporciones adecuadas, de bismuto, plomo y estaño, se obtienen aleaciones cuyo punto de licuación baja hasta 91°,7; mientras que si se emplea cadmio puede reducirse dicho punto de fusión hasta los 60 grados. Una aleación compuesta de 8 partes de plomo, 15 de bismuto, 4 de estaño y 3 de cadmio se funde á la baja temperatura de 60 grados, formando siempre, después de su enfriamiento, un metal sólido, dúctil, maleable y capaz de limarse. Esta fusibilidad tan fácil es un fenómeno bastante frecuente con aleaciones, pero que todavía no se ha explicado satisfactoriamente; entretanto, no hay para qué decir que una masa metálica que se funde más pronto aún que el lacre, es de suma utilidad para los galvanoplastas, grabadores, dentistas y otros.

COBALTO Y NÍQUEL

Estos dos metales son parientes próximos, y por la igualdad de sus afinidades, amigos muy íntimos; ambos tuvieron la desgracia, como indican sus nombres, de ser mirados durante mucho tiempo con desprecio; pero al fin hicieron valer sus méritos y han acabado por hacer carreras brillantes. Al principio, y merced á sus dotes especiales, emprendieron derroteros distintos: el cobalto, renegando de su naturaleza metálica, no se dió á conocer más que en el terreno de la química de los colores, y sólo en tiempos muy recientes ha empezado á llamar hacia sí la atención en el campo de la metalurgia; el níquel, en cambio, ocupó desde luego en este campo un puesto importante, acabando por elevarse á la categoría de metal de moneda, después de haberse hecho valer en forma de metal blanco, una de las aleaciones más útiles y apreciadas.

Ante todo, es digno de notarse el hecho de que el cobalto y el níquel se presentan casi siempre juntos en la Naturaleza, y combinados frecuentemente con arsénico ó azufre; aun cuando se les ha separado de estos y parecidos acompañantes, mediante el fuego ó los medios químicos, los dos metales quedan unidos tan estrechamente, que con dificultad se logra su separación. En los minerales de níquel se encuentra más ó menos cobalto, y viceversa, en los de éste se halla en proporción mayor ó menor el níquel, sucediendo en algunos que ambos metales se igualan; por esta razón el tratamiento metalúrgico de los dos es esencialmente el mismo. Dijimos más arriba que los nombres de los dos metales llevan en sí la expresión del desprecio en que antes se tenían; en efecto, dichos nombres se derivan de los alemanes *Kobalt* y *Nickel*, que tienen su origen en términos despreciativos: *Kobalt* es una ligera modificación de *Kobold*, nombre antiguo de un supuesto espíritu ó genio travieso que habitaba las entrañas de la tierra, y que los mineros alemanes solían aplicar á todos los minerales que no daban metal y olían á azufre y arsénico; mientras que *Nickel* es una voz alemana que se emplea todavía en el lenguaje ordinario para designar una persona asquerosa y repugnante. Estos nombres, por lo que se refiere á los metales de que tratamos, han perdido ya naturalmente su prístina significación, pues lejos de despreciarse el cobalto y el níquel, son tenidos en mucha estima.

El cobalto se utilizó mucho antes que el níquel, si bien, como ya dijimos, no en forma de metal, que no se conocía, sino en vista de la propiedad de su óxido de prestar á las pastas de vidrio un hermoso color azul, propiedad que todavía constituye hoy la base de su empleo principal, ora en la fabricación de vidrios de color, ora en la del esmalte. En algunos vidrios de un hermoso azul oscuro y de origen egipcio antiguo, ha demostrado Brogniart la presencia del

óxido de cobalto como materia colorante, y en Pompeya se han descubierto muchos fragmentos de vasos, así como vasos enteros, que ostentan el color característico de dicho óxido. Es evidente, pues, que en la antigüedad se sabía distinguir los minerales de cobalto, aplicándolos á determinados usos técnicos, y es fácil comprender que semejante aplicación se propagara, dada la hermosura del color en cuestión. En efecto, el cobalto halló aplicación, como materia colorante, tanto á los esmaltes bizantinos como á la cerámica de los árabes y los persas, allá en los primeros siglos de nuestra Era, y también las porcelanas más antiguas de China ostentan el color del cobalto; de modo que no debe atribuirse al siglo XVI, como algunos pretenden, el descubrimiento de aquella propiedad colorante.

Según se refiere, se puso de manifiesto esa propiedad casualmente en el año 1550, al echar un vidriero sajón, llamado Cristobal Schuerer, en un crisol lleno de vidrio fundido, un pedazo del mineral de cobalto que había encontrado, no teniendo él otro móvil que la curiosidad de ver lo que sucedería. Este cuento, si es que tiene fundamento serio, debe referirse sin duda al pigmento que se prepara con vidrio de cobalto, y que por entonces se obtenía probablemente de la misma manera. Dícese además que Schuerer vendió el secreto de su descubrimiento á los ingleses, que entonces establecieron fábricas de dicho pigmento, trayéndose el mineral necesario de Sajonia, en cuyo país era relativamente común. Poco tiempo después se montaron semejantes fábricas en Bohemia; pero tanto éstas como las inglesas tuvieron que paralizarse cuando el príncipe Juan Jorge prohibió la exportación de los minerales de cobalto de Sajonia, y él mismo fundó fábricas de pigmento azul, que existen todavía en Schneeberg; desde entonces, y durante largo tiempo, todo el azul de cobalto que se consumía en Europa procedió de Sajonia, en cuyo país se guardó rigurosamente el secreto de la fabricación. Los holandeses tomaron parte en la industria, comprando el azul de Sajonia, refinándolo aún más, y vendiéndolo con otro nombre.

En el año 1733 el químico sueco *Brandt* descubrió el metal cobalto, base de los minerales que se utilizaban para la preparación del pigmento de que hablamos, y con esto se enriqueció la ciencia con un hecho más, del que sólo recientemente ha empezado á sacar partido la técnica, después que en 1879 *Fleitmann* logró privar al cobalto de su bronquedad, añadiéndole durante su fusión un 0,1 por ciento de magnesio metálico. El cobalto obtenido de esta manera es muy dúctil y maleable en caliente, y puede laminarse en forma de planchas delgadas; en frío tiene dicho metal muy poca ductilidad, pero una dureza muy pronunciada; posee un brillo notable, es casi tan blanco como la plata, toma un buen pulimento y no se altera por las influencias atmosféricas. A la incandescencia blanca se dejan pegar entre sí las planchas de cobalto con las de hierro y acero; y las de hierro revestidas así de cobalto en ambas caras, pueden laminarse hasta la mayor delgadez, sin afectar la cohesión entre los dos

metales. El cobalto metálico se produce actualmente en las fábricas de Pfannenstiel, cerca de Aue, en Sajonia, y de Iserlohn, en Westfalia.

LOS MINERALES DE COBALTO Y SU BENEFICIO

Los principales minerales de cobalto son: el arseniuro, que se llama *esmaltina*, y se compone de cobalto (28 por 100) y arsénico, si bien dicho metal suele hallarse sustituido en parte por níquel y hierro; se presenta con cierta abundancia en diferentes criaderos de Sajonia, acompañando minerales de plata, bismuto y cobre, y se encuentra además en Bohemia, Turingia, Hessen, Estiria, España (Cangas de Onís, Espluga de Francolí y Darnius), Inglaterra y los Estados Unidos. La *cobaltina*, ó cobalto brillante, es un compuesto de sulfuro y arseniuro de dicho metal, que contiene 35 por 100, próximamente, del mismo, y se encuentra en especial en Suecia (Tunaberg), Noruega y también en Cornwall y Aragón. El llamado *asbolán*, ó cobalto térreo negro, es esencialmente una mezcla de los óxidos de manganeso y cobalto, con unos 30 por 100 de este metal. Además se presenta en pequeñas cantidades como producto de la descomposición de la esmaltina, la llamada *eritrina*, ó sea un arseniato hidratado de cobalto. De estos minerales, los más comunes y que más se benefician son la cobaltina y la esmaltina. También ciertos minerales de manganeso suelen contener pequeñas cantidades de cobalto y níquel.

El primer tratamiento á que se someten los minerales de cobalto, después de separarlos lo mejor posible de las gangas y minerales metalíferos extraños por medio de la preparación mecánica, consiste siempre en una calcinación bien entendida, pues es preciso, ante todo, eliminar en gran parte el arsénico, y tratándose de la cobaltina, el arsénico y el azufre. Ambos escapan en forma de vapores ácidos: el ácido arsenioso se conduce á cámaras ó torres construídas al efecto, y en las que se condensa, depositándose en forma de un polvo blanco, tan conocido y temido por sus propiedades sumamente venenosas. De aquí la denominación vulgar de «fábricas de veneno,» aplicada por el pueblo sajón á los establecimientos metalúrgicos que benefician semejantes minerales arseniosos. Dicho polvo, que se deposita en grandes cantidades, se aprovecha, en su mayor parte, en la fabricación del vidrio de cobalto ó esmalte, desempeñando en ésta la función de un medio de purificación y separación, como veremos más adelante.

El producto de la calcinación consistiría, si fuera puro, en óxido de cobalto, es decir, la materia colorante de que hablamos más arriba, que podría emplearse desde luego en la preparación del vidrio azul. Mas como la naturaleza de las menas es muy diversa, dicho producto resulta ser una mezcla, más ó menos complicada, de óxidos y sales, conteniendo, además del protóxido ó peróxido de cobalto, níquel, cobre, hierro y bismuto, en parte oxidados, en parte for-

mando sulfatos y arseniatos, sin hablar de los sulfuros y arseniuros que se han sustraído á los efectos de la calcinación. El hecho de que, á pesar de la impureza de semejante mezcla, se logra obtener un esmalte puro, se debe á la acción del arsénico y el azufre, que explicaremos pronto; por esto hay que cuidar precisamente de no prolongar la calcinación demasiado, á fin de no expulsar todo el arsénico y el azufre de los minerales, y conviene generalmente, para mayor seguridad, agregar arsénico al producto calcinado antes de proceder á su fusión; otra razón muy poderosa de evitar la calcinación completa, es la necesidad de impedir que se oxide también el níquel. Si la calcinación se llevara hasta el extremo, el producto contendría todos los metales extraños arriba mencionados, en forma de óxidos, que, por lo mismo que cada uno presta al vidrio un color propio, perjudicarían naturalmente el del cobalto. El más desfavorable en este sentido es el óxido de níquel, que tiende á convertir el azul puro del cobalto en un violeta desagradable á la vista; el que menos perjuicio ocasiona es el óxido de hierro que no se teme tanto, en particular tratándose de los productos inferiores de la fabricación.

Se encamina esta á obtener tres productos distintos: el *óxido* de cobalto, el llamado *saflor* y el *esmalte* ó *esmaltín*. Los minerales de cobalto constituyen, calcinados, como hemos dicho, un óxido impuro, para purificar el cual sería necesario disolverlo en ácidos y separar los diversos componentes por medios ó reactivos químicos; pero en las fábricas sajonas sólo se practica esto en casos excepcionales, empleándose generalmente en la preparación del óxido de cobalto el llamado *spais* de níquel, como diremos más adelante, y que siempre contiene cierta cantidad de cobalto. Este óxido (un polvo de color pardo negruzco) constituye la fuente del precioso color azul en toda su pureza; es un pigmento imprescindible para los pintores sobre porcelana, vidrio, esmalte, etc., que lo obtienen generalmente, no en su forma primitiva, sino preparado ya con el fundente necesario y en los matices más diversos, elaboración de que se encargan otros fabricantes. Hasta el simple alfarero emplea el óxido de cobalto, y es su única fuente para el color azul que necesita; pero en la coloración de los vasos y platos ordinarios claro está que no precisa el producto más puro, sino que basta sencillamente el ya referido mineral calcinado, con todas sus impurezas, y que se mezcla con polvo fino ó harina de cuarzo en diferentes proporciones, según el matiz que se desea producir, mezcla que entonces se funde fácilmente con la añadidura de potasa. En tal estado, es decir, mezclado con cuarzo, el producto se llama *saflor*.

El producto principal es el esmaltín, que se fabrica de diferentes clases y no es más que un vidrio coloreado con óxido de cobalto y pulverizado. El procedimiento por el que se obtiene es esencialmente propio de la fabricación del vidrio, y se practica en un horno abovedado, provisto de las vasijas de arcilla cocida y puertas correspondientes. La carga de dichas vasijas consiste en una

mezcla íntima de los minerales calcinados con cuarzo, potasa y harina de arsénico, cuyos materiales deben pulverizarse finamente, empleándose en diferentes proporciones según la cantidad de cobalto que tenga en el mineral. Cada vasija puede contener unos 150 kilogramos de la mezcla, y para la fusión y purificación de semejante carga se necesitan ocho horas próximamente; al principio se revuelve la masa fundida, más adelante se deja tranquila, á fin de que el vidrio se purifique, depositándose sobre el fondo de la vasija el llamado *spais* y reuniéndose otras impurezas en la superficie.

Respecto de las reacciones químicas que tienen lugar durante la fusión, la potasa y el cuarzo se unen para formar el vidrio, con el que se combina el protóxido de cobalto, prestándole el color azul. Los otros metales ya referidos, y en primer término el hierro, formarían también combinaciones análogas si el arsénico, y en muchos casos el azufre, no lo impidieran: el arsénico, ó, mejor dicho, el ácido arsenioso (el producto de la calcinación del mineral que dijimos anteriormente que se añadía á la mezcla por fundir), oxida el protóxido de hierro, convirtiéndolo en peróxido, que influye poco en el color del vidrio, y al mismo tiempo se combina con el níquel, impidiendo que se incorpore á aquél; el azufre, en virtud de su afinidad especial, se encarga del cobre, que generalmente se halla presente, combinándose con él. De esta manera se producen diversas combinaciones de arsénico que, merced á su peso, se depositan sobre el fondo de las vasijas en que tiene lugar la fusión, y se alejan por un agujero que antes se mantenía tapado con un tapón de arcilla, constituyendo, una vez enfriadas, una masa quebradiza ó agria, de estructura granular, de aspecto metálico y color blanco rojizo, que los alemanes llaman *speise*, y nosotros *spais*. Además del níquel contenido en los minerales tratados, y que puede elevarse al 50 por 100, se compone de cobre, hierro y algún cobalto, combinados con arsénico y azufre. Caso de hallarse en el mineral algún bismuto, se encuentra también en el spais, pero en estado regulino ó nativo. El cobalto se obtiene después, tratando el spais químicamente por la vía húmeda; su presencia en dicho producto secundario no nos debe sorprender, pues se promueve deliberadamente, en atención á que, si se dejara que todo el contenido en cobalto fuese absorbido por el vidrio, disolveríase en éste el níquel y demás metales, con perjuicio notable del color azul. Antes se tiraba el pais como cosa inútil; pero hoy constituye la materia principal para el beneficio del níquel, en virtudde lo cual hace ya tiempo que se ha vuelto á recoger todo lo que se había echado en los escoriales ó escombreras.

Una vez purificado, mediante la deposición del spais, el hermoso vidrio azul oscuro, fundido en las vasijas del horno, la operación ha terminado y no queda más que la pulverización y clasificación del producto. Al efecto; se saca el vidrio fluido con cazos y se vierte en agua fría, obteniéndolo así en un estado sumamente quebradizo; se pulveriza entonces por medio de pilones ó cilindros tritu-

radores, y luego se muele con agua bajo pesadas muelas de granito. El légamo ó barro impalpable que resulta se somete á una levigación con mucha agua, durante cuya operación se van separando y depositando en diferentes toneles las partículas de diversos grados de finura; de esta manera se obtienen cuatro clases de vidrio de cobalto ó esmaltín, de las que la de grano más grueso se vuelve á moler, ó se aprovecha en parte vendiéndola como arenilla para cartas, mientras que la más fina, de un azul muy claro, se vende como pigmento inferior, ó se vuelve á fundir con una nueva porción de mineral calcinado.

El fenómeno de que el esmaltín ofrece al tacto la suavidad de la harina, á pesar de consistir en un vidrio pulverizado, se explica considerando que, de las dos materias principales que forman el vidrio, ó sean la sílice y la potasa, esta última se halla en mayor proporción que la que corresponde á un vidrio duro. La masa fundamental del esmaltín constituye, pues, una especie de vidrio de agua, ó vidrio soluble, que contiene poca de la arcilla procedente de las vasijas en que se ha fundido. Esto explica también el hecho de que, al tratarse simplemente con agua el esmaltín, cambia un poco el matiz de su color.

Además de su puro y precioso azul, el esmaltín ofrece la gran ventaja de ser mucho más duradero que la mayoría de los pigmentos, pues sólo logran destruirle los pocos medios químicos que atacan el vidrio. Por esta razón se aprecia tanto en la pintura al fresco y la de objetos destinados á ser expuestos á la intemperie, y en virtud de su naturaleza propia, se combina muy bien con el vidrio de agua, propiamente dicho, esto es, un silicato artificial de potasa que tiene la propiedad de disolverse en agua. Como se comprende fácilmente, el esmaltín puede emplearse en la pintura al encausto sobre el vidrio, porcelana ó barro; pero en este arte, y tratándose de trabajos finos, se prefiere siempre el óxido de cobalto puro, mientras que para los objetos más bastos se emplea el saflor, como antes dijimos. Además, el esmaltín sirve para prestar un matiz azul al papel y la ropa blanca, y en otras diversas ramas de la industria. Es verdad que el ultramarino artificial que hoy se fabrica en tan enormes cantidades y tan barato, ha limitado notablemente el empleo del esmaltín; mas en todos los casos en que conviene que el color resista las influencias de la luz, del calor, de la humedad y todas clases de vapores, el esmaltín resulta muy superior á dicho ultramarino; sólo tiene el inconveniente de que, á la luz artificial, su color no parece un azul puro, sino un poco gris. En la fabricación del papel el ultramarino ha sustituído al esmaltín, porque se distribuye en las pastas más uniformemente que éste; pero para los usos domésticos se emplea, ora el uno, ora el otro.

Antes que se conociera el ultramarino artificial, las fábricas sajonas de esmaltín se vieron amenazadas, en virtud del descubrimiento de los minerales de cobalto en Suecia y Noruega, y el beneficio de los mismos que allí empezó á desarrollarse; pero los productos suecos no lograron competir en hermosura con los

sajones; de modo que se paralizaron las fábricas escandinavas, y desde entonces aquellos minerales se exportan para Sajonia. Existen además algunas pequeñas fábricas de esmaltín en Bohemia, Westfalia y Hessen, donde se benefician minerales de las localidades respectivas; y desde los últimos años se fabrica en Inglaterra los preparados de cobalto, con minerales procedentes de las antiguas escombreras mineras de Chile, y que se transportan como lastre de los buques.

El cobalto, que resiste y resistirá tal vez siempre á la competencia en el terreno de los pigmentos al encausto, no produce solamente el característico color azul, sino que, en diferentes preparados químicos, da lugar á toda una serie de matices de azul, rojo, violeta, verde y amarillo. En esto se basan otras aplicaciones técnicas de dicho metal, en parte antiguas, en parte nuevas, y acerca de las cuales apuntaremos algunos datos concretos. El *ultramarino de cobalto* ó *azul de Thénard*, es un preparado conocido hace tiempo y que todavía se fabrica en Sajonia; constituye un hermoso color, muy estimado por los pintores, y consiste en protóxido de cobalto combinado con alúmina. Para prepararlo se impregna arcilla con una disolución de una sal de cobalto, sometiendo entonces la masa seca á un calor fuerte, y luego moliéndola; ó bien—y éste es un procedimiento más racional—se agrega á la disolución de la sal de cobalto una disolución de alumbre, se separa por medio de sosa, y se caldea el precipitado después de lavarlo y secarlo. Como quiera que la presencia de ácido fosfórico facilita la combinación del cobalto con la alúmina y enaltece la hermosura del color, se prepara también el pigmento en cuestión mezclando alúmina hidratada y gelatinosa con fosfato de cobalto húmedo, secando luego la mezcla y sometiéndola á una temperatura elevada. Este color es muy á propósito para la estampación de billetes de Banco é impresos análogos, porque entonces éstos no pueden reproducirse fotográficamente; antes tuvo mucha importancia como sustituto del ultramarino natural que se preparaba con lapislázuli, y cuyo precio era tan elevado. El fosfato de cobalto constituye por sí un preparado de color rojo violado, que por mero calentamiento se puede obtener de diversos matices.

Otro preparado, muy en aprecio para la pintura al óleo y la acuarela, es el introducido recientemente en el comercio bajo los nombres de *cæruleum*, *cælin*, y *azul celeste*, y consiste esencialmente en estañato de cobalto; es el único color debido á dicho metal que no parece violado ó gris á la luz artificial. El llamado *verde de Rinnmann*, *verde de cobalto* ó *de Sajonia*, es un pigmento hermoso y duradero, muy á propósito para pintar madera, metal ó papel, constituyéndolo una combinación análoga á la del ultramarino de cobalto, que contiene óxido de cinc en lugar de alúmina. Se obtiene mezclando una disolución de una sal de cobalto con otra de sulfato de cinc, y precipitando con sosa. Por último, se prepara también un *amarillo de cobalto*, que consiste en un nitrito de cobalto y

potasa, y se obtiene haciendo pasar los vapores del peróxido de nitrógeno por una disolución de nitrato de cobalto mezclada con lejía potásica. Se emplea como color amarillo en la pintura al óleo y la acuarela, y también, aunque como color azul, en la pintura al encausto sobre vidrio y porcelana; el cambio de color resulta de la temperatura elevada á que se someten los objetos pintados, prefiriéndose el preparado á cualquier otro siempre que se quiere producir matices azules enteramente puros.

Los diferentes productos de las reales fábricas sajonas de esmaltín son muy numerosos: hay tres clases de saflor que se venden á 300, 260 y 180 marcos los cien kilogramos (un marco vale 1,25 pesetas); 24 clases del llamado *Eschel* para la coloración del papel, de las telas blancas y del almidón, á precios que varían entre 348 y 24 marcos los cien kilogramos; 13 clases de esmaltín, propiamente dicho, para la pintura al encausto, á los mismos precios; siete clases de ultramarino de cobalto para la pintura al óleo y la acuarela, la estampación en color y la manufactura de flores artificiales, cuyos precios son de 10 á 60 marcos el kilogramo; nueve clases de óxidos de cobalto para la pintura de la porcelana y loza, que se venden de 9 á 56 marcos el kilogramo; dos clases de polvos para cartas, varios preparados de fosfato y arseniato de cobalto, el cœlin ó azul celeste y nada menos de 35 clases diferentes del verde de cobalto. De dichas fábricas salen anualmente de 300.000 á 350.000 kilogramos de los productos referidos, por valor de unas 950.000 pesetas, beneficiando tanto los minerales del país como los extranjeros, especialmente los de Suecia.

EL NÍQUEL Y SUS MINERALES

En el níquel tenemos un ejemplo, que se repite con bastante frecuencia en la historia de la industria, de una materia despreciada al principio como cosa inútil, pero que luego ha adquirido señalada importancia, merced á los adelantos de la ciencia. El nombre despreciativo de *nickel* (cuya explicación hemos dado más arriba) se aplicó primero por los mineros alemanes á un mineral, al parecer de cobre puro, pero que no daba cobre alguno, sino que, por el contrario, dificultaba el beneficio metalúrgico de los minerales cobrizos con que solía encontrarse en los criaderos. Aquel mineral es el llamado vulgarmente cobre falso, y propiamente *niquelina*, que se compone sencillamente, en estado puro, de níquel y arsénico, pero que puede contener pequeñas cantidades de plomo, cobre, hierro, bismuto, etc.; casi siempre contiene cobalto, como sustituto del níquel, de modo que varía en más ó en menos la proporción de éste, elevándose en el caso más favorable al 43,6 por 100. Es el mineral de níquel más común, y por consiguiente el que más se beneficia. Otro arseniuro es la *cloantita*, que sólo contiene 28 por 100 del metal, y se encuentran además en compañía de los referidos ó aislados, pero siempre en cantidad relativamente pequeña, la

gersdorfita, una combinación de sulfuro y arseniuro de níquel con 35 por 100 de éste, y la *ulmanita*, compuesta del sulfuro y antimoniuro, con 27 por 100 de níquel. Por la descomposición natural de dichos minerales, merced á la acción del aire y del agua, se forma la llamada *anabergita* ó arseniato de níquel, que se presenta generalmente como mera eflorescencia ó capa delgada en la superficie de aquéllos, y carece, por consiguiente, de importancia industrial. Para los franceses son de mucha importancia los minerales llamados *garnierita* y *pimelita*, descubiertos en gran cantidad en la Nueva Caledonia y que pueden beneficiarse fácilmente; el primero es un silicato hidratado de níquel, y el segundo contiene magnesia, además del protóxido de níquel y la sílice.

Los minerales de níquel no se encuentran, por regla general, en estado tan puro que puedan ser beneficiados por medio de un sencillo procedimiento metalúrgico, sino que suelen presentarse mezclados con otros arseniuros y sulfuros, hasta el extremo de constituir solamente una pequeña parte de la masa total, en la que predominan otros metales; en tal caso sólo se obtienen el níquel y el cobalto que lo acompaña en forma de productos secundarios; pero en muchas partes son precisamente éstos, y no los minerales puros, los que constituyen la fuente principal del níquel que se produce. El más importante de dichos productos secundarios es el spais de cobalto, que, como ya dijimos al tratar de este metal, se forma durante la fusión del esmaltín; consiste esencialmente en arseniuro de níquel, en el que parte del níquel se halla sustituída por cobalto. En el beneficio de ciertas menas plomizas se obtienen spais análogos, pero que contienen una fuerte proporción de sulfuro de plomo; y también de algunas escorias y matas cobrizas se extrae una pequeña cantidad de níquel, en vista de que el elevado precio de este metal cubre con algún exceso los gastos de la operación. En Inglaterra se aprovechan en la producción del mineral del níquel y del cobalto los residuos del mineral de manganeso empleado en la generación de cloro para la fabricación del cloruro de cal; de cada mil kilogramos de dichos residuos se extraen próximamente 2,5 kilogramos de níquel y 5 de cobalto. Se obtienen asimismo pequeñas cantidades de níquel en el beneficio de las pizarras cobrizas de Mansfeld y de los minerales plomizos de Rammelsberg, en el Harz.

La producción total de níquel en todo el globo asciende, próximamente, á 1.000 toneladas, de las que cerca de 500 corresponden á Francia y proceden del beneficio de los minerales de la Nueva Caledonia; los Estados Unidos producen de 250 á 300 toneladas con sus minerales de Pensilvania; Alemania viene después con unas 120; Inglaterra le sigue con 65, mientras que Rusia y Austria producen cantidades aún menores. España é Italia no son productoras de níquel, si bien no faltan en estos países minerales niquelíferos; en Lopera (Jaén), Casarabonela y Carratraca (Málaga) y el Cabo Ortegal se presenta la niquelina, si bien su explotación no ha dado hasta la fecha resultados satisfactorios.

Antes que se conociera el valor de los minerales de níquel, se separa-

ban de las menas y se tiraban; y tanto abundaban en ciertos distritos mineros de Sajonia, que á principios de este siglo se habían acumulado en torno de los establecimientos metalúrgicos cantidades considerables de tan ricas materias. Después de reconocida su importancia, se ha recogido cuidadosamente hasta el último grano, beneficiándose primero en Inglaterra y más tarde en Sajonia mismo. Pero hace ya tiempo que esta fuente se halla agotada, y como las minas sajonas producen mucho menos mineral de níquel que antes, sus fábricas benefician en parte minerales importados de otros países.

El níquel, en su forma metálica, fué descubierto en 1751 por *Cronstedt;* Bergmann enseñó poco después á extraerlo puro de la niquelina, pero no tuvo importancia industrial hasta el primer tercio del siglo presente, cuando se utilizó en la fabricación del metal blanco, habiendo hallado más tarde aplicación como metal de moneda y en el niquelado del cobre, hierro y cinc. Se reduce el óxido de níquel por medio del carbón y á la incandescencia blanca, se obtiene un régulo casi puro, es decir, que sólo contiene un poco de carbono. En este estado es de color gris blancuzco, pareciéndose al platino; pero en estado enteramente puro el níquel es casi tan blanco como la plata; tiene casi la misma dureza del hierro, y siendo químicamente puro, puede laminarse y estirarse en frío y en caliente, en forma de planchas y alambre, adquiriendo entonces una estructura tendinosa y tomando un hermoso brillo cuando se pulimenta. En atención á su poca fusibilidad, es comparable con el hierro dulce; pero las piezas fabricadas de níquel fundido resultan agrias y no son dúctiles; este inconveniente se puede obviar, lo mismo que en el caso del cobalto, fundiendo el metal con un octavo por 100 de magnesio, y basta la vigésima parte de un por 100 de éste, si el níquel contiene un poco de cinc; el resultado en ambos casos es un metal de una ductilidad extraordinaria; también se vuelve maleable el níquel añadiéndole pequeñas cantidades de manganeso ó fósforo. La acción de todos estos medios parece estribar en que reducen, privándolo de su oxígeno, algún resto de protóxido de níquel contenido en la masa del metal. Otra analogía con el hierro ofrece el níquel en su propiedad de dejarse atraer por el imán y obrar después, él mismo, como imán; generalmente hablando, aparece como un amigo y compañero del hierro, tanto en los minerales propios de nuestro globo como en los meteoritos que, traspasando el límite de la atracción de nuestro planeta, caen sobre la tierra; en estas masas extrañas se encuentra el níquel en estado nativo, á veces enteramente puro, pero, por lo general, aleado con una cantidad mayor ó menor de hierro nativo.

La extracción del níquel de los minerales en que se presenta, ora sea en forma de metal regulino, ora en la de un producto utilizable en la industria, supone muchas y complicadas operaciones; de modo que siempre será relativamente costosa, aun cuando se descubriesen criaderos mucho más abundantes que los que se conocen y explotan en la actualidad.

BENEFICIO DE LOS MINERALES DE NÍQUEL

Como acabamos de indicar, el beneficio de los minerales y productos niquelinos es complicado y comprende, en primer lugar, procedimientos preparatorios por la vía seca ó ígnea, y luego el beneficio propiamente dicho, que, por regla general, se verifica por la vía húmeda ó química. En este terreno son posibles muchos modos de beneficio y, de hecho son numerosos los que se aplican en la industria;pero no pocos fabricantes guardan con el mayor rigor el secreto de sus procedimientos, de suerte que los datos que podemos ofrecer á nuestros lectores han de ser forzosamente incompletos.

Como sucede con todas las menas ricas en arseniuros y sulfuros, las de níquel se someten, en primer término, á una calcinación que en ocasiones tiene que repetirse varias veces, y luego á una fusión con fundentes adecuados, como cuarzo, arcilla, espato calizo, etc., á fin de obtener un producto más concentrado y más fácilmente tratable. La calcinación tiene por objeto ante todo expulsar la mayor parte del arsénico y el azufre, y se practica desde luego en hornos de cuba, ó bien primero y parcialmente en teleras ó plazas muradas; el ácido arsenioso que resulta se condensa y recoge en las cámaras respectivas. La fusión de los minerales calcinados se verifica también en hornos de cuba, y es de la clase llamada reductiva y disolvente, esto es, una fusión con un medio reductor, el carbón, y fundentes ricos en sílice y capaces de formar una escoria. Mediante el carbón, el peróxido de hierro, formado durante la calcinación, se reduce á protóxido, que pasa á la escoria, si bien no es siempre posible alejar por completo de este modo todo el hierro presente. El níquel, el cobalto y otros metales contenidos en las menas, incluso la parte de hierro no disuelta, se combinan con el azufre y el arsénico que quedan en la carga (pues la calcinación no los expulsa completamente), formando un producto que por su naturaleza se mantiene separado de la escoria. Este producto de la fusión, que tiene un aspecto semimetálico, se llama *spais* (del alemán *speise*), cuando se compone de los arseniuros de níquel, cobalto y hierro; y *mata* cuando contiene dichos metales en estado de sulfuros.

Se entiende, pues, por *spais*, en la metalurgia, un producto fundido que contiene uno ó varios metales combinados principalmente con arsénico; mientras que una *mata* es un producto análogo, en el cual ocupa el azufre el puesto del arsénico. En muchos casos se obtienen ambos productos á la vez, es decir, en la misma fusión. No se lleva la calcinación de las menas de níquel hasta el extremo de expulsar por completo el arsénico y el azufre, por la sencilla razón de que, si tal se hiciere, el níquel y el cobalto pasarían con el hierro á la escoria, cosa que hay precisamente que evitar.

El spais, la mata, procedentes de las operaciones preparatorias referidas, y los minerales ricos y puros, cuando estos pueden obtenerse, constituyen las materias primeras para el beneficio propiamente dicho, ó sea la extracción del níquel por la vía húmeda. Al efecto, se pulverizan finamente dichas materias, y mezcladas con carbón se someten á una calcinación, durante doce horas, en un horno de reverbero, con el objeto de expulsar esta vez todo el azufre y el arsénico, transformando todos los metales presentes en sus óxidos respectivos; esto nunca se logra de un modo tan completo como se desea, pues siempre queda alguna cantidad de arsénico en combinación con níquel. Cuando el producto calcinado no contiene plata, ya porque no exista en los minerales, ó bien porque se ha extraído antes, como sucede en el spais de cobalto de Sajonia, se procede á disolverlo en ácido clorhídrico, separándose entonces de la disolución los diferentes metales por medio de reactivos adecuados. Si las materias primeras contenían bismuto, se diluye la disolución con mucha agua, promoviendo así la precipitación de dicho metal en forma de cloruro básico de bismuto. Después de depositado éste, se traslada ó trasiega la disolución clara y se le añade un poco de cloruro de cal para convertir el hierro en óxido y el ácido arsenioso en ácido arsénico, y entonces, y mediante la adición de agua de cal, ambas sustancias se precipitan en forma de arseniato de hierro. Si la cantidad de hierro presente no basta para que se combine todo el arsénico, es preciso completarla echando previamente en la disolución la proporción que corresponda de cloruro de hierro. No se debe emplear más cal que la precisa para precipitar el arsénico y el hierro, porque de otra manera se precipitarían también cobre y níquel. El cobre se separa después por sí en forma de sulfuro, haciendo pasar por la disolución el gas hidrógeno sulfurado, ó bien echando en el líquido sulfuro de bario ó de calcio, de modo que, una vez separado este precipitado cobrizo, no queda en la disolución filtrada más que níquel y cobalto. Cociendo el líquido con cloruro de cal y ácido sulfúrico diluído, el cobalto se convierte en peróxido, que se precipita dejando disuelto tan sólo el níquel; por último, éste se precipita, mediante agua de cal, en forma de protóxido hidratado que, lavado, seco y sometido á una temperatura elevada, después de mezclarse con carbón, se reduce á níquel metálico en forma de una masa porosa.

En Joachimsthal (Bohemia), donde los minerales ricos contienen principalmente plata en varias proporciones de cobalto y níquel, se tratan, después de la calcinación, con ácido sulfurico diluído, completando la disolución con ácido nítrico. Al líquido resultante se le añade una disolución de cloruro de sodio ó sal común, con lo que se precipita toda la plata en forma de cloruro, y para la separación y precipitación del níquel y el cobalto se procede entonces de un modo análogo al ya referido.

No es preciso beneficiar por la vía húmeda, sino que se puede seguir la seca, fundiendo el spais ó la mata en un horno de reverbero, con arena de

cuarzo, espato pesado (sulfato de barita) y carbón, en cuya operación se escorifica sólo el hierro, formándose un silicato de éste y bario, y se separa el cobre presente en forma de sulfido. Entonces se separa el níquel del cobalto fundiendo nuevamente el spais ó la mata concentrados, con arena de cuarzo puro, que da por resultado la escorificación del cobalto. Para alejar por completo el arsénico y azufre restantes en el spais ó la mata, libres ya de hierro y cobalto, es necesario calcinar perfectamente dichos productos y volver á fundirlos con sosa y nitro; hecho esto, se separan los arseniatos y sulfatos formados, mediante una simple lixiviación, y el protóxido de níquel que queda se reduce á metal, como dijimos antes.

Un procedimiento ideado por el célebre químico Woehler, y que tiene la gran ventaja de eliminar más radicalmente el arsénico, se funda en la sulfuración de los metales en lugar de su oxidación. El spais, la mata ó la niquelina calcinados se funden en crisoles á una temperatura moderada, con tres veces su peso de azufre y otro tanto de potasa, hasta que todas las materias están como saturadas de azufre. El sulfuro de potasio es soluble en agua, y merced á su combinación, durante la fusión, con el sulfuro arsenical, este también resulta soluble. Si, pues, la fusión se hace en regla, todo el arsénico puede alejarse por una mera lixiviación en agua de la masa fundida, y se obtienen los sulfuros de níquel, cobalto y hierro, en forma de cristalitos ó agujitas con brillo metálico. Estos sulfuros se disuelven en una mezcla de los ácidos sulfúrico y nítrico, separándose los metales respectivos mediante los reactivos ya referidos ú otros que producen análogos efectos.

El beneficio de los minerales de Nueva Caledonia, que consisten en silicato de níquel, beneficio que, como dijimos antes, se verifica en Francia, es mucho más sencillo que el de los minerales europeos y se practica de diferentes maneras. Generalmente se empieza con un tratamiento por la vía húmeda con ácido clorhídrico, y, por último, el níquel, precipitado en forma de óxido ó de oxalato, se obtiene reduciendo estos productos á una temperatura elevada con cal y carbón. En los últimos años, sin embargo, se producen en Francia grandes cantidades de níquel, reduciendo directamente, por fusión, la garnierita, cual si se tratara de un mineral de hierro, y refinando entonces el níquel bruto, como se hace con el cobre.

Con lo dicho basta para que nuestros lectores puedan formarse una idea del beneficio tan complicado de los minerales y productos niquelinos. Pero debemos advertir que no sólo existen otros procedimientos que los referidos y que, como ya dijimos, son secretos de los que los practican, sino que, aun concretándonos á los de todos conocidos, no habrá uno que se practique exactamente de la misma manera en dos establecimientos distintos; no sólo la naturaleza variable de las menas y productos objeto del beneficio en diferentes partes obliga á modificar, aunque no sea más que ligeramente, los procedimientos, sino que las mismas

circunstancias locales influyen necesariamente sobre el tratamiento, impidiendo que todos los fabricantes se atengan estrictamente á recetas determinadas.

El níquel se vende en los mercados, principalmente en forma de pequeños cubos de unos 15 milímetros de lado; pero se puede obtener también granulado, en barritas y en estado poroso ó esponjoso, llamándose entonces esponja de níquel, producto que se obtiene caldeando el oxalato de níquel y prensando el fino polvo metálico que resulta. Para obtener el níquel en cubos, su óxido precipitado químicamente, lavado y muy bien pulverizado, se amasa con un poquito de harina y agua, extendiéndose la pasta con un rodillo y dividiéndola en cubitos que, después de secos por completo, se colocan en un crisol con polvo de carbón, reduciendo el óxido á metal á la incandescencia blanca. Los cubitos metálicos que resultan se lavan en un tonel giratorio, y merced á su roce unos con otros, pierden sus asperezas y salen un poco pulimentados; en esta forma el metal no tiene su color blanco natural, sino uno amarillo pardusco ó gris amarillento. Contiene más ó menos cobalto, que no perjudica en la fabricación del metal blanco, y además pequeñas cantidades de carbón, hierro, azufre, arsénico y algo más de sílice. Al disolverse esta clase de níquel en ácido nítrico, dichas impurezas forman un residuo no despreciable, de modo que no se puede considerar como un producto puro, ni siquiera igual, pues su composición varía mucho, según la fábrica de donde procede; lo mismo puede decirse respecto de la llamada esponja de níquel. Por esto, y aunque, como ya dijimos, no es perjudicial el contenido en cobalto, las demás impurezas tienen que separarse antes que el níquel en cubos ó el esponjoso puedan utilizarse en la fabricación del metal blanco. Al efecto, los fabricantes de éste someten el níquel ordinario del comercio á un afino por fusión, operación que, dada la poca fusibilidad del metal en cuestión, resulta difícil y molesta, y tiene que verificarse en un horno reverbero hecho con materiales sumamente refractarios; al cabo de cuatro horas de estar sometido á un fuego intenso, el metal se ablanda sobre la plaza inclinada del horno, y gota tras gota se reune, por fin, en una depresión reservada al efecto, en forma de un régulo puro. En honor de la verdad y del progreso debemos decir, sin embargo, que algunas fábricas logran producir hoy un níquel en cubos que contiene de 94 á 99 por 100 del metal puro.

Algunos fabricantes han mostrado empeño en los últimos tiempos, y no sin éxito, por aumentar las aplicaciones del níquel metálico; entre ellos debemos mencionar más especialmente á Montefiore, Levi y Compañía, de Lieja, y á Fleitmann y Witte, de Iserlohn. El empleo del níquel en la fabricación de la moneda no es de las aplicaciones más recientes, pues hace bastante tiempo que se practica en Suiza y los Estados Unidos; pero hace pocos años el Gobierno alemán ha adoptado dicho metal para su moneda menuda, y es probable que otros Estados seguirán su ejemplo. La aplicación del níquel á la fabricación de objetos artísticos parece destinada á prosperar; dichos objetos presentan un aspecto

comparable al de los de plata oxidada, que tanto se aprecian, y tienen la ventaja de que no se tornan negros. También se ha empezado á fabricar toda suerte de objetos con níquel macizo puro, como, por ejemplo, cuchillos, vainas de sable, agujas magnéticas, hebillas, monturas de anteojos, crisoles para los laboratorios químicos, etc. Pero antes de emplear de semejante modo el níquel macizo, ya se fundían planchas de este metal para servir de anodos en el proceso galvánico del niquelado; se había aprendido á precipitar, mediante la corriente eléctrica, el níquel de una disolución de sulfato del mismo, revistiendo así con una tenue capa, casi tan blanca y brillante como la plata, todo género de objetos de uso común y de adorno hechos con otros metales. Otro ramo de la industria del níquel que ha tomado gran desarrollo de algunos años á esta parte, es la fabricación de lo que, á falta de un término preciso en nuestra lengua, podríamos llamar hojalata de níquel, y su conversión en utensilios diversos. En efecto, se toman planchas de hierro ó acero, y aplicando sobre una ó ambas de sus caras otras relativamente gruesas de níquel, se unen fuertemente ambos metales por medio de la pega, y en seguida se laminan en estado candente, obteniendo chapas muy delgadas, comparables á las de hoja de lata, y en las que el hierro ó el acero se encuentra como emparedado entre dos tenues capas de níquel. Semejantes chapas pueden someterse á la elaboración más varia, ora en frío, ora en caliente, sin perjuicio de la adherencia de los metales entre sí, es decir, sin que se separe el níquel del hierro ó del acero.

Respecto de la aplicación del níquel como metal de moneda menuda, se verifica generalmente en forma de una aleación con cobre, que ofrece la gran ventaja de ser mucho más duradera que este último metal; además, como dicha aleación tiene bastante más valor intrínseco que el cobre ó el bronce, las monedas pueden hacerse con ella de mucho menor tamaño que con estos últimos. Es un hecho singularísimo, y cuyo descubrimiento reciente ha llamado mucho la atención de los peritos en la materia, el de que una antigua moneda bactriana, que, según su cuño, corresponde al rey Euthydemos (220 á 190 antes de nuestra Era), se compone casi exactamente de la misma aleación que la de las monedas de níquel que hoy se acuñan en Alemania. De ser legítima la pieza en cuestión, resultaría que circulaban monedas de níquel hace más de dos mil años; pero es posible que se trate de alguna imitación ó falsificación reciente, y mientras no se aduzcan otras pruebas irrecusables, hay que dudar, no de que dicha moneda contenga níquel, pues esto es evidente, pero al menos de su autenticidad, ó sea la antigüedad que resulta de su inscripción. Dejando, pues, á un lado este caso dudoso, el primer Estado que adoptó el níquel como metal de moneda fué Suiza, en el año 1850; á ella siguieron los Estados Unidos, en 1856; Bélgigica, en 1860; el Brasil, en 1872, y Alemania, en 1873. La aleación no es la misma en estos diversos países: las monedas suizas de 20, 10 y 5 céntimos se componían, hasta una fecha reciente, de plata en la proporción de 15, 10 y 5

por 100 respectivamente, mas 10 por 100 de níquel, y lo restante de cobre y cinc; pero hoy las piezas de 20 céntimos se hacen de níquel químicamente puro, por el procedimiento de Fleitmann, y aparte de su perfecto cuño, se distinguen de las monedas de níquel y cobre por su mayor duración y el hermoso brillo que conservan. Los otros Estados referidos prescinden completamente de la plata en sus monedas de níquel; los Estados Unidos emplearon primero una aleacion de 12 de níquel por 88 de cobre; pero más tarde adoptaron la proporción introducida en Bélgica, ó sea la de 25 de níquel por 75 de cobre, proporción que rige también para las monedas de níquel alemanas y brasileñas.

El níquel, empleado en forma de sus sales y otros preparados químicos, constituye una fuente tan abundante en colores como el cobalto; según los casos, se obtienen matices muy hermosos del verde, del azul, y también del amarillo; el cloruro de níquel, sublimado á una temperatura elevada, se convierte en escamitas del color y brillo del oro. Sin embargo, hasta la fecha no se ha utilizado en pintura, tintorería etc., esta propiedad colorante del níquel, sin duda porque todos los colores respectivos se obtienen más hermosos y más baratos con otras materias. En cambio, se entregan hoy al mercado cantidades muy considerables de sales de níquel, espcialmente del cloruro amoniacal y el sulfato amoniacal, para los fines del niquelado galvánico.

Metal blanco.—Dado el elevado precio del oro y de la plata, y teniendo en cuenta cómo agradan estos metales á la vista, no es extraño que muchos industriales se hayan esforzado repetidas veces para obtener aleaciones que los imiten en lo posible. Respecto de la imitación de la plata, se fundó primero en el empleo del estaño y del cobre; el aspecto del estaño, por sí solo, se aproxima bastante, por el color y el brillo, al de la plata; pero es un metal demasiado blando, y por consiguiente hubo de pensarse en prestarle dureza, mediante su aleación con otros metales; de aquí la fabricación de las diferentes mezclas metálicas conocidas bajo el nombre genérico inglés *britannia metal* (metal británico), cuya industria tomó gran desarrollo en Inglaterra.

Por otra parte, el cobre, que fundido con cinc da una aleación amarilla (el latón), pierde completamente su color natural, volviéndose blanco cuando se funde con arsénico. Tan peligrosa combinación, á la que se dió el nombre de *cobre blanco*, se lanzó un día al mercado en forma de botones, hebillas y hasta utensilios de mesa; pero no tardó en descubrirse que se disolvía con facilidad en líquidos ácidos, y que, por lo tanto, las personas que lo usaban corrían continuamente el peligro de envenenarse.

En el níquel se ha encontrado un medio inocente de blanquear, digámoslo así, el cobre, medio que ya conocían y utilizaban hace tiempo los chinos. En efecto, el llamado *pakfong*, que, procedente de China, se introdujo en Europa hace algo más de un siglo, consiste, como ya demostró por análisis Engström en 1776, en los mismos metales que nuestro metal blanco, ó sean cobre, níquel

y cinc. Este dato, sin embargo, pasó entonces inadvertido, y la primera aleación del género que se produjo bastante más tarde en Europa, se debe á unos fabricantes de armas, de Suhl (Prusia), y se componía de cobre, níquel, cinc y estaño, en las proporciones de 40,4, 31,6, 25,4 y 2,6 por 100. Pero el verdadero punto de partida de la industria del *metal blanco* está en el concurso abierto por la Sociedad Berlinesa para el fomento de las artes, al que inventara una aleación que tuviera el aspecto de la plata de 750/1.000, se prestara á la elaboración industrial y pudiera emplearse para utensilios de mesa y cocina, sin peligro para la salud. De resultas de los ensayos que con tal motivo se hicieron, los hermanos *Henniger* montaron en Berlín, en 1824, una fábrica de objetos de metal blanco ó *plata nueva* (en alemán *Neusilber),* mientras que al mismo tiempo, é independientemente, *Geitner*, de Schneeberg (Sajonia), preparó la misma aleación, introduciéndola en el comercio con el nombre de *argentán.* Por esto, en Sajonia se considera Geitner como el inventor del metal blanco; y aunque este punto sea discutible, le cabe sin disputa el mérito de haber fundado en su país una industria nueva é importante, aprovechando un producto de las minas que, como ya dijimos, se tiraba antes como inútil; todavía el metal blanco de Schneeberg se considera como el mejor de su clase.

La nueva aleación se introdujo pronto en Francia é Inglaterra, en cuyo último país adquirió rápidamente su fabricación un desarrollo considerable, con el nombre de *german silver* (plata alemana), y también el nombre chino *pakfong*; en Francia se llamó al nuevo producto *maillechort* ó *argent allemand* (plata alemana), mientras que en España se conoce simplemente como *metal blanco.* En Inglaterra se producen clases especiales de metal blanco, que se llaman *electron* y *tutenay;* esta última designa una aleación que también preparan los chinos, y se distingue del metal blanco ordinario por contener mayor proporción de cinc, y ser, por lo mismo, más fusible, adaptándose especialmente á la fabricación de objetos fundidos, pero resultando demasiado dura para otros trabajos. Además, otros fabricantes de metal blanco han recurrido al empleo de nombres más ó menos raros é impropios para llamar la atención sobre sus productos. Sin hablar de los más antiguos, mencionaremos la llamada *alpacca,* una clase muy fina de metal blanco que hoy se fabrica en Viena, y el *lunaid*, nombre que recuerda la luna, á la que los alquimistas dedicaron la plata. *Alfenid* es un nombre con que se designaba antes en Francia el metal blanco más fino, y este género, lo mismo que la *alpacca*, constituyen con frecuencia la base de los objetos plateados. El metal blanco en forma de cubiertos y otros objetos de mesa fuertemente plateados al galvanismo, es decir, en los que la plata compone cerca de 2 por 100 de su peso, suele denominarse en el extranjero *plata de China* ó *del Perú*, mientras que en España comprendemos todas las clases de metal blanco plateado galvánicamente, bajo el nombre de *plata Meneses*, inmortalizando así el apellido del industrial madrileño que más ha

contribuído al desarrollo de la mencionada industria en nuestro país. Los objetos de plata de China ó plata Meneses se parecen por entero á los de plata pura, y son mucho más baratos, porque sólo tienen un baño ó capa de plata, depositado y fijado galvánicamente sobre una base de metal blanco; como es natural, semejante capa se desgasta con el tiempo, apareciendo en los puntos del objeto más expuestos al roce el metal blanco, que al lado de la plata tiene un matiz amarillento; pero siempre queda el recurso de platear de nuevo los objetos usados. La aleación que los ingleses han lanzado recientemente al comercio con el nombre de *arguzoid*, no es más que una clase de metal blanco que contiene un poco de plomo y estaño.

Hemos dicho que el metal blanco es una aleación de cobre, níquel y cinc; mas como quiera que las aleaciones no son sino mezclas de diferentes metales y no se hallan sujetas á la ley de las combinaciones químicas, las proporciones de sus componentes pueden variar dentro de ciertos límites. En la aleación de que tratamos, el níquel es el principio blanqueador, y el metal blanco que más níquel contiene, siempre es el mejor. El cinc se agregó al principio con el objeto de aumentar la fusibilidad de la aleación, facilitar su elaboración y hacerla algo más barata; mas como se observó que un pequeño exceso de cinc no perjudicaba notablemente el color, se acentuó luego entre los fabricantes la tendencia á reducir la proporción del níquel ó á aumentar la del cinc, cuyo precio es muy inferior, de modo que en muchos casos el producto resultaba de color gris amarillento. La regla que se sigue hoy generalmente es la de elevar la proporción de cinc hasta el punto de que, si se dejara de añadir el níquel, resultaría latón; de manera que cabe definir el metal blanco como un latón blanqueado por medio de níquel.

En Berlín se fabrican tres clases de metal blanco de la composición siguiente:

	Cobre.	Níquel.	Cinc.
Metal superior	52	22	26
— mediano	59	11	30
— común	63	6	31

El metal blanco de Viena se compone de tres partes de cobre por una de níquel y una de cinc, y la misma proporción se observa en el metal destinado á ser laminado en forma de planchas y estirado en la de alambre. La aleación más rica del género, y que tiene el aspecto más hermoso, es el llamado *pakfong;* pero merced á su poca fusibilidad, es muy difícil de producir y elaborar. Su composición varía según la clase:

	Cobre.	Níquel.	Cinc.	Hierro.
Pakfong *a*	45,7	33,3	21	—
— *b*	43,4	16,6	40	—
— superior	40,4	31,6	25,4	2,6

El pakfong chino contiene casi siempre de 2 á 3 por 100 de hierro, de lo que se deduce que este metal se añade allí de propósito; enaltece la blancura y

el brillo de la aleación, haciéndola susceptible de tomar mayor pulimento, pero aumenta también su dureza y tosquedad, de modo que los fabricantes europeos prescinden generalmente de su empleo. En algunos casos, sin embargo, añaden de 2 á 3 por 100 de hierro ó acero cuando tratan de obtener un producto más vistoso. Al principio todo el metal blanco que se fabricaba contenía un poco de arsénico, cuyo elemento no se lograba eliminar; y si bien la cantidad era demasiado pequeña para que resultara perjudicial á la salud, su presencia afectaba notablemente á la ductilidad del metal. Hoy ya, y gracias á los adelantos realizados en la metalurgia del níquel, el arsénico contenido en el metal blanco se reduce á meros indicios.

El metal blanco de buena calidad se aproxima bastante, por su aspecto, á la plata de 750 milésimas, y su raya en la piedra de toque apenas se distingue de la de este metal precioso; pero una gota de ácido nítrico hace pronto resaltar la diferencia: la raya del metal blanco desaparece más pronto que la de la plata, y al añadir una gota de disolución de sal común no se produce el precipitado característico del cloruro de plata. Una aleación más hermosa aún que el metal blanco de la mejor calidad, puesto que se parece enteramente á la plata, se obtiene añadiendo al cobre níquel y cinc hasta 30 por 100 ó más de plata pura; pero semejantes aleaciones no se emplean, que sepamos, en la industria. Los líquidos ácidos atacan mucho menos al metal blanco que al cobre ó al latón; razón por la cual puede emplearse aquél sin reparo en la mesa y la cocina. Las mejores clases de metal blanco se parecen al latón respecto de su ductilidad y demás propiedades, dejándose laminar y estirar con la misma facilidad. Por último, debemos mencionar una particularidad importante, que comparte el metal blanco con todas las aleaciones de cobre, y que tiene su origen en este mismo: cuando por efecto de la elaboración resulta duro y agrio, basta calentarlo y sumergirlo en agua fría para que recobre su blandura y ductibilidad.

La preparación del metal blanco por la fusión de sus componentes se verifica en Berlín y Viena en los mismos grandes establecimientos en que se fabrican los objetos de dicho metal; la pequeña industria se surte por fábricas especiales, como las de Schneeberg, que sólo producen planchas, varillas y alambre. El níquel, cuando no se emplea en la forma de cubitos, se rompe en pedacitos del tamaño de media avellana, lo mismo que el cobre y el cinc, y los tres metales, en la proporción conveniente, se echan mezclados en el crisol, salvo que la capa inferior y la superior se componen de cobre sólo; el conjunto se cubre con una capa de polvo de carbón, y se funde entonces, á una temperatura elevada, rodeando el crisol de combustible de modo que quede envuelto por completo en las llamas. En muchos casos, y con el objeto de que los diversos metales se mezclen más íntimamente, se funden primero el cobre con el cinc, formando un latón, á cuyo baño se añade entonces el níquel en pequeños pedazos. Como es preciso remover constantemente la masa fundida con una varilla de hierro, se

produce por combustión alguna pérdida de cinc, que se nivela añadiendo de 3 á 4 por 100 del mismo. Si el metal se destina para la fabricación de objetos fundidos, esto es, si ha de verterse en moldes, suele agregársele hasta 3 por 100 de plomo. El metal destinado á los demás usos se lamina principalmente en forma de planchas y alambres gruesos, de sección redonda ó cuadrada, ó bien se estira, como el latón, en forma de alambre delgado.

Esta elaboración del metal blanco, ora sea en el laminador, ora con el martillo, ora en el torno de estirar, se verifica siempre en frío, pues dicho metal no es forjable. Cuando la aleación se ha formado en el crisol, se vierte la masa fundida entre platinas de hierro colado, obteniendo así planchitas de 20 á 30 centímetros de largo por 12,8 á 22,5 de ancho, y 8 á 12 milímetros de grueso, las que se adelgazan después en frío con el martillo ó por medio del laminador. Esta elaboración mecánica reclama al principio ciertas precauciones, pues bajo los golpes del martillo ó el laminador se calienta mucho el metal y siempre que esto sucede, es preciso enfriarlo completamente, bien sumergiéndolo en agua fría, bien exponiéndolo al aire. Una vez que los golpes ó la compresión han hecho desaparecer la estructura cristalina del metal fundido, no es necesario andar con tanto cuidado, pues entonces se deja trabajar casi tan fácilmente como el latón; lo mismo que por la laminación de la tumbaga se produce el llamado bricho de oro, en hojas sumamente delgadas, con el metal blanco, y de idéntica manera, se obtiene la bricha de plata. El llamado *metal blanco de manganeso*, inventado por *Schrötter*, es una aleación análoga á la de que venimos tratando, salvo que en ella el níquel está sustituído por manganeso; según el análisis de una muestra procedente de Hannover, contiene dicho metal nuevo: 72,25 por 100 de cobre, 16,57 de manganeso, 8,57 de cinc, y 2,43 de hierro; tiene un color amarillento, se puede laminar bien, y admite un hermoso plateado galvánico.

En la fabricación de los diferentes objetos de metal blanco se emplean toda clase de máquinas y aparatos, usados también en otras industrias análogas, y que prueban los grandes progresos técnicos de nuestra época. Las máquinas de cortar y las prensas sacabocados sacan de las planchas de metal piezas de las formas más variadas y cuyo destino es á veces muy difícil de determinar: en el primer corte de una cuchara, por ejemplo, apenas puede notarse el parecido más remoto con dicho objeto; pero con solo pasar la pieza entre dos cilindros de acero, en cuya superficie se halla grabada la forma apetecida, se estira y adelgaza, convirtiéndose como por ensalmo en una cuchara elegante y perfectamente acabada. Las piezas recortadas como es debido, que se destinan á objetos huecos ó de relieve, pasan por las prensas de troquel, en las que reciben las impresiones correspondientes, después de lo cual se unen entre sí por soldadura. Los objetos de plancha ú hoja más delgada reciben sus formas en tornos especiales de repujar, que sustituyen ventajosamente el trabajo manual con martillo y punzón, mientras que las piezas sólidas, como pies, columnitas, etc., se funden

en moldes. De esta suerte un objeto artístico de forma complicada resulta con frecuencia hecho de piezas de las clases más diversas y elaboradas por los procedimientos más varios, que luego se reunen y sueldan entre sí con arte tal, que constituyen, al parecer, una pieza única. No podemos descender á más pormenores, porque hay cosas que se comprenden viéndolas, pero cuya explicación ó descripción escrita, siempre resulta prolija y defectuosa.

ANTIMONIO

El antimonio, cuyo nombre procede del árabe *al-ithmidun*, no desempeña por sí solo papel alguno en el mundo técnico, y se produce rara vez en estado perfectamente puro. En la Naturaleza sólo se presenta por excepción en estado nativo, mezclado con algo de plata y hierro; pero en cambio se encuentra con mucha frecuencia en combinación con otros metales y con azufre, formando parte de muchos minerales de plomo, cobre, níquel y plata, entre los que podemos citar la pirargirita, ó plata roja oscura, la ulmanita y el cobre gris, por ejemplo. Pero el mineral de antimonio más importante para la industria es la *antimonita*, ó sulfuro de antimonio, de cuya descomposición ó transformación natural resultan la *valentinita*, la *senarmontita* y el *ocre de antimonio*, que son óxidos de este metal. Otros minerales son la *zinquenita*, compuesta de antimonio, plomo y azufre, que sólo se presenta, que sepamos, en los criaderos de Stolberg, en el Harz, y la *bournonita* que contiene los mismos elementos y además cobre, encontrándose en bastantes criaderos cobrizos, pero sólo en pequeñas cantidades.

Allí donde los minerales de antimonio se presentan más ó menos íntimamente mezclados con los de cobre, plata y plomo, se miran en la mayoría de los casos como impurezas que dificultan sensiblemente el beneficio de estos metales y no merecen la pena de utilizarse; pero también se ofrecen criaderos en los que los minerales de antimonio se encuentran solos ó en cantidad preponderante, y entonces se explotan especialmente. Semejantes criaderos antimoniales existen en muchas partes, explotándose en mayor ó menor escala en Westfalia, Baden, el Harz, Bohemia, Hungría, Francia, España (Santa Cruz de Mudela, Losacio y Tineo), Canadá, Japón, Siberia, Australia y Borneo. De algún tiempo á esta parte, la senarmontita, que se encuentra en grandes cantidades en Argel, constituye la fuente principal para la producción del antimonio en Francia é Inglaterra, si bien los ingleses importan bastante antimonio de Borneo. Los alemanes se surten de minerales de antimonio principalmente de los criaderos húngaros.

La antimonita se presenta en la tierra en forma de masas fibrosas ú hojosas, ó bien en la de agregados compactos de cristales ó agujas prismáticas, de color

gris azulado y brillo metálico intenso, y debió llamar la atención del hombre en una antigüedad muy remota. Como sucede todavía hoy, las mujeres del Oriente, en épocas muy antiguas, se teñían ó pintaban las cejas con el mineral referido, ó algún preparado del mismo, á fin de hacerlas mayores y más regulares, por cuya razón los antiguos griegos designaban la antimonita con un nombre que significa «lo que ensancha los ojos»; los romanos le llamaban *stibium*, y Plinio habla ya de él como sustancia medicinal. El conocimiento del antimonio como metal ó elemento, en el sentido químico de la palabra, se remonta, al parecer, al siglo XV; antes era tenido por una especie de plomo, ó se confundía con el bismuto, y los alquimistas de la Edad Media trabajaban mucho con él. El entonces (1460) célebre químico y fraile francés, Basilio Valentino, investigaba con afán las propiedades medicinales del antimonio; y como, según se refiere, murieron varios monjes de resultas de sus ensayos, el metal recibió en Francia el nombre de *antimoine*, que vale tanto como decir: «medio contra los monjes.» Semejante etimología parece bastante inverosímil; tanto más, cuanto que el equivalente latino, *antimonium*, se usaba ya mucho antes; al menos se encuentra en la traducción latina de los escritos árabes de Geber.

El antimonio metálico ofrece particularidades que bien podían llamar la atención y avivar las esperanzas quiméricas de los alquimistas. Si se funde sobre un pedazo de carbón, por medio del soplete, un poco de antimonio, y se vierte sobre una superficie horizontal, se divide en multitud de globulitos que, al esparcirse en todas direcciones, dejan tras sí un rastro blanco como línea trazada con tiza, y que se debe á la oxidación tan rápida del metal. Si, en cambio, y después de fundido, se deja en reposo en el antimonio, el glóbulo se cubre pronto con multitud de cristalitos en forma de aguja, consistentes tambien en óxido. Para nosostros, semejantes fenómenos sólo significan que el metal, después de separado de su compañero predilecto, el azufre, muestra una tendencia irresistible á asociarse con el oxígeno; pero los alquimistas interpretaban el hecho como una transmutación de la mayor importancia para los fines que perseguían.

El resplandor prolongado del metal fundido, á medida que se va enfriando, y la hermosa cristalización estrellada que se forma dentro del crisol en la superficie del baño metálico enfriado, siempre que se haya protegido durante la fusión contra los efectos del aire, eran también mirados entonces como pronósticos favorables. Más interesante todavía debió parecer á dichos alquimistas el efecto que produce el antimonio sobre el oro; basta someter un pedacito de este metal, tan sumamente dúctil, á la acción de los vapores antimoniales, para que tenga lugar una combinación entre ambos metales, volviéndose el oro al instante agrio y quebradizo. Esto parecía indicar una naturaleza en cierto modo noble del antimonio, y por lo mismo se le llamó *regulus*, es decir, reyecito. Más tarde se aplicó el nombre de *regulus* al botón de cualquier metal fundido, tal como

sale del crisol, y hoy todavía se emplea en el comercio, como abreviación de *regulus antimonii*, para designar el antimonio metálico.

El sulfuro de antimonio, que es la primera materia para la producción del metal en cuestión, es tan fusible, que se puede separar directamente de los demás minerales que le acompañan, con sólo someter el conjunto á una temperatura poco elevada. Esta licuación, como se llama el procedimiento, tiene lugar, según el modo antiguo, en vasijas dobles de barro cocido, de las que una enchufa en la otra; el fondo de la superior, que se llena de mineral, está perforado por varios agujeros, y en su interior se acumula el sulfuro fundido; las vasijas se colocan en series entre dos muros, se llenan los intersticios con combustible, y se le prende fuego. Otro procedimiento menos primitivo consiste en colocar crisoles llenos de mineral en el laboratorio de un horno de reverbero, recogiéndose el sulfuro fundido en otros crisoles situados fuera del horno y que comunican con los primeros por medio de tubos. En Francia la licuación se practica más económicamente en hornos parecidos á los empleados en el beneficio del bismuto (véanse figuras 81 y 82,) y en los que las vasijas son tubos inclinados de hierro colado, revestidos interiormente con arcilla refractaria, porque el sulfuro de antimonio ataca al hierro; cada tres horas se cargan los tubos con mineral, en cantidad de 100 á 150 kilogramos cada uno, y la licuación continúa sin interrupción durante varias semanas, acumulándose el producto fundido en crisoles colocados fuera del horno, debajo de la boca de los tubos. La licuación se efectúa todavía con más rapidez y en mayor escala, si bien con mayores pérdidas, echando el mineral directamente sobre la plaza inclinada de un reverbero; pero, hablando en general, se puede prescindir completamente de la licuación (que de un modo ó de otro siempre da lugar á pérdidas por residuos y por volatilización), sometiendo los minerales finamente triturados á una buena preparación mecánica.

El sulfuro, libre de minerales extraños y fundido, se llama comúnmente *antimonio crudo*. Parte de él se emplea en farmacia; otra parte se convierte, por ciertos fabricantes de productos químicos, en tartrato potásico de antimonio, que se emplea hoy en grandes cantidades en el estampado de telas, y una tercera parte se reduce á antimonio metálico ó regulino.

El procedimiento más sencillo para la producción del régulo antimonial es la llamada fusión precipitante, que consiste en fundir el sulfuro referido, á la incandescencia roja, con hierro dulce en forma de hierro viejo ó desperdicios de las fábricas siderúrgicas. La afinidad entre este metal y el azufre da lugar á la formación de sulfuro de hierro, mientras que el antimonio queda libre; pero generalmente se añade á la carga algún carbonato ó sulfato de sosa, á fin de que se forme súlfido sódico de hierro, que facilita la separación del antimonio al tiempo de enfriarse. Sin embargo, el antimonio obtenido de esta manera siempre contiene hierro, para oxidar y eliminar el cual es preciso volver á fundir con nitro.

Un modo de beneficio que difiere completamente del anterior, consiste en una calcinación del sulfuro de antimonio, seguida de una reducción del óxido resultante. Si se calcina dicho mineral con las debidas precauciones, el azufre se volatiliza en forma de ácido sulfuroso, y el antimonio se combina con el oxígeno del aire; el producto es un óxido impuro, de color blanco amarillento, ó, mejor dicho, una sal, el antimoniato de antimonio, pues el metal de que tratamos pertenece á la categoría de los que forman ácidos, es decir, que su óxido, al asimilarse mayor cantidad de oxígeno que la que le corresponde como tal, adquiere la naturaleza de un ácido, y esto es lo que sucede, al menos parcialmente, en la calcinación del sulfuro La reducción del producto de esta operación consiste, como de costumbre, en el alejamiento del óxígeno, á cuyo efecto bastaría teóricamente un caldeo de aquél con carbón; mas como dicho producto siempre contiene algún sulfuro de antimonio sin descomponer, y como es preciso cuidar de la formación de una capa protectora de escoria, á fin de impedir la volatilización del óxido, se mezcla el carbón con un álcali, la sosa, por ejemplo, ó bien se emplea en la reducción el tártaro crudo, que contiene carbón y potasa. La reducción se verifica en crisoles á la incandescencia roja; el carbón priva al antimonio de oxígeno y se convierte en óxido de carbono; el metal se acumula en el fondo del crisol y allí se deja enfriar lentamente bajo la capa de escoria, á fin de que se desarrolle en su superficie la cristalización en estrellas, antes referida, que tanto gusta en el comercio, si bien no puede servir de norma respecto de la calidad; en realidad el antimonio ferruginoso ostenta una cristalización más hermosa que el metal puro. Para librar el antimonio de sus impurezas metálicas (hierro, arsénico, cobre, plomo, etc.), se vuelve á fundir dos ó tres veces con materias que se asimilen dichas impurezas, formando con ellas una escoria; empléanse comúnmente, al efecto, el nitro, la sosa, el sulfuro de antimonio y el sulfuro de hierro.

El antimonio es un metal muy brillante, de color blanco de estaño, de estructura cristalino-hojosa, y tan agrio que se deja reducir fácilmente á polvo. Merced á esta última propiedad, es evidente que no es por sí solo un metal á propósito para los usos técnicos; su utilidad industrial estriba principalmente en su capacidad de endurecer otros metales con los que se alía. En el aire, y á la temperatura ordinaria, conserva su brillo; pero al fundirse, se asimila el oxígeno de aquél, volatilizándose en forma de vapores de óxido. A la incandescencia blanca, y con exclusión del aire, se deja destilar enteramente como el cinc. El ácido clorhídrico caliente disuelve el metal, con desprendimiento de hidrógeno, formándose un cloruro triple de antimonio, que es un mordiente bien conocido; el ácido nítrico no disuelve el metal, y sólo lo convierte en un polvo blanco que, según la concentración ó fuerza del ácido, consiste en óxido ó en ácido antimónico, ó bien en una combinación de ambos; el agua regia disuelve el antimonio con gran facilidad, formándose una mezcla de cloruro triple y quín-

tuple. En la coloración del vidrio y la pintura al encausto se emplea el óxido de antimonio para producir colores amarillos.

El sulfuro natural, ó sea la antimonita, encuentra varias aplicaciones en la industria. Por ejemplo, en la pirotécnica, y especialmente mezclado con cloruro de potasa, sirve para los preparados llamados mistos, que se encienden y explotan mediante un golpe ó la fricción, y de aquí su empleo en la fabricación de fósforos y cápsulas explosivas. Para los casos en que el producto natural no es bastante puro, se prepara de un modo artificial fundiendo cinco partes de antimonio metálico con dos de azufre, los que se combinan directamente á una temperatura relativamente baja. Para los preparados farmacéuticos es preciso eliminar del antimonio un acompañante, tan venenoso como el arsénico. El antimonio metálico en división muy fina, tal como se obtiene de sus disoluciones por precipitación mediante el cinc, se emplea bajo el nombre de *negro de hierro* para pintar figuras de yeso, objetos de hierro, etc.

La afinidad tan marcada entre el antimonio y el azufre, se manifiesta también en las operaciones químicas por la vía húmeda. Si una disolución antimonial cualquiera se mezcla con otra que contiene azufre, resulta un precipitado de antimonio. Pero lo particular es que estos precipitados ostentan un color anaranjado ó de cinabrio, mientras que la combinación natural de dichos elementos presenta siempre un aspecto metálico negruzco. La propiedad en cuestión se aplica á la fabricación del llamado *cinabrio de antimonio*, que compite en el comercio de los colores al óleo con el cinabrio verdadero, ó sea el sulfuro de mercurio. Volveremos sobre este punto en el capítulo de los pigmentos ó colores minerales.

El antimonio forma parte de muchas aleaciones duras, que se emplean en la maquinaria en forma de cojinetes, y en la fabricación de espejos metálicos. El estaño, tan blando, se endurece tanto con el agregado de antimonio, que su empleo ha podido extenderse notablemente en forma del llamado metal británico, y también el plomo, mezclado con antimonio, pierde totalmente su naturaleza blanda, convirtiéndose en una masa dura, rígida y bronca. Una aleación compuesta, mitad de plomo y mitad de antimonio, se obtiene como producto accesorio en el beneficio de ciertos minerales de plomo y plata, constituyendo el llamado *plomo duro*, que, según que contenga más ó menos arsénico, se utiliza en la fundición de letras de molde, ó en la de perdigones. Esta aplicación del antimonio, en unión con plomo, á la fundición de letras de imprenta (industria de que nos hemos ocupado en el tomo I de esta obra), es de las más extensas é importantes, bastando por sí sola para reclamar en favor del *régulo*, el debido respeto de las personas—y son muchas—que escriben libros, los componen, imprimen y leen.

BISMUTO

Este metal es de aspecto bastante parecido al antimonio, pero abunda mucho menos que él, y vale, por lo mismo, de diez á veinte veces más. Desconocido de los antiguos, ó confundido con otros metales, fué señalado por Agrícola, á principios del siglo XVI, como elemento nuevo, si bien el químico Pott, que vivió dos siglos más tarde, fué el primero en investigar su naturaleza con algún detenimiento. Lo que nadie ha podido averiguar hasta el presente, con algún grado de probabilidad, es la significación original de las voces *wismat*, *bisemut*, etc., con que se designaba antes el metal de que ahora tratamos.

El bismuto es de los pocos metales que se presentan en la Naturaleza en estado nativo, y por consiguiente, y dada su fusibilidad, su beneficio metalúrgico es sumamente sencillo, reduciéndose á una mera licuación; en cambio, la purificación del bismuto de las pequeñas cantidades de metales extraños que siempre contiene después de la primera fusión, es una operación muy detenida. Para los usos industriales, carecen de importancia semejantes impurezas; mas tratándose de preparados medicinales, el bismuto debe estar enteramente libre de plomo, cobre, arsénico y teluro. No existen en Europa criaderos de bismuto, propiamente dichos, sino que el metal nativo se encuentra siempre en compañía de minerales de níquel y cobalto, plata, etc.; además se presenta á veces, aunque en pequeñas cantidades, en forma de óxido, constituyendo el llamado *ocre de bismuto*, en combinación con azufre, formando la *bismutina*, y como *tetradimita*, ó sea una combinación de bismuto, teluro y azufre.

En los primeros tiempos de la industria del azul de cobalto, en Sajonia, apenas se reparaba en el bismuto; se licuaba durante la calcinación de los minerales de cobalto y caía por la rejilla del hogar al cenicero, por cuya razón los operarios le llamaban ceniza de plomo. Más adelante, y reconocida su utilidad, se sometieron los minerales, y todavía se someten antes de calcinarlos, á una licuación en hornos especiales (figuras 81 y 82), echándolos en los tubos inclinados *f*, que se calientan hasta el rojo incipiente, mientras que el bismuto licuado pasa por un orificio reservado en la extremidad inferior de los tubos, cayendo en pequeñas vasijas colocadas debajo. El bismuto que queda en los minerales después de la licuación, pasaba antes, en la fusión ulterior, á formar parte del spais de níquel; mas como esto daba lugar á pérdidas, se funden hoy los minerales calcinados, con carbón, hierro y fundentes, en las vasijas destinadas á la preparación del esmaltín: el bismuto fundido se reune debajo del spais de cobalto, solidificándose mucho después que éste, de modo que se separa fácilmente. Tambien se obtiene un resto de bismuto en la separación, por la vía húmeda, de cobalto, níquel, etc., precipitando dicho metal por medio de agua. Las diso-

luciones de bismuto no se pueden diluir con agua sin que la mayor parte del metal se precipite en forma de una sal básica, es decir, óxido con un poco de ácido, de manera que, mediante la adición de mucha agua, se puede obtener casi todo el bismuto como polvo blanco, que se reduce entonces á metal por medio de potasa y carbón. En el beneficio de las menas argentíferas que contienen bismuto, éste se reune con la plata durante la copelación, quedando después absorbido, durante el afino, por la masa porosa que constituye la plaza del horno, de la que se extrae luego por la vía húmeda.

De las maneras referidas producíanse antes en Sajonia unos 15.000 kilogra-

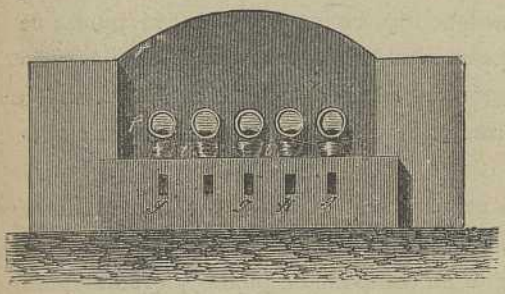


FIG. 81.

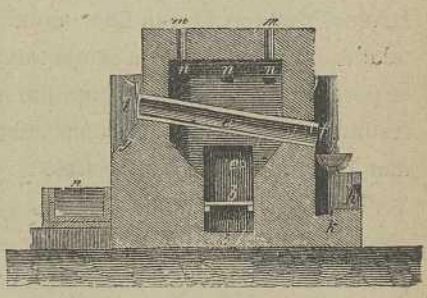


FIG. 82.

Horno para la licuación del bismuto.

mos de bismuto al año, la única cantidad disponible desde que Inglaterra dejó de producir dicho metal, y que hubiera seguido satisfaciendo las necesidades de la industria si el bismuto no hubiera adquirido de pronto una importancia medicinal nunca soñada; la consecuencia fué que, ante una demanda cada vez más activa, subió rápidamente el precio del metal desde 3 á más de 50 pesetas por kilogramo. Las circunstancias han variado, sin embargo, en los últimos años, merced al descubrimiento de ricos criaderos de bismuto en el Perú y la Australia; esta tierra lejana produce minerales con un 94 por 100 de bismuto, consistiendo el resto en cobre y antimonio; los del Perú también son ricos, y, como los australios, libres de arsénico, aunque tienen algún teluro; se traen á Europa en cantidades relativamente considerables, de modo que las fábricas sajonas, que los benefician en parte, producen anualmente unos 55.000 kilogramos de bismuto.

La purificación ó afino del bismuto ordinario se verifica, por lo general, fundiéndolo con nitro, cuya sustancia promueve la oxidación y la separación de los metales extraños; mas si se quiere obtener bismuto químicamente puro, tal como lo emplean los farmacéuticos, es preciso disolverlo en ácido nítrico, transformándolo en nitrato. Para purificar esta sal de los indicios de teluro procedentes de los minerales americanos y que son tan difíciles de eliminar, hay que cristalizarla repetidas veces, y sólo entonces, y mediante la precipitación con mucha agua, se obtiene un nitrato básico ó subnitrato de bismuto, en forma de polvo

blanco, por la reducción del cual con carbón resulta el metal enteramente puro. Esta reducción no se practica mucho, pues el *subnitrato de bismuto* constituye por sí el principal artículo de comercio, del que consume al año el ejército francés más de 1.000 kilogramos; se emplea también en la preparación de cosméticos y en la pintura sobre porcelana, vidrio y esmalte. Como afeite se vende también el cloruro básico de bismuto, bajo el nombre de *blanco de España.*

El parecido exterior entre el bismuto y el antimonio se extiende á la fusibilidad, la estructura cristalino-hojosa y la bronquedad, pues el bismuto también se deja reducir á polvo. Este metal tiene un aspecto de los más hermosos, cuando, después de fundido en un crisol, se deja enfriar hasta cierto punto, se taladra ó rompe la costra sólida formada en la superficie, y se vacia por el agujero la parte de metal todavía líquida; las paredes interiores del hueco así formado resultan cubiertas de hermosas cristalizaciones, que al enfriarse al aire se empañan, tomando preciosos colores.

En la aplicación del bismuto á la preparación de aleaciones con estaño y plomo, el único fin que se persigue es la fusibilidad; en ciertas industrias se emplea la llamada soldadura blanda, que se compone de plomo y estaño; pero si se trata de soldar piezas de estaño plomífero, que son por sí muy fusibles, es preciso emplear una soldadura todavía más fusible, la cual se prepara añadiendo bismuto á los metales mencionados. También los fundidores de letras de molde emplean un poco de bismuto para facilitar sus operaciones, si bien redunda en perjuicio del producto, toda vez que dicho metal hace quebradizas todas las aleaciones con que se mezcla. Se emplean además aleaciones de bismuto muy fusibles para obtener clichés de grabados en madera, y en algunos países es obligatorio reservar en toda caldera de vapor un orificio que se rellena con una aleación semejante, á fin de que, si la temperatura de la caldera se eleva demasiado, en virtud de la falta de agua, la aleación se funda y el vapor se lance por el agujerito al pito correspondiente, dándose así automáticamente la alarma, y evitando acaso una explosión fatal.



COBRE

Apuntes históricos.—Minerales.—Beneficio de los mismos.—Neutralización y condensación de los humos ácidos.—Producción de cobre: datos estadísticos —Propiedades y aplicaciones del cobre.—Bronce: fundición de campanas, cañones y estatuas.—Latón, y fabricación de objetos del mismo.

DESDE el punto de vista técnico ó de la utilidad práctica, el cobre ocupa, sin disputa, después del hierro, el puesto más importante entre los metales; y aun se coloca delante del hierro respecto de la multiplicidad de sus aplicaciones, en virtud, sobre todo, de poder servir en la preparación de un número considerable de aleaciones sumamente útiles. Pero la Naturaleza no se ha mostrado, ni con mucho, tan generosa con el cobre como con el hierro; pues si bien aquél no falta por completo en ningún país importante del globo, ha sido siempre, hasta hoy, un artículo relativamente raro, pagándose, por lo mismo, bastante más caro que el hierro. En los últimos tiempos, sin embargo, la explotación en grande de nuevos criaderos y el notable impulso dado á la de otros

ya conocidos, en especial en nuestra península, han tenido por consecuencias naturales un aumento considerable de la producción de cobre y la rebaja correspondiente de su precio; aumento y rebaja que tienden á acentuarse cada año más.

Es todavía muy común la creencia de que el hombre se sirvió del cobre mucho antes que del hierro; mas aunque semejante tesis puede sostenerse razonablemente respecto de ciertos pueblos, en particular de América, donde abunda ó abundaba el cobre nativo á flor de tierra, no es admisible para otras partes del mundo. Los antiguos mejicanos y peruanos, y los americanos en general, no parecen haberse servido del hierro antes del descubrimiento de su continente por los europeos, mientras que tenían armas y herramientas de cobre puro; y en varios sepulcros prehistóricos de Europa y Asia se han encontrado objetos diversos de este metal, que se presenta con abundancia en Siberia, en estado nativo. Pero en el antiguo Egipto, en Grecia y otros centros de civilización oriental poco menos que prehistórica, está fuera de duda que el hierro y el acero se utilizaban á la par del cobre; y en todo el gran continente africano, fuera de Egipto, en el que los pueblos han permanecido hasta hoy en la infancia, el hierro se produce y elabora desde tiempo inmemorial, mientras que huelgan por completo los indicios de un empleo antiguo del cobre. Esto que decimos del metal puro, es aplicable con mayor razón aún á su aleación con estaño ó cinc, que llamamos bronce ó latón; pues el cobre nativo se puede cortar y labrar en frío á fuerza de golpes, mientras que la fundición de aquellas aleaciones supone conocimientos superiores y medios más perfectos. Pero no insistiremos más sobre este punto, puesto que lo hemos dilucidado suficientemente en la Introducción general á esta obra. (Véase tomo I, páginas 88 y siguientes.)

Cuando, siguiendo la pista al cobre y sus aleaciones á través de la historia, se consultan los textos de la Biblia y otros más ó menos antiguos, resulta que aquellos escritores no distinguían esencialmente entre el uno y las otras; el bronce bíblico, el *chalcos* griego y el *aes* romano, pueden significar lo mismo cobre que bronce ó latón. Los griegos distinguían un *chalcos* blanco, otro negro y otro rojo, y más adelante agregaron á la lista un *aurichalcum*, ó cobre de oro; entre estas clases debió estar comprendido el latón, puesto que la fusión del cobre con óxido de cinc (calamina) data de muy antiguo. Pero mientras que los griegos derivan su denominación *chalcos* del nombre de una población de la isla de Euboea, ó sea de *Chalkis*, que era tal vez un centro de producción del metal en cuestión, los romanos relacionaban el cobre con otra localidad, pues el *cuprum* latino se supone derivado de *aes cypricum*, significando metal de Chipre, porque, según Plinio, el cobre se encontraba en esta isla en grandes cantidades. Del latino *cuprum* se derivan nuestro *cobre*, el *cuivre* de los franceses, el *kupfer* de los alemanes y el *copper* de los ingleses.

MINERALES DE COBRE

No es raro encontrar el cobre nativo en los filones cobrizos propiamente dichos, ó en compañía de otros metales, en formas cristalinas, denticulares, arborescentes, capilares ó laminares; pero en la mayoría de estos casos se halla tan diseminado por la masa del filón, que la explotación de éste no tiene cuenta. En algunas pocas localidades, en especial en los Urales y en el Estado de Michigan, á orilla del Lago Superior, se presenta el cobre nativo en masas considerables, habiéndose encontrado en la superficie del terreno trozos de mil y hasta tres mil kilogramos de peso. En Michigán, la explotación de esta riqueza se remonta á tiempos muy anteriores á la llegada de los europeos, pues en una extensión de 200 kilómetros se encuentran allí labores mineras, someras en parte, rellenadas y cubiertas por la vegetación de muchos siglos, y en las que se han hallado martillos de piedra, cinceles de cobre y carbón vegetal. Esta explotación se reanudó por los ingleses á fines del siglo pasado, y ha tomado gran desarrollo de cincuenta años á esta parte, presentándose á veces el metal nativo, en enormes bloques, á una profundidad bastante considerable; en 1869, por ejemplo, se desentrañó á 160 metros bajo la superficie una plancha natural de dimensiones colosales, pues tenía 19 metros de largo, 9,50 de ancho y cerca de un metro de grueso. De Chile se traen á Inglaterra grandes cantidades de una arena que contiene á veces de 40 á 60 por 100 de cobre nativo, componiéndose el resto de cuarzo. En Siberia y algunas regiones vecinas del país de los kirgisios, se han descubierto, en años recientes, depósitos sumamente ricos de cobre nativo, que se presenta, ya en grandes pedazos á ocho metros bajo la superficie, y en masas enormes á profundidades mayores, que, según se afirma, alcanzan á veces un peso de 10.000 kilogramos, en lo que puede muy bien haber alguna exageración.

El cobre nativo presenta con frecuencia una superficie empañada de color pardo, ó bien se halla cubierto de cardenillo ó de una capa más ó menos gruesa de óxido; pero, por lo demás, equivale al cobre fundido y puede elaborarse desde luego; los indígenas norteamericanos, que antiguamente se servían de él, lo trabajaban en frío, á fuerza de golpes con martillos de piedra. Acerca del modo de formarse en la tierra el cobre nativo, andan aún divididos los pareceres; pero lo más probable es que sea el resultado de una transformación del sulfuro y del silicato de cobre contenidos originariamente en las rocas, merced á procesos naturales de carácter químico ó electro-químico. El metal de que hablamos se presenta en la Naturaleza con mayor frecuencia y en mayor abundancia, combinado con oxígeno ó azufre, constituyendo las menas cobrizas que son más comúnmente objeto de la explotación minera; pero además, aunque sólo en porciones

mínimas, se encuentra diseminado en la tierra vegetal, el agua del mar y muchas aguas minerales, en varias plantas y animales, especialmente los moluscos, habiéndose hallado indicios de su presencia en el cuerpo humano.

Según lo expuesto, los minerales de cobre se pueden clasificar en dos grupos naturales: las combinaciones del metal con oxígeno y las con azufre. Entre las primeras tenemos en primer término la *cuprita*, ó cobre rojo, que consiste en protóxido de cobre y se presenta cristalizada ó en forma maciza; forma una parte considerable de las ricas menas cobrizas descubiertas en Australia, y en su estado más puro, que no es, sin embargo, el más frecuente, contiene cerca de 89 por 100 de metal. La *malaquita* y la *azurita* son combinaciones del óxido de cobre con ácido carbónico y agua; la primera, de un hermoso color verde, se encuentra en grandes masas en los Urales, empleándose los trozos mayores y más puros en la labra de objetos artísticos y decorativos, y beneficiándose metalúrgicamente sólo las partes impuras; la segunda, ó sea la azurita, es de un precioso color azul de Prusia, y no abunda tanto como la malaquita. Tanto en vista de su riqueza en cobre como de la facilidad con que se benefician y la buena calidad del metal que dan, los minerales oxidados referidos son muy estimados por los metalurgos; además podemos mencionar la *atacamita*, procedente de Chile y la Australia meridional, que consiste en óxido y cloruro de cobre.

Los minerales cobrizos oxidados no se encuentran generalmente en la abundancia que fuera de desear, y de aquí que la mayor parte del cobre que se produce hoy proviene del beneficio de minerales sulfurosos. A esta categoría pertenecen: la *chalcosina*, que contiene en su estado más puro cerca del 80 por 100 de cobre en combinación con azufre, pero que está mezclada, por lo común, con algún sulfuro de hierro y á veces sulfuro de plata; la *bornita*, ó cobre abigarrado, que es una combinación de los sulfuros de cobre y hierro, que se encuentra principalmente en Inglaterra, Suecia y Sajonia, en compañía de otros minerales cobrizos, y contiene más del 25 por 100 de cobre; la *chalcopirita*, también compuesta de sulfuro de cobre y hierro, aunque en proporciones distintas de las de la bornita, que contiene en estado puro el 35 por 100 de cobre, y es el mineral cobrizo más común, presentándose á veces en enormes cantidades, como sucede en el Rammelsberg (Harz), en Roeraas (Noruega), en Falun (Suecia), en nuestra provincia de Huelva, en Portugal y en el territorio de Montaña-Arizona, en los Estados Unidos, si bien suele hallarse mezclada con piritas de hierro y otros minerales, conteniendo á veces un poco de oro ó plata. Bajo el nombre genérico de *cobre gris* se hallan comprendidos varios sulfuros arsenicales y antimoniales de dicho metal, con 15 á 55 por 100 del mismo, que contienen también plata, hierro, cinc ó mercurio; en la *freibergita*, que pertenece á esta categoría, se encuentra más del 33 por 100 de plata, pero es un mineral poco común. Por último, la pizarra cobriza es objeto á veces de la explotación minera, en espe-

cial en el distrito de Mansfeld (Prusia), pero no constituye un mineral de cobre propiamente dicho, sino una roca calizo-arcillosa descompuesta, en lo general ennegrecida por las materias bituminosas que contiene, y en las que se encuentran varios minerales de cobre, como bornita, chalcopirita, chalcosina y cobre nativo, en compañía de plata y minerales de cobalto, cinc, etc., todos en partículas tan finas y diseminadas, que no son perceptibles á simple vista.

Merced á una dirección facultativa y una administración bien entendidas, la explotación y el beneficio metalúrgico de las pizarras cobrizas de Mansfeld se han sostenido durante siglos, y siguen practicándose en grande escala, si bien el mineral no contiene más de 1 á 3 por 100 de cobre, lo que no cubriría los gastos, si no fuera por una mínima proporción de plata que se beneficia al mismo tiempo; gracias á este metal precioso se aprovechan actualmente pizarras que no contienen más de un medio por ciento de cobre. La extensión de la capa pizarrosa de Mansfeld, cuyo espesor nunca excede de 50 centímetros, comprende muchos kilómetros cuadrados; otra formación análoga, que es también hace siglos objeto de la explotación, ciñe la parte Noroeste de la selva de Turingia. Tampoco el inmenso distrito cobrizo hispano-portugués, de las provincias de Huelva y Alemtejo, que ocupa una extensión longitudinal de unos 183 kilómetros, se distingue por la riqueza de sus minerales, cuyo contenido medio en cobre no pasa del 2,5 á 5 por 100, aunque sí por su extraordinaria abundancia, que permite una explotación en escala jamás soñada antes en nuestro país, y de la que dimos algunos pormenores en el tomo III de esta obra. Lo propio puede decirse de los inmensos criaderos cobrizos de Arizona, cuya producción supera ya á la nuestra.

BENEFICIO DE LAS MENAS DE COBRE

Los procedimientos metalúrgicos á que se someten las menas cobrizas, varían según la naturaleza de éstas, y pueden ser relativamente sencillos, ó bien muy complicados. Además de la calcinación y la fusión reductiva, que se practican en el beneficio de la mayor parte de los metales, va ganando terreno la interesante aplicación á la del cobre del procedimiento de Bessemer; mientras que, por otro lado, se hallan en práctica varios procedimientos por la vía húmeda, basados en el hecho de que el cobre disuelto puede precipitarse en forma metálica por medio del hierro, ó bien mediante la corriente eléctrica. Los procesos por la vía seca se diferencian principalmente, según que se trate de beneficiar minerales oxidados ó sulfurosos, resultando á veces complicadísimos con estos últimos, especialmente cuando, además del cobre, contienen otros varios metales aprovechables, como plomo y plata. En cambio, el beneficio de las menas oxidadas, ó sean las de cuprita, malaquita y azurita es muy sencillo, pues se reduce esencialmente á una fusión de dichas menas, en un horno de

cuba, con carbón, escorias cobrizas y piedra caliza, operándose la reducción del óxido á metal por la mera acción del carbón.

Según que el beneficio de las menas sulfurosas tenga lugar en hornos de cubaó en hornos de reverbero, se distinguen el procedimiento alemán y el inglés, entendiéndose por procedimiento mixto cuando alternan ambos. Las menas ricas y puras se funden igualmente bien en ambas clases de hornos, mientras que las pobres se apuran mejor en los de cuba. Cuanto más pobre es la mena, más combustible se necesita por unidad de cobre, y de aquí que el procedimiento inglés no pueda implantarse en distritos donde las menas son pobres, y la hulla escasa y cara. Tratándose de menas variables, tanto respecto de su riqueza como de su composición química y las gangas que las acompañan, es preferible su beneficio en hornos de reverbero; porque teniendo la carga á la vista y pudiendo estudiar la marcha de la operación, el fundidor inteligente puede regularla en el momento oportuno. Una marcha uniforme en el horno de cuba sólo se consigue con menas de condiciones más iguales.

En cuanto á la influencia de metales extraños, las menas puras ó que no contienen más que cobre, se benefician con mayor rapidez y menos gasto en mano de obra y combustible, en hornos de cuba. La presencia en la mena de plomo, cinc, antimonio, arsénico, etc., dificulta la operación y aumenta los gastos, tanto en el horno de cuba como en el de reverbero. Una pequeña cantidad de antimonio y arsénico se elimina más completamente en el horno de cuba que en el de reverbero, mientras que si dicha cantidad es crecida, sólo se consigue producir un cobre regular en el horno de reverbero. El arsénico es menos perjudicial que el antimonio, porque las sales arsenicales que se forman durante la calcinación se descomponen más fácilmente, y es también más fácil volatilizar el arsénico combinado con el cobre que el antimonio. A veces puede beneficiarse el oro y la plata contenidos en las menas cobrizas; pero el procedimiento resulta más complicado, y puede perjudicarse la calidad del cobre. En cuanto al hierro contenido en las menas cobrizas, lejos de ser perjudicial, es de la mayor utilidad para el beneficio, tanto, que á las menas que no contienen sulfuro férrico y son ricas en cuarzo ó silicatos, se añade hierro como base para la formación de la escoria, pues de lo contrario se escorificaría el cobre. En la metalurgia de este metal desempeña el hierro un papel protector, pues se sacrifica para que el cobre se conserve.

Por regla general conviene fundir separadamente las menas puras y las impuras, porque, de mezclarlas, se obtiene un cobre de mediana calidad, que no es bastante bueno para determinados usos, y lo es demasiado para otros. Si se trata de una producción muy considerable, es preferible emplear el horno de reverbero, y, en caso contrario, el de cuba, pues en igualdad de circunstancias pueden tratarse mayores cantidades de mena en el primero que en el segundo. Pero también puede combinarse el procedimiento inglés con el alemán, verifi-

cando unas operaciones en hornos de reverbero y otras en hornos de cuba, y desde el punto de vista económico este sistema mixto es el más ventajoso.

Las menas sulfurosas se someten primero á una calcinación que tiene por objeto expulsar parte del azufre y oxidar parte del hierro, á fin de que en la operación siguiente pase más fácilmente este metal á la escoria. Esta calcinación, que puede verificarse en montones, plazas muradas ó en hornos de reverbero, debe ser parcial ó incompleta, á fin de que, en la fusión que sigue, no le falte al cobre el azufre suficiente para formar una mata. Las menas, pues, parcialmente calcinadas, se someten á una fusión simple, añadiendo un poco



FIG. 83.—Horno de reverbero para la fusión de menas y matas cobrizas.

de sílice ó de menas muy silíceas para formar la escoria correspondiente, y se obtiene una mata que contiene el cobre y parte del hierro. Si las menas contienen sulfuros de plomo y cinc, se descomponen éstos parcialmente durante la calcinación, y en la fusión se volatiliza parte del cinc, pasando el resto á la escoria y á la mata, mientras que el plomo entra en especial en esta última. La mata obtenida se calcina incompletamente y se funde de nuevo, mezclada con menas de una ley próximamente igual á la suya; esta segunda fusión se llama concentración, y da por resultado una nueva mata, que contiene de 20 á 40 por 100 de cobre, según los casos, llamándose concentrada ó enriquecida. Si la mata obtenida por la primera fusión contiene cobre suficiente para que tenga cuenta proceder á la reducción, su concentración es inútil; en caso contrario, es preciso repetir la calcinación parcial y la fusión de concentración una, dos ó más veces, hasta lograr el enriquecimiento necesario. La mata concentrada, ó que contiene más del 20 por 100 de cobre, se calcina completamente si se beneficia

por el procedimiento alemán, y parcialmente si se practica el inglés, y entonces se somete á una fusión reductiva, añadiendo un poco de cuarzo para retener la mayor cantidad de hierro posible. De esta fusión resulta el llamado *cobre negro*, ó bruto, que contiene de 90 á 95 por 100 de cobre, el cinc y plomo que quedaban en la mata, y otras impurezas; el nombre se debe á la capa ó baño de oxido negro que se forma en la superficie del metal.

Según el método inglés, todas las operaciones referidas se verifican en hornos de reverbero (fig. 83), empleándose en muchas partes el combustible gasiforme, mientras que, según el alemán, las calcinaciones tienen lugar en montones ó plazas muradas, y las fusiones en hornos de cuba. Las reacciones en ambos casos son esencialmente las mismas, salvo que en el horno de cuba los principales agentes de la reducción son el carbono y su óxido, mientras que en el reverbero la reducción se debe principalmente á la acción del azufre, que descompone los óxidos y sales, convirtiéndose en ácido sulfuroso; por esto, y tratándose del procedimiento inglés, no se deben calcinar por completo las matas concentradas.

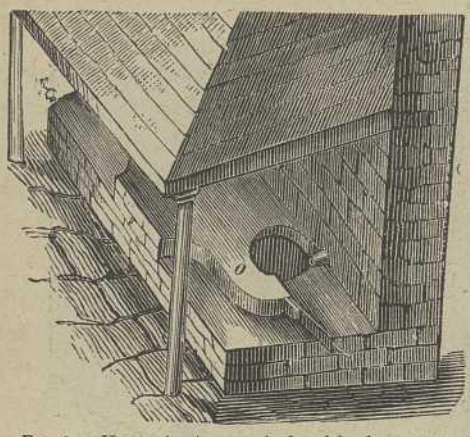


FIG. 84.—Hogar alemán para el afino del cobre negro.

El cobre bruto ó negro, que contiene de 5 á 10 por 100 de metales extraños, se purifica sometiéndolo sucesivamente á dos operaciones llamadas *afino* y *refino*. El afino, que en Alemania suele practicarse un un hogar bajo (fig. 84), parecido al de afinar hierro, y en Inglaterra en un reverbero pequeño, es una especie de calcinación aplicada á materias en fusión; por su medio se oxidan y escorifican todos los metales extraños, y para asegurar este resultado conviene oxidar también una pequeña parte del cobre. El cobre afinado contiene todavía un poco de óxido que disminuye notablemente su ductilidad, haciéndolo quebradizo, y por esto se somete al refino, ó sea á una fusión reductiva en el mismo horno que el afino, ó bien en otro.

En resumen, pues, el tratamiento metalúrgico de las menas sulfurosas de cobre comprende por lo menos seis operaciones, á saber: primera, la calcinación parcial de la mena; segunda, fusión de la mena calcinada para obtener una mata; tercera, calcinación completa ó parcial (procedimiento inglés) de la mata, si es bastante rica para la producción inmediata de cobre bruto, siendo preciso, en caso contrario, repetir una ó más veces las dos operaciones primeras, á fin de concentrarla; cuarta, fusión de la mata concentrada y calcinada para obtener cobre bruto ó negro; quinta, afino del cobre negro, y sexta, refino del metal afinado. Este tratamiento general sufre algunas modificaciones cuando son obje-

to del beneficio las menas antimoniales y arsenicales, y las que contienen una proporción notable de plomo, cinc ó estaño; la presencia de dichos elementos complica las operaciones y puede ser causa de serias dificultades; pero no debemos descender aquí á los pormenores. Sólo diremos que, para eliminar del modo más completo el antimonio y el arsénico, se practica una reducción después de la primera calcinación, y en el mismo horno, mezclando con la mena un poco de polvo de carbón, y elevando rápidamente la temperatura; luego se calcina de nuevo y se repite la reducción con carbón, y así varias veces sucesivas. Durante cada calcinación se volatilizan porciones de arsénico y antimonio, en forma de ácido arsenioso y óxido de antimonio, y las menas preparadas de esta manera se someten entonces á la fusión para obtener una mata.

Desde que se hicieron evidentes las ventajas del procedimiento de Bessemer en la siderurgia, se ha manifestado entre los fabricantes de cobre el deseo de aplicar dicho modo al beneficio de este metal, y á partir del año 1867 se han hecho varios ensayos en tal sentido, sin alcanzar resultados satisfactorios, hasta que por fin, en 1880, *Manhes* logró vencer las dificultades mediante una modificación sumamente práctica del convertidor. Ya antes de esta fecha se aplicaba, tanto en los Estados Unidos como en Alemania, el procedimiento Bessemer en hornos de reverbero modificados, al afino del cobre negro, resultando un aumento de 5 á 6 por 100 en el rendimiento, una calidad superior y más uniforme del metal afinado, un ahorro de combustible equivalente al 26 por 100, y una reducción de 20 por 100 del tiempo empleado; pero lo que más interesaba á los metalurgos era la aplicación de dicho tratamiento á la concentración de las matas de cobre y la producción del cobre negro, evitando las calcinaciones repetidas, tan molestas y costosas, y esto es lo que ha conseguido el referido Manhes.

Las grandes dificultades que ofrece el *besemerado* de las matas de cobre, comparado con el del hierro, estriban principalmente en la enorme cantidad de materias que es preciso eliminar, y que puede elevarse hasta el 80 por 100 de la masa total de la mata, mientras la cantidad de materias eliminables del hierro es muy reducida. Además, las sustancias que se oxidan durante el besemerado del hierro producen un calor mucho más elevado que las contenidas en la mata de cobre, si bien esta circunstancia no aumenta esencialmente las dificultades, aun cuando se nota cierta falta de calor al aproximarse el término de la operación. Cuando el proceso se conduce convenientemente, la combustión del hierro y del azufre proporciona bastante calor para mantener la mata en completo estado de fusión, y sólo en el tratamiento de matas muy pobres en cobre, ó, lo que es lo mismo, muy ricas en hierro, se forma bastante protóxido de hierro, que aumenta la viscosidad de la escoria, dificultando mucho el paso del aire comprimido por la masa fundida; es verdad que este inconveniente se obvia por medio de fundentes que forman una escoria más fusible; mas esto aumenta á su

vez la proporción de la escoria, que no puede pasar de cierto límite sin perjudicar el besemerado.

Este procedimiento se halla ya planteado en varias fábricas norteamericanas: las menas se calcinan en grandes hornos de reverbero, y se funden entonces en hornos de cuba, desde los cuales la mata, con 25 á 30 por 100 de cobre, pasa á los convertidores modificados de Manhes, concentrándose hasta la proporciónde 72 por 100; el producto se funde en un cubilote, y se somete de nuevo al besemerado, obteniéndose al cabo de veinte ó treinta minutos un cobre bruto de 99 por 100, es decir, con sólo uno de impurezas, que se somete al refino. Como se ve, y sin hablar de la mejor calidad de los productos, que constituye uno de los resultados más importantes del besemerado del cobre, el tratamiento metalúrgico se simplifica bastante, con notable ahorro de mano de obra y tiempo; en cuanto á la economía de combustible, resulta que, mientras el procedimiento inglés supone un consumo de 13 á 16 toneladas de hulla por tonelada de cobre fino producido, el americano, que dejamos descrito sucintamente, sólo necesita de 2 á 3 toneladas de cok.

El beneficio de las menas cobrizas por la vía húmeda presupone que sean oxidadas naturalmente, ó que se hayan oxidado por calcinación, y es preciso, además, que la ganga sea inatacable por los ácidos; porque si la mena contiene carbonatos de cal, magnesia ó hierro, por ejemplo, que se disuelven antes del óxido de cobre, el consumo de ácido aumenta hasta el punto de que el procedimiento pierde su valor económico.

Tampoco es aplicable la vía húmeda á las menas ricas, porque la disolución de una cantidad considerable de óxido de cobre por los ácidos diluídos que se emplean, tardaría demasiado. Por consiguiente, el sistema se aplica rara vez á menas que contengan más del 10 por 100 de cobre.

Un procedimiento antiguo por la vía húmeda es la llamada *cementación*, basada en el aprovechamiento de las aguas procedentes de criaderos cobrizos, y que, en virtud de la descomposición natural de la pirita de cobre, resultan más ó menos cargadas con sulfato de este metal. Si en semejantes aguas se colocan pedazos de hierro, se deposita en su superficie el cobre metálico, mientras que el hierro se disuelve y combina con el ácido sulfúrico de la disolución. Hace mucho tiempo que se practica esta precipitación de aguas naturales en las minas de Ríotinto, y se producen cantidades considerables de cobre en Neusohl y Schmölnitz (Hungría), en Falun (Suecia), y en la isla de Anglesea (Inglaterra), haciendo pasar agua por las labores antiguas de las minas de cobre y por sus escombreras, y tratándolas con hierro en grandes depósitos, caldeados á veces al vapor, á fin de abreviar la operación.

En la cementación se utiliza el hierro viejo, siendo preferible el dulce, si bien por razones económicas se emplea generalmente el hierro colado; el hierro disuelto durante la operación se puede obtener de nuevo en forma de sulfato ó

caparrosa verde, á cuyo efecto basta evaporar la disolución hasta que dicha sal se cristaliza.

Para tratar las piritas cobrizas por la vía húmeda, puede utilizarse el azufre que contienen, transformando los sulfuros naturales, por medio de la calcinación, en sulfatos, los que se disuelven fácilmente en agua, y entonces el cobre se precipita mediante hierro metálico. Tal es el procedimiento que se practica hoy en grande escala en las minas de Ríotinto y otras de la provincia de Huelva, y por el que se obtuvo en 1886 la cantidad respetable de 24.336 toneladas de *cáscara* (pues así se llama el cobre precipitado), que contiene de 10 á 20 por 100 de materias extrañas y es necesario afinar. En Agordo (Alpes Venecianos) se benefician también por análogo modo grandes cantidades de menas piritosas, que sólo contienen de 1,6 á 2 por 100 de cobre.

En Stadtberge (Westfalia) se someten á la extracción, por medio del ácido, unas pizarras que contienen próximamente 10 por 100 de carbonato de cobre, en parte terroso, en parte en forma de malaquita y azurita. Esta mena se amontona en depósitos de mampostería, que desempeñan en cierto modo el papel de las cámaras de plomo en la fabricación del ácido sulfúrico, pues se introducen en ellos los gases ácido sulfuroso y óxido de nitrógeno, generados en un horno por la calcinación de piritas y blenda con un poco de nitro, y además vapor de agua. De este modo se produce, dentro de los depósitos, ácido sulfúrico, que se satura inmediatamente con óxido de cobre, formando una disolución de vitriolo, ó sulfato cúprico, que sale de aquéllos por los orificios reservados al efecto en el fondo. Con tres de estos aparatos, cada uno de los que tiene cabida para 600 quintales métricos de pizarras, la extracción completa del cobre dura ocho semanas con las más ricas, y cuatro con las más pobres. La disolución se concentra hasta tener una densidad de 1,25, y entonces se precipita el cobre por medio de hierro, afinándolo después en un reverbero. El líquido vitriólico se somete á la cristalización, y la caparrosa verde, que se obtiene en cantidad de unos 2.700 quintales métricos al año, cubre casi todos los gastos de la extracción.

Otros procedimientos se fundan en el empleo del ácido clorhídrico. En Braubach (Hessen), por ejemplo, la mata de cobre, enriquecida ó concentrada por varias fusiones, se pulveriza finamente, se calcina y se somete á la acción de ácido clorhídrico, removiendo de continuo la masa. La disolución resultante, que contiene todo el cobre, se clarifica, se calienta hasta el punto de ebullición por medio del vapor, y se mezcla con agua de cal, que produce un precipitado de óxido hidratado de cobre, que se prensa para expulsar el agua, se seca y reduce á metal en un horno. Pero á pesar de la gran baratura del ácido clorhídrico, su transporte á grandes distancias resulta costoso, por cuya razón y otros inconvenientes, se sustituye á veces con sustancias sólidas ó líquidas que contienen cloro en forma concentrada y pueden emplearse con menas de ganga caliza.

Tales sustancias son la sal común y el cloruro de hierro. Según el procedimiento de *Becchi*, por ejemplo, empleado en Campannevecchia (Toscana), se calcinan menas piritosas, añadiendo al fin de la operación sal común y calcinando diez ó doce minutos más: el óxido de cobre se convierte principalmente en oxicloruro, que se disuelve luego por medio de agua acidulada, precipitándose entonces con agua de cal ó lejía de cenizas (esencialmente carbonato potásico).

Además de los referidos, se practican otros varios procedimientos de extracción del cobre por la vía húmeda, basados en el empleo de los mismos ú otros agentes disolventes y precipitantes; pero no podemos detenernos en ellos, porque, aparte de que carecemos de espacio, reclama nuestra atención la aplicación importante de la electrolisis al beneficio del cobre. Recordaremos, antes de entrar en materia, que por *electrolisis* se entiende la descomposición electroquímica que se verifica en una pila galvánica; que cada elemento de semejante pila se compone de un electrodo positivo, ó *anodo*, y de uno negativo, ó *catodo*, y que el líquido en que se inmergen los electrodos se llama *electrolito*.

En 1867 dió á conocer *Patera* un método electrolítico de extracción del cobre disuelto en las aguas de minas, en el que el anodo lo formaban trozos de hierro colado, mientras que el catodo era constituído por pedazos de cok, provocándose la actividad del anodo por medio de una disolución de sal común. Algunos años después ensayó *Elkington* el beneficio de las matas cobrizas, fundiéndolas en forma de planchas que servían de anodos en un baño de sulfato de cobre; pero la disolución se cargaba pronto de hierro, se hacía preciso renovarla con frecuencia, y los resultados prácticos no fueron satisfactorios; mas en 1883 el ingeniero italiano *Marchese* logró vencer las dificultades que ofrecía el hierro, realizando industrialmente el tratamiento electrolítico directo de las menas y matas cobrizas. El hierro contenido en los anodos formados por planchas de mata no es un obstáculo, sino que se convierte en un auxiliar económico, puesto que se utiliza para la disociación del sulfato de cobre en la disolución extraída de los minerales calcinados. En cuanto á la dificultad resultante de la presencia de grandes cantidades de sulfato de hierro en la disolución que constituye el electrolito, la obvia Marchese mediante una circulación activa y continua de la misma entre las pilas en que se verifica la electrolisis y los depósitos en los que el mineral calcinado se somete á la lixiviación.

Industrialmente, el procedimiento de Marchese se practica de la manera siguiente: el mineral cobrizo (ó la mata y en general cualquiera materia cobriza, sea cual sea su contenido en hierro), se calcina en un horno; los sulfuros se transforman de este modo en óxidos, y el ácido sulfuroso que resulta puede convertirse en ácido sulfúrico en cámaras de plomo, á menos que se pueda comprar éste más barato. El mineral calcinado se somete á la lixiviación con ácido sulfúrico, en depósitos adecuados, para obtener la disolución de sulfato cúprico que ha de servir de electrolito; y no es necesario que la calcinación haya sido

completa, porque los sulfuros no oxidados y que forman el residuo sólido de la lixiviación, se emplean en la formación de los anodos. Si dicho residuo no es suficiente, se le añade una porción conveniente de mineral crudo ó de mata, y para obtener los anodos se funde la mezcla en un cubilote, vertiéndola entonces en moldes á propósito para que resulten planchas de mata de 80 centímetros en cuadro por 3 de grueso. Estas planchas se suspenden verticalmente, mediante láminas de cobre, en grandes cajas de madera, forradas interiormente con plomo, que constituyen los voltámetros, dejando entre ellas espacios libres en medio de los que se suspenden los catodos, que están constituídos por planchas de cobre puro de 70 centímetros por 33 y sumamente delgadas (0 m ,0003); la distancia entre anodo y catodo es de unos cinco centímetros. Por medio de los correspondientes alambres de cobre, los anodos se ponen en comunicación con el reóforo positivo del generador de la corriente eléctrica (una máquina dinamo-eléctrica), y los catodos con el negativo del mismo. Lo esencial en este procedimiento es que la disolución de sulfato de cobre, objeto de la extracción, circule continuamente entre los depósitos en que se produce y los voltámetros ó pilas electrolíticas, á fin de que resulte siempre cargada de dicho sulfato. Dispuestas así las cosas, cuando se hace circular la corriente eléctrica, se separa el cobre contenido en los anodos de mata y se deposita sobre los catodos, y al mismo tiempo el hierro se combina con el azufre formando sulfato; la fuerza electromotriz resultante de esta transformación se invierte en la descomposición del sulfato de cobre del electrolito, cuyo metal se deposita á su vez sobre los catodos. Cuando éstos han adquirido, por deposiciones sucesivas, un espesor de cinco milímetros, se sacan del voltámetro, se lavan y entregan al comercio, colocando en su lugar otras planchas delgadas de cobre puro.

El procedimiento de Marchese se practica actualmente con ventaja por la *Sociedad Italiana di Miniere di Rame e di Elettrometallurgia,* en sus establecimientos de Casarza y Pont Saint-Martin, donde se dispone, para la generación de la electricidad por medio de los dinamos, de poderosos motores hidráulicos, que contribuyen naturalmente á la economía del beneficio. Además, la *Sociedad de Stolberg y de Westfalia* ha montado en Stolberg (1885) un taller electrolítico, según el sistema de Marchese, para extraer el cobre de las matas ricas que allí se producen, pudiendo obtener de 500 á 600 kilogramos de ese metal cada veinticuatro horas.

NEUTRALIZACIÓN Y CONDENSACIÓN DE LOS HUMOS ÁCIDOS

Al tratar de los procedimientos metalúrgicos en general, dedicamos algunas palabras á la condensación de las materias volátiles que se escapan durante el beneficio de los metales por la vía ígnea, reservándonos volver sobre tan importante asunto, y es llegado el momento de cumplir, al menos en parte, lo ofre-

cido. Decimos «en parte,» porque los humos resultantes de los procesos metalúrgicos varían extraordinariamente en su composición, según su origen, y sólo deben ocuparnos en este lugar los correspondientes al beneficio del cobre. Aparte de los productos de combustión de los combustibles empleados, los humos metalúrgicos, en general, se componen de sustancias volátiles sólidas, y de otras gasiformes, procedentes todas de las materias que se benefician; pero mientras que las primeras tienen con frecuencia un valor considerable, siendo su condensación una operación muy remunerativa, las segundas son comúnmente de valor muy escaso, á tal punto que apenas merecerían atención alguna, si no fuera por los perjuicios que ocasionan á la vegetación y á la salud de hombres y animales. Como los humos resultantes del beneficio de las menas cobrizas no contienen, por regla general, materias sólidas de valor, puesto que el cobre no se volatiliza en los procesos ordinarios, y su cloruro (bastante volátil) se produce rara vez, entran desde luego en la categoría de los productos despreciables desde el punto de vista comercial; en cambio son de los que mayor proporción de gases nocivos contienen, y de aquí la necesidad de que nos fijemos en ellos, tanto más, cuanto que la cuestión palpitante de los *humos de Huelva* continúa sobre el tapete.

Los principales gases contenidos en los humos de las fábricas metalúrgicas y que perjudican la vida animal y vegetal, son los ácidos sulfuroso, sulfúrico y clorhídrico (con algunas sales ácidas), que se lanzan á veces á la atmósfera en cantidades enormes. Según un cálculo de Le-Play, hecho en 1861, las fábricas de Swansea, al Sur del País de Gales, lanzaban anualmente al aire 32.000.000 de metros cúbicos de ácido sulfuroso, que producía la desolación de la comarca; y en la actualidad, según cómputos recientes, la calcinación de más de 1.600.000 toneladas de pirita cobriza al año en las minas de Ríotinto, produce un volumen de dicho gas equivalente á *ochenta y siete millones setecientos mil metros cúbicos*. Muchos han sido los ensayos verificados, desde los del célebre industrial inglés Vivián (1820), con el objeto de aprovechar los gases en cuestión, ó al menos neutralizarlos, y son numerosos los procedimientos inventados al efecto; pero los resultados demuestran que, si bien la condensación de dichos gases ácidos es posible, sólo en contados casos puede realizarse con economía, y que precisamente la de los gases menos densos, como los que resultan de la calcinación en teleras y plazas muradas, ofrece dificultades más grandes y mayores gastos.

El medio más sencillo y menos dispendioso de obviar los efectos dañinos de los gases ácidos consiste en procurar la mayor y más rápida difusión de éstos en la atmósfera, pues está probado que no son perjudiciales á la salud ni á la vegetación cuando se hallan bastante rarificados, esto es, cuando contienen menos del 0,003 por 100 por volumen de ácido sulfuroso, por ejemplo. Las grandes ciudades en que se consume mucha hulla, lanzan diariamente á la atmósfera

enormes cantidades de ácido sulfuroso, sin que resulten daños apreciables; en Londres, donde esto sucede en mayor escala acaso que en parte alguna, florecen los más hermosos parques y jardines, y la salud de sus habitantes es de las más perfectas.

La rarefacción que decimos se puede conseguir en muchos casos por medio de chimeneas muy elevadas, á las que en terrenos llanos se da una altura de 100 á 150 metros; pero puede rebajarse considerablemente la chimenea misma si se construye en la cúspide de un monte inmediato á la fábrica, uniéndola á los hornos por medio de galerías de mampostería. Los seis establecimientos metalúrgicos del Harz superior difunden diariamente en la atmósfera, por medio de chimeneas elevadas, unos 10.000 metros cúbicos de ácido sulfuroso; en Silesia se eleva la cantidad total difundida de dicho gas á millón y medio de metros cúbicos al año; en Freiberg (Sajonia), á 2.800.000, y en el distrito de Mansfeld, á más de 3.000.000, á pesar del gran desarrollo que ha adquirido en todas las fábricas respectivas la producción del ácido sulfúrico, en la que se aprovecha precisamente, en la medida de lo posible, el ácido sulfuroso de los humos. Sin esta circunstancia, aquellas cantidades lanzadas al aire serían muy superiores y causarían tal vez daños de consideración; pero, merced á la situación conveniente de las chimeneas y á su gran elevación, unido al aprovechamiento parcial de los gases, los perjuicios originados no son, ni con mucho, tan grandes como pudiera creerse. Los gases clorhídricos se difunden difícilmente en el aire, y son, por lo mismo, mucho más dañinos que el ácido sulfuroso, exigiendo una condensación especial; pero sólo se producen en cantidad en las fábricas de sustancias químicas, y preocupan muy poco al metalurgo. En cambio, las sales ácidas ó sustancias capaces de formar vitriolos, que á veces contienen los humos metalúrgicos, son muy perjudiciales, de modo que la mera difusión de los humos en la atmósfera, á una elevación relativamente grande, es recomendable no más que cuando se trata de ácido sulfuroso solo, ó, además, de cantidades muy pequeñas de ácido sulfúrico.

Partiendo del hecho de que el ácido sulfuroso es soluble en agua, se han inventado muchos aparatos, en los que se promueve el contacto entre aquéllos y numerosos métodos para el apro vechamiento del ácido líquido en la fabricación de la celulosa, el blanqueo, la fabricación de hielo, de medios desinfectantes, etc.; pero semejante absorción del gas por el agua depende mucho de circunstancias locales, y á menos que se pueda utilizar el producto, el procedimiento resulta costoso y el remedio tan malo como la enfermedad, pues á cambio de un gas perjudicial, se obtiene un líquido no menos nocivo. Se han inventado también muchos procedimientos, con sus correspondientes aparatos, para la absorción del ácido sulfuroso de los humos por medio de la piedra caliza, el agua de cal, la magnesia, la alúmina y la sosa, y los sulfuros alcalinos, cálcico y de bario; pero ninguno ha dado resultados realmente prácticos, y lo

propio puede decirse respecto de la absorción propuesta y ensayada por medio de carbón vegetal. Algo se ha conseguido en determinados casos con el empleo de metales y óxidos metálicos: el procedimiento de *Winkler* se funda en el beneficio de lejías producidas por la acción de gases ácidos sobre hierro viejo en presencia de agua; *Létrange*, *Arland* y *Schnabel* utilizan el ácido sulfuroso de los humos en la producción de vitriolo de cinc, y *Staaden* hace pasar el gas á través de minerales de manganeso, produciendo el correspondinnte sulfato. Pero el que más interesa al metalurgo del cobre, es el procedimiento de *Hering*, basado en los ensayos de *Roessler*, y consistente en una condensación de los humos sulfurosos combinada con la extracción de cobre de sus minerales calcinados. Dichos humos pasan primero por cámaras, en las que se enfrían algo y depositan las materias sólidas arrastradas, y se hacen penetrar entonces, por medio de un ventilador centrífugo, en una serie de torres hechas ó forradas con planchas de plomo, y provistas de filtros escalonados, compuestos de capas de los minerales ó las matas calcinadas que se someten á la extracción. Desde la parte superior de dichas torres cae continuamente una lluvia de lejía vitriólica, que convierte parte del gas sulfuroso en ácido sulfúrico, el cual, en unión con la lejía, atraviesa los filtros de mineral, disolviendo el cobre. A la serie de torres de plomo sigue otra de torres de madera, en las que los humos sulfurosos son obligados á pasar por una lluvia de lejía vitriólica mezclada con polvo de mineral ó mata cobriza, cuya caída se rompe ó detiene al paso, mediante tableros convenientemente dispuestos. En ambos sistemas de torres, las lejías concentradas por la extracción salen por el fondo y se conducen á depósitos, en los que se someten á la cementación. Por último, á los gases que todavía salen de las torres de madera se les puede obligar, en caso necesario, á pasar por una cámara llena de cal antes de escaparse por la chimenea.

En cuanto al aprovechamiento de los humos para la fabricación de ácido sulfúrico (que describiremos más adelante al tratar del azufre), sólo se pueden emplear gases que contengan por lo menos un 4 por 100, por volumen, de ácido sulfuroso, quedando, por lo tanto, excluídos los que resultan de la calcinación de minerales y matas al aire libre, y cuyo contenido en dicho ácido es muy inferior. Sin embargo, de todos los procedimientos conocidos para la neutralización ó la condensación de los humos ácidos, el único que ha alcanzado verdadero valor práctico es el que tiene por objeto la conversión del ácido sulfuroso en ácido sulfúrico. Los humos que no pueden aprovecharse de esta manera, deben neutralizarse mediante alguno de los numerosos modos de condensación conocidos; y aunque en muchos casos el resultado no será completo, ni mucho menos económico, una condensación parcial, dados los intereses sociales en juego, siempre vale más que ninguna. Si, como dice Hering, una fábrica sólo produce cantidades relativamente pequeñas de ácido sulfuroso, se pueden sin temor difundir éstas en la atmósfera, por medio de chimeneas muy elevadas y

convenientemente situadas; mas si se trata de cantidades considerables de dicho ácido, aun en los humos menos densos, debe apelarse á la condensación, que se facilitaría sobremanera si los procedimientos metalúrgicos por que se desarrolla el ácido sulfuroso se practicasen siempre de manera á producir gases en menor cantidad, pero más ricos en dicho ácido: los gases procedentes de la calcinación al aire libre, por ejemplo, son por extremo difíciles de condensar, mientras que los que se producen en hornos cerrados, limitando la introducción del aire á lo puramente preciso, pueden neutralizarse con mucha mayor facilidad, á pesar de ser mucho más ricos en ácido sulfuroso que aquéllos.

PRODUCCIÓN DE COBRE: DATOS ESTADÍSTICOS

Aun cuando, respecto de la cantidad total, la producción del cobre en los diferentes países no es comparable con la del hierro, no deja por eso de ser considerable, y tiende á aumentar de año en año.

A la cabeza de las naciones productoras de cobre se hallan actualmente los Estados Unidos, siendo sus principales centros el célebre distrito del Lago Superior, en Michigán, con los criaderos acaso los más ricos del mundo, y el de Montaña Arizona, cuya importancia data de la apertura del ferrocarril llamado Sud-Pacífico. Hace pocos años, producía Chile aún más cobre que otro país alguno, y nuestros lectores habrán oído nombrar, sin duda, los importantes criaderos del Cerro de Tamaya, Coquimbo, Atacama y Copiapó; pero dicha producción ha disminuído grandemente en los últimos tiempos. En cambio, la de Venezuela ha aumentado en los últimos años, y merced al extraordinario desarrollo minero en la gran zona cuprífera de Huelva y Alemtejo, desarrollo debido casi exclusivamente á las Sociedades inglesas allí establecidas (Tharsis, Ríotinto, Santo Domingo), España y Portugal han tomado la delantera sobre Chile, siendo desde luego los países europeos que más cobre entregan al mercado. Alemania viene en segundo término, con sus poderosos criaderos del Rammelsberg y Mansfeld (Harz), y los menos importantes de Weilburg sobre el Lahn, y Dillenburg (Nassau). La producción en los demás países europeos es bastante menor, siendo Rusia la que más extrae todavía, habiendo disminuído considerablemente la riqueza de las minas de cobre inglesas, mientras que Noruega mantiene su modesto puesto, Italia el suyo, y Francia sólo produce una cantidad insignificante. En cuanto á los continentes restantes, Australia se distingue por la riqueza de sus criaderos cobrizos, cuya explotación sigue desarrollándose; la colonia de la Australia Meridional debe su prosperidad principalmente á las célebres minas de Burra-Burra, Wallaroo y Moonta. Respecto del Asia, sólo se tienen datos aproximados acerca de la producción de cobre, salvo en el Japón, donde se lleva ya una estadística en regla; por último,

Caplandia (África), produce anualmente una cantidad no despreciable de cobre.

En el cuadro adjunto hemos reunido los datos principales relativos á la producción del cobre en los diferentes países: corresponden á los años 1880, 1882 y 1884, según los trabajos estadísticos de Reyer y Merton.

PAÍSES	1880 — Toneladas.	1882 — Toneladas.	1884 — Toneladas.
Estados Unidos	25.000	41.000	64 000
Chile	43.000	92.900	41.600
España y Portugal	34.000	37.000	43.700
Alemania	10.800	13.200	14.800
Australia	9.700	8.900	13.000
Japón	1.900	»	6.000
Caplandia	4.300	»	5.000
Venezuela	1.600	»	4.600
Rusia	3.000	»	4.000
Noruega	2.400	»	2.700
Inglaterra	3.460	»	2.500
Italia	1.140	»	1 320
Bolivia	2.000	»	1.300
Austria-Hungría	1.200	»	900

Merton calcula que la producción total de cobre en el mundo se elevó, en el año 1879, á 149.156 toneladas, y en el de 1884, á 208.313.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL COBRE

El cobre puro se distingue entre todos los metales por su color rojo; tiene un brillo notable y es susceptible de un hermoso pulimento; su consistencia es bastante grande para que pueda aplicarse por sí solo á diversos usos. No carece de dureza, á pesar de lo cual es muy dúctil y maleable, de modo que se puede estirar en forma del alambre más fino, y laminar en la de planchas muy delgadas. Su peso específico equivale casi á 9; su punto de fusión, que es algo más alto que el de la plata y un poco inferior al del oro, corresponde próximamente á los 1.300 grados. En estado fundido ostenta un color verde de mar especial, y al solidificarse de nuevo deja escapar un poco de oxígeno, que antes absorbe del aire, y que arrastra algunas gotitas de metal, produciendo el fenómeno llamado *galleo* ó *lluvia de cobre*. A una temperatura excesivamente elevada, y en una atmósfera rica en oxígeno, el cobre se consume con llama verdosa; si se calienta con moderación el metal, especialmente en el aire húmedo, su superficie lisa se empaña, presentando al principio colores irisados, hasta que se cubre de protóxido de color rojo mate; si se sigue calentando al aire, se desprende de dicha superficie una costra de color pardo negruzco, consis-

tente en una mezcla de protóxido y peróxido de cobre. En el aire seco el metal conserva su brillo natural, pero en el aire húmedo se cubre poco á poco de una capa verde de carbonato básico, conocido con el nombre de *cardenillo*, que no se debe confundir con el acetato de cobre del comercio.

Tanto por sí como en combinación con otras materias, el cobre es susceptible de numerosas é importantes aplicaciones. Cuando se destina á la fabricación de bronces, latón y otras aleaciones, se entrega al comercio en forma de discos y lingotes, tal como sale de los hornos de beneficio ó de afino; pero á los efectos de las demás industrias que lo emplean, esto es, para la elaboración en forma de vasos, tubos, calderas, monedas, etc., recibe la forma de planchas, varillas y alambre. Las planchas y hojas se obtenían antes por medio de martinetes, es decir, á fuerza de batir el metal fundido; pero hoy se emplea al efecto el laminador, de igual construcción que el de las fábricas siderúrgicas; solamente las calderas de dimensiones excepcionales suelen formarse desde luego con martillos mecánicos. Si la laminación del cobre se combina con el beneficio de sus menas, etc., los lingotes ó barras moldeados al pie del horno de afino pasan directamente al laminador, en estado todavía candente; en caso contrario, ó sea cuando dicha elaboración no tiene lugar en la misma fábrica de fundición, los lingotes se caldean primero hasta el rojo en un horno á propósito; en todo caso, este caldeo se repite después de cada paso por el laminador, hasta que el lingote queda convertido en una plancha de las dimensiones deseadas. Para formar hojas delgadas, el lingote se lamina en caliente hasta resultar una plancha de cuatro á cinco metros de largo por unos dos de ancho, y de poco espesor, después de lo cual la laminación puede continuar en frío, calentándose sólo la hoja cuando el metal se pone demasiado duro á consecuencia de la operación; en tal caso, la hoja caldeada se sumerge seguidamente en agua fría, con lo cual el cobre, lejos de endurecerse más, como sucede con el acero, vuelve, al contrario, á recobrar su blandura; este ablandamiento por enfriamiento repentino es una propiedad muy característica del cobre. Por la repetición de semejante operación, las planchas ú hojas acaban por cubrirse de una capa delgada de óxido, que es preciso quitar por medio de mordientes y por fricción, empleándose al efecto el amoniaco en forma de orín descompuesto. Por último, las planchas ú hojas se someten á un glaseado entre cilindros de acero, y se cortan con arreglo á las dimensiones usuales. Recientemente, y al laminar un cobre afinado, procedente de minerales de Colorado (Estados Unidos), se ha observado un fenómeno singular y nunca visto antes: aunque dicho cobre era dúctil y maleable en frío, al alcanzar en caliente, bajo el laminador, una delgadez de tres centímetros, empezó á agrietarse, y cayó en pedazos cuando su grueso se había reducido á ocho milímetros; la causa del fenómeno, según lo evidenció un análisis del metal, era una cantidad mínima (0,083 por 100) de teluro que contenía.

Mediante el laminador se obtiene también el cobre en forma de varillas ó de alambres gruesos, que sirven como primera materia en el estirado de alambres delgados, la fabricación de clavazón y de pequeños objetos de uso común. Merced á su ductilidad, el cobre es un metal muy á propósito para alambres; una varilla de unos treinta centímetros de largo, y de dos y medio de grueso, se puede convertir en un alambre de más de siete kilómetros de longitud y más delgado que un pelo humano. En semejante forma, el cobre se emplea en la fabricación de los llamados *géneros leoneses* ó *lyoneses* (en francés *marchandises lyoniques*), ó sean alambres y cintas de cobre dorado ó plateado, sumamente finos, lentejuelas, trenzados, etc., que se usan en la fabricación de ciertos tejidos, para bordar, etc.; generalmente se doran ó platean las varillas de cobre antes de estirarlas, de modo que el oro ó la plata sufren también el estiramiento. En forma de conductores telegráficos y telefónicos, el cobre, como el hierro, se extiende y ramifica sobre la superficie del globo, especialmente bajo las aguas del Océano; y mucho cobre, en forma de alambre más ó menos delgado, se utiliza en la fabricación de toda clase de aparatos electro-magnéticos, para los cuales dicho metal es mucho más á propósito que el hierro, por ser un conductor de electricidad mucho mejor. Sin embargo, para las conducciones eléctricas más comunes, el cobre ha cedido el puesto al hierro, por razones de economía.

El cobre tiene, en grado superior, la propiedad de dejarse *repujar*, *abollonar* ó trabajar de realce en frío, sin agrietarse ó romperse, y en esta propiedad se funda el oficio ó arte del calderero. Éste convierte las planchas y hojas de cobre en calderetas y objetos huecos, á fuerza de golpes de martillo, mientras que por el mismo procedimiento del repuje, aunque mediante aparatos y máquinas especiales, se hacen para los fabricantes de cerveza, azúcar, alcohol, etc., calderas, alambiques y vasijas análogas, á veces de dimensiones enormes. Cuando no es aplicable el arte de abollonar, las diferentes planchas ú hojas que han de unirse se ribetean ó unen con ribetes ó clavitos del mismo metal. La plasticidad, digámoslo así, del cobre, se ha demostrado muchas veces, transformando por sólo el repuje, pequeñas monedas en vasos, cafeteras y objetos análogos en miniatura, cuidando de dejar á la vista alguna parte del cuño, á fin de que sirva como certificado de origen. Pero también el arte de abollonar se ha aplicado con frecuencia á la producción de verdaderos objetos artísticos, como estatuas, por ejemplo, de las que Berlín, Viena y otras capitales poseen ejemplares de mucho mérito, y el cobre ha estado también hace mucho tiempo al servicio del arte, en los talleres del grabador y del cartógrafo, y se emplea mucho en la reproducción galvanoplástica de grabados.

Antes que se generalizara la construcción de buques de hierro y acero, y aun hoy en escala más reducida, se empleaba mucho cobre en forma de planchas delgadas para forrar ó revestir exteriormente los cascos de madera, á fin de

preservarlos contra las perforaciones del temible molusco llamado taraza *(Teredo navalis)*. El cobre desempeñaba también antes un papel importante como material para la cubierta de edificios; pero hoy le ha sustituído en este terreno el cinc, que es muy duradero y mucho más barato. Por último, el cobre pasa diariamente por nuestras manos en forma de moneda, pues entra en la composición, no sólo de las piezas de bronce de cinco y diez céntimos, sino también, aunque en proporción más pequeña, en las monedas de plata y oro, metales que resultarían demasiado blandos para el objeto, si no fuesen aleados con un poco de cobre.

Como material de molde, ó sea para la fundición de objetos, el cobre por sí no sirve, empleándose únicamente en este concepto para formar grandes clavos destinados á la construcción naval. Sólo se adapta al molde en estado fundido cuando se mezcla con otros metales, y he aquí el momento de hablar de una de sus aplicaciones más importantes.

Aleaciones del cobre.—La docilidad, digámoslo así, con que el cobre se presta, en estado fundido, á mezclarse con otros metales, constituye una propiedad no menos característica que la ductilidad de que hemos hablado. Es probable que el cobre pueda alearse con todos los elementos metálicos; pero las aleaciones más usadas y mejor estudiadas son las que forma con estaño, cinc, níquel, plomo y los metales preciosos. A éstas se ha agregado en años recientes la importante aleación del cobre con aluminio, que se llama bronce de aluminio, y de la que nos ocuparemos al tratar de este metal.

La aleación, ó sea la acción de alear, nos ofrece el medio de obtener, con los diez ó doce metales más comunes, toda una serie de composiciones dotadas de propiedades que en muchos casos difieren notablemente de las de cada metal por sí. Como se pueden alear, no sólo dos metales entre sí, sino tres y aun cuatro en proporciones muy diversas, se comprende que podrían formarse, al menos teóricamente, miles de aleaciones distintas. Partiendo del cobre como base, la literatura técnica nos habla por lo menos de setenta aleaciones útiles de este metal con estaño, cinc, oro, plata, plomo, antimonio, níquel, bismuto, hierro, etc.; pero las que se conocen mejor y constituyen la base de importantes ramos de la industria son los dos grupos en los cuales el cobre se asocia de un lado con el estaño y de otro con el cinc, y que han recibido los nombres genéricos de *bronce* y *latón*. La separación entre estas dos clases de aleaciones no es rigurosa, por cuanto el cinc desempeña un papel en la composición de ciertos bronces, que ocupan, por lo mismo, un puesto intermedio.

Por la fusión del cobre con estaño resulta un bronce que es más duro y sonoro que el cobre, susceptible de un hermoso pulimento, y, lo que es más importante, mucho más líquido en estado fundido que este metal, por lo que toma muy bien la forma de los moldes hasta en sus menores detalles. Por ello, y como este bronce no se vuelve ampolloso al enfriarse, cual sucede con el cobre,

constituye un material excelente para la fundición de objetos artísticos, etc.; en cambio la ductilidad original del cobre es en esta aleación tanto más, cuanto mayor es la eproporción del estaño: cuando se compone de una parte de estaño por dos de cobre, ó, hablando más exactamente, 35 del primero por 65 del segundo, adquiere su mayor grado de bronquedad, siendo muy difícil de labrar con la lima, y presentando un color blanco ó gris de acero claro; disminuyendo la proporción del estaño, dicha aleación toma una consistencia más blanda, acentuándose más y más el característico color pardo rojizo del bronce; si la proporción de estaño es inferior al 18 por 100, la masa se puede todavía estirar en caliente bajo el laminador, pero no batir en frío, y aun cuando contiene un 5 por 100, ó menos, de estaño, no se puede batir tan bien como el cobre sólo. Por otra parte, como es natural, existen aleaciones de estaño y cobre, es decir, en las que predomina aquél, y que resultan tanto más blandas cuanto más estaño contienen.

Si á la mezcla de cobre y estaño se le añade cinc, se obtiene una masa que, respecto de sus propiedades, ocupa un puesto intermedio entre el bronce compuesto de cobre y estaño y el latón hecho con cobre y cinc. El cinc presta á aquella mezcla un color amarillo, y cuando su proporción es grande relativamente á la del estaño, se obtiene un amarillo aún más hermoso que el del latón ordinario; circunstancia que se aprovecha tratándose de la fundición de objetos que después han de dorarse ó barnizarse de color de oro.

BRONCE

La naturaleza de los bronces antiguos se ha investigado repetidamente, mediante el análisis químico de monedas, armas y utensilios. Siempre se encuentra en ellos principalmente cobre y estaño, ó cobre y cinc, y con frecuencia, y en especial en los bronces más antiguos, el plomo en cantidad tal, que no permite que su presencia se atribuya á la casualidad. Las antiguas monedas romanas, por ejemplo, contienen hasta el 25 por 100 de plomo, y es probable que este metal se agregara por razones económicas: á juzgar por algunos ejemplares, la moneda de cobre de los chinos debe contener una proporción bastante grande de plomo. Otros componentes de los bronces antiguos, como hierro, cobalto, níquel, y á veces también un poco de plata, se encuentran siempre en cantidades tan exiguas, que su presencia debe mirarse como casual, esto es, debida á la impureza de los metales principales. En cambio, hubo en la antigüedad una aleación célebre y muy apreciada por los romanos para objetos de lujo: el llamado *bronce de Corinto*, que, según se refiere, se componía de cobre y plata.

Prescindiendo de su verdadera utilidad, el bronce ha sido en diferentes épo-

cas un material privilegiado. En los tiempos del florecimiento de Grecia, fué muy pronunciada la afición por los objetos de bronce, con el que se hicieron numerosas estatuas, algunas de dimensiones colosales. Refiérese que el Cónsul romano Mutiano halló en Atenas tres mil estatuas de bronce, y otras tantas en Rodas y Delfos.

En la Edad Media predominaba una gran afición en favor del bronce, ó sea el gusto de dotar las iglesias con muchas y grandes campanas; mientras que posteriormente dicha aleación constituyó el material preferente para cañones de artillería. En nuestros días el empleo del bronce en este terreno ha cedido notablemente ante la invasión del acero; pero, en cambio, ha vuelto á renacer el gusto por los bronces monumentales, y se consumen cantidades no despreciables de bronce en la fundición de toda clase de pequeños objetos de arte y utilidad.

Generalmente hablando, se distinguen los llamados *metal de campanas*, *metal de cañones* y *bronce* propiamente dicho, para estatuas, si bien la composición de estas tres clases no obedece á ninguna regla fija; al contrario, siempre varía la proporción de cobre á estaño entre ciertos límites, según el objeto especial á que el bronce se destina. Por la adición de pequeñas cantidades de cinc y plomo, pueden variarse todavía más las propiedades de dichos bronces; y sin que descendamos á más pormenores, el lector podrá formarse una idea de la variedad de semejantes aleaciones, en vista de la clasificación siguiente, que comprende sólo las más importantes del género de que tratamos:

A.—*Cobre y estaño.*

	Cobre.	Estaño
Metal de campanas	80	20
Ídem para relojes	100	33
Idem de cañones	100	10 á 11
Bronce para medallas	92	8
Metal para cojinetes de locomotoras	86	14

B.—*Cobre, estaño y cinc.*

	Cobre.	Estaño.	Cinc.
Oro de Manheim	91	15	9
Ídem otra composición	80	18	2
Metal para cojinetes, bujes de ruedas, bombas, etc.	82	16	2
Idem otra composición	88	10	2
Bronce para estatuas, amarillo rojizo	84,42	4,30	11,28
Ídem, amarillo subido	65,95	2,49	31,58
Metal de monedas (Alemania, Francia, Suecia, Suiza y España)	95	4	1
Ídem (Dinamarca)	90	5	5

C.—*Cobre, estaño, cinc y plomo.*

	Cobre.	Estaño.	Cinc.	Plomo.
Bronce para estatuas.....	78 5	2,9	17,2	1,4
Metal de Thomson para campanas .	80	10,1	5,6	4,3
Aleaciones para cojinetes de ejes,	79	8	5	8
etcétera.....	38	15	1,5	0,5

Es evidente que composiciones tan diversas deben dar productos de propiedades distintas, á propósito para diferentes usos. En vista de que semejantes aleaciones no están destinadas tan sólo á ser fundidas y moldeadas, sino que después han de ser batidas, limadas, formadas, etc., es necesario que tengan cierta blandura y ductilidad; algunas de ellas—como, por ejemplo, las que se componen de unos 85 por 100 de cobre y el resto de estaño—son, por su misma naturaleza, relativamente blandas y dúctiles, mientras que otras son duras; pero se puede aumentar la blandura de las primeras y suavizar las segundas caldeándolas y enfriándolas de repente. Por este medio el bronce se ablanda, lo mismo que el cobre, y se deja elaborar entonces con el martillo, los instrumentos cortantes y en el volante de acuñar; circunstancia tanto más importante para la industria, cuanto que siempre puede devolverse al bronce ablandado su dureza primitiva, calentándolo de nuevo y dejándolo enfriar lentamente.

El fósforo desempeña, al parecer, en el cobre y sus aleaciones un papel particular. Mientras que, como referimos en un capítulo anterior, una porción mínima de dicho elemento perjudica de un modo notable la calidad del hierro, de modo que el siderurgo lo mira como un enemigo, esforzándose por expulsarlo, cierta cantidad de fósforo añadida de propósito al cobre ó al bronce, mejora considerablemente la calidad de estos metales. Mediante esta adición de fósforo, no sólo aumentan su dureza, tenacidad, elasticidad y ductilidad, sino también su resistencia contra influencias extrañas, especialmente las oxidantes, así como su fluidez en estado fundido. Semejante *bronce de fósforo*, descubierto hace pocos años por *Künzel*, y cuyo color se parece al del oro aleado con mucho cobre, ha hallado gran aceptación en la industria; hecho tanto más natural cuanto que, con sólo variar las proporciones de las mezclas, se puede acentuar tal ó cuál propiedad aisladamente, sin cambiar las demás, de modo que la aleación resulta aplicable á los usos más diversos. De 0,5 á 0,75 por 100 de fósforo es suficiente para prestar á una aleación de 90 por 100 de cobre y 9 de estaño un hermoso matiz rojo dorado, y aumentar su fluidez hasta el punto de que reproduzca perfectamente los detalles más finos del molde; por su dureza y elasticidad, dicha mezcla se presta de un modo admirable á la fundición de objetos de arte, campanas, cojinetes, etc., y muy especialmente á la de cañones de artillería.

La preparación, fusión y moldeado de los bronces ordinarios, especialmente tratándose de grandes piezas, ofrecen ciertas dificultades, que estriban en la naturaleza distinta de los diferentes metales. La composición de la masa cambia, en virtud de la acción desigual del oxígeno sobre los diversos componentes durante la fusión. Por consiguiente, y si se desea obtener un bronce de composición determinada, es preciso, al tiempo de prepararlo, tener en cuenta las pérdidas irremediables que después habrá de sufrir por oxidación. Además, no conviene echar simplemente el metal (ó los metales) secundario sobre el cobre fundido en el crisol, sino sumergirlo en el baño á la fuerza; los metales fácilmente oxidables deben echarse, no en estado puro, sino aleados previamente con algún cobre. En la conocida fundición de cobre de Lieja, por ejemplo, se agregan al baño de cobre fundido, por cada cien partes, primero ocho de estaño, y luego se completa la composición, añadiendo una aleación preparada, de antemano, de dos de cobre por una de estaño.

También en la preparación de semejantes mezclas metálicas hay que tener en cuenta las diferentes densidades de los metales. Si después de fundida una aleación se deja enfriar tranquila y lentamente, el análisis revelará en su masa toda una serie de bronces distintos, encontrándose abajo los más ricos en cobre, y arriba los que contienen más estaño; es decir, que la masa no resulta homogénea, sucediendo á veces que la composición de una pieza fundida varía desde el interior hacia el exterior. También se nota en los metales cierta tendencia á alearse con preferencia en proporciones determinadas, lo cual da margen á nuevas agrupaciones dentro de la masa fundida. Todas estas tendencias separatistas deben combatirse removiendo vigorosamente la mezcla momentos antes de moldearla; mas á pesar de esto, resultan con frecuencia piezas de fundición de composición heterogénea, cuando son de grandes dimensiones, y el bronce fundido tiene una temperatura demasiado elevada, porque después de lleno el molde empieza de nuevo la disociación ó separación de los metales de diferentes densidades y afinidades. El arte del fundidor de bronce consiste, pues, en moldear la masa fundida precisamente á la temperatura bajo la cual rellena todavía con perfección el molde, pero solidificándose ó cuajándose, digámoslo así, rápidamente.

Para la fundición del bronce en grande se emplean hornos de reverbero, montados dentro de un extenso local, que sirve á la vez para preparar los moldes y moldear los objetos; en la fundición en pequeño se usan crisoles; el combustible más á propósito es la leña ó la hulla, con las que se logra rápidamente un calor intenso. En nuestros días la aplicación del bronce para fabricar objetos artísticos ha vuelto á tomar cierto desarrollo, si bien en la Exposición de 1878 se mostró Francia mucho más adelantada en este sentido que las demás naciones (fig. 85); desde entonces ha tomado dicha industria mayor incremento en Alemania, contándose hoy entre los primeros fabricantes de este

país y del mundo, Paul Stotz y Compañía, de Stuttgart, de cuyos hermosos productos da una idea nuestra lámina X, mientras que la XI reproduce otros del género fabricados en Berlín, y la figura 86 un florero de Hollenbach, de Viena.

Al ocuparnos ahora con algún detenimiento de los principales ramos de la fundición del bronce, es de advertir, en primer término, que las de campanas y cañones se relacionan estrechamente respecto de la masa que en ellas se funde; en ambas, y muy en particular en la de cañones de artillería, se emplean constantemente aleaciones de cobre y estaño no más; pues, según la opinión de los peritos en la materia, la adición de otros metales perjudicaría la resistencia que las piezas están llamadas á oponer, tanto á la influencia mecánica como á la química de la pólvora; por extraño que parezca, sólo el fósforo parece formar una excepción á esta regla.

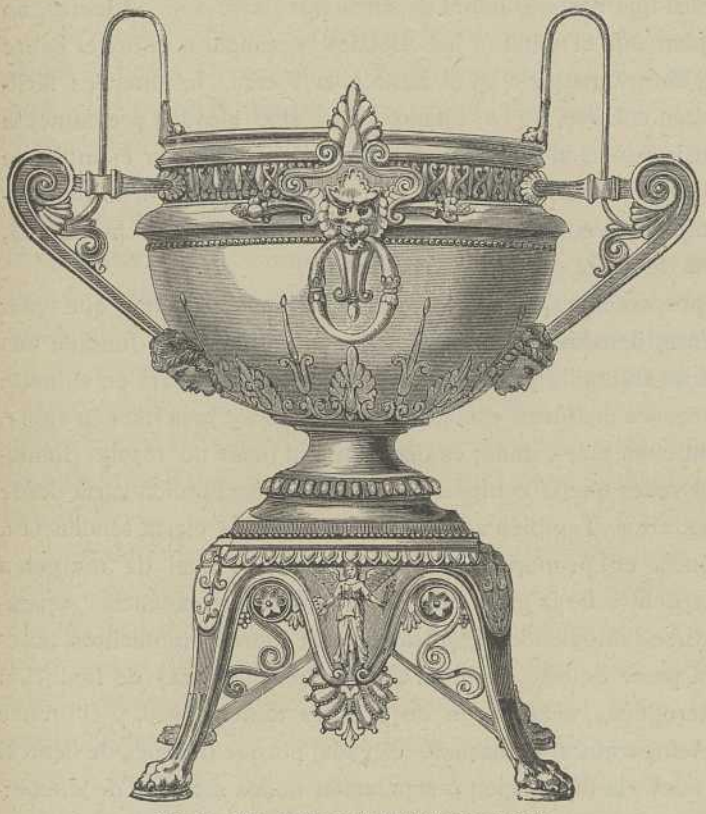
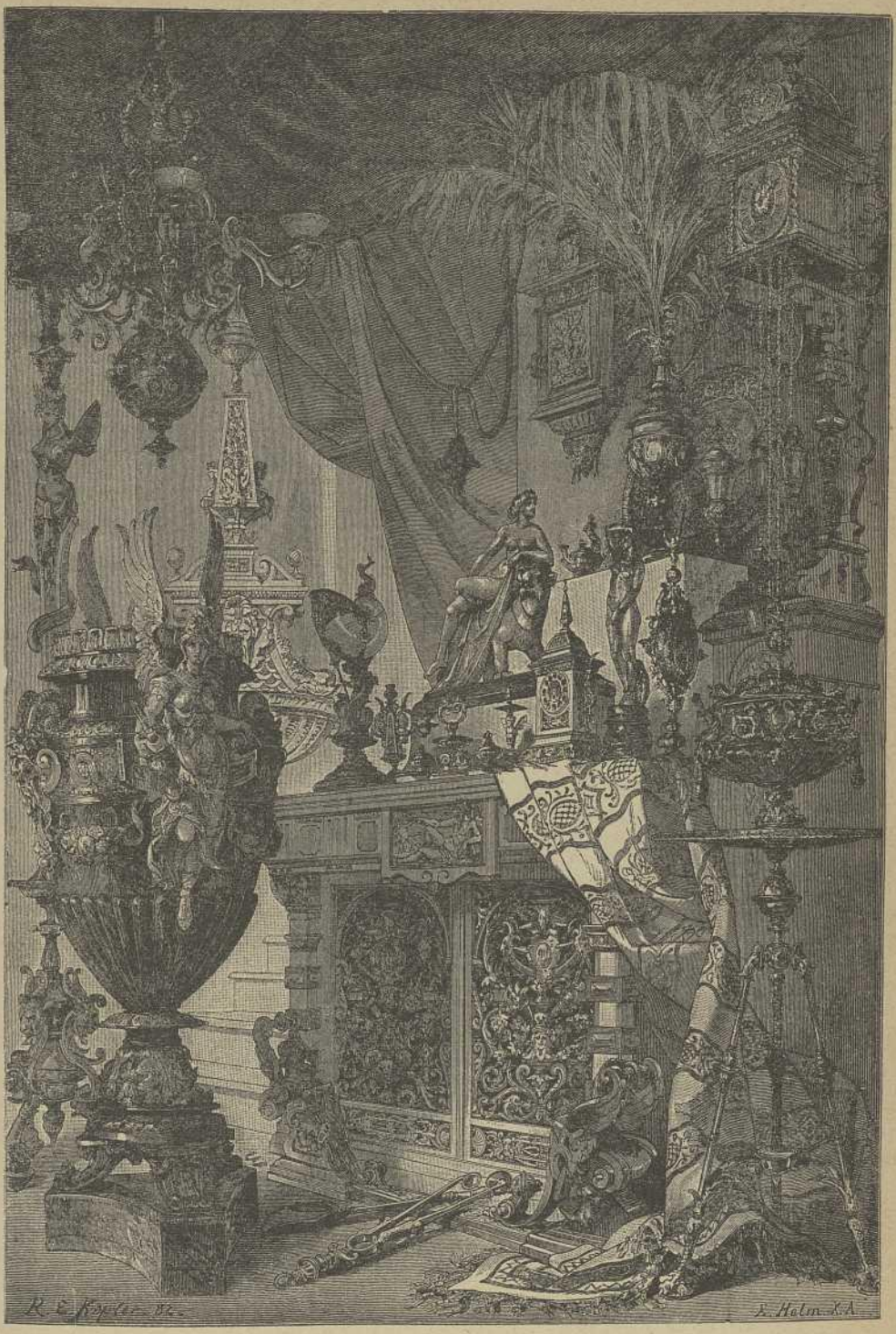
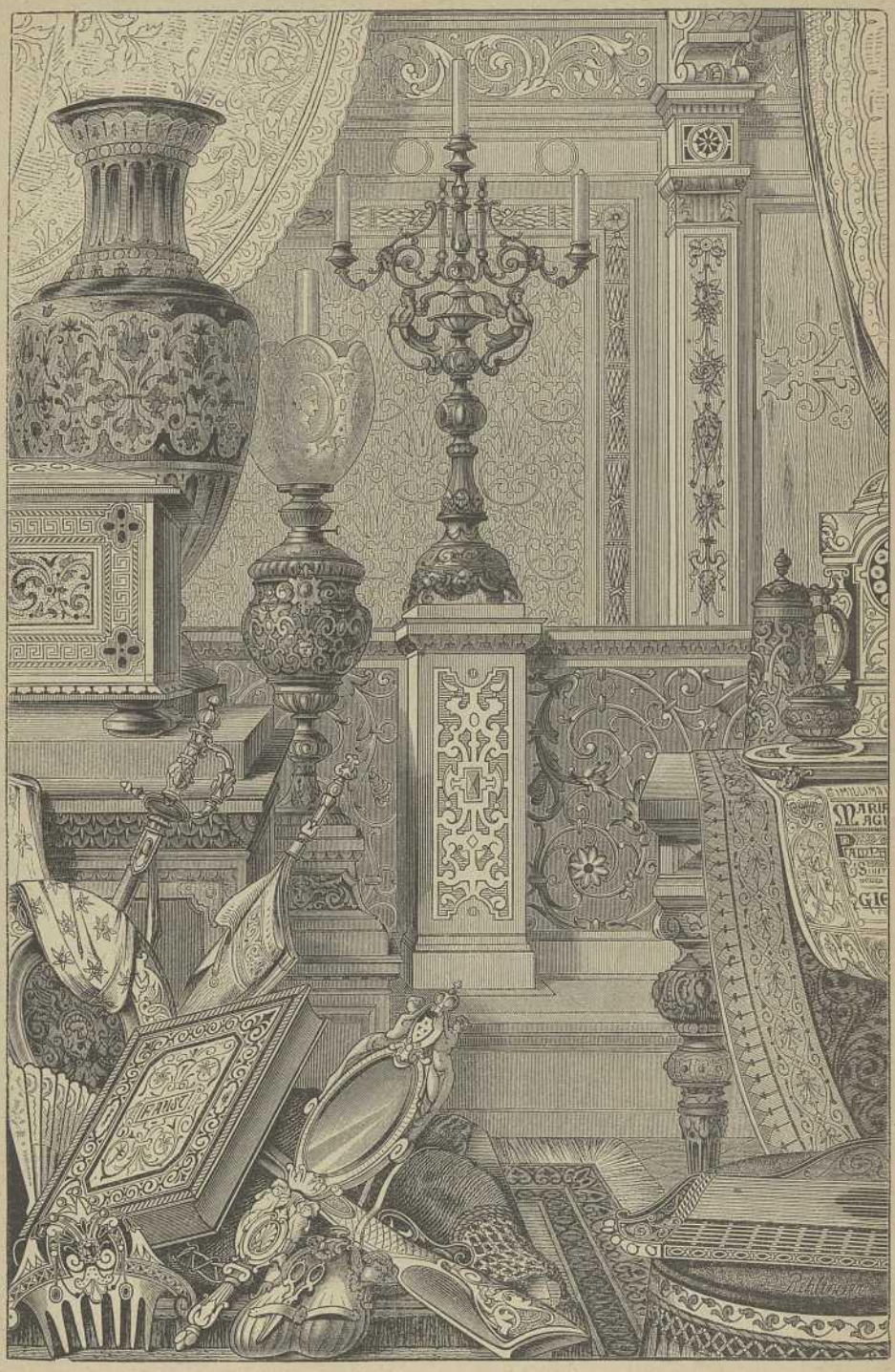


FIG. 85.—Vaso de bronce de Barbedienne, en París.

Fundición de campanas.—Según las antiguas crónicas y las tradiciones que aún se conservan, parece que en la fundición de campanas para las iglesias se empleaba antes la plata, cuya proporción dependía de la piedad de los fieles que la regalaban; mas aunque *a priori* podría creerse que la adición de cierta cantidad de plata al metal de las campanas mejora el sonido de éstas, y que el deseo de tener campanas muy sonoras, amén de consideraciones de otra índole, pudo motivar aquel generoso desprendimiento, es el hecho que los numerosos análisis de campanas antiguas, practicados hasta hoy, no han revelado en ningún caso la presencia del metal precioso; de modo que, admitida la generosidad de los fieles de aquellos «buenos tiempos,» parece evidente que la plata que



Bronces artísticos de la fábrica de Stotz, en Stuttgart.



Bronces artísticos fundidos en Berlín.

dieron se convirtió en otros usos, acaso más mundanos, y contrarios á la voluntad ó la intención de los donantes. Sea de ello lo que fuere, tenemos hoy la casi seguridad de que la falta de la plata en las campanas indicadas no las



Fig. 86.—Florero de bronce dorado de Hollenbach, en Viena.

pudo perjudicar grandemente; al contrario, los ensayos hechos en nuestros tiempos demuestran que la adición del metal precioso está lejos de ser beneficiosa. En Inglaterra, y con el objeto preciso de resolver de un modo práctico la cuestión, se fundió una serie de campanas con una misma aleación, salvo que á

todas, menos una, se agregó plata en diferentes proporciones; el resultado fué que la campana que no tenía plata alguna dió el sonido más hermoso, y que las demás fueron tanto menos sonoras, cuanto más plata contenía su masa.

El metal de campanas es una aleación compuesta, por término medio, de setenta y ocho partes de cobre y veintidós de estaño; es de color gris amarillento, de estructura compacta, fractura granular fina, se funde fácilmente, por lo que es entonces muy fluida, razón por la cual resultan tan definidas y limpias las inscripciones ó los adornos de las campanas moldeadas (fig. 87). Merced á su dureza y su bronquedad, dicho metal es muy sonoro; pero, lo mismo que el cobre, sólo resulta duro y bronco cuando después de fundido se deja enfriar con lentitud, cual sucede en el moldeado de las campanas; si, al contrario, se enfría rápidamente, resulta blando y maleable. De aquí la posibilidad de hacer, con aleaciones de la misma composición, objetos al parecer tan distintos como los *tam-tams* chinos, que se forman á golpes de martillo, y nuestras campanas ordinarias, que son de metal fundido y tan bronco, que no se deja labrar en el torno. Si pues una campana ha de tener un sonido determinado, es preciso que lo saque, digámoslo así, del molde, porque no se puede variar después adelgazando sus paredes. La altura del sonido, así como su calidad, dependen tanto de la masa como de la distribución del metal, es decir, de la forma y las dimensiones y del grado de elasticidad de la campana; las reglas que rigen estos diversos factores en la fabricación son el resultado de una experiencia larga, y no cabe apartarse mucho de ellas sin perjudicar el producto. La parte más gruesa de una campana es la faja, cerca de su borde inferior, contra la cual golpea el badajo; el diámetro mayor equivale, por lo general, á quince veces el grueso de dicha faja, mientras que la altura de la campana es de doce veces dicho grueso; el peso del badajo es próximamente cuarenta veces menor que el de la campana misma.



FIG. 87.—Campana de la fundición de Hermann, en Memmingen.

Las campanillas que se usan en las casas, y las campanas algo mayores para las estaciones de ferrocarril, etc., se moldean en arena; pero en la fundición de las grandes campanas de torre se emplean moldes de arcilla silícea, aunque no arenosa, material mucho más consistente, que se mezcla además con estiércol de caballo, desperdicios de lino ó pelo de ternera. La preparación de uno de estos moldes se verifica como sigue. En el piso del taller, delante del horno en que se ha de fundir el metal, se excava un hoyo algo más profundo que la altura de la campana en cuestión, la que se moldea siempre en su posición natural, es decir, con la boca hacia abajo, y por esto se empieza á formar en el fondo del

hoyo un fundamento sólido de ladrillo, sobre el que se construye, con el mismo material, el alma del molde, que recibe próximamente la forma del hueco que ha de tener la campana misma. Luego se da al alma su forma acabada, revistiéndola con una capa de arcilla, preparada como dijimos más arriba, y algo húmeda, sobre la que se pasa el correspondiente escantillón, y su superficie lisa se pinta con ceniza mezclada con agua, á fin de que la parte siguiente del molde no se adhiera á ella. Preparada así el alma, se la seca por completo haciendo lumbre en su interior, en el que se deja un hueco á propósito, y entonces se aplica en toda su superficie otra capa de arcilla, que representa precisamente el metal de la campana que ha de fundirse, y cuya parte exterior recibe también su forma exacta por medio de otro escantillón. Sobre esta parte intermedia y provisional del modelo se modela con cera la inscripción, el escudo de armas ó cualquier adorno que ha de llevar en relieve la campana acabada, y después de untar toda la superficie con una mezcla fundida de cera y sebo, se procede á formar con arcilla la parte externa del modelo, cuidando de que la masa fina y blanda se introduzca perfectamente en todos los intersticios de las letras y los adornos de cera. Esta capa exterior recibe un grueso de 10 á 15 centímetros, y se seca con lentitud, haciendo de nuevo lumbre en el interior del alma, con lo cual se derriten al mismo tiempo las letras y los adornos de cera, dejando los huecos correspondientes. En este estado se coloca en la parte superior el modelo de la corona de la campana, y después de reforzar el conjunto por medio de aros y plantillas de hierro, se levanta la capa exterior, mediante una grúa, y mientras queda suspendida en el aire, se quita la parte intermedia del modelo, que, como ya dijimos, representa la campana misma, y que ha de desaparecer para dejar el hueco correspondiente al metal. Por último, se rellena con tierra el interior del alma, y entonces se baja á su sitio el manto ó parte exterior del modelo, tapando con arcilla cualquier intersticio que quede entre su borde inferior y la base, y rellenando con tierra la parte restante del hoyo; de este modo resulta el modelo completamente enterrado, viéndose sólo el orificio reservado en la parte superior del manto, por el que ha de verterse el metal.

La fusión de éste en el horno inmediato supone de cuatro á seis horas de tiempo; se funde primero el cobre necesario, se le añaden entonces dos terceras partes del estaño, y después que la aleación esté completamente fluida y que se han alejado de la superficie del baño los óxidos é impurezas que se han formado en ella, se echa la parte restante de estaño. Llegado el momento de moldear, se coloca un canalón desde el horno á la boca del molde, se rompe la piquera y se deja correr la masa fluido-candente, hasta llenar el molde. Después se deja enfriar durante uno ó dos días, según el tamaño de la pieza, y una vez despejado el hoyo en torno del molde y roto el manto de éste, se saca la campana por medio de la grúa. Por último, para quitar todas las asperezas superficiales del metal y prestarle cierto pulimento, se coloca la campana en una especie de

torno, como indica nuestra fig. 88, limpiándola por fricción con arenisca ó piedra análoga.

En la fundición de campanas una décima parte, próximamente, del metal se pierde por escorificación, y por esto es preciso fundir una cantidad equivalente de más, á fin de que no merme el peso de la campana. Si durante el moldeado ó después se abre ó agrieta una campana, el mejor medio de remediar el mal



FIG. 88.—Interior de una fundición de campanas.

es volver á fundirla; si la grieta es pequeña, se puede proceder del modo siguiente: se taladra la campana en el extremo de la grieta, y partiendo del borde inferior se practican dos cortes rectos á los lados de aquélla, que converjan en el taladro, sacando las tiras correspondientes de metal; separadas así las dos superficies de la grieta, cuyo contacto es la causa principal de la falta de sonoridad, la campana recobra su sonido, si bien nunca resulta éste tan claro y hermoso como el de una campana intacta. El mejor medio de probar el sonido consiste en hacer vibrar un diapasón, aplicándolo en seguida á la campana misma; si ambos tienen exactamente el mismo sonido, la campana resuena con el diapasón; pero si existe la menor diferencia, permanece muda.

Atribúyese á Paulino, obispo de Nola (Italia), que vivía por el año 400, el invento de la fundición de campanas; mas nada nos dice de ello el santo varón en sus escritos, y lo único que queda averiguado es que en Nola, en cuyas inmediaciones se encontraba un mineral excelente de cobre, se desarrolló antiguamente dicha fundición, así como un comercio activo de campanas. Pero el empleo de éstas data de mucho más antiguo: la fiesta de Osiris, en Egipto, se anunciaba por medio de repiques; en las ruinas de Asiria se han encontrado campanillas de bronce, y Aarón y los sacerdotes hebreos las llevaban de oro en el borde de sus mantos de seda; en Atenas se servían los sacerdotes de Cibeles de campanas al tiempo de hacer sus sacrificios; los monasterios budistas de la India se valieron desde muy antiguo de grandes campanas metálicas para llamar á los fieles al culto, y los romanos anunciaban por medio de sus *tintinnábula*, ó sean campanas, la apertura de sus reuniones públicas, refiriendo Suetonio que Augusto hizo colocar una delante del templo de Júpiter. Antes del empleo de la campana en el culto cristiano, los monjes solían llamar á los fieles tocando cuernos; pero á partir del siglo VI el uso de las campanas empezó á propagarse desde Italia á Francia, y era común en tiempo de Carlomagno. En Alemania, y durante el siglo XIV, se desarrolló grandemente la fundición de campanas en Nurenberg y Augsburgo. Hoy ya no se funden campanas tan enormes como antes, pues la afición se ha ido perdiendo; en 1856 se fundió la campana mayor de la torre del reloj del Parlamento inglés, que pesa unos 15.400 kilogramos, y la de la catedral de Colonia, que se fundió con bronce de los cañones franceses tomados en 1870, pesa 25.000; pero ¿qué son éstas al lado de la célebre campana mayor de Moscou, que se rompió en 1737 y pesa 193.000 kilogramos, ó la del Kremlin, en la misma ciudad, que se cayó de la torre en 1812, y cuyo peso es de 63.000 kilogramos? La campana más grande que existe es la del templo de Fokosi, en Miako (Japón), cuyo peso se ha tasado en 1.000.000 de kilogramos; en China hay también campanas colosales, citándose una de 43.800 kilogramos en la torre inmediata al convento de Choschanen, en Pekín.

Ya dijimos en un capítulo anterior que las campanas de acero fundido compiten hoy ventajosamente, respecto de su sonoridad y precio, con las de bronce; pero debe tenerse en cuenta también que, al romperse una de éstas, su metal siempre conserva un valor muy superior al del acero. Se ha tratado también de sustituir las grandes campanas por varas de acero, unidas en ángulo (∧) y suspendidas, produciéndose el sonido mediante golpes de martillo ó badajo sobre sus extremos libres; asegúrase que semejantes instrumentos son bastante sonoros, recomendándose por su baratura para las iglesias de pequeñas localidades.

Fundición de cañones.—Los cañones más antiguos se hacían de análogo modo que los toneles; es decir, que se formaba un tubo con barras de hierro, dispuestas como las dovelas de un tonel, y sujetas, como éstas, por medio de

arcos exteriores del mismo metal. Refiérese también que hubo cañones de cuero, lo que quiere decir, probablemente, que semejantes tubos, hechos con barras de hierro, se revestían al exterior con cuero para evitar el escape de los gases de la pólvora. Más adelante se aprendió á pegar en caliente las barras de hierro; pero á medida que el empleo de cañones de artillería fué ganando terreno, y especialmente cuando se sustituyeron los proyectiles de piedra con otros de hierro, debieron resultar cada vez más patentes los defectos de los tubos de hierro blando ó dulce, y se introdujeron en su lugar cañones de fundición. No se ha podido averiguar dónde ni cuándo se empezó á fundir cañones: los primeros de bronce de que se conservan en Alemania noticias fidedignas, fueron fundidos por Aarau, en Augsburgo, en el año 1372, y no tardaron en fundirse en Italia. En el siglo XVII se fundían cañones de hierro en moldes con alma, es decir, que el tubo salía hecho del molde; pero á mediados del siglo pasado se cambió de sistema, fundiendo los cañones, tanto de hierro como de bronce, macizos, y sacando después el hueco en el torno.

Al principio, y merced á la falta de conocimientos, se cuidaba poco de la composición exacta del bronce empleado para las piezas de artillería; pero á mediados del siglo pasado se empezó á dedicar mayor atención al particular, especialmente á la pureza del metal, y desde entonces se descartó de la aleación el cinc. Sin embargo, el empleo de este metal, hasta la proporción de un tres por ciento, ha encontrado partidarios, que afirman que tal cantidad no perjudica la resistencia de los cañones, y sí presta mayor fluidez al metal, adaptándolo mejor al molde. El bronce de los cañones daneses contiene todavía un poco de latón; pero generalmente se considera la aleación de nueve partes de cobre y una de estaño como el metal normal para cañones de artillería, si bien se admiten ligeras modificaciones en ciertas proporciones, con arreglo al calibre de las piezas, aumentando un poco en las más pequeñas la proporción del cobre.

Sobre la bondad de la pieza fundida, esto es, sobre la naturaleza de su masa, influyen bastante los cambios que sufre el metal después de vertido en el molde y antes de que se enfríe. Un enfriamiento demasiado rápido origina perjuicios, lo mismo que uno demasiado lento; pero las opiniones difieren cuando se trata de decir cuál de los dos es el más perjudicial. En la masa tienden á formarse, al parecer, dos aleaciones: una muy dura, bronca y blanca, compuesta de setenta y siete partes de cobre y veintitrés de estaño, y otra, más refractaria, de color amarillo rojizo. La primera es más pesada, y baja al fondo de la masa fluida, ó se separa de la misma en granos mayores ó menores, hasta del tamaño de habas, que tienen el aspecto de manchas de estaño. La homogeneidad de la masa se procura revolviéndola vigorosamente momentos antes de verterla en los moldes.

Como todos los cañones de artillería se funden macizos, convirtiéndose des-

pués en tubos por medio del torno, sólo se necesita verter el metal en un molde hueco, formado sobre un modelo que tiene exteriormente la forma de un cañón. Dos son los procedimientos que se practican: el más antiguo con moldes de arcilla magra, y el más moderno, y mucho más rápido, con moldes de arena formados en cajas; ambos diferenciándose esencialmente entre sí, en que se trabaja, según el primero, con un modelo de arcilla que sólo sirve una vez, mientras que, según el segundo, se emplea un modelo de metal que sirve para un número indefinido de moldes.

La preparación del molde con arcilla se verifica esencialmente como en la fundición de campanas: el modelo se forma en torno de una barra cuadrada de hierro, por la superposición de repetidas capas concéntricas de la masa arcillosa, fijando sobre la exterior las letras ó adornos de cera; y luego se aplica sobre este modelo la capa de arcilla que ha de constituir el molde hueco después de retirado aquél. El molde se coloca verticalmente con la culata hacia abajo, vertiéndose el metal fundido por la boca, que se prolonga hacia arriba unos 45 centímetros, á fin de que el peso del metal sobrante comprima la masa inferior que constituye el cañón mismo, haciéndola más densa y homogénea.

Por el procedimiento de los moldes de caja, que se practica hoy casi exclusivamente, la operación se verifica mucho más pronto que por el anterior. El modelo es un cañón ligero de metal, por lo general bronce, y compuesto de diversas piezas, con las que se forma en la arena húmeda, dispuesta en cajas ó cuadros de hierro, el molde hueco definitivo, exactamente como se hace en la fundición de hierro. Después de apisonada la masa y formado el molde, se separan las dos mitades de la caja para sacar el modelo, se repasan los sitios en que se ha producido algún desperfecto, y se pinta la superficie interna con una mezcla de leche y grafito; secado el molde y cerrado de nuevo, se coloca verticalmente, boca arriba, en un hoyo practicado en el piso del taller, se apisona la tierra alrededor, y todo está listo para verter el metal fundido.

El vaciado de las piezas de artillería se verifica por medio de tornos y máquinas de taladrar, de construcción especial, que trabajan horizontal ó verticalmente. En el torno se tornea también la superficie externa del cañón y se corta el metal sobrante en ambos extremos. Los morteros no se vacían con estos aparatos, pues se moldean desde luego huecos, vertiendo el metal en un molde con alma, como se hace en la fundición de campanas; pero después de fundidos se tornean interior y exteriormente.

En la mayor parte de los cañones de bronce el fogón no se practica directamente en la masa del tubo, sino en una pieza de cobre puro que se introduce y fija en un orificio de aquél, reservado al efecto y provisto de rosca; el cobre resiste mejor que el bronce los efectos del fogonazo, que tiende á agrandar el agujero; si un cañón de artillería se clava, es decir, si mediante un clavo de acero metido á viva fuerza en el fogón se llega á inutilizar, la manera más rápida

de ponerlo nuevamente en condición de servir, consiste en destornillar la pieza de cobre y colocar otra en su lugar.

Fundición de estatuas ó fundición artística.—Se trabaja en ella con modelos hechos por los escultores ó artistas mismos, y que el fundidor está llamado á reproducir en todas sus partes con la mayor perfección posible; las dificultades inherentes á semejante reproducción son en muchos casos bastante grandes, y el fundidor artístico experimentado puede alcanzar celebridad por su destreza en el modo de vencerlas. En tiempos antiguos el escultor y el fundidor eran con frecuencia una misma persona. La fundición artística de bronce había alcanzado suma perfección en la antigua Grecia, y se desarrolló durante el último período, y en tiempo de los romanos, de una manera sorprendente. Ciudad había que ostentaba estatuas de bronce á millares; se ejecutaban obras de enormes dimensiones, como, por ejemplo, el coloso de Rodas, que costó á Chares doce años de trabajo, y en el que se invirtieron 300 talentos (1.750.000 pesetas próximamente); en Tarento había una estatua de Júpiter, de 20 metros de altura, y en tiempo de Plinio se erigió otra de Neron, de 30 metros. Durante la Edad Media este arte renació primero en Italia, y se conservan obras maravillosas, correspondientes á los siglos XIII y posteriores, en las que Benvenuto Cellini brilló como el último de aquellos grandes maestros. Después se distinguieron algunos alemanes, como Vischer de Nurenberg, en el siglo XV; pero, en general, la fundición de bronces artísticos decayó de un modo considerable, para volver á tomar incremento en nuestros días, especialmente en Alemania.

El ideal de la fundición artística consiste en producir cada obra en una sola pieza; pero con frecuencia resulta esto imposible, por lo complicado de la obra original, ó bien demasiado atrevido, en vista de las grandes dimensiones de ésta, siendo preciso, por lo tanto, fundir partes separadas y unirlas después para formar el conjunto; en todo caso, empero, se procura dividir la obra de manera que, una vez unidas sus partes, las junturas resulten poco aparentes. Sin embargo, en algunos casos el fundidor se ha atrevido á producir obras enormes de una sola pieza, á cuyo fin ha dispuesto su molde horizontalmente, en lugar de ponerlo vertical, como por lo común se hace. La estatua de Roberto Peel, en Londres, es un buen ejemplo de una obra de grandes proporciones fundida en una sola pieza.

Para semejantes estatuas monumentales, que tienen una base firme, no se necesita ningún metal especial, en el sentido de que sea llamado á resistir esfuerzos excepcionales; pero se procura que tenga un hermoso color, que se funda fácilmente, rellenando bien el molde, que se preste, después de fundido, á la cincelación, para lo cual no debe ser agrio, y, por último, que tome, natural ó artificialmente, una hermosa *patina:* así se llama la capa verdosa, pardo-verdosa ó pardo-azulada de carbonato básico de cobre que se forma con el tiempo en la superficie de los bronces por la influencia de la humedad y del aire, y es tan

característica de los bronces antiguos, pudiéndose producir también artificialmente. Las aleaciones de cobre con estaño y cinc, juntas, son las que mejor llenan dichas condiciones; en ellas varía la proporción de cinc entre el 4 y el 10 por 100, y la del estaño entre el 2 y el 6; en muchos casos se añade una pequeña cantidad de plomo, que influye en la producción de un color más oscuro.

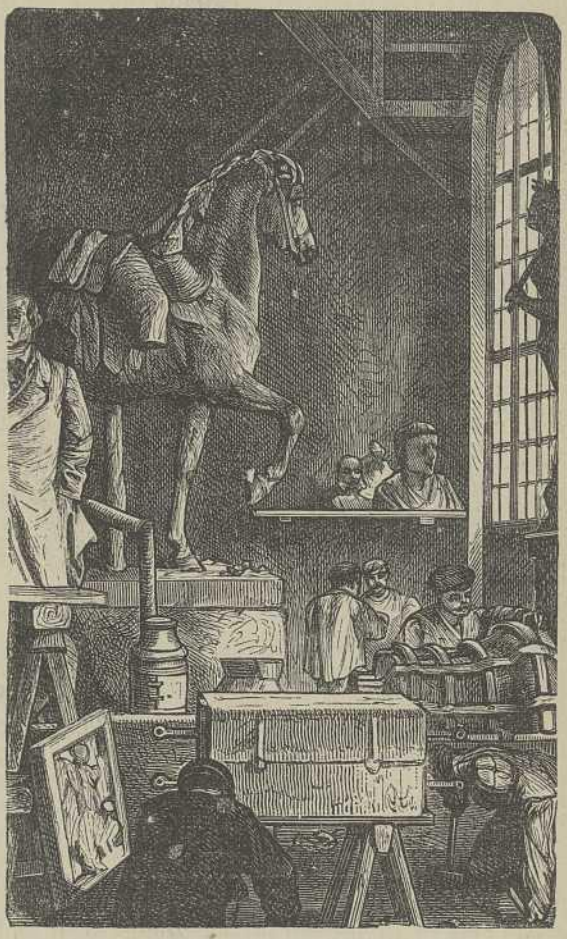


Fig 89.—Taller de moldes en una fundición de estatuas.

Respecto de la preparación de los moldes para este género de fundición, se siguen diversos procedimientos. Antiguamente se fundían las pequeñas estatuas de una pieza y macizas, mientras que las grandes se componían de varias piezas soldadas entre sí. Más adelante, como sucede hoy, todas las estatuas monumentales se fundieron en hueco, en parte para disminuir su peso, en parte también para economizar material; para esto es preciso un núcleo ó alma que tenga la misma forma próximamente que la obra original, aunque de tamaño un poco menor, núcleo que se prepara, por lo común, con una masa compuesta de yeso, polvo fino de ladrillo y arcilla muy tenaz. Si la obra de cuya reproducción se trata, reclama un núcleo que no puede sostenerse por sí mismo, se le mantiene en la posición deseada por medio de un armazón de barras y aros de hierro, convenientemente combinados, algunas de cuyas barras sirven también para fijar después la estatua fundida sobre su base. Preparado así el núcleo ó alma del molde, se le seca perfectamente al calor artificial, y se reviste entonces toda su superficie con una capa de cera de unos dos centímetros y medio de grueso.

Terminada esta operación, empieza la parte artística del trabajo, es decir,

que en esa capa de cera el artista modelador ha de reproducir todos los detalles del original, con la mayor fidelidad posible.

Sobre el núcleo revestido de cera se procede á formar el manto ó parte exterior del molde, de un modo análogo al que describimos al hablar del moldeado de campanas. Como se comprende, la primera parte de esta operación se verifica con todo el cuidado imaginable, empleando un material capaz de amoldarse á todos los detalles del modelo, conservando las impresiones sin que varíen al secarse. Dicho material consiste, por lo general, en arcilla y crisoles usados, reducidos á polvo, cuyos componentes se trituran finamente, tamizan y mezclan muy bien con agua hasta formar una pasta de la consistencia de la nata, que se aplica sobre la cera con un pincel, dejando secar la primera capa antes de extender la segunda, y así sucesivamente hasta que todas las partes del modelo se hallan tapadas y pueda aplicarse la masa exterior del manto. Cuando éste ha adquirido el grueso necesario, que varía naturalmente según el tamaño de la obra, se refuerza con barras y aros de hierro, y se somete el molde entero al calor necesario para derretir la cera y secar la masa de arcilla. El lector comprenderá que por el derretimiento de la cera queda entre el núcleo y el manto el hueco destinado á recibir el metal fundido; y es evidente que el sostenimiento de aquél, mediante el armazón de que hablamos antes, reclama mucha previsión, á fin de que no varíe de posición al derretirse la cera, ó después cuando se vierte el metal en el molde.

En vez del procedimiento que acabamos de describir, y que tiene el inconveniente de que el artista anda, en cierto modo, á oscuras, no pudiendo ver nunca el interior del molde, se practica hoy con más frecuencia otro, en el que se camina de una manera diametralmente opuesta. Del modelo original, ejecutado en yeso por el artista sobre un armazón de hierro, se toma el molde con yeso, formando tantas piezas sueltas como sean necesarias, y dándoles el grueso suficiente para que puedan manejarse sin temor de que se rompan fácilmente. Después de ajustar dichas piezas entre sí, por vía de prueba, se separan de nuevo y se reviste la cara interna de cada una con cera, previamente laminada hasta que tenga un espesor uniforme y cortada en tiras, dando á la capa el grueso que ha de tener el metal de la estatua; mediante herramientas á propósito, se hace que la cera penetre en todos los huecos del modelo. Mientras dichas operaciones se hallan en vía de ejecución, se prepara por otro lado el armazón que sirve de base para formar el alma ó núcleo del molde, y que se construye con barras de hierro en un hoyo excavado en el piso del taller. Sobre él se procede á colocar las piezas de yeso forradas con cera, ajustándolas cuidadosamente entre sí y empezando por las inferiores; y á medida que se levanta, digámoslo así, la construcción, se va macizando el hueco interior, ocupado sólo por el armazón referido, con una masa de yeso, arena, polvo de ladrillo y agua, que cuaja pronto y rellena todos los intersticios entre las barras de hierro y la cera

del molde, y constituye, por ende, el núcleo. Terminada esta operación, se quitan cuidadosamente las piezas de yeso, dejando la cera adherida al núcleo, y se pasa entonces, como en el procedimiento anterior, á formar el manto ó capa exterior del molde, y, por último, á calentar el conjunto para derretir la cera y secar la masa arcillosa.

Este procedimiento parece más complicado que el antiguo, pero en realidad es más sencillo y se practica rápidamente, ofreciendo además la ventaja de que el modelo original no se destruye, pues con las piezas de yeso, que no servirían para constituir el manto del molde, se pueden formar nuevos moldes para reproducir la misma obra de arte.

A fin de que nuestros lectores se formen idea más exacta de un molde preparado con arreglo al modo que acabamos de describir, reproducimos en la fig. 90 uno de un caballo monumental, destinado á ser fundido en una pieza. Parte de la obra de ladrillo con la que se rodea aparece quitada, y el interior del molde presenta casi el aspecto de una figura anatómica, con los huesos, las arterias y las venas. Las líneas dobles, señaladas con *a*, son las barras de hierro del armazón, algunas de las que se prolongan fuera del molde, penetrando las paredes circundantes y el piso, á fin de dar mayor solidez al conjunto; las líneas oscuras, *b b*, representan el sistema de canales reservados por medio de cera, por el que se distribuye en el molde el metal fundido que penetra desde arriba; *c c* son otros canales análogos, formados de la misma manera que los anteriores y destinados al escape del aire y gases durante la fundición. En la disposición de estos dos sistemas de canales hay que andar con gran precaución á fin de que la circulación del metal, de una parte, y la del aire de otra, no encuentre entorpecimiento alguno; pues de quedar encerrada una cantidad de aire se formarían ampollas en el metal, corriéndose además el riesgo, si dicha cantidad fuera grande, de que el aire se dilatara con el calor, produciendo la rotura del molde. En realidad dichos sistemas de canales resultan mucho más ramificados que en nuestra figura, pues en obsequio de la mayor claridad sólo

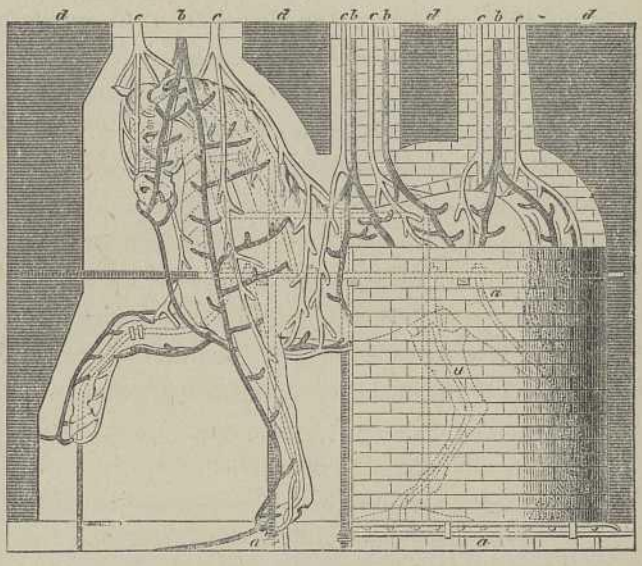


FIG. 90.—Molde para un caballo monumental.

hemos dibujado las ramas principales; se forman, como ya indicamos, con cera, después de acabado el modelo y antes de proceder á hacer el manto del molde; otros canales se reservan en la parte inferior del conjunto, para la salida de la cera cuando se derrite.

Cuando las dimensiones ó lo complicado de la obra impiden que ésta se funda de una pieza, hay que preparar, como se comprende, tantos moldes como piezas sueltas se necesiten, procediendo para cada uno de la manera descrita.

La fundición misma de los objetos de bronce se verifica, sobre poco más ó menos, de la misma manera, ora se trate de una campana, ora de una estatua, ora de un relieve ó de un cañón de artillería. El molde se encuentra enterrado al pie del horno, en el que se funde la cantidad de metal correspondiente; momentos antes de darle salida se remueve y mezcla vigorosamente, y entonces se rompe la piquera; la masa candente fluye por un canalón inclinado y abierto, acumulándose en el recipiente embudiforme formado encima del molde, y en el que desembocan los canales que comunican con el interior de éste, y que se mantienen cerrados por medio de tapones de hierro; cuando se ha reunido en el recipiente cierta cantidad de metal, se quitan los tapones y el metal se precipita en el interior del molde, produciéndose un ruido sordo, mientras que por las salidas de aire se escapan vapores amarillos; al cabo de algunos minutos la operación está terminada, y si la cantidad de metal ha sido bien calculada, deben quedar llenas las canales correspondientes hasta su boca; de no suceder esto, una de dos, ó ha habido equivocación en el cálculo, ó se ha producido en el molde alguna rotura, determinando el derrame de parte del metal.

La fig. 91 ilustra la operación de que hablamos, representando la fundición de una gran estatua ecuestre en la fábrica de Gladenbeck, en Berlín, en el momento en que se acaba de romper la piquera; se ve claramente cómo cae el metal desde el horno al recipiente, en tanto que los operarios mantienen tapados los canales del molde por medio de pesados barrones encorvados; en medio del recipiente asoman también los tubos para el escape de los gases. A una señal del maestro fundidor que dirige la operación, se franquean las entradas al molde, y en cortos momentos éste se traga 8.000 kilogramos de bronce, que desaparecen como por ensalmo. Al cabo de algunos días la estatua se halla bastante enfriada para que pueda procederse á desenterrarla, á cuyo efecto se practica la excavación necesaria, se quita el manto del molde y se eleva la obra fundida hasta la superficie por medio de una grúa. Todos los sobrantes de metal resultantes del relleno de las canales del molde, y que quedan adheridos á la estatua en forma de barras, se cortan á raíz de la superficie, mientras que los barrotes de hierro del armazón del molde, que sobresalen al exterior de la obra, se cortan un poco debajo de la superficie de ésta, rellenando con bronce las pequeñas cavidades que resultan; al mismo tiempo se limpia la estatua de las partículas de arcilla adheridas, y acto continuo procede el artista á dar la última mano á

su obra con el cincel, la lima y el raspador, haciendo resaltar como corresponde los pormenores, é infundiendo, digámoslo así, vida y expresión en la figura.

En Alemania, como ya dijimos, se halla actualmente á gran altura la fundición de bronces monumentales, y en sus principales ciudades se encuentran



Fig. 91.—Fundición de una estatua en la fábrica de Gladenbeck, en Berlín.

numerosas y hermosas obras del género, entre las que debemos citar en primer término la estatua colosal de la *Bavaria*, efigie de una mujer simbolizando á Baviera, erigida en Munich delante del Templo de la Fama. Nuestra fig. 92 reproduce una vista del interior de la fundición de Munich, en la que se llevó á cabo dicha obra: en el primer plano se ve la enorme cabeza de la estatua, sometida á la limpieza después de sacada del molde, y de cuyas proporciones pueden

juzgar nuestros lectores cuando decimos que en su interior caben cómodamente seis personas; en el fondo del mismo grabado se ve uno de los brazos de la *Bavaria* al tiempo de ser extraído del molde con la grúa. La estatua acabada tiene 22 metros de altura, de modo que es más alta que las casas de Madrid de cinco pisos; pero además se halla erigida sobre un pedestal de 10 metros, de modo que la corona de laurel que ciñe se encuentra á 32 metros del suelo. El bronce invertido en ella, en cantidad de 78.000 kilogramos, procede de cañones noruegos y turcos, tomados en la guerra; en la parte inferior tiene el metal 17



FIG. 92.—Interior de la fundición de Munich, con partes de la estatua colosal de la *Bavaria*.

milímetros de grueso, por término medio, y en la parte superior 12; el coste de la estatua, sin pedestal, se elevó á unas 580.000 pesetas. Por una puerta en la parte posterior del pedestal y la correspondiente escalera de piedra, se puede subir al interior de la estatua, que se ha macizado con obra hasta la altura de las rodillas; desde aquí queda el hueco libre, salvo la escalera de hierro, por la que se llega hasta el interior de la cabeza, donde pueden descansar de seis á ocho personas en dos sofás dispuestos al efecto; la nariz constituye por sí sola un asiento cómodo. El proyecto y el modelo se deben al célebre escultor *Schwanthaler;* de la fundición se encargó *Stiglmayer*, y después de su muerte su sobrino *Ferdinand Miller*. Para la preparación del modelo hubo de levantarse una torre de madera de 40 metros de alto, con galerías á diferentes elevaciones, y provista de los ascensores y demás artefactos necesarios; la operación tardó

cuatro años, durante los cuales Schwanthaler suspendía el trabajo en los meses de invierno, y en 1842 todo estaba listo para proceder á formar del molde, á cuyo efecto se dividió el modelo en doce trozos. Para la fundición fué necesario construir un horno especial, capaz de contener á un tiempo 25.000 kilogramos de metal.

Algunas otras obras monumentales alemanas rivalizan, por su grandiosidad y perfección artística, con las mejores creaciones del arte antiguo. Tales son el



FIG. 93.—Monumento dedicado á Lutero, en Worms.

monumento erigido en Weimar á la memoria de Goëthe y Schiller, el de Lutero en Worms (fig. 93), y la estatua colosal de la *Germania* (fig. 94), en el Niederwald, frente á Bingen, á orillas del Rhin. Este hermoso monumento, erigido en conmemoración de la guerra franco-alemana de 1870, se terminó en 1883 después de seis años de trabajos y un gasto de millón y medio de pesetas; el proyecto se debe al profesor Schilling, de Dresde, y las figuras se fundieron en diferentes fábricas alemanas, empleándose en la principal, que simboliza á Alemania y tiene 10,5 metros de altura, 35.000 kilogramos de bronce; la elevación total del monumento es de más de 35 metros, y corona el monte á 230 metros sobre el Rhin.

Expuestas á la intemperie las obras de bronce, se revisten, andando el

tiempo, de una tenue capa de patina, que se aprecia, no sólo por su color verde ó pardo-verdoso que mejora el aspecto de las mismas, sino también porque dicha capa contribuye esencialmente á conservarlas, paralizando la acción



FIG. 94.—Monumento nacional de la *Germania*, en el Niederwald.

química ulterior del aire y de la humedad. La formación de la patina se debe á la oxidación del cobre, consistiendo dicha sustancia en carbonato básico de cobre, de la misma composición que la malaquita. Lo que la Naturaleza produce al cabo de muchos años, se imita artificialmente por la vía química, á fin de

prestar á las obras nuevas el hermoso aspecto de la antiguas; pero ninguno de los procedimientos en uso es capaz de producir una patina tan hermosa, tan fina y tan duradera como la natural. En las grandes ciudades, y merced á los vapores sulfurosos que emanan de las alcantarillas y los conductos del gas del alumbrado así como los que resultan de la combustión de la hulla y el lignito, sufre el bronce, no una oxidación, sino una sulfuración, produciéndose una capa negra de sulfuro de cobre; el peor ejemplo de esto lo ofrece Londres, donde todas las estatuas de bronce se han convertido, digámoslo así, en moros.

Así como algunas aleaciones de cobre su distinguen por su dureza, prestándose á la fabricación de ciertas piezas de maquinaria (bronce de fósforo), las hay, por el contrario, con 8 á 10 por 100 de estaño, que por calentamiento y repentino enfriamiento adquieren tal grado de blandura, que son susceptibles de ser acuñadas. Con semejantes aleaciones se acuñan, en efecto, monedas en algunos países, entre otros España, no sólo con el objeto de economizar, sino principalmente á fin de tener una moneda más duradera que la de cobre puro; éste es, naturalmente, mucho más dúctil que el bronce más blando, y la acuñación de que hablamos es un trabajo difícil, tanto que, tratándose de medallas, se apela al recurso de hacerlas con cobre puro y broncearlas después exteriormente. Semejante bronceado, de un hermoso color pardo rojizo, se obtiene del modo siguiente: se colocan las medallas en óxido de hierro químicamente precipitado, ó se pintan con el mismo después de formar con agua una pasta, y en este estado se calientan hasta el rojo, dando así lugar á que el cobre se asimile parte del oxígeno del óxido férrico; lo que sucede, pues, es que el cobre se convierte superficialmente en protóxido, adquiriendo el aspecto del bronce.

Mientras que en Europa la preparación de las aleaciones del cobre se halla sujeta á un número relativamente reducido de recetas, en otras partes del globo, y muy en particular en el Japón, tiene este arte mucho desarrollo. Los japoneses saben producir los efectos de color más variados por la mezcla conveniente de los metales, y aplicar estas aleaciones diversamente coloreadas con un tino y gusto notables. El oro se emplea hasta la proporción del 10 por 100, y hay aleaciones de cobre y plata en las que los dos metales se encuentran en cantidad casi igual. Los bronces destinados á usos ordinarios se distinguen por su contenido en plomo, hasta un 12 por 100 ó más, merced á cuyo metal los objetos fundidos adquieren una hermosa patina negruzca. Las aleaciones auríferas suelen someterse á una cocción en una disolución de caparrosa azul, alumbre y cardenillo, que disuelve superficialmente el cobre, produciendo una ligera capa de oro, que presta al bronce un hermoso matiz azulado; en una palabra, mucho tenemos que aprender de los japoneses en esta rama de la industria.

No podemos detenernos á enumerar las numerosas recetas según las cuales, y mediante la sumersión ó la cocción en determinadas disoluciones de sales metálicas y ácidos, pueden broncearse el cobre y el latón, y aun

modificarse el color del bronce; sólo diremos que en muchos casos, y por un mero calentamiento hecho con ciertas precauciones, es posible variar los matices de los objetos de bronce ó bronceados, volviéndolos más oscuros. En la última Exposición de Viena se veían, procedentes de París, hermosísimos bronces negros que llamaron mucho la atención. Además, se han puesto en moda, de algunos años á esta parte, ciertas aleaciones de color amarillo de oro, llamadas por los franceses *cuivre poli*, iguales á las que se usaban en los siglos XVII y XVIII para candelabros y objetos de adorno; con semejantes bronces se hacen hoy en París y en Viena bonitos artículos de lujo, que pueden competir con los fabricados con metales preciosos, toda vez que el bronce de que se componen se puede dorar, platear y trabajar con el cincel. También se emplea en la fabricación de dichos objetos el bronce de aluminio, que tiene un color amarillo de oro; pero se usan con más frecuencia el latón y aleaciones análogas, que se dejan cincelar y dorar perfectamente.

LATÓN

Tal es el nombre genérico de las aleaciones de cobre con cinc. Hemos referido ya que se empleaba el latón en la antigüedad; pero tanto entonces como en la Edad Media se ignoraba su verdadera naturaleza, creyéndose sencillamente que el cobre mudaba sólo de color en presencia de la calamina, con la que se fundía.

Las aleaciones del cobre con cinc hallan en la industria aplicaciones mucho más numerosas que las de dicho metal con estaño, y su color puede variar entre el blanco propio del cinc y el amarillo intenso de oro. La composición de las aleaciones comprendidas bajo el nombre de latón es tan diversa, que apenas puede hablarse de una que se tenga como norma; no existen dos fabricantes que empleen los dos metales en las mismas proporciones, y el resultado es que en sus productos el contenido en cobre varía entre el 50 y el 80 por 100.

Hablando en general, el latón tiene de común con el cobre la propiedad de ser sumamente dúctil y maleable en frío; se deja estirar y laminar con facilidad, hasta que se obtiene el alambre más fino, y se presta perfectamente á la abolladura ó el repujado. Como dicha propiedad procede del cobre, es evidente que resulta más pronunciada cuanto más cobre contiene el latón. Pero, por otra parte, el cinc modifica las propiedades del cobre, de manera que la aleación ofrece ventajas notables, comparada con el metal puro. El latón es más duro y está menos sujeto que el cobre al desgaste y á los efectos de la atmósfera; tiene color más hermoso, y es susceptible de mayor pulimento. Considerado como material de fundición, es el latón más fusible que el cobre, siendo mucho más fluido en estado fundido, llenando mejor los moldes, sin volverse ampolloso

como dicho metal. Además, el latón resulta mucho más barato que el cobre, y en resumen se da con él el caso singular de que una materia, por la añadidura de otra más barata, no sólo se vuelve menos costosa, sino que sus propiedades se mejoran esencialmente. Es natural, por lo tanto, que el latón halle tanta aceptación en la industria y que encontremos por doquier objetos de utilidad y de adorno fabricados con él; mas aunque se usan á veces en la cocina cacerolas de latón, debemos advertir que la aplicación de esta aleación á vasijas destinadas á preparar alimentos es aún más perjudicial que la del cobre puro; el latón se disuelve en ácidos más fácilmente que el cobre, y su disolución contiene no uno, sino dos venenos.

Por muy dúctil que pueda ser el latón ordinario en frío, se vuelve bronco en estado candente y puede entonces romperse en pedazos bajo el martillo. Durante mucho tiempo, se consideraba como un imposible un latón maleable, es decir, que se pudiera forjar en caliente; pero por fin se ha logrado producirlo, y se sabe ya que las aleaciones que contienen de sesenta á setenta partes de cobre por cuarenta á treinta, respectivamente, de cinc, pueden estirarse en estado candente con el martillo ó en el laminador.

Por regla general, el latón contiene un número mayor ó menor de impurezas metálicas diferentes, debidas á la naturaleza ó la calidad de los minerales ó los metales de que proceden; pero semejantes materias extrañas no perjudican sensiblemente al latón, siempre que su proporción sea reducida. En cuanto al plomo y el estaño, pueden, al contrario, beneficiar el latón, y en algunos casos se le añaden de propósito. El plomo, en la proporción de un 2 por 100, presta al latón mayor blandura y ductilidad, y el que emplean los grabadores se funde con un poco de estaño, porque así los cortes del buril resultan más limpios. Hace algunos años se descubrió que el hierro puede ser de utilidad en la fabricación del latón, y de aquí la aleación conocida en la industria con el nombre de *sterrometal*, que se compone de 60,2 por 100 de cobre, 38,2 de cinc y 1,6 de hierro; su color es igual al del latón amarillo; sus superficies de fractura presentan una granulación parecida á la del acero endurecido; es maleable en caliente y más resistente que el hierro, de modo que se recomienda para pequeños mecanismos y otras aplicaciones como sustituto del acero. En Austria se emplea el «sterrometal» en la fundición de cañones de artillería, y en Alemania se prefiere á otras aleaciones para las válvulas usadas en la distribución del agua por las poblaciones, en vista de su solidez y de que se oxida poco.

Si la proporción del cobre en las aleaciones de que tratamos excede de 2,5 partes por una de cinc (se puede tomar, por ejemplo, de 5 á 10 partes de cobre por una de cinc), se obtienen latones de color rojizo, á los que suele aplicarse el nombre de *tombac*, procedente del indio *tamba* ó *tambaca*, que quiere decir «cobre». Estas aleaciones, en la medida que aumenta la proporción del cobre, resultan de color más oscuro, de grano más fino, más blandas y más

dúctiles; encuentran en la industria las aplicaciones más diversas, tanto en estado fundido como laminadas, y las de color más oscuro son especialmente más á propósito para objetos que han de ser adornados, empleándose, por lo tanto, en la fabricación de artículos de bisutería, botones, etc. Varias son las aleaciones de este género que se han inventado para imitar el oro, poniéndolas de moda con denominaciones raras, como «similor», «pinschbeck», «metal de príncipes», etc., que sólo han gozado de una existencia efímera; su representante actual es el llamado *oro de talmi*, que se emplea mucho en la fabricación de cadenas de reloj y posee un hermoso color amarillo de oro y un brillo duradero, componiéndose de 86,4 por 100 de cobre, 12, 2 de cinc, 1,1 de estaño y 0,3 de

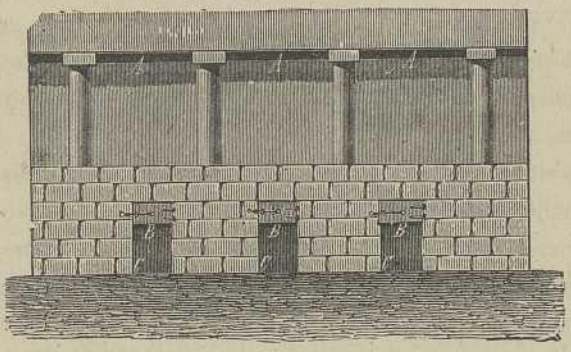


FIG. 95.—Hornillos para la fabricación del latón.

hierro, cuya presencia probablemente es casual. En general, se obtienen productos de hermosos matices de amarillo de oro con 80 á 88 por 100 de cobre, por 20 á 12 respectivamente de cinc; y si á semejantes aleaciones se les añade un poco de plomo, ofrecen, después de pulimentadas, cierto reflejo que recuerda al oro verde.

Como ya dijimos al tratar del cinc, hacía muchísimo tiempo que se producía el latón antes que se supiera la existencia de un metal especial que, mezclándose con el cobre, modifica su color y demás propiedades. El antiguo procedimiento según el cual el cobre se fundía directamente con la calamina, se practicó de un modo exclusivo durante centenares y acaso miles de años, empleándose todavía en algunas partes, por ofrecer ventajas económicas. Úsanse al efecto pequeños hornos de tiro, que se construyen en series, como indica la fig. 95, siendo *B B* las puertas, *C C* los ceniceros y *A A* el conducto de los gases hacia la chimenea, que se halla sostenida por columnas. En cada hornillo caben siete ú ocho crisoles de arcilla refractaria, que se colocan sobre la rejilla y se llenan de hulla, y para cargar los crisoles se amasan en una caja de madera 27 kilogramos de cobre granulado, 41 de calamina triturada y una tercera parte del volumen total de polvo de carbón. Antes tenía que repetirse la fusión, porque con la calamina no se puede incorporar al cobre más del 20 al 27 por 100 de

cinc, de una vez; el latón bruto que se obtenía en la primera fusión, y se llamaba *arcot*, se volvía á fundir con una nueva porción de calamina y carbón; pero hoy, donde quiera que se practica este procedimiento, se evita la segunda fusión añadiendo durante la primera el cinc que falta, en forma metálica, cosa que en otros tiempos no se podía hacer. Al cabo de seis á siete horas de fuego vivo, y cuando la mezcla en los crisoles se halla casi á la incandescencia blanca, se desprenden vapores de cinc, lo que prueba que se ha iniciado la reducción de la calamina; entonces se modera el fuego, á fin de no volatilizar mucho cinc, ni promover la fusión demasiado rápida del cobre, el cual debe ir goteando á través de la masa, ofreciendo así, por su división, la mayor superficie posible á los vapores de cinc. Pasadas otras seis ó siete horas, cesan de desprenderse dichos vapores, señal de que la aleación se ha consumado, y entonces se sacan con tenazas los crisoles, vertiendo su contenido en un crisol mayor, previamente caldeado y colocado en un hoyo delante del horno; en seguida se revuelve bien la aleación, quitando las impurezas que se reunen á la superficie, y luego se vierte en moldes para formar planchas. Estas no salen bien en moldes de hierro, por cuya razón se vierte el latón entre losas de granito, separadas por barras de hierro, cuyo grueso corresponde al que han de tener las planchas; lo interior de las losas recibe un revestimiento de arcilla que se seca al fuego y resiste unas veinte operaciones; pero hay que cubrirla cada vez con una ligera capa de excremento de vaca. Calcúlase que, por el procedimiento descrito, se necesitan tres partes por peso de hulla para producir una de latón. Se ha probado la fusión del cobre con la calamina en hornos de reverbero; pero la pérdida de metal por volatilización resulta demasiado considerable.

La producción directa del latón por la fusión de sus componentes, esto es, el cobre y el cinc en estado metálico, es el procedimiento que hoy se practica principalmente, y se lleva á cabo en la mitad del tiempo que necesita el antiguo; por su medio pueden tratarse de una vez mayores cantidades de metal, y se pierde menos cinc por volatilización; también facilita en gran manera la formación de aleaciones de composición determinada. La operación no se puede verificar fundiendo primero el cobre y echando entonces el cinc, pues no sólo no se obtendría de semejante modo un producto puro, sino que el desarrollo repentino de los vapores de cinc daría lugar casi inevitablemente á explosiones. Se echa el cinc en pequeños pedazos ó granulado en el fondo del crisol, colocando encima el cobre, bien granulado, y se cubre el conjunto con una gruesa capa de polvo de carbón; de esta manera se forma la aleación gradualmente. Cuando la masa se halla fundida por completo, se moldea en forma de gruesas planchas, que luego se dividen, generalmente por medio de sierras circulares, convirtiendo entonces los trozos en planchas más delgadas; esta operación se hacía antes con el martillo, pero hoy se emplea por lo común el laminador, pasando siempre el metal en frío, puesto que los latones ordinarios no son dúctiles en caliente. Sin

embargo, después de cada paso por el laminador, ó, cuando son delgados, después de cada dos ó tres pasos, las planchas se caldean y enfrían para quitarles la dureza que adquieren por la laminación.

Como los laminadores trabajan muy de prisa, los repetidos caldeos y enfriamientos de las planchas de latón deben verificarse con la menor detención posible, á cuyo efecto se emplea un horno de construcción especial, atravesado por una pequeña vía férrea; las planchas se cargan sobre pequeños vagones, procediéndose de modo que, mientras uno se introduce en el horno con planchas duras, el otro se saca con las ya caldeadas, que se enfrían inmediatamente con agua. Cuando las planchas han adquirido cierta delgadez, se laminan cuatro, seis ó más de ellas juntas. Muchas clases de planchas de latón salen acabadas del laminador; otras, muy delgadas y anchas, se estiran sólo en el sentido de su longitud, acabándose luego con el llamado martillo rápido, que da 400 golpes por minuto. Terminada la laminación, las planchas ennegrecidas por oxidación se limpian con ácidos y se raspan con un cuchillo especial para darles el brillo; las más gruesas reciben esta última mano en una máquina de cepillar.

Para convertir las planchas de latón en alambre se cortan tiras del grueso conveniente, que se estiran por medio del torno de hacer alambre; pero la mayor parte del latón que se produce se entrega al mercado en forma de planchas más ó menos grandes y gruesas, que constituyen la primera materia en la fabricación de multitud de utensilios y objetos los más diversos. Alguna parte del latón pasa al comercio en forma de pedazos irregulares, que se obtienen partiendo en caliente el metal momentos después de vaciar los crisoles sobre una plancha ó losa.

Después del hierro colado, el latón es la materia que más se emplea para fabricar objetos moldeados ó de fundición, que constituye un ramo especial de la industria. Para la fusión se emplean crisoles de grafito, que resisten de seis á ocho operaciones si se caldean con cok, y de diez á doce si el combustible empleado es el carbón vegetal. Cada crisol contiene generalmente de 15 á 26 kilogramos de latón. Los moldes se forman con arena arcillosa, que en algunos casos se mezcla con engrudo, dextrina ó goma de almidón, ó melaza (miel de caña), en otros con polvo de carbón, según que le falte ó le sobre plasticidad. Los modelos se hacen de madera, barnizándolos para resguardarlos contra la humedad, ó bien de estaño ó latón, tratándose de artículos de uso común y que se fabrican repetidamente. La preparación de los moldes y el moldeado mismo tienen lugar de igual manera que en la fundición del hierro colado.

Al enfriarse el latón fundido se contrae fuertemente, razón por la cual los moldes deben hacerse un poco mayores que los objetos fundidos que se trata de producir, y es necesario abrirlos ó romperlos en seguida después de solidificado el metal, á fin de que dicha contracción pueda proceder libremente;

de lo contrario, se correría el riesgo, en muchos casos, de que los objetos fundidos se rajaran ó abrieran en el molde. El fundidor de latón tiene que tomar, por lo tanto, precauciones especiales; por ejemplo, no puede emplear sin más ni más un tornillo de hierro como alma de una tuerca de latón que desea producir, porque ésta se enfría y contrae más pronto que el hierro, rajándose ó comprimiendo tan fuertemente el tornillo, que después del enfriamiento no sería posible separarlos; mas si el tornillo se pinta primero con arcilla diluída en agua, secándose de modo que conserve una capa muy tenue de esta tierra, puede verterse el latón alrededor de él sin inconveniente alguno, pues la arcilla se separa después por medio de agua, y la tuerca de latón tiene entonces el juego suficiente para que se pueda desatornillar.



PLOMO, ESTAÑO, AZOGUE

Plomo: Apuntes históricos y estadísticos.—Minerales.—Beneficio de los mismos.—Desplate del plomo de obra: Pattinsonaje, cincaje, copelación.—Aplicaciones industriales del plomo.—*Estaño:* Datos históricos y estadísticos.—Minerales y su beneficio.—Aplicaciones técnicas.—*Azogue:* Historia y datos estadísticos.—Minerales y sus yacimientos principales.—Beneficio metalúrgico.—Aplicaciones.—Combinaciones químicas del azogue.

PLOMO

Según todas las probabilidades, el plomo es uno de los primeros metales que conoció y utilizó el hombre, pues de él nos hablan las más vetustas tradiciones. En los libros bíblicos atribuídos á Moises y á Job se menciona bajo el nombre de *badil,* y Homero le llamaba *molybdos*. Esto nada tiene de extraño, pues el mineral de plomo más común, la galena, llama la atención de cualquiera por su aspecto metálico y hermoso brillo, y su reducción á metal no ofrece dificultades de consideración. Respecto de la antigüedad romana, Plinio nos da noticias interesantes sobre el plomo, que llama *plumbum nigrum*, y sus aplicaciones, refiriendo, entre otros, su empleo para forrar el fondo de los buques y para la conducción de aguas, y cómo se unían y soldaban los tubos mediante

una aleación de dos partes de plomo por una de estaño. Semejantes tubos se han desenterrado en varias poblaciones, donde constituían la comunicación entre los acueductos de mampostería y las casas, y se encuentran á veces restos de conductos de plomo romanos en las labores antiguas de nuestras minas. También se conocía en la antigüedad el óxido de plomo, ó litargirio, y su aplicación á la producción del vidriado de los vasos de barro cocido, y los análisis hechos de antiguos vidrios demuestran que también se empleaba dicho producto en su fabricación. Una de las principales fuentes de plomo de los antiguos fué nuestro país, cuyos criaderos explotaron sucesivamente los fenicios, cartagineses, romanos y árabes; pero también en el monte Laurión, en el Ática (Grecia), se extraían grandes cantidades de minerales plomizos.

El plomo difiere notablemente de los metales de que hemos tratado ya, así como de otros, pues no tiene ni sonido ni elasticidad. El brillo metálico que aparece en sus superficies recién cortadas se pierde pronto por las influencias atmosféricas, presentándose, en cambio, un color gris mate, debido al carbonato de plomo que se forma; y aun le ataca el agua pura en presencia de aire, transformándole gradualmente en óxido hidratado, que es blanco. Sus disoluciones y todos sus preparados son venenosos; pero posee, sin embargo, propiedades físicas y químicas que le tienen asegurada una aplicación extensa y variada. Sus propiedades principales son blandura y flexibilidad, que la elaboración no modifica sensiblemente; en cambio, tiene el plomo poca solidez, pues un alambre de dos milímetros de grueso se parte bajo un peso de sólo nueve kilogramos. Tiene un peso específico considerable (11,37), y como es muy flexible, se emplea con frecuencia como relleno de objetos huecos cuyo peso conviene aumentar. Se funde á la temperatura de 332 grados, y se volatiliza á la incandescencia blanca; después de solidificado, no ostenta ninguna cristalización bien definida, pero en ciertos procedimientos metalúrgicos suele tomar formas cristalográficas correspondientes al sistema cúbico (cubo, dodecaedro, octaedro).

Respecto de su presencia en la naturaleza, el plomo es bastante común, encontrándose sus minerales en grandes cantidades, si bien, geográficamente, distribuídos con irregularidad. En Europa, los países occidentales, y en parte los meridionales, son muy ricos en plomo, mientras que los del Norte y Este son pobres. Una de las comarcas más productivas del mundo era, no ha mucho tiempo, nuestro distrito de Linares, en la provincia de Jaén, donde los potentes filones plomizos arman principalmente en el granito y pueden seguirse, en algunos casos, en una longitud de cinco ó seis kilómetros. Las provincias de Murcia y de Almería son también abundantes en ricos minerales de plomo, y no escasean tampoco en otras partes de nuestra península. Francia es mucho menos rica en plomo; pero en Inglaterra abundan los criaderos de este metal, algunos de los cuales, en los condados de Cardigan y Schrop, fueron explotados por los romanos. En Alemania, los principales distritos plomizos son el Harz, el de

Tarnowitz (Silesia), y Freiberg, en Sajonia; y en Austria abunda el plomo en el distrito de Raibl, Bleiberg y otras comarcas de Carintia. Italia y Grecia merecen citarse también entre los países productores de plomo, mientras que en Rusia, Suecia y Noruega la producción es insignificante. En América, se distinguen hoy por su gran producción los Estados Unidos: la explotación de criaderos de plomo se limitaba antes á los Estados del Centro y del Este; pero desde la extensión de las vías férreas se ha desarrollado también considerablemente los del Oeste, ó sean Utah, Nevada, Colorado, California y Montana, celebrándose los distritos de Leadville y Eureka.

La producción total de plomo en el mundo se elevó en 1884, según los cálculos de Landsberg, á 450.000 ó 500.000 toneladas; siendo los mayores productores los Estados Unidos, con 139.897 toneladas; Alemania, con 98.814, y España con 90.000. En el año de 1881, el estado de dicha producción fué como sigue:

España	120.000	toneladas.
Estados Unidos	105.000	»
Alemania	90.000	»
Inglaterra	67.000	»
Francia	15.000	»
Italia	10.000	»
Grecia	9.000	»
Bélgica	8.000	»
Austria	6.000	»
Rusia	1.500	»

De esto resulta que en dicho año de 1881 era España el país que más plomo producía; pero desde entonces nuestra producción ha bajado considerablemente, mientras que han aumentado las de Alemania y los Estados Unidos. En éstos, y á pesar de la actividad desplegada, no se había logrado antes dar abasto á las necesidades propias, y se importaba bastante plomo europeo; mas desde 1875 próximamente, cuando se abrieron las grandes vías de comunicación con los Estados del Oeste, pudieron explotarse nuevos y ricos criaderos vírgenes, de modo que la producción aumentó con rapidez hasta el punto de que, no sólo los americanos dejaron de importar nuestros plomos sobrantes, sino que tuvieron de sobra para exportar, hecho que se tradujo desde luego en una notable baja en los precios.

MINERALES DE PLOMO

Muy rara vez se presenta el plomo en la Naturaleza en estado nativo; aunque resiste muy mal á las influencias atmósféricas, se ha conservado en algunas partes en dicho estado, si bien en cantidades tan sumamente pequeñas, que no tienen importancia industrial alguna. Para el beneficio metalúrgico del metal

sólo ofrecen interés los minerales plomizos, y en primer término la *galena* ó sulfuro de plomo, que se presenta en filones y depósitos en las rocas más diversas. Como el plomo se vaporiza á la incandescencia blanca, la galena puede conceptuarse como un precipitado cristalino de vapores de azufre y plomo; en las fábricas de plomo se forma frecuentemente semejante sulfuro, penetrando los vapores de los hornos en las grietas de sus paredes y depositándose allí en preciosos cristalitos de galena. Pero en la mayoría de los casos es indudable que la galena se ha formado por la vía húmeda, con ayuda del agua. En su estado natural es un hermoso mineral, bastante duro, de color gris azulado oscuro y brillo metálico vivo, que cristaliza en cubos, ó en las formas intermedias entre el cubo y el octaedro, y se caracteriza por su fractura tan regular, merced á la cual un pedazo mayor se divide siempre en pedazos menores de forma cúbica. Por regla general, la galena contiene plata, aunque sólo en corta cantidad. Se presenta á veces en los filones en grandes masas, libres de toda materia extraña; recordamos haber visto en las minas de Linares galena pura de más de un metro de espesor; hace algunos años se sacó de una mina cerca de Aquisgrán un bloque de 864 kilogramos de peso, y en la iglesia de un convento, en Polonia, se encuentra una estatua esculpida en galena maciza. Expuesto al aire este mineral, acaba por perder su brillo.

La galena por sí, y en su estado más puro, se emplea para producir el vidriado de los vasos de barro, llamándose entonces mineral de alfareros, y también, en corta cantidad y en estado de polvo, como arenilla para cartas; pero la mayor parte de ella se funde para obtener plomo, de cuyo metal puede contener hasta el 86 por 100. Se halla con frecuencia mezclada con otros sulfuros, como los de cinc, plata, cobre, arsénico y antimonio. Su contenido en plata ofrece naturalmente mayor interés; y aunque suele ser muy exiguo, la galena constituye á veces una primera materia importante para la producción de dicho metal precioso; de medio á uno por ciento de plata es un contenido excepcional, y generalmente no se encuentra más de 0,01 á 0,1 por ciento; pero aun así la plata se aprovecha, como veremos más adelante.

Al lado de la galena se encuentra á veces en los criaderos la *cerusa*, ó carbonato de plomo (que es con frecuencia un producto de la descomposición del sulfuro) en cantidad tal, que puede ser objeto de un beneficio metalúrgico por sí. Dicho carbonato se presenta, ora en estado cristalizado, ora en estado más ó menos compacto ó terroso, pudiendo contener hasta el 77 por 100 de plomo. Hace algunos años se descubrió en Colorado (Estados Unidos) un extenso y riquísimo depósito de cerusa, cuyo mineral formaba como una arena blanca y muy argentífera. Otros minerales plomizos interesantes, si bien por su rareza, de muy escaso valor industrial, son la *piromorfita*, ó fosfato de plomo; la *anglesita*, ó sulfato; la *wulfenita*, ó molibdato de plomo, y la *crocoita*, que es un cromato de este metal.

BENEFICIO DE LOS MINERALES DE PLOMO

La metalurgia del plomo se presenta bajo su forma más sencilla cuando se trata del beneficio de la cerusa, ó carbonato de dicho metal, aunque rara vez se presenta en abundancia suficiente para ser objeto de un procedimiento especial, como sucede en el Eifel (Prusia Renana), y en Colorado (Estados Unidos). Mezclada con cok menudo y fundida en un horno de reverbero bajo una capa de escoria, la cerusa se reduce fácilmente, soltando su plomo. Mas, tratándose del sulfuro, como sucede en todos los demás casos, las operaciones metalúrgicas no son tan sencillas, y si bien el beneficio de la galena pura no ofrece en realidad dificultades, se complica á veces extraordinariamente en presencia de otros metales, y los procedimientos sufren, por lo mismo, varias modificaciones.

Las galenas más puras, es decir, libres de materias térreas y sulfuros extraños, así como las que sólo contienen pequeñas cantidades de ganga y blenda, se benefician con ventaja en hornos de reverbero; en cambio, el empleo de hornos de cuba está indicado tratándose de menas que, además de la galena, contienen muchos sulfuros extraños y materias térreas.

El procedimiento más en boga para el beneficio de las galenas ricas en el horno de reverbero, es el llamado de *calcinación* y *reacción*, que comprende tres operaciones que se verifican, por lo general, en el mismo horno. En primer lugar, la galena se calcina durante más ó menos tiempo, transformándose parcialmente en óxido ó sulfato de plomo, y quedando en parte intacto. A una temperatura relativamente elevada é iniciada desde el principio, se forma menos sulfato que si el calor crece despacio; pero el grado de calor y la duración de la calcinación dependen de la calidad de las menas. La carga calcinada se calienta entonces rápidamente hasta el rojo cereza, removiéndose bien con el espetón para promover la reacción del óxido y sulfato de plomo sobre el sulfuro, y la formación consiguiente de plomo metálico. Cuando ésta cesa, por haberse combinado todo el oxígeno del óxido y sulfato con el azufre del sulfuro, se repite la calcinación á una temperatura más baja, y después, elevando ésta otra vez, se promueve la misma reacción entre el óxido y sulfato de nuevo formados y el sulfuro que todavía contiene la carga; y así sucesivamente, hasta que no se desprende más plomo metálico y que la carga empieza á fundirse. Según que la calcinación primera de la mena haya sido más ó menos completa, el período de la reacción dura más ó menos tiempo; la cantidad de plomo obtenida depende de la pureza de la mena y el cuidado y destreza de los operarios. Si durante la formación del plomo metálico, la temperatura se eleva más de lo que corresponde á la incandescencia dicha «rojo cereza,» se volatiliza mucho plomo y parte del metal se combina con los residuos; además, excediendo la temperatura de dicho punto,

la reacción referida no tiene lugar, sino que se forma, al parecer, un oxisulfuro de plomo que no descompone la galena. Cuando el período de la reacción toca á su término, y por estar la carga mucho más refractaria es preciso aumentar considerablemente la temperatura para separar el plomo metálico, la formación de dicho oxisulfuro es inevitable, y este producto entra, por lo tanto, á formar parte de los residuos.

El tratamiento de éstos, que para distinguirlos de las escorias propiamente dichas de otros procedimientos metalúrgicos, suelen llamarse con impropiedad *cenizas* ú *orruras*, constituye la tercera operación. Dichos residuos forman una mezcla, más ó menos fundida, de óxido, sulfato, silicato, oxisulfuro y sulfuro de plomo, con las gangas más ó menos descompuestas, y contienen tanto menos plomo cuanto más haya podido prolongarse el período de reacción. Terminado éste, los residuos se mezclan repetidas veces con carbón ó cal, ó bien primero con cal y luego con carbón, y se remueven bien cada vez, elevándose al mismo tiempo la temperatura del horno. El carbón reduce el óxido de plomo libre y el que contiene el oxisulfuro, á plomo metálico, y convierte el sulfato de plomo en sulfuro, que se reduce también á metal en virtud de la acción de otra porción de óxido de plomo. La porosidad de la masa promueve la reducción, facilitando que penetren los gases del carbono; cuando, después de mezclados repetidas veces con cal, removiéndolos y elevando la temperatura cada vez más, los residuos no sueltan más plomo, se sacan del horno.

Este procedimiento por calcinación y reacción se aplica en los diferentes países, con las variantes ó modificaciones correspondientes á la naturaleza especial de las galenas, las gangas que las acompañan, el combustible de que se dispone, el fin económico, etc., condiciones según las cuales varían la forma y dimensiones de los hornos de reverbero. Los dos procedimientos más característicos son el carintio y el inglés. El primero, que se practica desde muy antiguo en Carintia y algunos puntos de Alemania, tiene por objeto especial el beneficio de pequeñas cantidades de galena pura y pobre en plata, y la producción de un plomo de gran pureza; el combustible empleado es la leña de abeto, y el laboratorio del horno es prolongado, estrecho y de dimensiones reducidas. El modo inglés que, con algunas modificaciones, es el seguido en España, se encamina menos á apurar la carga, extrayendo de una vez todo el plomo posible, que á producir mayores cantidades de metal en mucho menos tiempo y con menos combustible; el horno es de grandes dimensiones, y el combustible empleado es la hulla. En Linares, la Sierra de Gádor y otros distritos nuestros, los hornos de reverbero hoy empleados son variantes del modelo inglés; pero no hace tanto tiempo que se practicaba el procedimiento de beneficio de que hablamos en un reverbero de construcción especial, llamado *boliche*, en cuyo hogar se quemaba monte bajo ó barda más ó menos verde, combustible ya escaso en las comarcas interesadas. En nuestros hornos modificados se funden tres ó

cuatro cargas de 1.000 á 1.150 kilogramos de galena en las veinticuatro horas, consumiendo de 7 á 10 quintales de hulla por carga, según la calidad de la mena; conteniendo ésta de 75 á 76 por 100 de plomo, según ensayo, se obtiene de 58 á 62 por 100, y además los residuos (cenizas ú orruras) que contienen la mayor parte del plomo restante y se funden, para obtenerlo, en hornos de cuba, por sí ó mezclados con otros productos plomizos secundarios.

Las galenas que contienen materias térreas ó sulfuros de metales extraños en cantidad tal que no pueden tratarse económicamente en hornos de reverbero, se benefician en hornos de cuba. Las menas en que la galena se halla mezclada principalmente con materias térreas, se someten, sin calcinarlas, á una fusión precipitante por medio del hierro, mientras que las más piritosas se calcinan y someten después á una fusión disolvente y reductiva, que puede tomar también un carácter precipitante, mediante la añadidura de hierro á la carga, ó la reducción del hierro contenido en esta última.

La llamada *precipitación*, que consiste esencialmente en la descomposición del sulfuro de plomo por medio del hierro, formándose plomo metálico y sulfuro de hierro (mata), es aplicable más en especial á las menas ricas en plomo y pobres en plata, mezcladas con ganga silícea ó arcillosa, en comarcas donde el hierro ó sus minerales oxidados pueden obtenerse á bajo precio. Las ventajas de la operación, que se verifica generalmente en hornos semialtos (hasta seis metros), porque los más bajos no son compatibles con la acción más completa del hierro, son las que resultan de poder prescindir de la calcinación previa. La composición que conviene que tenga la carga se regula mejor con menas crudas que con las calcinadas, en atención á los cambios más ó menos indeterminables que éstas han sufrido; en presencia de sílice, el plomo se escorifica mucho más fácilmente en la fusión de menas calcinadas que en la de las crudas, y por consiguiente el rendimiento de éstas es mayor; además, la pequeña cantidad de cobre que contengan las menas se pierde si éstas se calcinan, mientras que si se someten crudas á la precipitación, el cobre se une á la mata y puede aprovecharse. En cambio, y aparte del gasto del hierro, la mata retiene siempre una cantidad considerable de plomo y la correspondiente de plata, resultando la llamada mata de plomo, cuyo beneficio ulterior resulta costoso.

El procedimiento por el cual se benefician las galenas muy mezcladas con sulfuros de metales extraños, se inicia con una calcinación á fondo, que tiene por objeto transformar los sulfuros en óxidos lo más completamente posible, y expulsar al mismo tiempo la mayor parte posible de metales dañinos, como el antimonio, el arsénico, el cinc; esta calcinación se verifica hoy de un modo exclusivo en reverberos de construcción especial, con el laboratorio muy prolongado, en el que la carga se remueve de continuo, llevándose poco á poco desde la extremidad menos caliente del horno hasta cerca del hogar, donde se somete á una temperatura relativamente elevada, hasta iniciar su fusión. El éxito de la

fusión depende más en especial del resultado de la calcinación, así como de la elección de fundentes apropiados y del horno mismo. Las menas calcinadas contienen principalmente óxidos metálicos de diferente grado de reductibilidad, y el objeto de la fusión reductiva y disolvente es reducir con rapidez el óxido de plomo á una temperatura baja determinada y con la menor volatilización posible, y al mismo tiempo escorificar los demás óxidos metálicos, que se reducen más difícilmente. A una temperatura demasiado elevada, serían estos óxidos

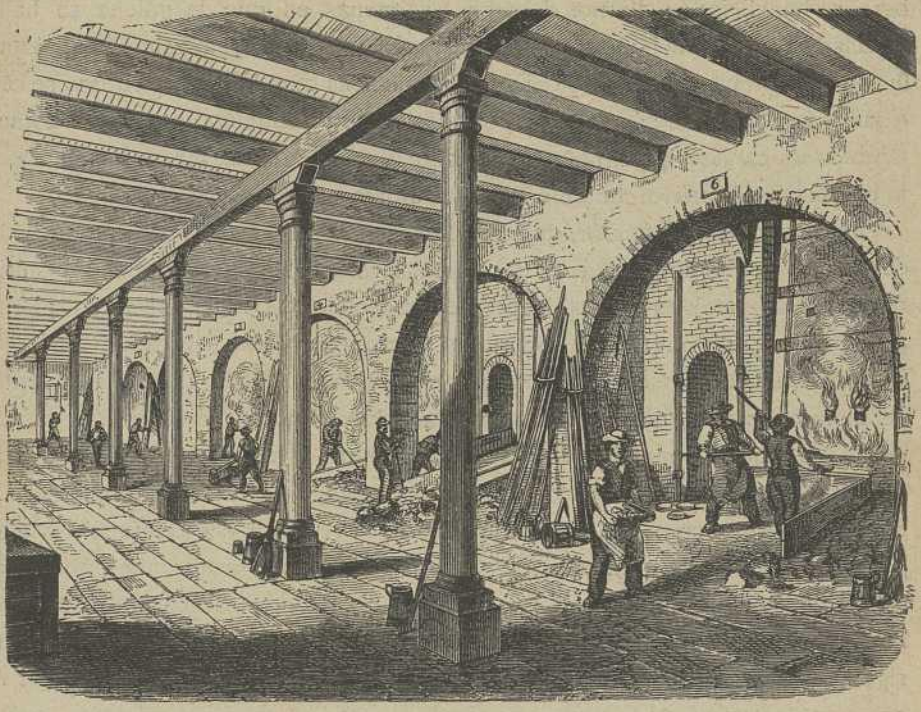


FIG. 96.—Hornos de Freiberg para el beneficio de las menas plomizas.

también reducidos, y sus metales, juntándose en parte con el plomo, perjudicarían su calidad y por otra parte entorpecerían la marcha formando cuescos y lobos en el horno. Para formar una escoria á propósito se toman fundentes ácidos, como escorias muy silíceas, y á veces cuarzo puro, y básicos ferruginosos en forma de escorias procedentes del pudelaje del hierro, de mineral oxidado de hierro ó de mata de hierro calcinada, especialmente cuando ésta contiene alguna plata, que se beneficia al mismo tiempo. Además de su importancia para la formación de la escoria, estos fundentes ferruginosos contribuyen en gran modo á la separación del plomo: el protóxido de hierro descompone el silicato de plomo, sustituyendo al óxido de este metal, que el carbón se encarga de reducir, y parte del óxido de hierro se reduce siempre á hierro metálico, que descompone la galena imperfectamente calcinada que la carga pudiera con-

tener, así como el sulfuro de plomo resultante de la reducción del sulfato.

Los hornos empleados para la fusión de que tratamos son generalmente semialtos ó altos, es decir, de seis ó más metros de elevación, con los que se economiza combustible y se limita la volatilización del plomo. En los grandes

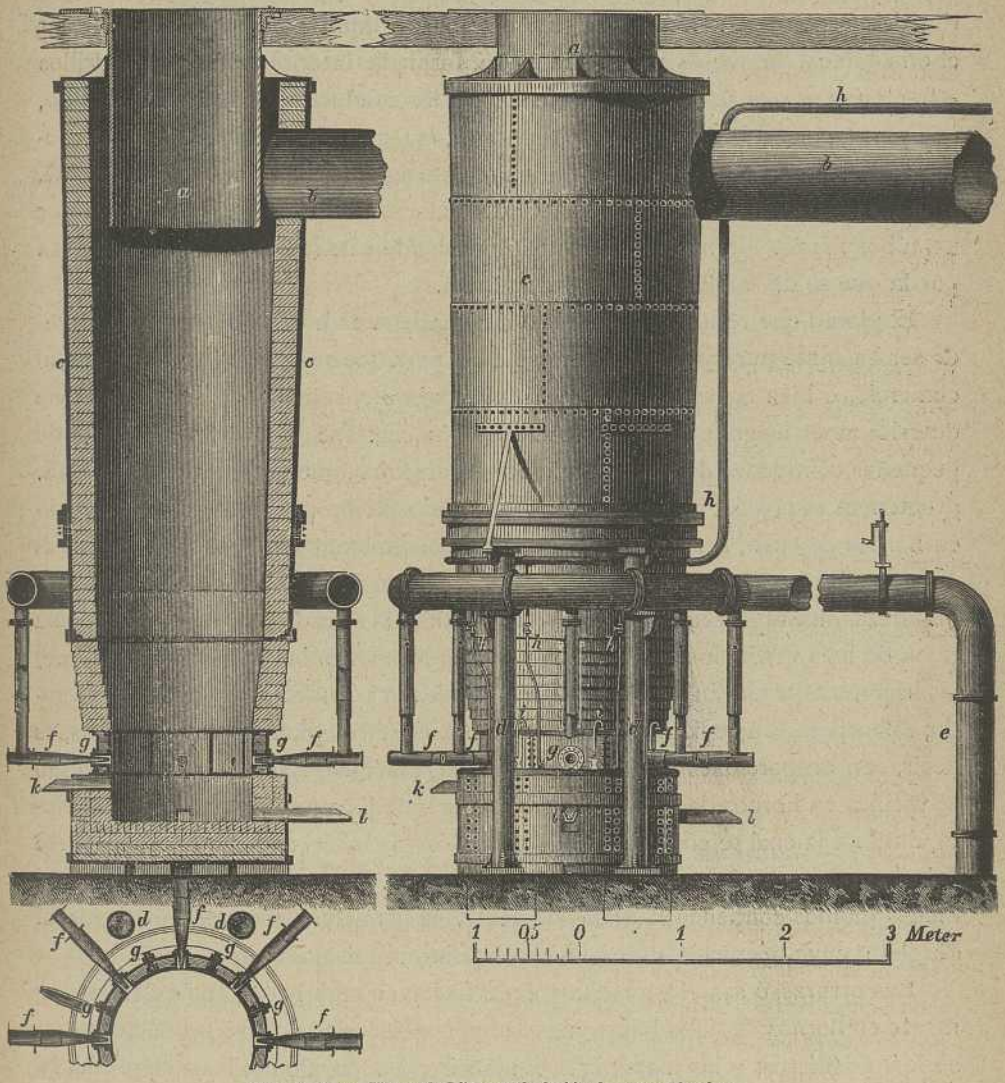


FIG. 97 á 99.—Horno de Pilz para la fusión de menas plomizas.

establecimientos metalúrgicos de Freiberg (Sajonia), donde se benefician plomo, plata, cobre, etc., contenidos en menas muy complejas, se ha empleado con preferencia durante mucho tiempo el horno de cuba doble, de *Wellner*, de sección trapecial, con crisol y antecrisol y dos toberas en la trasera. Nuestra figura 96 representa la parte anterior de una serie de estos hornos; pero hace algunos años, y después de detenidos ensayos, se ha adoptado allí y en otros

puntos el horno circular de *Pilz* que representa el último adelanto del género. Nuestras figuras 97 á 99 reproducen este horno en elevación, sección vertical y sección horizontal á la altura de las toberas, indicando las letras: *a*, la tolva mediante la que se carga el horno; *b*, el conducto de los gases; *c*, el revestimiento exterior de hierro; *d*, las columnas de hierro que sostienen la parte superior del horno, de modo que se puede derribar la inferior para reparar ó formar el crisol, etc., sin que se resienta la cuba, formada interiormente con ladrillos refractarios, y que se deteriora muy poco; *e*, los conductos del aire comprimido, que penetra en el horno por ocho dusas, *f f*, las que descansan en toberas huecas, *g g*, en cuyo interior circula continuamente agua fría, mediante los tubos *h h*, á fin de preservarlas contra los efectos del calor, saliendo el agua caliente por los tubos *i i;* por último, *k* es el orificio por donde sale la escoria, y *l* la piquera por la que se da salida al plomo y á la mata.

El plomo que resulta del beneficio de la galena en hornos de reverbero puede ser bastante puro y dulce, como se dice, para que se entregue desde luego al comercio, ó bien contener bastante plata para ser sometido al desplate, que describiremos luego; pero también sucede que contiene impurezas en forma de pequeñas cantidades de cobre, antimonio ó arsénico, que perjudican su calidad, y entonces es preciso afinarlo. En cambio, todo plomo procedente del beneficio en hornos de cuba, cualquiera que sea el procedimiento empleado, resulta más ó menos duro ó agrio, y es preciso someterlo á un afino. Cuando son pocas las impurezas, basta introducir en el metal fundido, al salir del horno, un palo ó una rama de leña verde; los gases desarrollados promueven la ebullición del plomo, las impurezas se elevan á la superficie y se retiran por medio de un cazo perforado; esta operación se llama *berlingar*. Tratándose de plomos muy impuros, es decir, con proporciones fuertes de antimonio, arsénico, cinc, cobre, etc., el afino se verifica en hornos de reverbero, y consiste sencillamente en una fusión oxidante, durante la cual se convierten en óxidos los metales extraños y alguna parte del plomo, quedando purificado el metal restante. No hay para qué decir que, si dichos plomos contienen la plata suficiente, se someten, como los primeros, al desplate, cuya operación sirve á veces de afino al mismo tiempo.

Las orruras, ó sean los residuos de la fusión en reverberos, se funden nuevamente en hornos de cuba bajos, mezclados con escorias y otros productos accesorios plomíferos; y las matas más ó menos ricas en plomo, que se producen por la fusión precipitante ó la disolvente y reductiva, se benefician de diversos modos, según los metales que contienen, á cuyo pormenor no podemos descender. Pero hemos de decir algo acerca de un producto que siempre resulta, en cantidad mayor ó menor, en todo beneficio de la menas plomizas, y representa en muchos casos un valor considerable. Los humos (pues á éstos nos referimos) que se desprenden de todos los hornos de calcinación y fusión contienen, además de gases ácidos (ácido sulfuroso y sulfúrico), una proporción considerable

de plomo (principalmente sulfuro y óxido), una cantidad á veces muy apreciable de plata, otros óxidos y sales metálicos, según la composición de las menas, y algunas partículas térreas, materias en estado sólido, aunque finamente divididos, que resultan arrastradas en virtud del tiro. Al contrario de lo que sucede con los humos ácidos, de que hablamos al tratar del cobre, los desprendidos en el beneficio del plomo tienen un valor intrínseco considerable, y ningún establecimiento metalúrgico del género, bien montado, carece de las cámaras y galerías precisas para condensar y recoger sus componentes sólidos. La disposición de semejantes cámaras y galerías, entre los hornos y la chimenea general de la fábrica, varía mucho en los diferentes casos, con arreglo á la cantidad de humos, su temperatura y su velocidad al salir de los hornos, y su composición; pero todos los procedimientos de condensación hoy en uso se fundan en el enfriamiento del humo ó en su contacto con grandes superficies, promoviéndose en tal caso la deposición de las materias arrastradas mediante una disminución del tiro, los cambios repentinos en la dirección de la corriente, ó la filtración del humo, ó bien una combinación de estos medios. En algunos casos se apela también á una lluvia artificial de agua que fija ciertos componentes del humo, y hace poco se ha propuesto la aplicación de descargas eléctricas y de violentas sacudidas producidas por detonaciones en las cámaras para promover la deposición de las materias en cuestión. Prescindiendo de estos medios, que aún no se han probado en la práctica, el aparato de condensación más eficaz, y relativamente más sencillo, consiste en una galería alta y estrecha, provista á cortos intervalos de tabiques transversales, dispuestos de modo que el humo tenga que seguir un camino tortuoso, subiendo y bajando alternativa y repetidamente antes de llegar á la chimenea, con una velocidad máxima de un metro por segundo. En cuanto á los gases ácidos que acompañan á los humos plomizos, remitimos el lector á lo expuesto en el capítulo del cobre, si bien en la mayoría de los establecimientos de beneficio de la galena pura basta la difusión de dichos gases en la atmósfera por medio de chimeneas elevadas convenientemente situadas. Las materias sólidas más ó menos plomíferas y argentíferas que se acumulan en el fondo de las cámaras y galerías de condensación, y de donde se sacan periódicamente por puertas reservadas al efecto, se aglomeran con un poco de agua en forma de bolas ó ladrillos, y se funden en hornos de cuba al mismo tiempo que las menas plomizas, las orruras, etc.

DESPLATE DEL PLOMO

La extracción de la plata del plomo de obra (así se llama el plomo bastante argentífero para ser sometido al desplate) se verifica por un procedimiento sumamente antiguo, llamado *copelación*, que consiste en una fusión oxidante, durante la cual el plomo se oxida, separándose de la plata en forma de litar-

girio. Antes del año 1833, y por consideraciones económicas, sólo podían someterse á la copelación los plomos que contenían por lo menos de 0,08 á 0,12 por ciento de plata, y como se producía mucho plomo de una ley muy inferior, cuyo desplate era económicamente imposible, era grande la cantidad de plata que en suma se desperdiciaba. En aquel año, el inglés *Pattinson* observó que al enfriarse lentamente el plomo argentífero fundido en una caldera, parte del mismo se cristalizaba, y que mientras los cristales, separados del metal líquido contenían mucho menos plata que la aleación primitiva, dicho metal fluido se había enriquecido proporcionalmente. Partiendo, pues, de esta observación, inventó Pattinson el procedimiento de concentración que lleva su nombre, esto es, el llamado *pattinsonaje*, mediante el cual se consigue el enriquecimiento de una parte pequeña del plomo de obra, y el empobrecimiento correspondiente de la parte mayor, obteniendo, por lo tanto, dos productos: plomo de obra relativamente rico en plata (de 1,5 por 100) que se puede copelar con ventaja, y plomo puro y sumamente pobre (con 0,003 á 0,001 por 100 de plata) que se entrega al comercio.

El pattinsonaje se practica en una serie ó batería de grandes calderas de hierro fundido, de forma semiesférica, capaces de contener cada una unos cien quintales métricos de plomo; cada caldera está montada sobre un hogar sencillo, situado debajo del piso del taller. La operación consiste en fundir el plomo de obra primero en la caldera del medio, y después de quitar las impurezas que flotan en la superficie, dejar que el metal se enfríe lentamente hasta cierto grado, convirtiéndose en parte en plomo cristalizado. Entonces, y por medio de una espumadera grande perforada, se sacan los cristales, que forman una masa más ó menos pastosa y se trasladan á una de las dos calderas inmediatas, mientras que el plomo líquido enriquecido que queda en el fondo de la primera, se traslada á la caldera inmediata opuesta. La carga de dichas dos calderas se completa agregando plomos de obra de riquezas determinadas, y se repite la fusión, el enfriamiento y la separación de los cristales, que se trasladan á su vez, lo mismo que el plomo enriquecido, á las calderas siguientes de la batería, y así se continua hasta obtener en un extremo de la serie un plomo muy pobre, y en el otro un plomo relativamente rico; con el primero se forman los lingotes ó galápagos usuales en el mercado, mientras que el segundo se vierte en moldes semiesféricos más pequeños, para ser después copelado.

Cuando se funden juntos plomo y cinc y se deja enfriar lentamente la mezcla, se separan casi por completo ambos metales en virtud de su peso específico, formando el cinc en la superficie del plomo líquido una costra que puede retirarse. En el año 1850 *Parkes* observó que, tratándose de plomo argentífero, la plata se concentra en la costra de cinc, y de aquí un nuevo procedimiento en el cual se emplea este metal como medio de desplate. Después de fundido el plomo en una caldera parecida á las de Pattinson, y elevada su temperatura lo suficiente

para la fusión del cinc, éste, en la proporción de 1 á 5 por 100, se agrega al plomo en tres porciones, á intervalos de 20 á 30 minutos, promoviéndose cada vez la mezcla más íntima de los metales por medio de un mecanismo, y dejando enfriar hasta que se forma una costra de cinc argentífero. Ésta se somete á la destilación para separar la plata por la volatilización del cinc; ó bien, según un método reciente, se funde y trata con vapor de agua sobrecalentado, bajo cuya acción se oxida el cinc, mientras que la plata conserva su estado metálico. El plomo desplatado por el *cincaje*, como suele llamarse este procedimiento, retiene



FIG. 100.—Hornos alemanes de copelación.

siempre una cantidad apreciable de cinc, que perjudica su calidad, endureciéndolo; antes se sometía á un afino en un reverbero; pero según el cincaje modificado de *Cordurié*, se purifica por medio del vapor de agua sobrecalentado en una caldera de construcción especial, recogiéndose en la superficie del metal fundido el óxido de cinc, mezclado con algún óxido de plomo, en forma de polvo.

La copelación del plomo de obra previamente enriquecido por uno de los procedimientos que acabamos de describir, ó procedente directamente de la fusión de las menas, se verifica en hornos reverberos de construcción especial. Los que se emplean en Inglaterra y otros países son relativamente pequeños, distinguiéndose por su plaza móvil, es decir, que puede sacarse del horno de una pieza y ser sustituído con otra; los alemanes (figuras 100 y 101) son, por lo general, mucho mayores, tienen un laboratorio circular, dentro del cual se

forma antes de cada operación la plaza fija, con una masa de marga ó arcilla y cuarzo, á cuyo efecto, y en lugar de una bóveda fija, como en el horno inglés, están provistos de una especie de cúpula rebajada, llamada *sombrero,* formada por una armadura de barras y anillos de hierro revestida de arcilla, que se halla suspendida por medio de cadenas á una grúa, á fin de que pueda quitarse y ponerse fácilmente. Según la clase de horno que se emplea, varía algún tanto la manipulación; pero en esencia consiste en fundir el plomo de obra sobre la plaza, y después introducir por una tobera aire comprimido á baja presión á fin de promover su oxidación; á medida que ésta se verifica, el litargirio líquido que se forma á la superficie del baño metálico se va retirando por una abertura reservada al efecto en un lado del horno (véase la fig. 100, á la derecha), hasta que, al acercarse el término de la operación, se oxidan las últimas partículas de plomo, se rasga la tenue capa de litargirio que cubre la plata, y ésta ofrece de pronto el aspecto de un espejo brillante, sucediendo el llamado *relámpago.* Entonces se rompe una piquera, dejando correr la plata en moldes, ó se deja enfriar sobre la plaza, sacándola después en forma de torta. Esta plata, que contiene siempre algunas impurezas, se refina luego en un pequeño horno de reverbero. El litargirio procedente de la copelación constituye un producto comercial; pero la mayor parte del que se produce se convierte nuevamente en plomo, mediante una sencilla fusión reductiva con carbón en pequeños hornos de cuba ó de reverbero.

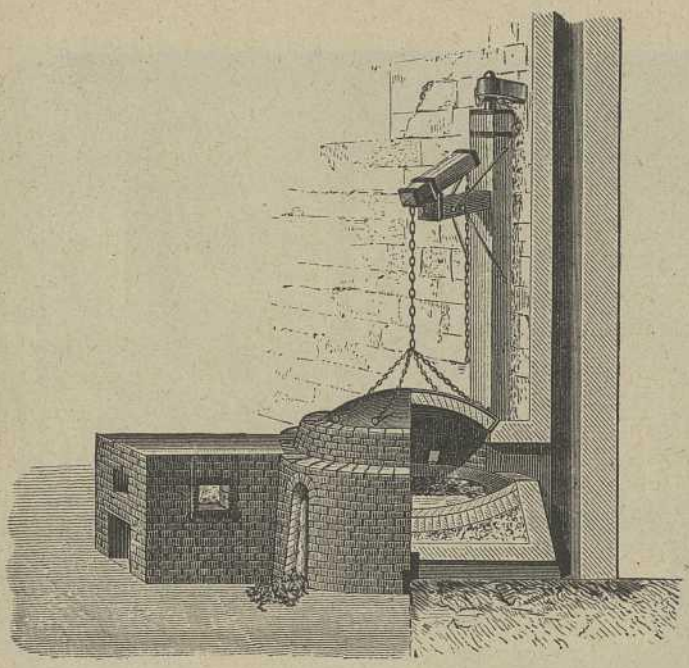


FIG. 101.—Sección de un horno de copelar.

APLICACIONES DEL PLOMO

El metal de que tratamos se emplea en diversas formas y de muchas maneras. Comparte con el hierro el privilegio de servir al rey de la creación como medio de destrucción de sus semejantes y de seres inferiores, mientras que por otra parte contribuye en cierta medida á conservar la especie humana, por cuanto se emplea en medicina en forma de acetato. El peso considerable del plomo, que, en unión con su ductilidad, le hacen á propósito para proyectiles, determina también su empleo para pesas y cosas análogas, así como para dar estabilidad á diferentes objetos ligeros.

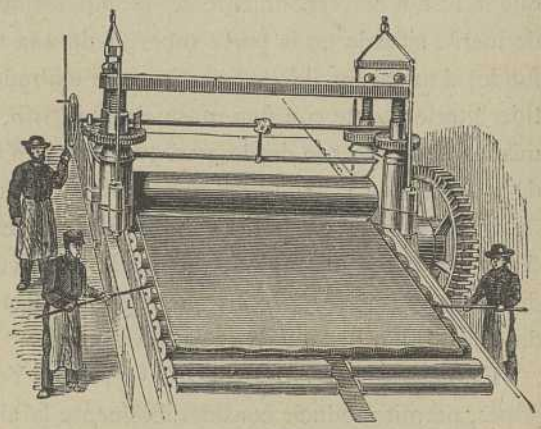


FIG. 102.—Laminador para fabricar planchas de plomo.

En forma de planchas, chapas y hojas presta el plomo los servicios más diversos, como en las cubiertas de edificios, el revestimiento de paredes húmedas, el forro de cajas de te y de paquetes de tabaco, en cuya última aplicación se emplean con frecuencia hojas sumamente finas de plomo, chapeadas con estaño. La formación de semejantes planchas y hojas, desde las más gruesas hasta las más delgadas, no ofrece dificultad alguna, verificándose por medio de cilindros laminadores, como indica la fig. 102. El plomo en esta forma es también el metal más á propósito (si se tiene en cuenta la economía) para resistir en diferentes industrias la acción corrosiva de ciertos ácidos fuertes, empleándose en la construcción de las grandes cámaras para la fabricación del ácido sulfúrico, de las vasijas en que éste se concentra y en que se cristaliza el alumbre y el vitriolo, así como las que sirven para el desarrollo y la conservación del ácido fluorhídrico. Semejantes cámaras y vasijas se forman con gruesas planchas de plomo, soldando sus bordes entre sí sin ayuda de una soldadura especial, es decir, promoviendo su fusión superficial en los puntos de contacto al calor de una llama de hidrógeno; empléase al efecto un tubo flexible de goma, que parte del generador de dicho gas y termina en un mechero, de modo que la llama puede llevarse á lo largo de las junturas de las planchas, que quedan unidas por fusión tan sólidamente, como si fueran de una pieza.

Dada la corta resistencia que ofrece el plomo, son contados los objetos que se moldean con él; en este terreno, y aparte de los soldados de plomo y jugue-

tes semejantes, sólo sirve para hacer balas y perdigones. Las balas de plomo fundido se moldean en moldes de hierro ó bronce; pero la fabricación de perdigones nos ofrece el interesante ejemplo del moldeamiento de un metal fundido sin molde: la forma redonda ó esférica de los perdigones se debe á la atracción general entre los cuerpos, que mantiene en equilibrio al universo. El material con que se hacen los perdigones es un plomo duro, agrio, que contiene antimonio, ó que se prepara añadiendo al plomo ordinario un poquito de arsénico metálico (del 1 al 3 por *mil*), que se introduce en el baño de plomo fundido y calentado hasta el rojo bajo una capa de polvo de carbón, removiendo bien la masa á fin de promover la mezcla más uniforme. Esta preparación, lo mismo que la fusión correspondiente del plomo antimonial, tiene lugar en una caldera de hierro situada en la parte superior de una torre elevada ó de un pozo profundo; el metal fundido se vierte en un embudo de palastro perforado y revestido interiormente con una masa de litargirio, y pasando por los agujeros del mismo, el plomo cae desde 30 á 50 metros en un depósito de agua situado al pie de la torre ó en el fondo del pozo, tomando en su caída la forma de perdigones de diversos tamaños. Estos se secan al aire ó en un horno, y se clasifican haciéndolos correr por un tablado inclinado de madera, perforado con agujeros de diferentes diámetros, por los que caen en cajas colocadas debajo; después se les da cierto brillo frotándolos con grafito.

El método ideado por *Smith*, en Nueva York, para la fabricación de perdigones, permite reducir considerablemente la altura de la caída y prescindir, por tanto, de la construcción de tan elevadas torres como las que supone el método antiguo. El de Smith se reduce, en principio, á oponer á las gotas de plomo que caen una corriente de aire, ascendente y rápida, lo que se verifica en un tubo vertical de palastro de unos 15 metros de altura por 60 ó 70 centímetros de diámetro, al pie del cual se introduce aire comprimido. El plomo fundido se vierte, como de ordinario, por la parte superior del tubo, y merced á la cantidad y la velocidad del aire comprimido y frío, se consigue el mismo resultado que con una torre muy elevada, pero con mayor economía y comodidad.

En forma de tubos de 1 á 8 centímetros de diámetro interior, el plomo se emplea en gran cantidad para la conducción del agua y gas del alumbrado, sobre dentro de los edificios, así como para la de diversos líquidos en las fábricas industriales. Dichos tubos de plomo se forman, según el procedimiento antiguo sobre una mesa horizontal (fig. 103), estirando un tubo corto y grueso, es decir, obligándolo á pasar sucesivamente por taladros cada vez más pequeños, practicados en una plancha fija de hierro, lo mismo que si se tratara de hacer alambre, salvo que, para conservar el hueco correspondiente, se introduce en el tubo una varilla de hierro, á manera de alma, que se mantiene en posición por su extremo posterior. Pero actualmente este método se ha abandonado casi en todas partes, adoptando en su lugar el principio de la presión que se aplica en frío ó

en caliente. El aparato consiste, en el primer caso, en un cilindro de hierro muy sólido, por uno de cuyos extremos penetra, ajustado perfectamente, un émbolo macizo ó pistón, mientras que en el otro se sujeta una pieza con un taladro que corresponde al diámetro exterior del tubo que se quiere producir. En el

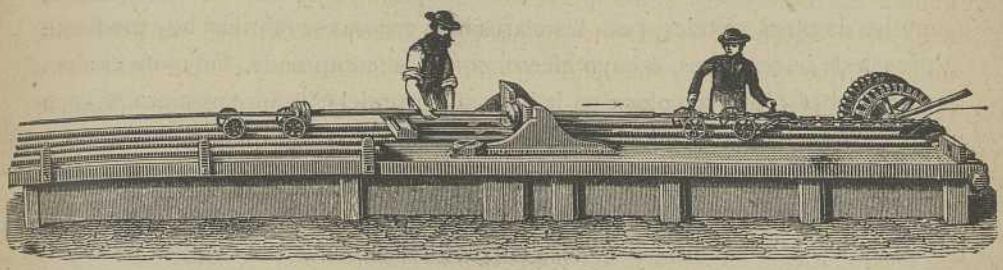


FIG. 103.—Mesa para estirar el plomo en forma de tubos.

cilindro se mete un tubo de plomo corto y muy grueso, por cuyo centro pasa el alma de hierro sujeta al pistón, y entonces, y por medio de un motor poderoso (generalmente la presión hidráulica), el pistón oprime el plomo en el cilindro, obligándole á pasar por el taladro estrecho. De esta manera se obtienen, en una sola operación, tubos del diámetro deseado y mucho más largos que los que pueden formarse sobre la mesa de estirar. Pero la presión en caliente es todavía más ventajosa, pues por su medio se puede aumentar indefinidamente la longitud de los tubos, y la fuerza necesaria disminuye sobremanera, puesto que se trata de un metal semifluido. En efecto, el cilindro del aparato (fig. 104 *R*) se halla rodeado por un hogar en el que se mantiene el fuego preciso

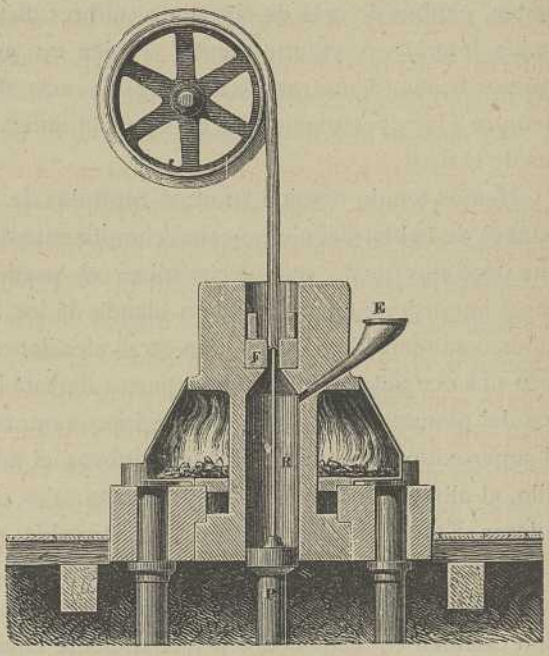


FIG. 104.—Prensa para fabricar tubos de plomo.

para que el plomo fundido, que se introduce por el embudo *E*, no se enfríe demasiado; *P* es el pistón provisto del alma que determina el diámetro interior del tubo de plomo; *F* es la pieza fija en la parte superior del cilindro, cuyo taladro determina su diámetro exterior. A medida que se eleva el pistón, se obliga al plomo fundido á pasar por la pieza *F*, enfriándole al mismo tiempo, y el

tubo resultante se arrolla en torno de un tambor situado sobre el aparato. Cuando el pistón ha llegado al fin de su carrera, se le hace bajar, se vuelve á llenar el cilindro de plomo, y se repite la presión, y así sucesivamente hasta que el tubo producido tenga la longitud deseada.

El alambre de plomo más fino se produce por medio del torno de estirar, como los de otros metales; pero las clases más gruesas se fabrican hoy mediante la prensa de hacer tubos, á cuyo efecto, como se comprende, se quita el alma que lleva el pistón y se coloca en la boca superior del cilindro una pieza *(F)* con un taladro de diámetro reducido. Aunque el alambre de plomo ofrece poca resistencia, se aplica á diferentes usos: los hortelanos lo emplean para atar las ramas de los frutales dispuestos en espaldera, la vid, etc.; se usa en ciertas partes de los telares mecánicos de Jacquard, así como para lograr el cierre hermético de cilindros y válvulas de máquinas, y también para unir tubos de hierro, etc.

Para dar una idea de la variedad de los productos de plomo de que venimos hablando, diremos que las fábricas de Freiberg (Sajonia) entregan al comercio doce clases diferentes de alambre de plomo, planchas de treinta gruesos diferentes, y tubos de más de cincuenta calibres distintos, ora sin estañar, ora estañados interior ó exteriormente, ó bien en ambos lados, midiendo los más gruesos hasta 18 metros de largo, y los más delgados hasta 30. Acompaña siempre á las diferentes clases de tubos la indicación de la presión que son capaces de resistir.

Hemos tenido ocasión en otros capítulos de esta obra (tipografía, bronce, estaño) de hablar del plomo como componente de diferentes aleaciones, de modo que poco nos queda que decir sobre el particular. El plomo desempeña un papel importante en la soldadura blanda de los hojalateros, en la fabricación de tubos ó cañones de órgano, y en otras aleaciones con estaño y antimonio. También nos ocupamos en diferentes partes de este libro de varios productos químicos del plomo: por ejemplo, el litargirio, como componente de ciertos vidrios; el superóxido, en la fabricación de fósforos; el minio ú óxido rojo, el óxido amarillo, el albayalde ó carbonato, y algunas sales colorantes en la fabricación de colores. Entre las sales de plomo, el albayalde, el cromato y el acetato ó azúcar de Saturno, son objetos de la producción industrial en grande escala; el acetato no se emplea sólo como materia primera para la preparación de otras sales, sino también en medicina, y principalmente como mordiente en la tintorería y la estampación.

Mas por grande que sea la utilidad del plomo, no puede llamarse con toda propiedad el amigo del hombre, pues sus disoluciones, así como sus preparados, asimilados en forma de polvo ú otra cualquiera, producen efectos venenosos en nuestro sistema. La tenue costra de carbonato que se forma en la superficie del plomo se disuelve aun en el agua más pura, con tal que ésta contenga ácido

carbónico libre, y por esto son perjudiciales en muchos casos los tubos de plomo para la conducción de aguas potables; las investigaciones más recientes han demostrado que deben condenarse dichos tubos en todos los casos en que no estén continuamente llenos de agua, y aun así hay que asegurarse primero de que el agua no contiene sustancia alguna que ataque ó disuelva el plomo; lo principal, pues, es evitar el contacto del interior de los tubos con el aire, pues en presencia de éste casi todas las aguas se vuelven más ó menos plomizas. Para evitar este mal, cayóse en la cuenta de estañar por dentro los tubos de plomo; pero se notó pronto que semejante protección era insuficiente, porque basta que la capa de estaño se deteriore ó agriete en algunos puntos (cosa fácil cuando los tubos se doblan ó desdoblan), para que la disolución del plomo proceda más rápidamente, en virtud de la corriente galvánica que se produce entre los dos metales bañados por el agua. En vista de esto, se probó una capa de sulfuro de plomo, producido en la superficie interior de los tubos por medio de una disolución de sulfuro de sodio; pero el resultado tampoco ha respondido á las esperanzas, pues la protección que ofrece dicha capa también es insuficiente. En cambio, dan excelentes resultados los tubos delgados de estaño revestidos ó reforzados exteriormente con plomo, siempre que las uniones se suelden con el cuidado debido. Allí donde se hallan en uso los tubos de plomo para la conducción de agua potable, conviene dejar correr ésta un rato antes de emplearla, siempre que haya permanecido algún tiempo (por ejemplo, toda la noche) en la tubería.

Como el plomo en sus combinaciones tiene propiedades muy venenosas, debe evitarse su empleo allí donde pudiera entrar en contacto con líquidos ácidos, y mezclarse en forma de disolución con los alimentos. La costumbre de limpiar botellas de vino por medio de perdigones, ha dado lugar con frecuencia á enfermedades, por haber quedado en la botella algún perdigón que se ha disuelto después parcialmente en el vino con que se llenó la botella.

Pero por fortuna es tan fácil averiguar la presencia del plomo en un alimento ó líquido sospechoso, que cualquiera puede hacer la prueba. Todas las sales solubles de plomo dan, con ácido sulfúrico ó clorhídrico, un precipitado blanco; con hidrógeno sulfurado ó las disoluciones de los sulfuros de amonio, potasio, etcétera, uno negro ó pardo negruzco, y con cromato de potasa, uno amarillo. Los preparados insolubles en los ácidos flojos, como el albayalde y el minio, pueden ser disueltos por medio del ácido nítrico, y entonces dan iguales precipitados con dichos reactivos. También los preparados blancos de plomo sin disolver se vuelven al momento negros al tratarse con ácido sulfúrico.

ESTAÑO

Entre los seis ó siete metales que entraron más pronto al servicio del hombre, debemos contar el estaño, puesto que las armas y los utensilios de bronce ocupan un lugar preferente entre los objetos prehistóricos de antigüedad bastante remota, á tal punto que se ha considerado su empleo (en algunos casos con razón, en otros erróneamente), como anterior al de los utensilios y armas de hierro. Después de lo expuesto en la Introducción general á esta obra (tomo I, página 88), no tenemos para qué volver sobre el debate de la prioridad de los metales en cuestión, y nos limitamos á consignar el hecho interesante de que, en tiempos remotos, el hombre ya había reconocido que el estaño forma con el cobre una aleación más dura, y, por consiguiente, más útil para sus fines que dichos metales puros. Esta circunstancia de que un metal tan blando como el estaño forme, en unión de otros metales (salvo el plomo), aleaciones en general duras, les pareció tan singular á los alquimistas de la Edad Media, que hubieron de llamar al estaño *diabolus metallorum* (diablo de los metales).

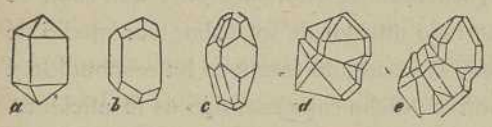


FIG. 105.—Cristales de cassiterita.

El descubrimiento del estaño no debió ofrecer grandes dificultades; pues aun cuando no se presente en la Naturaleza en estado nativo (sólo recientemente se han descubierto, al parecer, en los placeres auríferos de Siberia y en Méjico, granos diminutos de estaño nativo), su óxido, en forma del mineral llamado *cassiterita*, se distingue tanto por su peso y dureza considerables, y su cristalización característica (fig. 105), que llama la atención de cualquiera que lo encuentre, mientras que su reducción á metal, fundiéndolo con carbón, es bastante sencilla. En cambio, son pocas las regiones en las que el mineral de estaño se presenta en abundancia, y mientras en la antigüedad los pueblos del Asia oriental obtenían el estaño que necesitaban de las Indias orientales, los europeos y los de los países limítrofes del Mediterráneo se abastecían, mediante los fenicios, principalmente en la región Suroeste de Inglaterra, ó sea en los condados de Devon y Cornwall, cuyos criaderos estañíferos constituyen todavía las fuentes europeas más abundantes. Los habitantes de estas comarcas, dice un autor antiguo, encerraban su estaño en cestos cubiertos de pieles, y lo enviaban por mar á las costas de nuestra península, desde donde se transportaban por tierra á los principales mercados del Mediterráneo. En Grecia el estaño se llamaba *kassiteros*, nombre que se encuentra ya en los libros de Homero, pero que para los griegos era una voz extraña que no acertaban á explicar; de aquí,

según Herodoto, la opinión que cundió en dicho país, de que el pueblo ó las islas de donde procedía el estaño se llamaba *kassiterides*. Sin embargo, Aristóteles, que vivió un siglo más tarde, menciona las minas de estaño de *Cornubia*, refiriéndose tal vez al país que después se llamó Cornwall. Según las últimas investigaciones de los lingüistas, la voz *kassiteros* es de origen semítico; y Plinio, que consideraba las Cassiterides como una fábula, daba al estaño el nombre de *plumbum album* ó *candidum* (plomo blanco), distinguiéndolo así del plomo verdadero, que llamaba *plumbum nigrum* (plomo negro); este autor habla también de los criaderos estañíferos de Lusitania y de Galicia.

El estaño servía en la antigüedad, no sólo para la producción de bronce, sino además, y por sí solo, para la formación de todo género de vasos, así como para estañar objetos de cobre, que se sumergían al efecto en un baño de estaño fundido. También solían mezclarse antiguamente el estaño y el plomo en diferentes proporciones, y estas mezclas, más ó menos arbitrarias, que resultaban tal vez en muchos casos de la confusión de los metales, contribuyeron á la falta de claridad que se nota en muchos escritos antiguos que se refieren á ellos. La voz *stannum* se aplicó, al parecer, en un principio á una aleación, y sólo más tarde se usó para designar el estaño puro; *stannum* es un latinismo de *stan*, el nombre original del estaño entre los primitivos habitantes del Cornwall.

Desde los tiempos prehistóricos, pues, ó, para precisar, desde tres mil años, cuando menos, una pequeña parte de Inglaterra ha tenido, al parecer, el privilegio de abastecer de estaño al resto de Europa; mas no por esto se hallan agotadas sus existencias, pues hoy todavía produce el Cornwall más de 9.000 toneladas de dicho metal, comparada con cuya cantidad la producción en el resto de Europa es insignificante. Esta procede casi exclusivamente de las minas de Sajonia y Bohemia, que se hallan en explotación desde los siglos XII y XIII, y apenas excede de 100 toneladas al año, si bien en el primer tercio del siglo XVI la producción anual se elevaba á unos 2.000. Salvo en los países referidos, sólo se conocen criaderos de estaño en nuestras provincias de Orense, Salamanca y Zamora, en la provincia italiana de Campiglia Marítima, en Bretaña y en Finlandia; pero son de escasa importancia, siendo actualmente improductivas todas las minas registradas en los nuestros.

Fuera de nuestro continente existen importantes depósitos de minerales de estaño, que se explotan en parte desde tiempos muy remotos, ó han sido descubiertos en años recientes. Entre los más antiguos debemos mencionar los de Birma y Siam, que producen actualmente más de 4.000 toneladas de estaño; los de la península de Malaca, que dan cerca de 5.000; los de las islas de Banca y Billiton, pertenecientes á los holandeses, cuya producción anual no baja hoy de 10.000 toneladas de metal de la mejor calidad; mientras que desde 1870 acá se explotan los descubiertos en Australia (Victoria, Nueva Gales del Sur y Queensland), que producen cerca de 12.000 toneladas de estaño al año, habiendo

encontrado otros en Tasmania en los últimos años, que producen ya anualmente cerca de 9.000 toneladas de metal. Mucho menos importantes, al parecer, que los referidos, son los criaderos de estaño de China y el Japón, los de diferentes Estados de la Unión norteamericana, y los de Méjico y Bolivia; pero entre aquéllos y éstos la producción total anual de estaño en el mundo se eleva hoy á la cifra no despreciable de 50.000 á 55.000 toneladas.

MINERALES DE ESTAÑO Y SU BENEFICIO

La forma más común en que se presenta el estaño en la naturaleza es la de un mineral muy duro y pesado, llamado *cassiterita*, que se encuentra, ora en masas compactas, ora en cristales tetragonales, de los que representan *a b* y *c*, en la fig. 105, las formas más sencillas y poco frecuentes, y *d* y *e* los cristales dobles ó maclas que son los más comunes. La cassiterita es un óxido de estaño que contiene, en estado puro, 78,6 por 100 de metal; es el único mineral de estaño que tiene importancia industrial, pues el sulfuro del mismo metal que se halla siempre mezclado con sulfuros de cobre y hierro, se presenta en cantidades tan pequeñas, que no se tiene en cuenta para el beneficio metalúrgico, mientras que el estaño nativo, como indicamos más arriba, es una curiosidad científica de la mayor rareza.

Allí donde las rocas (granito, pórfido granítico, etc.) en que arman los criaderos de estaño propiamente dichos, se elevaban sobre la superficie general del terreno, se hallaban expuestas á la acción del aire y de las aguas meteóricas y la desintegración ó desagregación correspondiente, su masa, incluso los filones metalíferos que encerraba, se desmoronó, y arrastrada por arroyos y ríos se depositó en parte en determinadas cuencas; los minerales metalíferos más comunes que suelen acompañar al de estaño, desaparecieron por descomposición ó en virtud de su poco peso; pero la cassiterita, tan pesada y resistente á la acción mecánica y química de los agentes naturales, se conservó enterrada en dichos aluviones, que constituyen lo que llamamos placeres estañíferos. En éstos se encuentran á veces cristales bien conservados de dicho mineral, pero generalmente han sufrido, merced al rozamiento, la pérdida de sus aristas, apareciendo en forma de granos ó pedazos redondeados de color pardo rojizo ó negruzco. Semejantes criaderos secundarios son los más favorables para la explotación minera, pues no sólo son superficiales y de una masa relativamente blanda, facilitando en gran modo la excavación, sino que la cassiterita que encierran se halla ya libre de las materias extrañas con que está mezclada en los filones, habiendo sufrido, merced al proceso natural ya referido, una preparación ó purificación mecánica mucho más enérgica y eficaz que la que resultaría por medios artificiales; la explotación se reduce, pues, á la excavación y el mero lavado de las



Mina «Providencia», de estaño y cobre, en el Cornwall (Inglaterra).

tierras, dando como producto un mineral casi puro y, por ende, un estaño de la mejor calidad. En las Indias orientales los placeres estañíferos son todavía tan extensos y ricos, que nadie se ocupa de la busca y explotación de los criaderos primitivos, y su excavación se practica de la manera indicada en la fig. 106, que representa una mina de estaño en la isla de Banca; nuestros lectores pueden formarse, por otra parte, idea de lo primitivo de las operaciones metalúrgicas en esas regiones apartadas, en vista de una fábrica indígena de fundición de estaño en dicha isla, que reproducimos en la fig. 107.

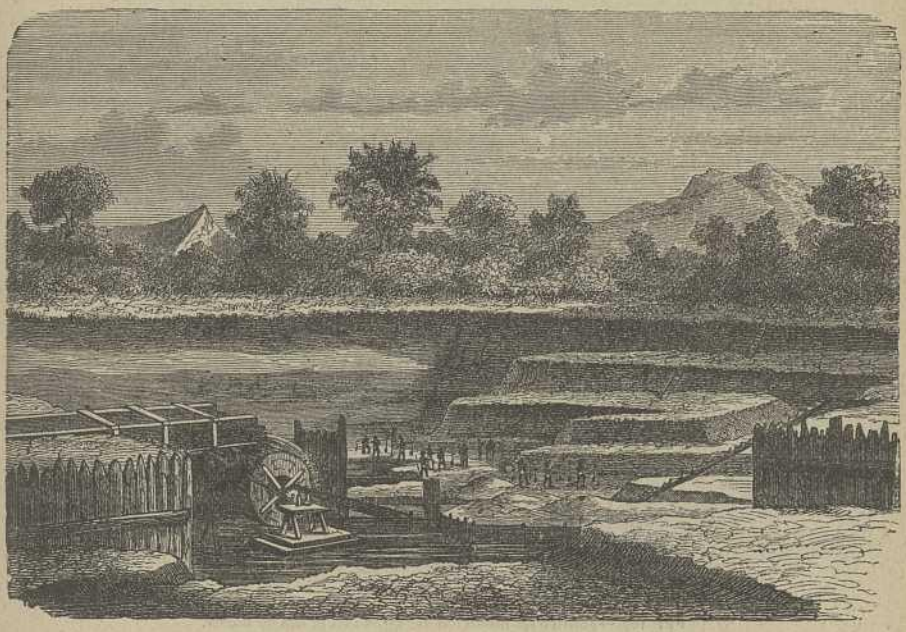


FIG. 106.—Explotación de un «placer» estañífero en la isla de Banca.

En comarcas como el Cornwall y los distritos estañíferos de Bohemia y Sajonia, donde, merced á una especulación secular, se han ido agotando los *placeres*, las fuentes principales, por no decir únicas del estaño, son los criaderos primitivos, ó sean los filones y masas entrelazadas que encierra la roca viva; criaderos que constituyen el objeto de una explotación minera en grande escala y en toda regla.

En Cornwall los numerosos filones contienen principalmente cassiterita y minerales de cobre mezclados con otros varios minerales metalíferos y ganga, de modo que si bien, y merced á la preponderancia de la primera ó de los segundos, cabe hablar de filones de estaño y filones de cobre, no se puede establecer una distinción rigurosa entre ellos. Nuestra lámina XII reproduce la vista exterior de una de estas minas de estaño y cobre del Cornwall, situada á orillas del Océano. En Sajonia, la cassiterita se presenta en filones de poca potencia

que atraviesan la roca en todas direcciones (véase *a a a*, fig. 108), ó en filones-capas, que tienen una disposición más regular (fig. 109 *a a a*), con una potencia media de 33 centímetros; en ambos casos la roca madre es el llamado greisen, parecida por su estructura al granito, pero diferenciándose esencialmente de él por el hecho de componerse únicamente de cuarzo y mica, careciendo por completo de feldespato.

Las menas estañíferas procedentes de los criaderos primitivos tienen que someterse á una preparación bastante compleja y costosa, antes de que puedan

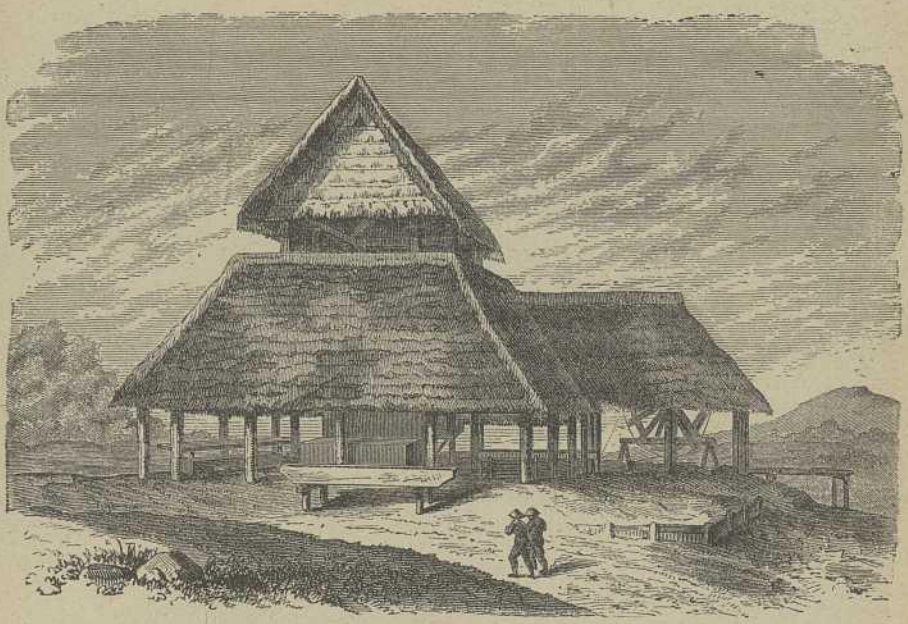


FIG 107.—Fábrica de fundición del estaño en la isla de Banca.

beneficiarse metalúrgicamente. En Sajonia se someten primero á la acción del fuego en montones al aire libre, á fin de promover su desintegración y facilitar su trituración en los bocartes; la mena, finamente triturada y lavada, se calcina entonces en hornos de reverbero, con el objeto de volatilizar en parte las materias extrañas y convertirlas en parte en óxidos más ligeros, y, por lo tanto, más fáciles de separar de la cassiterita por la preparación mecánica. En el Cornwall, donde las menas contienen mucho cobre, se trituran y calcinan primero, dejándolas después, y durante algún tiempo, expuestas á la intemperie, hasta que el sulfuro de cobre se ha convertido en sulfato ó vitriolo, que se extrae entonces por medio de agua. En ambos casos el polvo calcinado se somete ulteriormente á una preparación mecánica, sobre mesas de sacudimiento y mesas redondas, que elimina gran parte de las materias extrañas, dejándolo concentrado, es decir, con una ley de 40 á 60 por 100 de estaño. En Altenberg (Sajonia) se abrevia bastante esta preparación tratando las menas calcina-

das con ácido sulfúrico ó clorhídrico, por cuyo medio se alejan el hierro, el cobre y el bismuto.

La fusión de las menas de estaño, convenientemente preparadas, se verifica en Sajonia y Bohemia en hornos de cuba de 2,5 á 4 metros de alto, con crisol externo ó interno y una tobera. Como la mena se carga en estado de polvo muy fino, hay que evitar su arrastre por el tragante, moderando la presión del aire; á

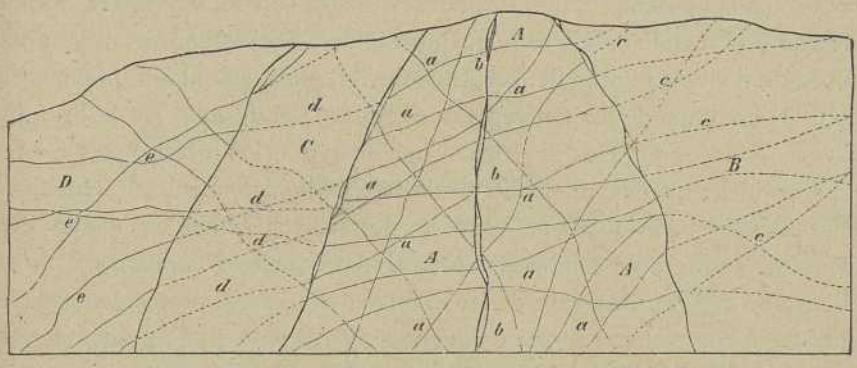


FIG. 108.—Sección vertical de los criaderos de estaño de Altenberg (Sajonia).

pesar de esto siempre se escapa algún polvo, razón por la cual el horno debe comunicar con cámaras de condensación. Para que dicha presión baja no redunde en perjuicio de la temperatura elevada que conviene sostener, á fin de activar la reducción del óxido de estaño y evitar que se escorifique, la cuba del horno se hace relativamente estrecha. La fusión y reducción se verifican, por

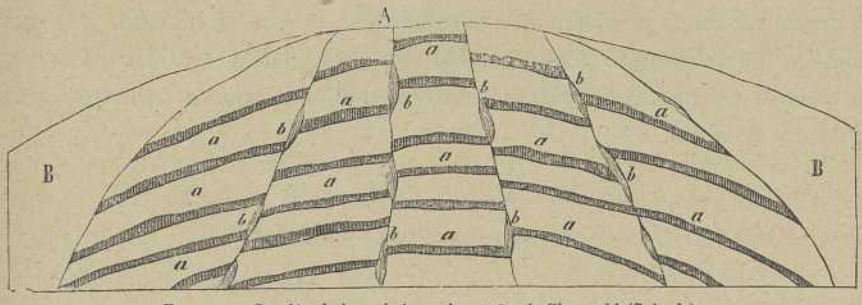


FIG. 109.—Sección de los criaderos de estaño de Zinnwald (Sajonia).

lo general, sin que precisen fundentes, porque la ganga se halla en corta cantidad, y como se compone de cuarzo y óxidos de hierro y manganeso, contiene todos los elementos necesarios para la formación de una escoria. Sin embargo, en algunos casos se añade un poco de cuarzo, espatofluor ó escorias básicas procedentes de la misma operación. El combustible empleado es el carbón vegetal.

En los hornos de reverbero, que siempre se emplean en Inglaterra y son parecidos á los que sirven para la fusión de las matas de cobre, la reducción es menos enérgica y puede regularse á voluntad del fundidor. La mena se carga

sin fundentes, pero se mezcla con 20 por 100 de antracita, como agente reductivo.

Cuando se han obtenido unas 20 toneladas de metal bruto, se procede al afino, fundiendo el estaño y dejándolo correr por la piquera hacia una gran caldera. En ésta se promueve la ebullición por el método dicho berlinga, es decir, por medio de un grueso palo de madera verde, que se sumerge en el baño metálico: los óxidos y demás impurezas se elevan á la superficie y alejan, y entonces se vierte el metal afinado en pequeños moldes. Si el estaño es muy impuro, se coloca de nuevo en forma de lingotes sobre la plaza del horno, previamente cubierta de una capa de carbón vegetal; el estaño, tan fusible, se desliza, digámoslo así, entre los pedazos de carbón, mientras que los metales más refractarios que contiene quedan en estado semisólido en los intersticios de aquéllos. El residuo estañífero que queda se beneficia después en unión del polvo depositado en las cámaras de condensación y otros productos secundarios.

El estaño inglés procedente de los filones ó de minas propiamente dichas, se entrega al comercio en forma de lingotes de 100 á 150 kilogramos de peso; pero el que procede de los «placeres» se vende en pequeños pedazos, llamándose estaño granulado, aunque no se obtiene en perdigones como el cinc. El estaño, calentado casi hasta su punto de fusión, se vuelve bronco y quebradizo, de modo que el procedimiento consiste en calentar los lingotes hasta que empiezan á fundirse en sus bordes, y dejarlos caer desde cierta altura sobre un piso duro, ó romperlos á golpes de martillo, con lo cual se parten ó saltan en multitud de pedacitos cilíndricos ó pequeñas varillas, con superficies cristalinas y brillantes; esta cristalización es precisamente la señal de la pureza del metal, y el estaño granulado inglés compite por su calidad con el de Banca y Malaca. Las clases más finas de estaño se encuentran siempre en el comercio en forma de varillas delgadas y flexibles.

APLICACIONES DEL ESTAÑO

El principal uso á que se aplica el estaño es al estañado de otros metales, es decir, á darles un baño superficial de él. Además del hierro dulce, cuyo estañado da la hoja de lata, de que tratamos antes, se estañan principalmente el cobre, el hierro colado y el plomo, y nos hemos referido ya al empleo de tubos de plomo estañados para la conducción de aguas y otros líquidos. El procedimiento empleado para planchas de metal ú objetos mayores consiste en sumergirlos en estaño fundido; pero los objetos pequeños, como alfileres, cadenitas, anillos, etc., se estañan por la vía húmeda, cociéndolos en una caldera de cobre estañado, con estaño granulado, tártaro y agua, ó bien revolviéndolos en toneles giratorios con dichas sustancias, ó con una sal de estaño

y agua caliente; el cinc contenido en el latón separa de la disolución el estaño metálico que se fija en la superficie de dicha aleación, formando una capa sumamente tenue, que por lo mismo dura poco.

La fabricación de objetos de estaño fundido y el empleo de sus productos para usos domésticos han disminuído notablemente en nuestro siglo, ora en virtud de la competencia del vidrio, la porcelana y otras materias, ora en atención á los efectos perjudiciales del plomo que el estaño común siempre contiene. Pero en ciertos ramos de la industria, como la tintorería, la fabricación de colores y otros análogos, el estaño no se puede sustituir tan fácilmente como en la casa, como material para calderas, capiteles de alambique, etc.; los tubos de los aparatos de presión empleados para fabricar la cerveza se hacen actualmente con el estaño más puro. Empero en la mayoría de los casos el estaño se emplea aleado con el plomo, desde la proporción de 32 partes del primero con una del segundo, hasta la de dos de estaño por una de plomo. La composición de semejantes aleaciones y los usos á que se pueden aplicar están determinados, en Alemania y otros países, por leyes especiales, encaminadas á conservar la salud pública; pero se distinguen pronto los objetos de estaño demasiado plomíferos, pues basta 1 por 100 de plomo para perjudicar notablemente su brillo y color, y si la proporción es mayor, resultan además cada vez más blandos, siendo necesario endurecerlos mediante la adición de una pequeña cantidad de antimonio, cobre, cinc ó bismuto.

La prueba á que se somete por lo común el estaño para juzgar aproximadamente de su calidad, consiste en fundirlo y verterlo sobre una superficie plana; si el metal es puro ó si sólo contiene una cantidad insignificante de plomo, se solidifica con una superficie blanca y brillante; una aleación de una parte de plomo por cuatro de estaño se revela por una vegetación espesa, digámoslo así, de cristales en forma de aguja; si se compone de una parte de plomo por dos de estaño, aparecen en su superficie grandes manchas redondas y brillantes, mientras que si ambos metales están en proporción igual, dichas manchas resultan pequeñas y mucho más numerosas. Otras impurezas del estaño se revelan en cristalizaciones ramificadas ó estrelladas. El estaño puro, cuando se dobla, emite un ruido particular, causado por el rozamiento de sus cristales entre sí, y que también puede servir como medio de juzgar aproximadamente de su calidad. Su color es un hermoso blanco de plata que tira un poquito al azul; después del plomo es el más blando de los metales comunes, y es muy dúctil, de modo que, por medio del martillo ó del laminador, puede reducirse á láminas sumamente delgadas (alinde). El peso específico del estaño es de 7,28; su punto de fusión corresponde próximamente á los 228 grados, y á la incandescencia blanca el metal fundido empieza á hervir y á volatilizarse con lentitud. Si se funde durante algún tiempo en presencia de aire, la superficie del baño, al principio como un espejo, se reviste de una capa gris que se compone del metal y

de su óxido, y poco á poco se va convirtiendo todo el estaño en óxido de color blanco amarillento.

El moldeado del estaño tiene lugar rara vez en moldes de arena, porque los objetos fundidos son, por lo general, artículos corrientes de comercio, cuya fabricación justifica el empleo de moldes permanentes. Los mejores, pero también los más caros, son los moldes de latón; se emplean además de hierro colado, y para objetos más ó menos planos, labrados en piedra arenisca fina ó en pizarra; los de yeso son cómodos, pero resisten poco, mientras que tratándose de objetos pequeños se usan moldes de estaño ó de plomo. Para evitar que el metal se adhiera á los moldes, se ahuman éstos ó se pintan con creta, arcilla y materias análogas, dejándolos secar. Se distingue el moldeado en caliente y en frío, esto es, con estaño muy caldeado ó enfriado hasta cierto punto; el primero se aplica con moldes de latón y hierro, y el segundo con los menos resistentes. Con arreglo al primer procedimiento, después de verter el metal en el molde previamente calentado, se enfría éste en seguida por la parte exterior, rodeándolo con paños empapados en agua fría, merced á lo cual el objeto fundido adquiere una dureza y un sonido notables, y al mismo tiempo contornos más limpios y finos. El fundidor de estaño comprende bien la ventaja de moldear objetos en diferentes piezas y luego soldarlas entre sí; sólo los objetos más sencillos los hace de una pieza, y evita la preparación de moldes complicados. Los destinados á la producción de objetos huecos están provistos en muchos casos de un núcleo ó alma; pero el moldeado de los objetos cuyo interior no ha de verse y no necesita, por lo tanto, tener una superficie lisa, se hace por el procedimiento llamado de decantación, que describimos al tratar del cinc. Los objetos fundidos reciben la última mano en el torno, si por su forma redonda se prestan á ello, y si no, se labran con raspas, limas, raspadores, etc., pulimentándose después.

El estaño que emplea el constructor de órganos para los cañones de estos instrumentos de música, contiene siempre plomo en diferentes proporciones. La aleación más común se compone de diez partes de estaño y cuatro de plomo; pero las hay que contienen mucho más de este metal, pues los fabricantes ponen hoy más empeño en producir géneros baratos, sin curarse de su calidad, y eso que un metal muy plomífero perjudica el sonido de los cañones de que hablamos. Las figuritas que se hacen con estaño contienen comunmente este metal y plomo en proporciones iguales, ó bien cuatro del primero por tres del segundo. Es notable por su brillo la aleación compuesta de 29 partes de estaño y 19 de plomo, con la que se hacen los llamados brillantes de estaño, de tanto efecto en las representaciones teatrales. Se sumergen pedazos de vidrio labrados en forma de brillante, es decir, con las facetas correspondientes, en un baño de aquella aleación, y al sacarlos se hallan recubiertos por una delgada capa de metal que, al enfriarse, se desprende por sí misma, conservando en su lado cóncavo ó hueco

la igualdad y el brillo del vidrio pulimentado; así es que, en virtud de la reflexión de la luz, estos brillantes huecos producen el efecto de un cristal centelleante labrado en relieve.

En cuanto á tenacidad, el estaño carece de ella casi por completo, de modo que no se presta á la fabricación del alambre. En cambio es su ductilidad, como ya indicamos, considerable, permitiendo su empleo en forma de hojas sumamente delgadas, ó sea del llamado alinde. La aplicación más importante de este producto es en la industria de espejos, como tendremos ocasión de explicar en otro capítulo; por lo demás, se emplea mucho, como saben nuestros lectores, para envolver chocolate, artículos de perfumería, etc., y en forma algo más gruesa, para las cápsulas con que se tapan herméticamente las botellas. Para hacer semejantes hojas de estaño se emplea el metal más puro y dúctil, que se moldea primero en forma de varillas y estira luego con el martillo ó en el laminador; el trabajo á golpe se verifica con martinetes de cola, de cabeza bien acerada y pulimentada y de unos 35 kilogramos de peso, que dan unos 300 golpes por minuto; cuando las láminas de estaño han alcanzado cierta delgadez, se colocan una encima de otra, en número de 32 á 192, y se golpean juntas hasta acabar de adelgazarlas; entonces se recortan sus bordes en ángulo recto y se separan una de otra. Gran parte de las hojas de estaño que hoy se venden consiste, como dijimos antes, en láminas de plomo revestidas por ambos lados con otras de estaño, ó emparedadas entre éstas; para obtenerlas basta colocar una plancha delgada de plomo entre dos planchas de estaño y laminarlas, quedando adheridos fuertemente entre sí ambos metales.

De lo expuesto se desprende que en muchas de sus aplicaciones el estaño se halla mezclado con más ó menos plomo; pero además forma parte de otras varias aleaciones importantes. Respecto del bronce, en el que el cobre desempeña el papel principal y el estaño el secundario, remitimos el lector al capítulo en que tratamos de ese metal, y sólo añadiremos que las aleaciones en que predomina el estaño sobre el cobre tienen matices blanquecinos, si bien conservan una dureza notable. También se logra endurecer el estaño aleándolo con cinc, bismuto y más especialmente con antimonio: el empleo de estos metales en diferentes proporciones da diversas aleaciones, entre las cuales el llamado metal de britania (inglés: *britannia-metal)* es la más importante, aplicándose á la fabricación de cucharas, vasos, candelabros, cafeteras y otros objetos análogos. La preparación de esta aleación tuvo su origen entre los fundidores de estaño ingleses, y respondió al deseo, primero de mejorar el estaño muy plomífero, y luego de sustituir completamente el plomo en dicho metal con otra materia que no fuera perjudicial á la salud, y obtener al mismo tiempo una aleación útil. El metal de britania, en efecto, toma muy bien la forma de los moldes, se deja laminar y estirar en la de alambre, acuñar y tornear, siendo también susceptible de un buen pulimento. En cuanto á su composición, no todos los fabricantes

se atienen á la misma fórmula; la aleación más sencilla del género consiste en nueve partes de estaño y una de antimonio; pero con frecuencia se añaden pequeñas cantidades (1 á 2 por 100) de cinc ó de cobre. El metal de britania responde en el fondo al mismo objeto que el metal blanco, esto es, el de imitar más ó menos á la plata. Por otra parte, los panes de plata falsa se componen simplemente de estaño con un poco de cinc, mientras que la llamada *plata musiva*, que se emplea como pintura metálica, no es otra cosa que una aleación de estaño con bismuto y azogue. Una combinación del estaño con el azufre constituye el llamado *oro musivo*, que también se emplea en pintura para producir efectos parecidos al dorado.

También en forma de sales y sus preparados tiene el estaño bastante importancia técnica. Si se funde dicho metal en presencia de aire, se cubre primero con una capa gris, mezcla del óxido con partículas del metal, pero acaba por convertirse totalmente en óxido de color blanco amarillento, llamado comunmente ceniza de estaño. Aun cuando este óxido en polvo no tiene exteriormente el parecido más remoto con la cassiterita (el mineral de estaño de que nos ocupamos más arriba), no sólo ambas materias son idénticas respecto de su composición química, sino que las partículas ó los granitos de aquel polvo tienen la misma notable dureza de la cassiterita; razón por la cual se emplea dicho óxido como medio para pulimentar el acero, el mármol, granito, etc. Como quiera que esta ceniza de estaño no se presta bien á la levigación para obtener un polvo homogéneo y de la mayor finura, tal como se necesita en la operación del pulimento, se ha adoptado recientemente un procedimiento nuevo que llena por completo el objeto; mézclase en caliente una disolución de cloruro de estaño con otra de ácido oxálico, y el precipitado resultante de oxalato de estaño, después de lavado y seco, se calienta en una fuente sobre fuego de carbón ó una llama de gas del alumbrado, revolviéndolo bien al mismo tiempo; el ácido oxálico se descompone escapando en forma de gases, mientras que el protóxido de estaño se transforma en óxido, constituyendo un polvo ligero y sumamente fino. Fundido con pasta de vidrio, el óxido de estaño le presta un color blanco opaco, y constituye por lo mismo, y desde hace mucho tiempo, la materia principal para la producción del esmalte blanco y los vidriados finos análogos.

Por último, varias sales de estaño son de la mayor utilidad en la tintorería y la estampación de telas, y en parte también en la fabricación de pigmentos ó colores; pues aun cuando el estaño por sí solo no es una sustancia colorante, su óxido presta excelentes servicios como mordiente, es decir, como vehículo, digámoslo así, y medio de fijar los colores. Los preparados que se emplean al efecto son: el cloruro de estaño, que se obtiene por la disolución del metal en ácido clorhídrico; el clorido de estaño, que resulta disolviendo el metal en agua regia; una combinación de cloruro de estaño con amoniaco, y el estañato de sosa, en cuya sal pierde el estaño su naturaleza básica para tomar la de un ácido.

AZOGUE

Argentum vivum (plata viva), llamaban los antiguos romanos al elemento singular en que vamos á ocuparnos, y los pueblos que le sucedieron, tanto germanos como latinos, siguieron su ejemplo; pues el nombre alemán *quecksilber* se descompone en *queck*, que antiguamente significaba «vivo,» y *silber* «plata,» y el inglés *quicksilver*, que tiene el mismo origen, equivale todavía á «plata veloz;» mientras que nuestro *mercurio* (francés: *mercure*) recuerda el antiguo dios del viento, que se representaba con aletas en los talones, y al que los alquimistas de la Edad Media dedicaron el metal, y *azogue* procede, según, Covarrubias, de un verbo árabe que significa «correr». En la antigua Grecia el azogue se llamaba *hydrargyron*, ó plata de agua, y de aquí la fórmula química *Hg* que le corresponde.

Hace mucho tiempo que se conoce el azogue: según Plinio, los griegos tenían ya noticia de las minas de Almadén, setecientos años antes de nuestra Era, y Teofrasto habla de ese metal que ya se sabía separar del cinabrio. No parece, sin embargo, que en la antigüedad tuviera el azogue aplicación alguna importante; la principal fué el empleo del mineral de azogue, ó sea el cinabrio, en la pintura; en cambio, los alquimistas de la Edad Media dieron gran importancia al metal, con el que no cesaron de experimentar. Con la única excepción de Agrícola, los hombres de ciencia del siglo XVI consideraban el azogue como un metal precioso en embrión, ó en vía de formarse, ó bien como el espíritu volátil de todos los metales, un alma metálica que podía abandonar á uno é incorporarse á otro; y todavía en los siglos XVII y XVIII los sabios no acertaron á comprender su verdadera naturaleza, mirándolo como un cuerpo con la apariencia de metal, ó un metal á medias, hasta que, después del descubrimiento del oxígeno, que inauguró la Era de la química moderna, halló la colocación que le correspondía como elemento en la serie de los metales, y sirvió precisamente de medio para demostrar de un modo evidente la existencia de dicho gas, puesto que era tan fácil hacer que se combinara con él y luego que se separase.

El azogue tiene un punto de fusión extraordinariamente bajo, pues no sólo se halla siempre en estado líquido á la temperatura ordinaria, sino que para que se solidifique como los demás metales, es preciso someterlo á un frío intenso de 39 á 40 grados bajo cero. La solidificación del azogue se logró primero por *Braun*, en San Petersburgo, el año 1769, por medio de una mezcla refrigerante. En las altas latitudes septentrionales, y aun en el Norte de Suecia, Rusia y Siberia, la Naturaleza se muestra á veces propicia, proporcionando el frío indicado sin necesidad de aparatos ni mezclas; de modo que los viajeros en tan des-

apacibles regiones han podido observar con frecuencia el fenómeno de la solidificación del azogue en los tubos de sus barómetros y termómetros. En el año de 1819 los oficiales de marina, al mando de Parry, durante su expedición polar, tuvieron ocasión de experimentar con masas relativamente grrandes de azogue consolidado. Hallaron que, respecto de la dureza, la maleabilidad, ductilidad y sonido, ocupa un puesto intermedio entre el estaño y el plomo; y lo mismo que éstos, el azogue se vuelve más y más bronco y quebradizo cuanto más se aproxima su temperatura al punto de fusión, ó sea á los 39,5 grados bajo cero. Un pedazo de azogue sólido, colocado sobre la mano, produce inmediatamente la sensación que se experimenta al agarrar un hierro candente. El color del azogue es el mismo que el del estaño; expuesto al aire, el metal conserva su brillo bastante bien, sufriendo sólo en corto grado los efectos de la oxidación; su peso específico es de 13,5, esto es, superior al del plomo.

El azogue no tiene sabor ni olor, y puede tragarse, al parecer, sin causar daño, puesto que nuestro cuerpo lo elimina sin alteración; por esto se ha empleado en algunas ocasiones para resolver torcimientos más ó menos peligrosos de los intestinos. A cualquiera temperatura se evapora el azogue, aunque, como es natural, menos á una baja que á la de ebullición (360°), sin que de ello se den cuenta nuestra vista y nuestro olfato, si bien los vapores producen cierta sensación en nuestra boca; pero sus vapores, aspirados en cantidad, son muy venenosos, y lo propio sucede con sus óxidos y sus sales; siendo el primer síntoma de los efectos nocivos una salivación abundante, y padeciendo después los pulmones y todo el cuerpo. En las minas de azogue de Idria se registra un ejemplo terrible de semejante envenenamiento. El 11 de Mayo de 1806, y á consecuencia de un incendio que produjo en las labores subterráneas la explosión de ciertos gases, desarrollóse gran cantidad de vapores de azogue, que hubieron de respirar, antes de ganar la superficie, los 1.300 hombres que se hallaban trabajando; de ellos, 900 se vieron presa de temblores y convulsiones continuos, que se declaraban con más fuerza de noche, quedando completamente inutilizados para el trabajo, mientras que los 400 restantes sufrieron menos, si bien disminuyeron notablemente sus fuerzas físicas, y durante el resto de su vida sólo pudieron trabajar la mitad del día. Dicho temblor especial, que resulta del envenenamiento por azogue, se contrae también al cabo de años de servicios prestados en minas y fábricas donde se produce dicho metal, siendo bien conocido el mal en Almadén, donde los enfermos se llaman *azogados*.

MENAS DE AZOGUE, Y SU BENEFICIO

Respecto de la distribución geográfica de sus minerales, el azogue es comparable al estaño, siendo pocas las localidades conocidas donde se puede beneficiar con ventaja. En algunas partes se presenta el metal en estado nativo, esto es, en forma de diminutos glóbulos, ó gotitas, diseminados en rocas de formación geológica relativamente reciente y terrenos de acarreo: así, por ejemplo, en la región de Lisboa y en ambas orillas del Tajo los cerros contienen gotitas de azogue, desde su cúspide hasta bastante profundidad bajo el nivel del mar, y la cantidad allí almacenada por vía natural se eleva, sin duda, á muchos miles de quintales; pero han fracasado todos los ensayos hechos para aprovechar semejante riqueza. También se dan fenómenos análogos, aunque en menor escala, en nuestra provincia de Granada, en Toscana, Francia y acaso en otras partes; y asimismo suele presentarse azogue nativo, en pequeñas cantidades, en los criaderos de Almadén, Idria, Huancavélica y California. El azogue se encuentra también á veces combinado con cloro y selenio, y toma parte, en mínimas proporciones, en la composición de ciertos cobres grises; pero el único mineral de azogue que tiene verdadera importancia industrial es el *cinabrio*, esto es, un sulfuro que contiene en estado puro el 86,2 por 100 del metal. El cinabrio se encuentra en diferentes rocas, de ordinario en agregados granudos, compactos ó terrosos, y á veces en cristales semitransparentes, tomando diferentes matices de rojo de cochinilla ó escarlata, ó de gris; aun en su forma compacta es en ocasiones tan puro, que puede emplearse desde luego como pigmento en la pintura; pero muchas veces se halla tan mezclado con diferentes minerales terrosos, que la mena resultante sólo contiene una proporción relativamente pequeña de azogue, mientras que en otros casos se presenta tan sólo en pequeñas partículas diseminadas en la masa de la roca.

Los criaderos de azogue más importantes que existen en Europa son los de Almadén, que se hallan en explotación desde tiempos muy remotos, y de los que nos hemos ocupado ya con algún detenimiento en el tomo III de esta obra. En la antigüedad, y durante la Edad Media, las minas de Almadén abastecían de cinabrio y azogue al mundo civilizado, á pesar de lo cual, esto es, de una producción tantas veces secular, y de los sistemas desdichados de laboreo y beneficio seguidos, rinden todavía una cantidad considerable de azogue, que se elevó en 1886 á 1.766.759 kilogramos, ó sean 51.200 frascos. En diferentes puntos de la provincia de Oviedo se explotan criaderos de cinabrio, que dieron en dicho año 79.000 kilogramos de metal, y en las de Badajoz (Usagre), Teruel, Almería y Granada existen otros cuyo laboreo, sin embargo, no ha dado resultados satisfactorios. Fuera de España, la fuente europea de azogue más abun-

dante es Idria, en la Crainia (Austria), cuyos depósitos se explotan desde el año 1497, y que produjo en 1882 la cantidad no despreciable de 409.100 kilogramos de azogue, el cual, y merced á un tratamiento más racional y esmerado, resulta más puro que el nuestro. En Bohemia, Hungría y Transilvania se benefician también pequeñas cantidades de cinabrio, de modo que la producción de azogue en el imperio austro-húngaro se eleva anualmente á unos 428.500 kilogramos. En Baviera existen minas que producían bastante cinabrio hasta el siglo XVII, que se paralizaron después, y que recientemente han vuelto á explotarse con alguna ventaja. Por último, Italia posee alguna riqueza de azogue en su monte Amiata, y la producción parece que va en aumento, puesto que se elevó en 1879 á 129.600 kilogramos, mientras que en 1860 no pasó de 3.500.

En China y el Japón existen criaderos de azogue, pero acerca de su explotación y producción no tenemos datos precisos; en otros tiempos el azogue chino se encontraba á veces en los mercados europeos, encerrado en fuertes cañas de bambú, y llegó á creerse que en dicho país abundaba el codiciado metal; pero después resultó que importaban azogue europeo, y actualmente los Estados Unidos envían allá cantidades considerables del metal. Los célebres depósitos de cinabrio de Huancavélica, en el Perú, que tienen bastante analogía con los de Almadén y se benefician desde el siglo XVI, cesaron de explotarse á fines del siglo pasado, á consecuencia de grandes hundimientos en las labores subterráneas; pero desde entonces han vuelto á reanudarse los trabajos, si bien la producción de azogue no excede hoy de 100.000 á 150.000 kilogramos al año. Méjico tampoco carece por completo de azogue, pues se producen allí anualmente, en diferentes minas, unos 125.000 kilogramos; pero en la amalgamación de sus minerales de plata consume una cantidad muy superior, que en otros tiempos importaba del Perú y de España, pero que hoy le llega de California. En este territorio de los Estados Unidos, tan privilegiado por la Naturaleza, se han descubierto, desde 1850, criaderos muy extensos y ricos de azogue, especialmente el de Nuevo Almadén, al Sur de San Francisco, de cuyas minas y fábricas reproducimos una vista en la fig. 110. En 1879 la producción de azogue en California se elevó á 2.755.000 kilogramos, ó sean 79.396 frascos de á 34,7 kilogramos; pero en 1882 hubo una disminución notable, pues la cantidad total no excedió de 2.158.800 kilogramos.

De lo que antecede, pues, se desprende que la producción anual de azogue en el mundo varía actualmente entre 4,5 y 5 millones de kilogramos.

El beneficio metalúrgico de las menas de azogue se reduce á una simple destilación, previa la separación del azufre del cinabrio. Esta descomposición del mineral puede verificarse por medio de la calcinación, en cuya operación el azufre se oxida formando ácido sulfuroso, y el azogue se volatiliza; ó bien por una precipitación mediante agentes como la cal y el hierro.

La elección del aparato de destilación más apropiado en diferentes casos,

depende de la riqueza de la mena, el estado de agregación de sus partes, su abundancia, el combustible disponible y otros factores. Los hornos de vasijas se prestan más especialmente al beneficio de menas ricas y dan mayor rendimiento; tratándose de grandes cantidades de menas en trozos más ó menos grandes, suelen emplearse hornos de cuba, mientras que las menas trituradas se benefician en hornos de reverbero, ó se aglomeran y destilan en los de cuba. En cuanto á la condensación de los vapores mercuriales, las cámaras son más efica-

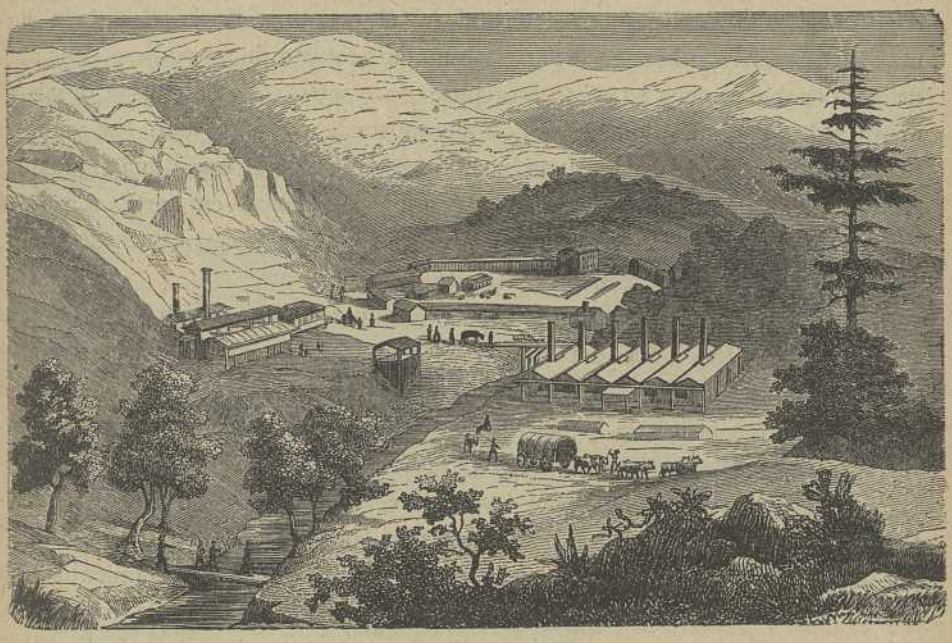


FIG. 110.—Minas y fábricas de Nueva Almadén (California).

ces que los aludeles de Almadén; pero los mejores resultados se obtienen con tubos de hierro ó madera, enfriados por medio del agua.

El beneficio por calcinación en hornos de cuba ó de reverbero entraña desde luego menos gastos que la descomposición del cinabrio por precipitación en retortas; pero con aquéllos la condensación del vapor mercurial es más difícil, porque hallándose mezclado en cámaras y tubos con los gases muy calientes del combustible y el ácido sulfuroso, su enfriamiento procede con lentitud, mientras que la corriente ó el tiro promovido puede dar lugar á pérdidas notables, arrastrando el azogue hacia la chimenea. Estos inconvenientes sólo pueden evitarse multiplicando las cámaras ó los tubos, y enfriándolos con agua; y si con esto se perjudica el tiro necesario, hay que apelar á medios mecánicos (como ventiladores centrífugos) para mantenerlo. Por el procedimiento más costoso de la precipitación y destilación en retortas, el vapor mercurial se condensa más rápida y completamente, por no hallarse mezclado con los gases de combustión.

En Almadén sigue empleándose con rutina pertinaz el horno importado de Huancavélica por Bustamante, en 1646; aparato anticuado consistente en una capacidad cilíndrica ú horno de cuba, cubierta por una bóveda, y dividida á la mitad de su altura por arcos de ladrillo que forman una especie de rejilla. En la parte superior, ó *caldera*, se introduce la mena, mientras que la parte inferior sirve de hogar y se llama *atizadero*. Debajo del arranque de la bóveda hay seis aberturas, por las que pasan los vapores mercuriales, el ácido sulfuroso y los gases de combustión, á dos pequeñas cámaras que comunican con el aparato de condensación, que consiste en multitud de tubos cortos, de barro cocido, llamados *aludeles*, con barriga ó parte abultada provista de un agujero. Los aludeles se enchufan unos en otros, formando doce series, que descansan paralelamente sobre dos planos inclinados de mampostería, de modo que los vapores bajan desde el horno por un plano, y suben por el segundo hacia una chimenea; durante su paso por los aludeles, los vapores se condensan en parte, el azogue sale por los agujeros referidos y corre sobre los planos hacia su línea de unión, desde la cual llega á un recipiente cerrado de piedra.

La cochura, como se llama, de cada carga, que se verifica con haces de leña menuda (monte bajo), dura tres días, y entonces se descarga el horno, después de enfriado, para proceder á una carga y cochura nuevas. En un aparato de construcción tan primitiva, y merced, sobre todo, al enchufe, siempre imperfecto (á pesar del enlodado), de unos 550 aludeles, las pérdidas son de consideración, elevándose probablemente á veces á cerca de la mitad del azogue contenido en las menas, por más que, según los datos oficiales, no excede del 6 por 100 de dicho contenido. Además, la interrupción del procedimiento cada cuatro días para la descarga y carga del horno, es un perjuicio manifiesto. En 1860 se construyeron en Almadén dos hornos según el modelo de *Leopoldi*, importado de Idria, á pesar de que dicho modelo había sido condenado diez años antes en este establecimiento austriaco. Este horno, que representa en sección vertical la fig. 111, consiste en una cuba, *A*, situada entre dos series de cámaras de condensación, *K K;* la cuba se halla dividida, mediante tres bóvedas perforadas, *m*, *n*, *o*, en cuatro espacios ó pisos, de los que el inferior, *E*, constituye el hogar; los dos intermedios se llenan con mineral en trozos, y en el superior, como indica el grabado, se colocan vasijas planas de barro, llenas de mineral menudo y los residuos de operaciones anteriores, mezclados con cal. Se calcina lentamente la carga á una temperatura baja, y dejando que penetre aire en el espacio superior del horno, se favorece la combustión del azufre, cuyas últimas porciones, con el calor creciente, se combinan con la cal, mientras se destila el azogue, cuyos vapores pasan, á derecha é izquierda, á las cámaras de condensación, depositándose la mayor parte del metal en las más inmediatas, sobre su fondo de hierro, desde donde pasa por unos canales á un depósito exterior.

Pero desde el año 1850 se emplea en Idria, en sustitución del horno que acabamos de describir, y para el beneficio de menas que contienen de 3 á 8 por 100 de azogue, el horno de calcinación continua inventado por *Haehner*, con el que se economiza mucho tiempo y combustible, y que se ha adoptado también en Italia y California. La cuba, de seis metros de altura y provista de una rejilla de hierro, se carga con mena en trozos, alternando con capas de carbón vegetal; y á medida que la mena calcinada se retira por la rejilla, haciéndola caer en un vagón de hierro, se sigue cargando por el tragante mediante una tolva de construcción especial que impide la salida de los vapores mercuriales, los cuales se condensan en seis grandes cámaras verticales, de igual altura que el horno, y cubiertas con planchas de hierro que constituyen el fondo de un recipiente en el que circula continuamente agua fría. El azogue se acumula en el fondo de las cámaras y pasa, por medio de tubos, á un depósito.

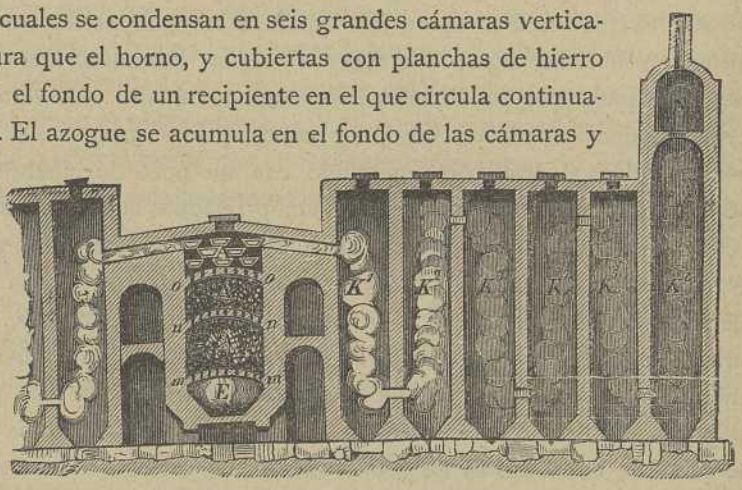


FIG. 111.—Sección vertical del horno de Leopoldi.

Las menas trituradas, que contienen de 0,75 á 1 por 100 de azogue, se benefician en Idria en los hornos de reverbero llamados de *Alberti*, desde cuyos laboratorios circulan los vapores por largos y anchos tubos de hierro, montados al aire y enfriados con agua, que se inclinan hacia abajo y terminan en una cámara de condensación. Los vapores no condensados suben á otra cámara situada sobre la primera, y desde ésta pasan los gases á la chimenea, recorriendo el camino inverso en otra serie de tubos, paralelos á los primeros y ligeramente inclinados hacia arriba.

En cuanto á la precipitación y destilación en hornos de vasijas cerradas, tratándose del beneficio de pequeñas cantidades de menas ricas, pueden emplearse retortas de hierro en forma de grandes frascos, que se colocan casi horizontalmente en un horno á propósito, después de cargarlas con el mineral pulverizado y mezclado con cal, enchufando su cuello en vasos situados al exterior del horno y que se enfrían con agua. Rodeadas las retortas con carbón y generado el calor necesario, el cinabrio se descompone, combinándose el azufre con la cal y destilándose el azogue, cuyos vapores se condensan en los vasos exteriores. En Nuevo Almadén (California) se emplean, para las menas ricas, hornos con retortas tubulares de hierro, de 2,50 metros de largo, montados horizontalmente de modo que se les puede imprimir una rotación lenta en torno de su eje, á fin de que la carga (mena mezclada con cal) se caliente por igual, y

se desprendan más fácilmente los vapores mercuriales, que se condensan en un depósito de hierro enfriado con agua. En Zalathna (Transilvania) se ha adoptado el horno de *Ure*, en el cual tres grandes retortas de hierro, de sección semicircular, están dispuestas horizontalmente sobre un ancho hogar, como en los hornos de destilación del gas del alumbrado; los vapores mercuriales salen por un tubo en un extremo de cada retorta, condensándose en un depósito de hierro.

Para secar el azogue y limpiarlo de impurezas, se revuelve generalmente con cal apagada, y se filtra luego á través de piel de gamuza, lona ó fieltro. Mas no se crea que con esta operación queda el azogue perfectamente puro, pues siempre contiene algo de metales extraños, bastando una corta cantidad de éstos para que su superficie se empañe al aire y no resulte tan fluido. Para eliminar el plomo, estaño y cobre que el azogue suele contener, se puede volver á destilarlo, mezclado con un poco de cinabrio, cuyo azufre se combina con dichos metales, formando residuos sulfurosos en el fondo de la retorta. Pero lo dicho no basta cuando el azogue contiene cinc y bismuto, pues éstos metales se destilan también, y hay que separarlos por la vía húmeda, es decir, sometiendo el azogue á un sacudimiento con ácidos, etc., cuyo procedimiento también sirve para disolver los otros metales. Sin embargo, semejantes medios tampoco dan un azogue químicamente puro, que sólo puede obtenerse por la destilación del cinabrio puro mezclado con limaduras de hierro que se asimilan el azufre. El azogue ordinario se entrega al comercio en frascos cilíndricos de hierro, herméticamente cerrados por medio de un tornillo, y que contienen generalmente 34,5 kilogramos del metal líquido.

APLICACIONES DEL AZOGUE

Son numerosísimas y variadas, tanto en diversos ramos de la ciencia como de la industria. En los tomos anteriores de esta obra hemos tenido ocasión, más de una vez, de hablar del azogue, en especial al tratar de los aparatos de física, y en éste y los siguientes habremos de señalar repetidamente su empleo, por ejemplo, en la fabricación de espejos, en el beneficio de las menas de oro y plata, en el dorado á fuego, en la fabricación del cinabrio artificial y otros colores, etc.

Una parte considerable del azogue que se produce se emplea en California en la extracción del oro de sus menas pulverizadas, ó sea en la amalgama, y á este propósito hemos de referir un descubrimiento interesante, hecho recientemente. La amalgamación estriba en la propiedad del azogue de alearse ó combinarse á la temperatura ordinaria con otros metales, especialmente con oro y plata, y se ha observado que esta afinidad, ó como quiera llamarse,

resulta mucho más pronunciada cuando se agrega al azogue de una á dos milésimas partes de sodio ó de potasio; es decir, que después de esta mezcla el azogue extrae mucho más oro que antes. La amalgama, que tal se llama semejante aleación, se forma instantáneamente, aun en presencia de impurezas que de ordinario impiden ó retardan la combinación. La diferencia entre la acción del azogue simple y el mezclado con sodio se manifiesta claramente al colocarse una gotita de uno y otro sobre una lámina de oro: la gota de azogue puro pierde un poco su convexidad, pero no se extiende visiblemente, mientras que la de azogue sódico se extiende con rapidez sobre el oro, cubriendo en pocos segundos una superficie muchos centenares de veces mayor que la que ocupaba al principio, y amalgamándose al mismo tiempo con el metal precioso. También los átomos del azogue sódico dan prueba de mayor cohesión entre sí, pues el metal pierde en este estado la movilidad y la propiedad de dividirse en gotitas diminutas, que tanto caracterizan al azogue puro, razón por la cual aquél se manipula más segura y económicamente que éste. No se ha explicado aún de modo satisfactorio el fenómeno de que hablamos, que se debe á la adición de porciones tan ínfimas de los metales alcalinos; y el nombre de *azogue magnético* que los inventores han dado al producto en cuestión, es puramente arbitrario. Su empleo se ha generalizado en California para la extracción del oro, y está probado que presta también buenos servicios en la de la plata.

En sus numerosas aplicaciones científicas y técnicas, el azogue se emplea, ora en estado metálico, ora combinado con otros metales, ora en forma de preparados químicos. Como metal líquido y pesado sirve ante todo para llenar los tubos de termómetros, barómetros, manómetros y otros instrumentos destinados á medir la presión de gases y líquidos; y presta buenos servicios al químico, ofreciéndole el medio de cerrar herméticamente los aparatos neumáticos que emplea en sus experiencias con gases. Sacudiéndolo con agua, esencia de trementina, etc., ó frotándolo con azúcar, azufre ó grasa, el azogue se deja dividir tan finamente, que pierde por completo su aspecto metálico, tomando el de un polvo gris; pero después de separadas dichas sustancias intermedias, vuelven á reunirse sus partículas dispersas, y recobra su estado ordinario de metal líquido; únicamente con azufre se combina pronto para formar un sulfuro negro, el *aethiops mineralis* de la farmacopea.

Las combinaciones ó mezclas del azogue con otros metales no se llaman aleaciones, sino *amalgamas*. Como un metal sólido se liquida á una temperatura muy inferior á su propio punto de fusión, cuando se pone en contacto con otro fundido ó líquido, las amalgamas se producen á la temperatura ordinaria por la sola mezcla ó el amasado de los metales con el azogue. La mayoría de los metales se amalgaman pronta y fácilmente; pero algunos, como el cobre, el hierro y el níquel, sólo se combinan con el azogue por vías indirectas. Por la

influencia del calor suficiente, todas las amalgamas se descomponen, volatilizándose el azogue, resultando más blandas cuanto más azogue contienen; pero algunas, en especial las de cobre y oro, se vuelven gradualmente muy duras y se emplean, por lo mismo, por los dentistas para llenar las cavidades formadas en las muelas. Una amalgamación superficial de planchas de cinc, cobre y hierro se logra frotándolas con azogue, después de humedecerlas con un líquido ácido. Las amalgamas más importantes para la industria son la de estaño (alinde), empleada en la fabricación de espejos, y las de oro y plata, que se producen en la extracción de estos metales de sus menas y se forman además á los efectos del dorado y plateado al fuego; en dicha extracción, lo mismo que en estas operaciones técnicas, el azogue no es más que un vehículo ó medio para alcanzar fines determinados, perdiéndose parcialmente en aquélla y totalmente en éstas.

Las combinaciones químicas del azogue son muy variadas, é interesan principalmente al farmacéutico y al médico, si bien se emplean hoy en medicina mucho menos que otras veces; algunas encuentran también aplicaciones técnicas. El azogue, calentado algún tiempo al aire á una temperatura constante de 300 grados, se combina con oxígeno, formando óxido de azogue en cristales escamosos de color rojo de cinabrio, que pierde su oxígeno á una temperatura más elevada. El óxido de azogue producido por la vía húmeda, es un polvo amarillo-rojizo, llamado precipitado rojo en la farmacopea; produce sales mercuriales básicas, neutrales y ácidos, y también sales dobles. La disolución del nitrato de mercurio es la que se emplea en el dorado.

Mientras en los aparatos destinados á producir la electricidad galvánica el azogue metálico desempeña hace tiempo un papel importante, una de sus sales presta actualmente en los mismos un servicio no menos señalado. Las planchas de cinc de las baterías galvánicas se amalgaman de un modo superficial, á fin de que los electrolitos ácidos no las destruyan demasiado pronto y las ataquen más uniformemente; y en esta amalgama halla el azogue metálico el empleo referido. Pero en las baterías llamadas constantes, esto es, en aquellas cuyo efecto es de larga duración, se emplea generalmente como electrolito una disolución salina, en vez de un ácido diluído, y ninguna sal responde mejor al objeto que el sulfato de mercurio: dado su parentesco, digámoslo así, contribuye á conservar la amalgama de cinc, y produce corrientes débiles, pero que duran muchos meses.

Lo mismo que con el azufre, el azogue se combina fácilmente, en dos proporciones distintas, con cloro, yodo y bromo; el yoduro de azogue halla algún empleo en medicina, y merced á su hermoso color escarlata, constituye un pigmento del que tendremos ocasión de hablar más adelante. El cloruro y el clorido de azogue son los preparados del género que más se usan y fabrican: el primero constituye el *calomel*, ó mercurio dulce de la farmacia, que se emplea bastante en medicina, mientras que el segundo es el llamado *sublimado corrosivo*, cuyo uso

farmacéutico en mínimas cantidades reclama las mayores precauciones. Pero el sublimado, merced á sus propiedades antisépticas, halla empleo en la conservación de materias animales y vegetales, impregnándose, por ejemplo, con su disolución las traviesas de madera de las vías férreas y los postes telegráficos; es también un medio enérgico para destruir insectos, y se utiliza asimismo en la estampación de telas, en el grabado sobre acero, en los laboratorios químicos, así como primera materia en la producción de muchos preparados mercuriales.

El *mercurio fulminante* es un preparado bien conocido, que se produce en forma de precipitado al calentar una mezcla de nitrato de azogue disuelto y alcohol, y constituye el misto empleado en las capsulitas explosivas, comúnmente llamadas mistos; para su explosión basta calentarlo un poquito ó darle un golpe, con lo cual produce la detonación consiguiente, descomponiéndose instantáneamente en vapor mercurial (nitrógeno), carbono y vapor de agua.

Con el cianógeno (un compuesto de carbono y nitrógeno, el azogue forma un cianido sumamente venenoso, que también se emplea en medicina en dosis muy pequeñas; se produce al poner en contacto el óxido amarillo de azogue con ácido cianhídrico, formando cristales incoloros bastante grandes, solubles en agua, que al calentarlos, se descomponen en azogue y gas ciánico, el cual, de este modo, se obtiene cómodamente en estado puro. Otra combinación ciánica que contiene azogue, es el sulfocianuro de este metal, sustancia también incolora y muy venenosa que, al calentarse, tiene la propiedad singular de tomar un volumen extraordinariamente grande, desarrollando al mismo tiempo gran cantidad de gases; como la masa resultante de la combustión toma la forma de un gusano abultado, se empleaba antes en la fabricación de las llamadas «serpientes de Faraón», un juguete tan inútil como peligroso, que por fortuna ha pasado de moda.

Todas las combinaciones del azogue son volátiles ante la influencia del calor, y dan azogue metálico cuando se caldean con carbonato sódico seco. En su virtud, es fácil averiguar la presencia de una composición mercurial, pues basta mezclar la materia en la que se sospecha, con carbonato de sosa, y calentar la mezcla en un tubo de ensayo; si, en efecto, dicha materia contiene azogue, se volatiliza éste, depositándose en la parte superior del tubo, en forma de diminutos glóbulos ó gotitas.



METALES PRECIOSOS

Datos históricos y estadísticos.—Minerales de plata.—Su beneficio metalúrgico: Amalgamación.—Extracción por la vía húmeda.—Propiedades y aleaciones de la plata.—Plateado.—Elaboración de los metales preciosos: plateros.—Fabricación de monedas y medallas.

PLATA

Los alquimistas designaban el oro y la plata como metales preciosos, no sólo porque superaban á todos los demás metales entonces conocidos por la hermosura de su color y de su brillo, sino también porque se muestran menos dispuestos que éstos á abdicar su individualidad, combinándose con otras materias. Entonces no se conocía más de un medio disolvente para el oro, el rey de los metales, medio que por lo mismo se llamó agua regia, y el metal resplandeciente halló su símbolo en el sol, como la plata blanca, y de brillo más suave, tuvo el suyo en la luna. Si sólo se consideran la fuerza y la permanencia del

brillo como distintivos de los metales preciosos, habría que colocar en la misma categoría que el oro y la plata otros varios metales, como, por ejemplo, el platino y los metales raros que le acompañan; pero en la vida ordinaria únicamente reciben el calificativo «precioso» los dos que primero nombramos.

El gran valor que desde tiempo inmemorial se ha prestado al oro y á la plata, el aspecto agradable de ambos metales, su constancia, su relativa rareza, etc., tuvieron por consecuencia que se les utilizara como cómodos medios de cambio. Al principio circularon en su estado nativo, pesándose la cantidad correspondiente á cada transacción mercantil, como sucede todavía en Africa y en California; más tarde se facilitaron las operaciones de cambio, formando con dichos metales barras ó planchas de peso determinado, que se estampó en las mismas para conocimiento de todos; y así, y en todos los países que habían alcanzado cierto grado de cultura, implantóse la moneda, ese poderoso resorte de los tratos y negocios.

De tomarse al pie de la letra las descripciones hiperbólicas de antiguos autores orientales, hubieron de acumularse en sus tiempos cantidades enormes de los metales preciosos; la Biblia nos habla de Abraham como un hombre rico en ganado, oro y plata; pero sus sucesores, David y Salomón, le dejaron completamente oscurecido, pues el último, según se refiere, hizo que en Jerusalén no tuviera la plata, por su abundancia excesiva, más valor que las piedras.

No cabe duda que el oro fué de los metales que primero llamaron la atención del hombre, pues se presenta en estado nativo y de hermoso color á la superficie de la tierra en muchas partes, prestándose fácilmente á la elaboración en frío; la plata nativa no abunda tanto, y suele hallarse escondida; pero también es de los metales que en épocas remotas debieron atraer al hombre por su brillo y maleabilidad. Una de las fuentes más antiguas y abundantes de los metales preciosos fué, sin duda, la India; pero los antiguos egipcios aprovecharon principalmente las riquezas de la Nubia y la Etiopía. Los griegos extraían en su propio país grandes cantidades de oro y plata, mientras que los fenicios, cartagineses y romanos explotaron durante siglos, y con verdadera codicia, las riquezas de nuestra península. La plata española proporcionó á Aníbal los medios para combatir á los romanos, y todavía existen indicios de las labores subterráneas ejecutadas por aquellos invasores. Los árabes parece que extrajeron también mucha plata de nuestro suelo; pero hace tiempo que pasó ese brillante período de abundancia en el que, según la relación de Diodoro, bajaban por las vertientes de los Pirineos torrentes de plata fundida cuando se producía un incendio en aquellas selvas; y aparte de escasos depósitos de plata nativa y minerales argentíferos propiamente dichos, nos hallamos hoy reducidos á la plata que contienen nuestros plomos. Durante la Edad Media los criaderos argentíferos de Austria y Hungría fueron fuentes importantes de metales preciosos; las célebres minas de Schemnitz y Kremnitz, cuya primera explotación se atribuye á los romanos, se hallaban en actividad en el siglo VIII, y desde el

siglo X próximamente (pues nada se sabe de ello á ciencia cierta) se trabajaron las minas de plata, no menos célebres, de Joachimsthal, en Bohemia, las de Sajonia y del Harz, cuyas riquezas eran entonces portentosas, si no hay exageración en los relatos, y que todavía siguen explotándose á grandes profundidades, por más que ha mermado grandemente la producción. Si, como es el caso, la estadística alemana, en especial la sajona, lejos de acusar una disminución en la cantidad de plata producida, señala de diez años á esta parte un aumento notable, se debe á que las fábricas metalúrgicas alemanas benefician cantidades relativamente considerables de minerales argentíferos importados desde otros países. En cuanto á los célebres criaderos de plata de Suecia y Noruega, también son mucho menos productivos que antes.

Durante los primeros cincuenta años después del descubrimiento de América, nuestros antepasados hallaron allí mucho oro, pero poca plata; sólo después de la conquista del Perú cayeron en sus manos riquezas inagotables de este último metal, alcanzando gran celebridad las del Cerro de Pasco, lo mismo que las de Potosí, en Bolivia, que hemos descrito sucintamente en el tomo III de esta obra. Tampoco necesitamos repetir en este lugar lo referido en dicho tomo acerca de las inmensas riquezas en plata de Méjico, que rayan en lo fenomenal, se explotan hace siglos y siguen explotándose con gran ventaja; pero á éstas superan actualmente las del Estado de Nevada (Estados Unidos), cuyos potentes criaderos argentíferos pueden considerarse como la continuación, al Norte, de los mejicanos.

Respecto de la producción actual de plata en los diferentes países del mundo, consignamos á continuacion los datos más fidedignos que tenemos, relativos á los años 1881 y 1884. Nada preciso se sabe acerca de la de la India y China.

	1881		1884	
Estados Unidos	1.034.649	kilogramos.	1.174.205	kilogramos.
Méjico	665.918	»	655.868	»
Bolivia	264.677	»	384.985	»
Alemania	186.990	»	248.115	»
Chile	122.275	»	128.106	»
Austria-Hungría	31.359	»	49.424	»
Perú	—		45.909	»
España	24.220	»	31.026	»
Japón	22.046	»	21.121	»
Colombia	24.057	»	18.286	»
República Argentina	10.109	»	10.109	»
Rusia	7.992	»	9.336	»
Noruega	4.812	»	6.387	»
Francia	—	»	6.356	»
Australia	3.970	»	2.788	»
Turquía	1.719	»	2.164	»
Suecia	1.176	»	1.816	»
Canadá	1.641	»	1.641	»
Italia	432	»	432	»

En cuanto á la producción española del año 1881, debemos advertir que la estadística minera no indica los datos relativos á las provincias de Jaén y

Murcia, y para 1884 faltan también los de esta última; por esto, y para que nuestros lectores formen idea más exacta de la producción nacional, vamos á reproducir al por menor los datos correspondientes al año 1886, que acaban de publicarse, y son más completos que los anteriores.

PROVINCIAS	KILOGRAMOS	VALOR — *Pesetas.*
Murcia	11 400	1.670.132
Guipuzcoa	8.330	1.332.800
Jaén	7.500	1.200.000
Córdoba	7.000	1.190.000
Almería	2 422	435.960
Ciudad Real	2.078	374.000
Guadalajara	335	57.163
TOTALES	39.065	6.260.055

Salvo la producción de Almería y Guadalajara (Hiendelaencina), que procede de plata nativa y otros minerales argentíferos propiamente dichos, toda la consignada se debe á la desplatación de plomos argentíferos por el procedimiento de Pattinson, ó el cincaje.

MINERALES DE PLATA

La plata se presenta en la Naturaleza sola ó en combinaciones relativamente numerosas y variadas. En estado nativo se encuentra á veces en cristales deformes, pero por lo general en masas capilares ó denticulares, filiformes, musiformes y en láminas. A veces contiene la plata nativa algún antimonio, cobre, arsénico ó bismuto, y en la *discrasita* ó antimoniuro de plata propiamente dicho, que es el mineral argentífero principal de Andreasberg, en el Harz, el contenido de antimonio se eleva al 23 por 100. También en algunas partes, como Chile y Moschellandsberg, en Baviera, se presenta la plata amalgamada con azogue, y en otros casos forma con el oro una aleación natural de color blanco amarillento. En Nevada y California, donde los criaderos contienen con frecuencia oro y minerales de plata juntos, son comunes semejantes aleaciones, que pueden llamarse plata aurífera ú oro argentífero, según las proporciones de los dos metales, y no hay para qué decir que son productos muy apreciados.

Aparte del metal nativo y sus aleaciones naturales, los principales minerales de plata son los siguientes: la *argentita*, también llamada «plata negra ó vítrea», que es un sulfuro compuesto de 86,5 por 100 de plata y 13,5 de azufre, de color gris plomo negruzco, y se presenta con mayor ó menor abundancia en los criaderos argentíferos, en forma de cristales ó agregados arboriformes que se

dejan cortar ó comprimir; su maleabilidad es tal, que en Sajonia y Bohemia se han acuñado medallas con ella, en el estado en que se arrancó á las entrañas de la tierra. Síguenle en importancia los sulfoantimoniuros llamados *estefanita*, con 68,5 por 100 de plata, y *pirargirita*, ó plata roja oscura, con el 59 por 100; y á esta última se asocia frecuentemente la *proustita*, ó plata roja clara, una combinación de plata con azufre y arsénico, que contiene el 65 por 100 del metal precioso. La *freibergita*, ó plata blanca, es un compuesto de los sulfuros de plata, cobre y hierro con el de antimonio, dando hasta 33 por 100 de plata; la *polibasita* consiste en sulfuros de plata, cobre, antimonio y arsénico, variando su ley entre 64 y 72 por 100; y la *freieslebenita*, ó plata estriada de Hiendelaencina, es una composición de sulfuro de plata y antimonio, con sulfuro de plomo. Menos comunes son los ceratos de plata, ó combinaciones de este metal con cloro, bromo y yodo, tales como la *kerargirita*, ó plata córnea, que tiene el aspecto del cuerno y se deja cortar, dando 75 por 100 de plata; la *megabromita*, *microbromita*, *embolita*, *yodargirita*, etc.

Pero además de estos minerales de plata, propiamente dichos, existen otros de plomo, cobre, cinc, hierro, etc., que contienen una cantidad pequeña y variable del metal precioso, que suele aprovecharse durante su tratamiento metalúrgico. En esta categoría tenemos, ante todo, la *galena*, que contiene á veces de 0,5 á 1 por 100 de plata; ciertos cobres grises, cuya ley en dicho metal precioso puede elevarse al 30 por 100; algunas chalcopiritas, bornitas y malaquitas, y también blendas y piritas de hierro, amén de las menas de arsénico, antimonio, bismuto, cobalto y níquel.

BENEFICIO DE MENAS ARGENTÍFERAS

La extracción de la plata de sus menas se verifica por diversos procedimientos, ora por la vía húmeda, ora por la seca ó ígnea. Entre los primeros se cuentan la amalgamación, mediante el azogue, y la disolución y precipitación con arreglo á los métodos de Augustin, Ziervogel, Patera y otros; mientras que el beneficio por medio de la vía ígnea estriba en la producción de un plomo argentífero y la separación de la plata por la copelación, previa la concentración, en caso necesario, mediante el pattinsonaje ó el cincaje, como ya dijimos al tratar del plomo; al efecto, se agrega á las menas argentíferas de cuya fusión se trata, una cantidad correspondiente de plomo metálico, que se asimila la plata contenida en ellas. El plomo y el azogue, pues, desempeñan en el beneficio de la plata el mismo papel, en cuanto que ambos son medios extractivos; pero mientras que el plomo necesita de calor, el azogue obra á la temperatura ordinaria, ó sea en frío.

La extracción por medio del azogue, ó sea la *amalgamación*, sólo es practicable, por razones tanto químicas como económicas, tratándose de los minerales

de plata propiamente dichos, no pudiendo aplicarse al beneficio de los minera les argentíferos de otros metales. La amalgamación consiste esencialmente en promover el contacto más íntimo entre el azogue y las menas, á fin de que absorba la plata diseminada en ellas, después de lo cual se separan los dos metales por destilación. Andando el tiempo se han desarrollado varios procedimientos de amalgamación, de los que sólo nos podemos ocupar de los principales. El más antiguo, ó sea el americano, se practica todavía en Méjico como hace más de tres siglos, salvo algunas mejoras, y es tal vez el que mejor responde á las circunstancias locales, puesto que las menas mejicanas no son, generalmente hablando, de las más ricas, el plomo es allí muy caro y el combustible muy escaso.



Fig. 112.
Amalgamación de las menas de plata en Salgado (Méjico).

Las menas, tal como se extraen de las minas, se someten primero á una separación á mano, reservando para la fusión los trozos ricos, es decir, los que contienen más del 1 por 100 de plata, y sometiendo el resto á la trituración, la cual tiene lugar por medio del quebrantador de Blake, y de bocartes, terminándose en molinos de granito, con un poco de agua, en los que se queda reducida la mena á un barro ó légamos umamente fino. Después de exponer este barro al sol para que tome cierta consistencia, se traslada á un espacio abierto, llamado *patio*, con piso empedrado, extendiéndose en forma de montones circulares ó *tortas*, de 15 metros de diámetro y unos 20 centímetros de grueso (fig. 112), y se mezcla primero con 3 á 5 por 100 de sal común, operación que se verifica con palas, y también haciendo correr mulas sobre las tortas. Pasados unos días, y después de revolver bien la masa, se le agrega el llamado *magistral*, compuesto de piritas cobrizas y férricas bien calcinadas, y entonces, y á favor del calor solar, empiezan á verificarse en la masa húmeda ciertas reacciones químicas. En efecto, la plata se encuentra en las menas, en parte en forma de partículas metálicas (nativas), en parte en estado de cloruro y de sulfuros simples ó compuestos, y lo que conviene es que se transforme lo más completamente posible en cloruro; esto resulta de la reacción entre la sal y los sulfatos del magistral, formándose sulfato de sosa y cloruros de cobre y hierro, de los que los últimos, en presencia de un exceso de sal común, convierten el sulfuro de plata en

cloruro, transformándose ellos mismos en sulfuros de cobre y hierro. Tan luego como estas reacciones se han iniciado, se agrega á la masa cierta cantidad de azogue, mezclándolo íntimamente por los medios referidos; el azogue descompone el cloruro de plata, formándose cloruro mercurial, mientras que la plata metálica resultante se combina con la parte de azogue que queda en estado metálico. Las tortas se siguen revolviendo continuamente por hombres y mulos, durante varios días, agregándose entretanto otra porción de azogue, y una tercera cuando la operación va tocando á su término. En los casos más favorables, el procedimiento dura de doce á quince días en verano, y de veinte á veinticinco en invierno, y durante todo este tiempo es preciso verificar repetidos ensayos para cerciorarse de la buena marcha y poder corregir sus defectos, ora agregando más magistral, ora la cantidad necesaria de cal para neutralizar los efectos de un exceso de él. La cantidad de azogue empleada equivale á seis ú ocho veces la de la plata que se calcula contiene la mena, y de ella se pierde una cuarta parte próximamente, en forma de cloruro mercurial; para obtener un kilogramo de plata hay que sacrificar hasta dos kilogramos de azogue. Terminada la amalgamación, se traslada la masa á grandes tinas de madera, en las que, y por medio de un sencillo mecanismo, se revuelve bien con agua; la amalgama se reune sobre el fondo de la tina, mientras que el agua arrastra todas las impurezas, incluso el cloruro de azogue, que, como dijimos, se pierde. La amalgama se prensa en sacos de fieltro, de cuya operación resulta algún azogue líquido, aunque argentífero, que se vuelve á utilizar en la amalgamación; mientras que la amalgama sólida se somete á la destilación, volatilizándose el azogue, que se condensa y recobra, y quedando en la retorta la plata metálica que se funde y afina.

A fines del siglo XVII, fué perfeccionado el procedimiento por *Born*, y después por *Gellert* y *Ruprecht*, y desde entonces se distingue la llamada amalgamación europea, que se practicaba antes en los establecimientos metalúrgicos de Freiberg, en Sajonia, perdiéndose sólo 25 gramos de azogue por kilogramo de plata obtenida. El procedimiento se ha sustituído en Freiberg por otro más económico de precipitación, pero se practica todavía en algunas partes de América, empleándose al menos los correspondientes toneles giratorios. Según el modo freibergense, las menas se calcinaban primero en hornos de reverbero, con la añadidura de sal común, á fin de formar cloruro de plata; entonces se molía la masa calcinada y se echaba en toneles de madera de roble, con 30 por 100 de agua y 10 de pedazos de hierro dulce, haciendo girar los toneles durante dos horas, á cuyo efecto estaban montados horizontalmente como indica la figura 113; el hierro descomponía el cloruro de plata, formándose cloruro de hierro y libertándose el metal precioso. En este estado se agregaba el azogue, en cantidad equivalente al 30 por 100 de la de la mena misma, y se seguía girando hasta que, después de dieciséis á veinte horas, estaba terminada la

amalgamación de la plata. Después de añadir agua clara y girar algún tiempo para promover la separación y la limpieza de la amalgama, se sacaba ésta y se prensaba en sacos de lona, para exprimir el azogue que todavía quedaba en estado líquido, destilándose entonces la parte sólida en retortas de hierro, de construcción especial, condensándose los vapores mercuriales y fundiendo y afinando la plata metálica.

En Nevada y Colorado (Estados Unidos), la amalgamación se verifica en molinos de construcción especial, variando el procedimiento según la naturaleza

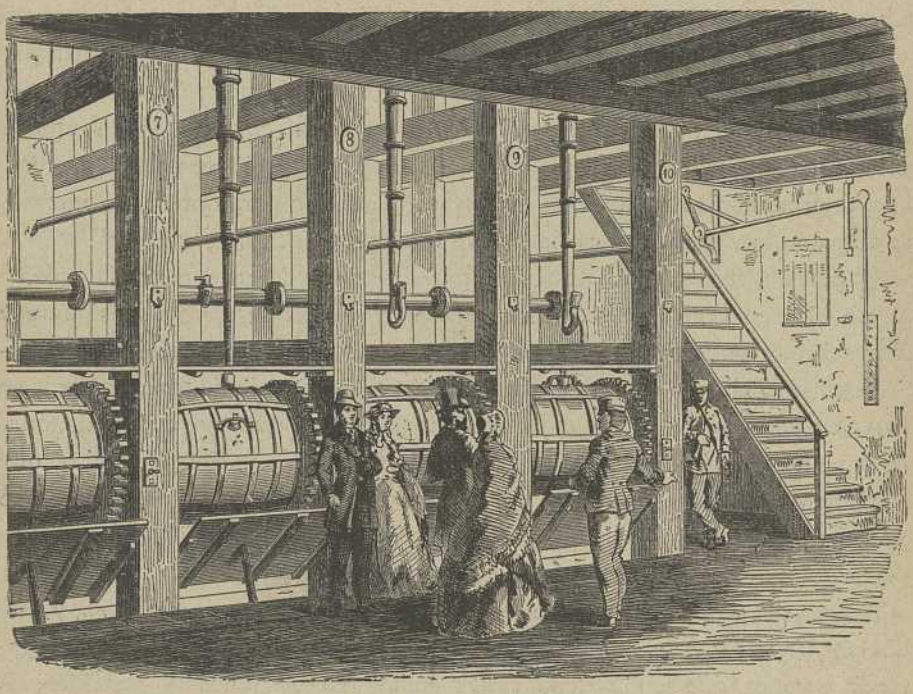


FIG. 113.—Toneles de amalgamación.

de las menas, y distinguiéndose el de Washoe y el de Reese-River, nombres correspondientes á los respectivos distritos de Nevada, donde se aplicaron primero ambos procedimientos. Por el de Washoe se benefician menas que pueden amalgamarse directamente después de pulverizadas, mientras que las que se someten al de Reese-River tienen que calcinarse primero. Aunque por excepción se emplean toneles giratorios, la amalgamación tiene lugar casi siempre en molinos, consistentes esencialmente en una vasija circular de hierro fundido, poco profunda y de fondo plano, dentro de la que giran muelas de hierro, fijas á un eje vertical, que acaban de moler finamente las menas que proceden de los bocartes ó del horno de calcinación, y se destinan también á remover continuamente la masa sometida á la amalgamación, y que consiste, además del mineral, en sal común, sulfato cúprico (caparrosa azul),

nitro y azogue, agregándose también partículas pequeñas de hierro para abreviar la operación. Después se somete la amalgama obtenida á los tratamientos de costumbre.

El deseo de perfeccionar el procedimiento de la amalgamación, tanto respecto de su rendimiento como del tiempo que supone el tratamiento de enormes cantidades de menas, ha conducido en los últimos años á la invención de *Foster-Firmin*, según la cual la mezcla más íntima del azogue con el mineral se

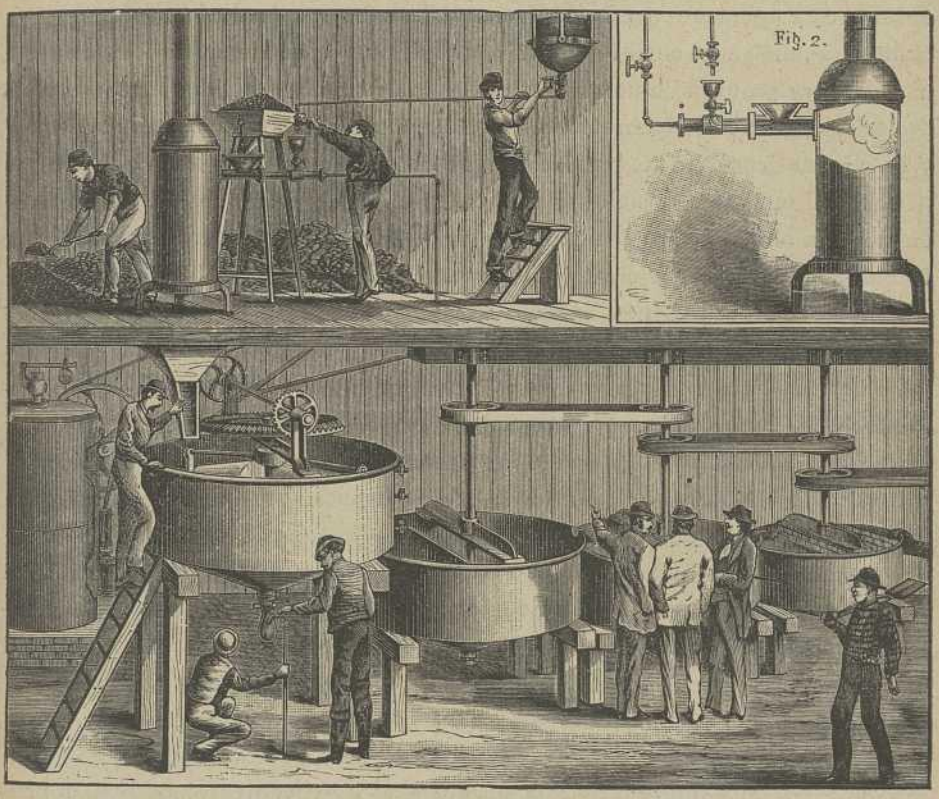


FIG. 114.—Amalgamador de Forster-Firmin.

promueve por medio del vapor ó del aire comprimido. La fig. 114 muestra los aparatos, que se disponen, para mayor comodidad, en dos pisos superpuestos. En el superior se encuentra el mineral, finamente pulverizado, destinado á la amalgamación, que se va echando en una tolva, desde cuyo fondo cae en un chorro continuo, en el embudo que forma parte de un tubo horizontal que comunica de un lado con el amalgamador y de otro con una caldera de vapor ó un compresor de aire, situado debajo. Estas diferentes partes del aparato se distinguen fácilmente en nuestro grabado; pero para que se comprenda mejor la marcha, hemos reproducido una sección del amalgamador, señalándola con el número 2 (arriba, á la derecha). Detrás del embudo referido, en la continuación del

tubo, se ve otro más pequeño, en el que va cayendo el azogue procedente de un depósito; de modo que el vapor ó el aire comprimido arrastra á su paso, primero el azogue, é inmediatamente después el mineral pulverizado, mezclándolos íntimamente y lanzándolos en el amalgamador, donde se inicia la combinación de la plata con el azogue. Desde el amalgamador, la mezcla, compuesta de mineral, amalgama ya formada y azogue, va cayendo por un tubo á través del piso en un molino situado debajo, en cuya vasija, y merced á un chorro de vapor de agua y la acción de las muelas, se convierte en un barro muy fino; durante esta operación queda amalgamada la mayor parte de la plata, acumulándose la amalgama en el fondo de la vasija, desde donde se le da salida por una abertura provista de un grifo; lo restante de la masa, convertido en un líquido lechoso, pasa sucesivamente por otras tres vasijas provistas de agitadores, y en ellas se depositan las partículas más finas de la amalgama, reduciendo las pérdidas al mínimum posible; se afirma, en efecto, que por el procedimiento descrito se obtiene el 99 por 100 de la plata nativa contenida en el mineral, perdiéndose sólo medio por ciento del azogue empleado.

El nuevo procedimiento, llamado *amalgamación al bromo*, da también, según nuestras noticias, resultados muy satisfactorios, especialmente cuando la plata se halla combinada con azufre, antimonio y arsénico, como sucede en la pirargirita, la proustita, la polibasita, etc., minerales que descompone el bromo, convirtiendo la plata en bromuro. Las menas correspondientes, trituradas de la manera ordinaria en el bocarte, se calientan en tinas cerradas por medio del vapor de agua, y se someten durante algunas horas á la acción del bromo, después de lo cual se amalgaman en los molinos ó los toneles giratorios ya referidos; se obtiene más del 80 por 100 de la plata contenida en la mena, mientras que, de tratarse semejantes minerales por la amalgamación ordinaria, no se extrae más del 36 por 100. Parece que el nuevo procedimiento da los mejores resultados cuando las menas contienen oro, además de la plata; pero aunque se producen actualmente en Nevada y otros Estados de la Unión grandes cantidades de bromo, de suerte que el precio de esta sustancia es relativamente módico, el proceso referido supone un consumo tal, que no puede calificarse en realidad de económico.

Los procedimientos por la vía húmeda, propiamente dicha, que han sustituído á la amalgamación en varios establecimientos metalúrgicos, en vista de su perfección y economía, son los de Augustin, Ziervogel, Patera y Kiss, de los que vamos á ocuparnos sucintamente. Pero debemos advertir ante todo, que sólo son aplicables con ventaja á menas y productos argentíferos (matas, etc.) relativamente puros, es decir, libres de plomo, antimonio, arsénico, cinc, etc.

El de *Augustin* consiste en calcinar la primera materia con sal común, á fin de transformar la plata en cloruro, y después extraer éste por medio de una disolución caliente y concentrada de la misma sal, en la que se disuelve; la

plata disuelta se precipita entonces por medio de cobre metálico, y el cobre, que se disuelve durante la operación, se obtiene de nuevo precipitándolo con hierro.

Según el procedimiento de *Ziervogel*, que es el más sencillo y económico de cuantos se han inventado, se calcinan cuidadosamente las menas y productos sulfurosos en hornos de reverbero, sin más agente que el oxígeno del aire, y el sulfato de plata que se forma de este modo, se extrae disolviéndolo en agua ligeramente acidulada con ácido sulfúrico; la plata se precipita entonces en esta disolución por medio de cobre metálico. Este es el procedimiento mediante el cual se extrae con tanta ventaja la mínima porción de plata que contienen las pizarras cobrizas de Mansfeld, de que hablamos en un capítulo anterior. El procedimiento de *Patera* se funda, como el de Augustin, en la formación previa de cloruro de plata, por calcinación con sal; pero en lugar de la disolución concentrada y caliente de la misma sal común, empleada por Augustin, Patera toma una fría y diluída de hiposulfito de sosa, que es capaz de disolver cantidades mucho mayores de cloruro de plata, además de otras ventajas que ofrece. Sin embargo, aunque el tratamiento es recomendable para el beneficio de menas argentíferas ricas, las manipulaciones que le son propias presentan dificultades que no se encuentran en el de Augustin ni en la amalgamación europea. Por último, según el procedimiento de *Kiss*, destinado más especialmente á la extracción simultánea de plata y oro, las menas se calcinan con sal, los cloruros resultantes se disuelven por medio de una lejía de hiposulfito de sal, y dichos metales se precipitan entonces con sulfuro de calcio.

Respecto del beneficio de las menas argentíferas por la vía seca ó ígnea, el principal agente es, como ya dijimos, el plomo, que se agrega, ora en forma metálica, ora en la de minerales plomizos crudos ó calcinados, ora en forma de litargirio. En vista de la composición tan variable de las menas de que hablamos, no es posible establecer reglas fijas, precisas, para su fusión, y habremos de contentarnos aquí con indicaciones generales.

Una parte considerable de la plata que se produce actualmente resulta del beneficio de menas plomizas, especialmente galenas argentíferas, que contienen desde luego más plomo que el necesario para reunir la plata, y de cuyo tratamiento nos hemos ocupado en el capítulo precedente. También hemos referido cómo el plomo de obra resultante se somete á una concentración especial, por los procedimientos llamados *pattinsonaje* y *cincaje*, y después á la copelación, de modo que no necesitamos volver sobre estos particulares.

Las menas de plata propiamente dichas y muy ricas, esto es, con más del 50 por 100 del metal precioso, se presentan rara vez en cantidades de mucha consideración; razón por la cual, sobre todo si contienen principalmente plata nativa, suelen beneficiarse desde luego fundiéndolas en crisoles, con un poco de hierro, litargirio, potasa y vidrio; mas si contienen la plata en forma de sulfuro,

antimoniuro, cloruro, etc., es preferible agregarlas al plomo de obra durante la copelación de éste; se descomponen pronto, ora en virtud de la calcinación resultante, ora merced á la acción del óxido de plomo que se va formando, y mientras el plomo absorbe la plata, las materias extrañas se volatilizan, ó forman una escoria muy líquida, que se retira, prosiguiendo entonces la copelación propiamente dicha. Las menas argentíferas menos ricas (de 1 á 50 por 100 de plata) pueden fundirse con menas ó productos plomizos; las terrosas muy pobres se someten, en cambio, á una fusión cruda con pirita de hierro, en hornos de cuba ó de reverbero, y la mata resultante, en la que queda concentrada la plata, se funde con menas plomizas ó con litargirio, pasando la plata al plomo. Las menas cúyos minerales argentíferos están íntimamente mezclados con piritas, se calcinan y funden con menas ó productos plomizos, si son ricas; pero si son pobres se tratan como las terrosas, á fin de concentrar la plata en una mata, que después se funde con plomo ó productos plomizos, salvo el caso en que resulte más ventajoso someterla á la extracción por la vía húmeda.

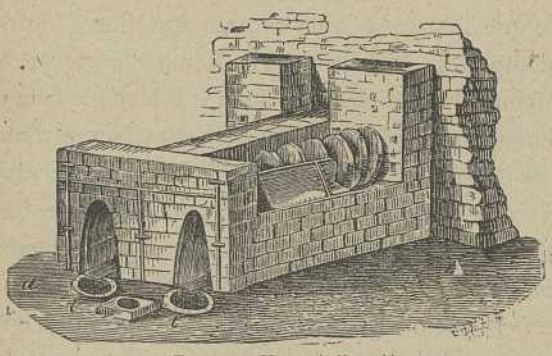


FIG. 115.—Hogar de licuación.

Las menas de cobre argentíferas se someten á un tratamiento distinto según su riqueza: si son ricas en plata, se funden con galena ó productos plomizos, produciéndose plomo de obra y mata de cobre, fundiéndose esta última repetidas veces con plomo hasta su completo desplate. Si dichas menas contienen poca plata, se concentra ésta en una mata; la que si sale relativamente rica, se desplata mediante fusiones sucesivas con plomo; pero si resulta pobre, se concentra y somete á una fusión reductiva para producir cobre negro. Para su desplate, se funde el cobre con una cantidad determinada de plomo, y la aleación, en forma de grandes tortas, se somete á la licuación en un hogar de construcción sencilla (fig. 115), separándose el plomo de obra más fusible del cobre desplatado que no se funde á una temperatura tan baja. También puede desplatarse el cobre negro por la vía húmeda, y en muchos casos es esto preferible á la licuación.

Como nuestros lectores colegirán de estas breves indicaciones, el beneficio metalúrgico de las menas argentíferas puede dar lugar, á veces, á una serie bastante complicada de operaciones.

Ni la plata obtenida por la amalgamación, ni la que resulta de la precipitación por la vía húmeda, como tampoco la que procede de la copelación del plomo de obra, puede considerarse como plata fina; siempre contiene alguna

cantidad de metales extraños, que es preciso eliminar mediante el afino. Esta operación se verifica en un horno de reverbero de pequeñas dimensiones (figura 116), provisto de un portaviento para introducir aire comprimido, y se reduce á una fusión oxidante. Tratándose de la plata procedente de la copelación, lo único que hay que oxidar es un pequeño resto de plomo, de suerte que el afino viene á ser una copelación en pequeña escala; pero como la cantidad de litargirio que ha de producirse es tan reducida, en vez de retirarla por la puerta del horno, como se hace en la copelación, se prepara la plaza del hor-



Fig. 116.—Afino de la plata.

no con una masa porosa (ceniza de huesos ó de leña lixiviada, marga, etc.), que absorbe el litargirio fundido á medida que se forma. Si la plata contiene cobre, antimonio, etc., y poco ó ningún plomo, se funde sobre la plaza porosa, agregándole de propósito cierta cantidad de plomo, porque los óxidos de dichos metales extraños necesitan del de plomo para su escorificación. De este modo las impurezas quedan reducidas hasta 0,25 y á veces hasta 0,10 por 100, y la plata en tal estado se llama fina. En ciertos casos contiene además una pequeña cantidad de oro, que el afino por oxidación es impotente para separar, y que se extrae, si es que vale la pena, por otros procedimientos, como diremos más adelante al tratar del oro.

PROPIEDADES, COMBINACIONES Y APLICACIONES DE LA PLATA

Hemos visto, pues, en las páginas precedentes, cómo se extrae de sus minerales el precioso y brillante metal de que tratamos; pero pronto tiene que sacrificar algo de su pureza y hermosura, aliándose con cobre, á fin de que pueda prestarnos sus servicios en forma de monedas y otros objetos. En efecto, la plata fina es demasiado blanda para la mayoría de los usos, y, en tal estado, se desgastaría pronto; siempre es más dura que el oro, pero mucho menos que el cobre, y por esto se emplea este último para prestarle la resistencia de que carece naturalmente. La proporción en que se mezclan los dos metales varía según las aplicaciones á que se destinan las aleaciones respectivas, y de aquí que se hable de plata de 750, 800 y 900 milésimas, por ejemplo, lo que significa que se trata de aleaciones que se componen de 750, 800 ó 900 partes de plata fina, más 250, 200 ó 100 de cobre, por mil. Las monedas de plata alemanas contienen 900 milésimas de plata fina, mientras que las nuestras son de ley muy inferior.

La plata es de los metales pesados; su gravedad varía entre 10,47 y 10,6, según que se halle en estado fundido, ó haya sufrido una condensación mediante el martillo ó en el volante de acuñar. Siendo puro, conserva su color y su brillo al aire; pero ambos son, naturalmente, menos constantes cuando la plata está aleada con cobre. Si una moneda de plata se expone á la acción del fuego, se vuelve poco á poco negra por completo; cambio que se debe únicamente á la presencia del cobre, pues se forma á la superficie una tenue capa de óxido cobrizo, debido á la acción oxidante del aire; esta capa puede quitarse fácilmente sumergiendo la moneda en un ácido, y entonces aparece una superficie de plata pura. De esta manera puede darse á las monedas y otros objetos de plata ordinaria, el aspecto de la plata fina, que sólo conservan, sin embargo, durante corto tiempo; basta cocer las piezas nuevas en ácido sulfúrico diluído para que se disuelva superficialmente el cobre, dejando una capa por extremo delgada de plata fina.

El mayor flaco de la plata es su afinidad con el azufre, que se revela ya en los minerales argentíferos. Expuesta á los vapores de azufre, se torna amarilla ó parda, merced á la formación superficial de sulfuro de plata; en las disoluciones sulfoalcalinas es más intensa dicha formación y el color más oscuro. Los artículos de bisutería de plata y objetos decorativos se someten á veces á una sulfuración semejante, para prestarles una superficie de color gris negruzco; el producto se llama, aunque con impropiedad, plata oxidada. El óxido de plata propiamente dicho sólo se puede obtener por la vía química, precipitándolo de una disolución de plata en ácido nítrico, por medio de un álcali, en forma de un

polvo gris pardusco. La plata pura en estado fundido resiste la oxidación, y su afinidad con el oxígeno es tan pequeña, que el óxido de plata obtenido por precipitación se convierte en metal cuando se caldea hasta el rojo, y aun se desprende de su oxígeno, tomando la forma metálica, cuando se expone durante largo tiempo á la acción de la luz del sol. Sin embargo, existe entre la plata y el oxígeno una relación singular: en estado fundido, esto es, á una temperatura de 1.000 grados próximamente, la plata absorbe una cantidad de oxígeno equivalente á cerca de 22 veces su propio volumen, sin que se verifique combinación alguna, y al solidificarse lo expele violentamente, dando lugar al fenómeno llamado *galleo*, el cual ofrece un espectáculo singular é interesante, sobre todo cuando se trata de una partida considerable de plata, de 20 á 25 kilogramos, por ejemplo; si esta masa, después de haber estado en fusión durante algún tiempo, se deja enfriar, la costra sólida y convexa que se forma primero á la superficie empieza pronto á agrietarse, dando paso á cierta cantidad de plata muy líquida, que rebosa y se extiende por la superficie en una capa delgada, lo que de seguro sólo obedece á una expansión del metal, debida á una cristalización interior. Pero pronto empieza el desarrollo del gas: la costra se eleva en diferentes puntos, formando como pequeñas prominencias ó ampollas, que estallan en forma de figuras arboriformes, dejando escapar corrientes de oxígeno, y dejando ver al interior la plata líquida en ebullición violenta, que á veces rebosa también cual lava de un volcán; á medida que aumenta el espesor de la costra sólida, las ampollas adquieren mayor altura y revientan con violencia, lanzando alrededor gotitas de plata líquida. Semejante fenómeno sólo se observa con la plata fina, pues la que contiene plomo, cobre ú oro, aun en cantidades muy pequeñas, no absorbe oxígeno.

El mejor medio de disolver la plata es el ácido nítrico; pero se disuelve también en ácido sulfúrico concentrado y caliente. Si á la disolución se añade ácido clorhídrico, sal común ó cualquier otro cloruro, resulta un precipitado de cloruro de plata en forma de copos blancos y caseosos. En esta reacción se fundan los mejores ensayos de la plata: se disuelve en ácido nítrico una cantidad determinada del metal impuro, y se observa cuánta disolución de sal común de fuerza conocida es necesario añadir para precipitar toda la plata al estado de cloruro. Por la evaporación de la disolución de plata en ácido nítrico se obtiene la llamada *piedra infernal,* ó nitrato de plata, que se funde generalmente á una temperatura baja y se vierte en pequeños moldes para obtenerlo en forma de varillas. Esta sal, que antes sólo se empleaba en medicina para teñir el pelo y otros usos por el estilo, ha adquirido una importancia mucho mayor y una aplicación mucho más extensa desde la invención de la fotografía; dado el sin número de fotografías de todos tamaños que se producen actualmente en todas partes del mundo civilizado, sería interesante calcular cuánta plata se pone al año en circulación en esta forma artística.

La plata se presta muy bien á formar aleaciones con el oro y con el cobre; y aparte de excepciones insignificantes, éstas son las únicas que encuentran aplicación técnica. La plata comúnmente empleada en la industria siempre es una aleación con cobre, metal que, como ya dijimos, presta dureza á la plata sin perjudicar demasiado su maleabilidad, pues aun la plata más ó menos cobriza se deja laminar y estirar; sólo tratándose de la producción del alambre más fino y de los trabajos abollados ó repujados, es preciso emplear una plata, si no enteramente pura, al menos con una proporción mínima de cobre. La plata aleada es más fusible y toma mejor la forma de los moldes que la plata pura. La aleación con cobre, aparte de la dureza que le es propia, se torna todavía mucho más dura cuando se amartilla, lamina, etc., pudiéndose ablandar de nuevo caldeándola. Para que la aleación de cobre y plata resulte perfectamente homogénea, se le agrega á veces una porción muy pequeña de cinc.

Alambre de plata.—Lo que hemos dicho anteriormente respecto de la fabricación de los alambres de hierro, cobre, etc., es aplicable en general á la del alambre de los metales preciosos, salvo que éste suele ser muchísimo más fino que aquéllos. La plata fina se deja estirar hasta una delgadez casi increíble, á cuyo efecto tiene que pasar á veces por más de 150 agujeros del casquete, de diámetro cada vez más reducido. Lo que suele llamarse alambre de oro legítimo, es casi siempre alambre de plata, revestido con una capa más ó menos gruesa de oro; este metal por sí no ofrecería la resistencia suficiente, y también resultaría demasiado caro. El alambre de plata dorada se fabrica del modo siguiente: después de pasar algunas veces por el casquete del torno de estirar, la varilla de plata con que se empieza, se lima ligeramente en el sentido de su longitud con una lima fina, á fin de producir una superficie un poco áspera y asegurar mejor la adhesión del oro, el cual se emplea en forma de hojas ó panes de ocho á nueve centímetros en cuadro y un dieciseisavo de milímetro de espesor, que se extienden sobre una plancha lisa de cobre; la varilla de plata, previamente caldeada, se hace rodar sobre los panes de oro, quedando éstos adheridos á ella. Entonces se arrolla en torno de la varilla una tira de lienzo, y se calienta casi hasta la incandescencia, hecho lo cual se pulimenta con un bruñidor, afianzando así de un modo fuerte los dos metales entre sí. Si se desea obtener una capa de oro relativamente gruesa, se arrollan sucesivamente dos, tres ó más panes de oro uno sobre otro. La varilla pulimentada se pasa entonces, después de untada con cera, por el casquete del torno de estirar, y á medida que se va alargando y adelgazando la plata, sucede lo propio con su revestimiento de oro, sin que pueda observarse en éste ninguna solución de continuidad, aun en el alambre más fino.

De la misma manera el oro y la plata prestan, digámoslo así, al cobre un traje de ceremonia, de modo que un alambre que en su interior es enteramente de cobre, aparece al exterior cual si fuera de plata ó de oro. Semejante

alambre se llama *leonés* ó *lionés*. Como ya indicamos en el capítulo correspondiente, las varillas de cobre reciben primero un revestimiento de plata ú oro antes de estirarse. Los alambres plateados y dorados, legítimos como ilegítimos, se pasan también por el laminador, á fin de producir cintas muy finas que se emplean, como aquéllos, en la pasamanería y el bordado; por un procedimiento análogo, es decir, pasando semejantes alambres por un tubito de acero con una boca cortante y que se hace girar rápidamente en un torno, se produce en la superficie de aquéllos una impresión ó dibujo, que les presta el aspecto de finos cordelitos ó trenzas.

Plateado.—La extraordinaria ductilidad de los metales preciosos es lo que hace posible su aplicación al revestimiento, en capas delgadas, no sólo de otros metales, sino también de las materias sólidas más diversas, como madera, marfil, cuero, etc., prestándoles un aspecto más rico, y en muchos casos también una durabilidad mayor. Semejante procedimiento es lo que, en general, se llama *plateado* ó *dorado*, según que se emplee la plata ó el oro. Para revestir materias ligeras, como piedra, madera, papel, cuero, etc., dichos metales se emplean en forma de hojitas sumamente delgadas, ó *panes*, de cuya producción, que constituye el trabajo del batidor, hablaremos más adelante al tratar del oro; en cambio, para formar revestimientos semejantes, duraderos, en la superficie de metales comunes y sus aleaciones, como cobre, latón, metal blanco, etc., se aplica la plata ó el oro por el procedimiento llamado *plaqueado* (en francés, *plaquer* ó *doubler)*.

Con arreglo á este procedimiento, que se practica ya hace más de un siglo, especialmente en Francia, las planchas ó chapas de cobre, tales como se producen en el laminador, y que se destinan á la fabricación de diversos objetos de utilidad, se revisten con hojas ó chapas de plata ú oro, delgadas sí, pero mucho más gruesas que los panes referidos, procediendo del modo siguiente: la plancha de cobre de cuyo plaqueado se trata, se limpia perfectamente por medio de un raspador, y se cubre con una chapa de plata del grueso de una hoja de papel, previamente limpia también; por regla general, antes de sentar esta chapa se humedece el cobre con una disolución de nitrato de plata, que se descompone depositando en la superficie una capa sumamente tenue de plata pura, que favorece luego la unión de los dos metales, ó sea el plaqueado. Tratándose del plaqueado con oro, claro está que se emplea chapa de este metal, y en lugar de la disolución de nitrato de plata, otra de cloruro de oro. La chapa ya referida de plata (ó de oro) se dobla en torno de los bordes de la plancha de cobre, se sujetan ambas por medio de un alambre de hierro, y se somete el conjunto á un caldeo al rojo vivo en una lumbre de carbón, pasando continuamente y con fuerza sobre la plata un bruñidor de hierro, á fin de expulsar el aire de entre las dos chapas y promover el contacto más íntimo de los dos metales. La plancha incandescente se saca entonces del fuego y pasa en seguida entre los

cilindros de un laminador, que se van juntando cada vez un poquito, á fin de asegurar por completo dicho contacto íntimo. De este modo, pues, y no más que por el contacto, es decir, sin fusión ni soldadura de ninguna clase, los dos metales se adhieren tan fuertemente entre sí, que al laminarse después en frío para obtener planchas ó chapas más delgadas, ambos se estiran uniformemente sin separarse. La capa de plata constituye de $\frac{1}{40}$ á $\frac{1}{10}$ del peso total de la plancha plaqueada; aun en el primer caso, es decir, cuando la plata sólo compone la cuadragésima parte del conjunto, y después de reducir, por laminación, el grueso de la plancha á sólo la quinta parte de un milímetro, la capa superficial del metal precioso, con tener sólo $\frac{1}{200}$ de milímetro de espesor, es siempre mucho más gruesa que la que se produce en general por el procedimiento del plateado propiamente dicho, que se verifica galvánicamente.

Se plaquean también objetos de hierro, como hebillas, estribos, bocados, cerrojos y tiradores de puertas, cubiertos de mesa, etc., en los que se quiere combinar la duración con la elegancia. Dichos objetos se estañan primero, se envuelven luego con hojas de plata del grueso del papel, cuya adhesión se asegura por presión, golpe y frotamiento, y después de arrollar en torno de ellos un alambre de hierro, se caldean en un fuego de carbón; el estaño se funde, estableciendo el contacto más perfecto entre el objeto y su revestimiento, y entonces se pulimenta la superficie con el bruñidor. Tratándose de objetos sujetos en sus diferentes puntos á un desgaste desigual, el procedimiento descrito ofrece el inconveniente de que la plata, tan cara, resulta con el mismo espesor en los puntos más resguardados que en los más expuestos, lo que equivale á un gasto inútil; por esto se prefiere generalmente el plateado galvánico, por cuyo medio no sólo se puede determinar de antemano la cantidad exacta de plata que conviene depositar sobre los objetos, sino repartir la misma desigualmente, reforzando la capa en los puntos más sujetos al desgaste y manteniendo la más delgada en los restantes.

Como la galvanoplastia en general, y el plateado y dorado galvánicos en particular, ó sea la galvanostegia, han sido objeto de una exposición detallada en el tomo II de esta obra, no necesitamos entrar aquí en pormenores acerca de su teoría ni de los procedimientos técnicos, y nos limitaremos, por lo tanto, á algunas consideraciones prácticas.

La importante industria del plateado galvánico de objetos de metal data del año 1840, cuando el conocido platero inglés *Elkington*, partiendo de las observaciones científicas de Jacobi, Bunsen, Boettger y otros, montó en Birmingham la gran fábrica de objetos plateados que todavía existe, después de obtener el correspondiente privilegio de invención. Poco después *Christofle*, jefe á la sazón de una de las principales platerías de París y del mundo, adquirió de Elkington, mediante el pago de medio millón de francos, el derecho de fabricación en el

continente, y desde entonces los géneros plateados que llevan su nombre ó marca han alcanzado una fama universal, á pesar de la competencia que no tardó en desarrollarse, y en la que tomó parte, con notorio éxito en nuestro país, el industrial madrileño *Meneses*. En 1847 Christofle vendió objetos plateados, principalmente cubiertos de mesa, por valor de dos millones de francos, suma que se elevó á seis millones en 1859, en cuyo año estableció una sucursal en Carlsruhe (Baden). Entre ésta y la fábrica parisiense se emplean anualmente en el plateado galvánico 6.000 kilogramos de plata, habiendo gastado 169.000 desde 1842 á 1881. Partiendo como base del espesor medio de la capa de plata depositada sobre los objetos, se necesitan tres gramos de plata para cubrir un decímetro cuadrado; de modo que dichos 169.000 kilogramos representan una superficie plateada de 563.000 metros cuadrados, ó sean más de 56 hectáreas. Según nuestras noticias, empléanse anualmente en el plateado en las diferentes fábricas de París, unos 25.000 kilogramos de plata, y en Europa y América juntas, el gasto anual se calcula en 125.000 kilogramos.

Merced á la invención del plateado galvánico y al desarrollo de la industria por los Elkington, Christofle, Meneses y otros, los cubiertos plateados se hallan hoy al alcance de un sinnúmero de personas que nunca se hubieran podido permitir el lujo de comer con plata. Esto es tanto más de agradecer, cuanto que, aparte del mejor aspecto de semejantes cubiertos, la plata es precisamente el metal más á propósito para utensilios de mesa, desde el punto de vista higiénico, pues las sustancias alimenticias no le atacan. Los objetos plateados galvánicamente son tan hermosos como los de plata maciza, y aun más en muchos casos, pues su superficie se compone de la plata más pura, mientras que el metal de los macizos contiene frecuentemente una cantidad muy apreciable de cobre. En cuanto á solidez, los objetos plateados superan desde luego á los de plata, porque la aleación que constituye su cuerpo es mucho más resistente que el metal precioso. Por último, el precio de los primeros es, naturalmente, mucho más módico que el de los segundos, adaptándose además, digámoslo así, á todos los bolsillos, puesto que varía en más ó en menos según el espesor de la capa de plata depositada, la cual puede graduarse con la mayor facilidad, pues durante el plateado los objetos se hallan suspendidos á una balanza de construcción especial, de tal suerte, que en el momento en que la capa de plata ha adquirido el grueso deseado, ó, en otros términos, tan luego como se haya depositado una cantidad determinada de plata, la operación se interrumpe automáticamente. Los objetos que tienen una capa más delgada de plata se venden más baratos que los que la tienen relativamente gruesa, y cada clase lleva estampada la marca respectiva. Ya dijimos más arriba que el plateado galvánico se verifica de manera que la plata se deposita más espesamente en aquellos puntos de los objetos que se hallan más expuestos al desgaste. La aleación que constituye el cuerpo ó núcleo de los objetos plateados, es casi

siempre el llamado metal blanco, de que hablamos al tratar del níquel; al principio se empleó el cobre, el latón y aleaciones análogas, que han caído completamente en desuso.

Queda por referir un tercer procedimiento, y es el plateado á fuego, según el cual se extiende sobre la superficie metálica lisa y limpia que se trata de platear, una amalgama de plata, y se expulsa el azogue que ésta contiene por medio de un caldeo, durante el cual se adhiere firmemente la plata á dicha superficie y no hay más que darle el oportuno brillo por medio del bruñidor. En lugar de la amalgama ya preparada, se pueden emplear diferentes mezclas que se convierten en amalgama al tiempo de extenderlas sobre el metal por platear; como se comprende, semejantes mezclas deben componerse esencialmente de plata metálica en estado de división por extremo fina, ó bien de una sal de plata y de otra de mercurio (generalmente el nitrato): los demás componentes pueden ser sal común, sal amoniaco, ó bien vitriolo de cinc, cuando, en lugar de plata metálica, se emplea el cloruro de este metal. Al tratar del oro hablaremos con detenimiento del dorado á fuego, que tiene una importancia mucho más considerable que el plateado; y como en uno y otro el procedimiento es esencialmente idéntico, podemos limitarnos en este lugar á lo expuesto.

El plateado que se obtiene por el mero frotamiento de una superficie cobriza con una disolución de plata, se funda en una reacción química bien conocida, según la cual el cobre desaloja fácilmente la plata de sus combinaciones. Para este procedimiento existe un sinnúmero de reglas y recetas; mas como por su medio sólo se logra un plateado muy flojo, su aplicación, á pesar de su baratura, se halla muy limitada.

ELABORACIÓN DE LOS METALES PRECIOSOS

Tiene lugar en los talleres del platero y del orífice. El material se funde primero en crisoles de grafito, y con arreglo á reglas determinadas, la plata se alea con cobre y el oro generalmente con él y con plata. Los metales se moldean entonces en forma de barras ó planchas, y como se fabrican rara vez objetos de plata ú oro fundido, éstas se convierten en su mayor parte en chapa y alambre, con los que dichos artífices llevan entonces á cabo sus diversas obras.

Los objetos más macizos, como fuentes, platos, cucharas y tenedores, se formaban antes amartillando en frío las barras ó planchas fundidas; pero hoy se emplean generalmente al efecto las planchas laminadas, tanto para ganar tiempo, como porque en nuestros días aun los objetos de lujo se quieren baratos, y se hacen, por lo mismo, más delgados y ligeros que en otros tiempos. Los

vasos, y en general los objetos de mayor tamaño, se forman doblando y prensando las planchas y elaborándolas con martillos de diversas formas y materiales, en parte de madera y cuerno; muchos objetos redondos, como copas, se moldean por presión en el torno sobre los modelos correspondientes, mientras que otros se producen con martillos especiales y punzones, por el procedimiento llamado abollado ó repujado, que se funda en la blandura y ductilidad extraordinarias del oro y de la plata. En esta operación se emplea como yunque una esfera maciza de piedra ó hierro, que puede girar dentro de un aro y cuya parte superior se reviste con una capa de betún, pues el metal que se trata de abollar necesita, como es consiguiente, de un apoyo de cierta blandura. Los objetos huecos en cuya superficie se quieren producir adornos repujados, suelen rellenarse por completo con betún fundido, en cuyo caso el trabajo sólo puede verificarse desde el exterior: dibújanse en la superficie los adornos, y entonces se abolla por medio de martillos, punzones, etc., todos los espacios intermedios, á fin de dejar los adornos en relieve; semejante trabajo supone, naturalmente, mucha destreza, no menos que gusto artístico, de parte de quien lo ejecuta. También se repuja con frecuencia desde la superficie interna del objeto hacia afuera, empleando herramientas análogas á las citadas, y también pequeños yunques de diversas formas; pero este arte del abollado se halla en decadencia desde que se han desarrollado los procedimientos, mucho más expeditos y baratos, de la estampación y la galvanoplastia.

Por lo demás, la elaboración de los metales preciosos no difiere en lo fundamental de la de otros metales más comunes, repitiéndose los mismos trabajos de fusión, moldeado, limado, cincelado, etc., con la única diferencia de que el valor más considerable del oro y de la plata, y el carácter generalmente artístico de las obras en cuestión, suponen mayor cuidado y esmero. Para unir diferentes piezas entre sí se emplea la soldadura, que tratándose de la plata consiste en una aleación de este metal con más ó menos cobre ó latón, y tratándose del oro, se compone de éste, aleado con plata y cobre. En cuanto á los diferentes métodos que se siguen en semejantes trabajos, tendremos ocasión de considerarlos en el tomo VI de esta obra, en el que dedicamos un capítulo á la bisutería.

El pulimento de los objetos de plata se verifica mediante el empleo sucesivo de la piedra pómez, las piedras finas de amolar, el carbón y el agua. En este estado, y tratándose de plata que contiene una proporción relativamente grande de cobre, se apela al procedimiento, ya referido, de la cocción con ácido sulfúrico diluído, para producir una superficie de plata más pura, hecho lo cual, y en atención á la finura de semejante capa, no cabe ya el uso de materias pulverulentas para sacar el brillo definitivo, sino que éste ha de producirse por medio de bruñidores de acero ó de ágata. En cambio la plata más pura, esto es, la que contiene poco cobre, se puede pulimentar desde luego y hasta el remate con la tripolita en polvo y aceite primero, y después con el óxido de hierro conocido

en el comercio con los nombres de rojo inglés, de Berlín, de Persia, etc., mezclado con espíritu de vino; materias que se aplican sobre el metal, que se frota con ellas por medio de una gamuza, obteniéndose de esta manera un brillo mucho más hermoso que con el bruñidor.

En los talleres de los pintores y orífices se produce, como es consiguiente, cierta cantidad de desperdicios en forma de limaduras, recortes, etc., que se cuida mucho de no tirar, reuniéndolos, al contrario, con todas las precauciones imaginables, en unión con cuantas materias puedan contener algún residuo de los metales preciosos, que comprenden, no sólo el polvo que se recoge en las mesas de trabajo y en el piso del taller, así como el barro fino que resulta del pulimento, sino también los restos de los crisoles usados en la fusión de la plata y del oro, los trapos y las gamuzas inservibles empleados en diversas operaciones, y hasta el hollín de los hornos y sus chimeneas. Semejantes materias, más ó menos auríferas ó argentíferas, se benefician hoy en establecimientos especiales, constituyendo la base de un negocio aparte, si bien en algunos casos las aprovechan todavía los mismos plateros: la mezcla se caldea primero, á fin de destruir todas las partes combustibles; luego se separan por levigación las partes terrosas, y, por último, se obtienen el oro y la plata por amalgamación ó por fusión; si ambos metales estaban contenidos en los residuos, hay que proceder, en último término, á su separación por la vía húmeda.

FABRICACIÓN DE LA MONEDA

La historia de la moneda es sumamente antigua, si tomamos el concepto en su acepción más lata, entendiendo por «moneda» cualquier pedazo de metal provisto de una señal estampada, indicativa de su valor. Es verdad que no se censerva ninguna de las piezas de oro que, según el relato bíblico, dió Abimelec á Sara, ni existe tampoco ejemplar alguno del dinero que repartió Abraham entre los hijos de Efron, ó de los cien *ketschitas* que Jacob entregó á los hijos de Hemor, y que llevaban estampada la figura de un cordero. Mas aun cuando no tenemos otros datos que los contenidos en la tradición escrita, son éstos suficientes para demostrar al menos la antigüedad de una costumbre que á la fuerza había de desarrollarse desde el momento en que arraigaron en la humanidad los conceptos de propiedad y de valor, y desde que ya no respondían á las necesidades del cambio entre los hombres y los pueblos, los productos naturáles que en un principio se emplearon.

Refiérese que los chinos empleaban monedas de metal dos mil años antes de nuestra Era; pero ¡qué no se hacía en China en aquellos remotos tiempos, si hemos de creer todas sus tradiciones! Pero los pueblos de las costas mediterráneas, cuya civilización tiene su origen en el Asia Menor, deben probablemen-

mente su moneda metálica á los fenicios, si bien ésta consistía en un principio en meras barras ó anillos sin acuñar. Las monedas más antiguas que se encuentran en la célebre colección de París—ó se encontraban al menos antes de las terribles hazañas de la *Commune*—fueron acuñadas por ciertos Estados griegos; pero es probable que no se debe á éstos la invención del arte de acuñar, pues á pesar de los medios tan primitivos (fig. 117) de que se disponía entonces, dichas monedas revelan un mérito artístico que parece incompatible con la infancia de un arte nuevo. Por otra parte, semejante perfección es tanto más de

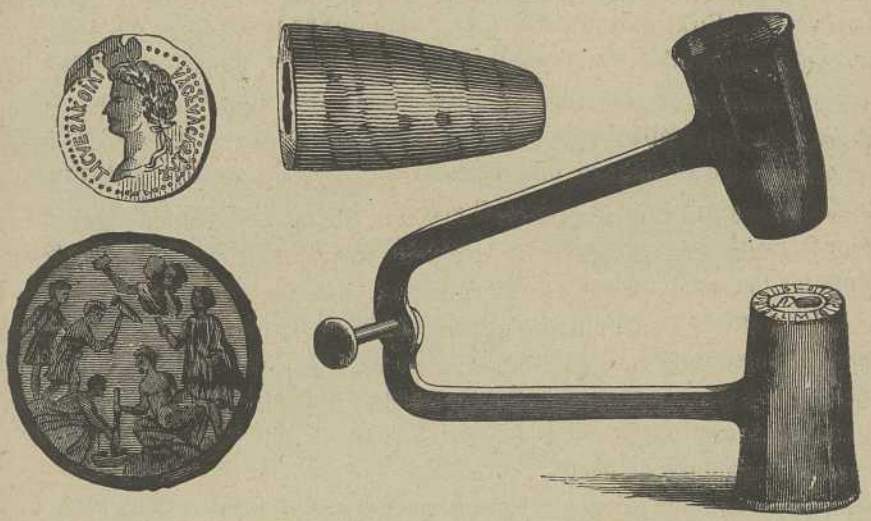


FIG. 117.—Antiguos troqueles y monedas hallados en Antioquía (Siria).

extrañar, cuanto que en épocas posteriores, y en condiciones bastante más ventajosas, desapareció para no volver hasta mucho más tarde.

Los diferentes Estados griegos que entonces, es decir, en tiempos de Solón, eran muy numerosos, tenían signos á manera de escudos de armas, mediante los cuales se distinguían sus monedas; las de Egina, por ejemplo, llevaban la figura de una tortuga (fig. 118, 4); las de Rodas la de una rosa; las de Atenas, una corona de olivo. Estas enseñas se hallan estampadas en una cara de la moneda, que resulta generalmente un poco cóncava; la cara opuesta de las monedas más antiguas no lleva cuño alguno, y sí sólo impresiones casuales, debidas á irregularidades ó asperezas de la parte inferior del sello ó troquel, que constituía una base ligeramente cóncava, sobre la que se colocaban los pedazos de metal al tiempo de acuñarlos. Empero, andando el tiempo, comprendieron los artistas que también el reverso de las monedas era susceptible de algún adorno, y entonces grabaron en hueco, en la base del troquel, una figura que era generalmente la imagen de la diosa protectora de la ciudad, Minerva ó Ceres, por ejemplo, que se destacaba en relieve en las monedas mismas. Este progreso y su

desarrollo gradual pueden observarse más especialmente en las antiguas monedas de Siracusa, que al principio ostentaban en el anverso el atributo ó las armas de la ciudad, esto es, una cuadriga ó tiro de cuatro caballos, divinamente grabado, y en el reverso tan sólo una prominencia cuadrada, debida á una depresión correspondiente y casual en la base del troquel; pero las monedas que se acuñaron algo más tarde llevan, en medio de aquel cuadro del reverso, una pequeña cabeza de poco relieve y de carácter casi egipcio, pero tan mal ejecutada, que no se puede mirar como obra del mismo artista que grabó la cuadriga del anverso, sino de otro mucho menos experimentado; pero más adelante acuñáronse en Siracusa monedas que revelan que se ponía cada vez mayor cuidado en el adorno del reverso, acabando por llenar la imagen correspondiente toda la superficie; las monedas más perfectas de esta ciudad ostentan, por último, un cuño tan acabado en una cara como en la otra, viéndose en el anverso la cuadriga y en el reverso una hermosa cabeza de Proserpina. Estas monedas son de las mejores que produjera el arte antiguo, y no es extraño que los grabadores de cuños de Siracusa se hiciesen célebres, descollando más especialmente los llamados *Frenetos* y *Simon*.

La costumbre de estampar en las monedas el nombre ó busto del jefe del Estado tuvo su origen, al parecer, en Asia (fig. 118, 3). En tiempos de Artajerjes tenían las monedas una figura regia arrodillada en el acto de arrojar una flecha; y esto explica el dicho de Agesilao, de que había sido vencido por treinta mil tiradores de flecha, refiriéndose á las 30.000 monedas de oro que los persas pagaron á los griegos coligados para que le delataran. Más tarde apareció en las monedas la cabeza del rey, y los macedonios fueron los primeros en estampar en las suyas el nombre de su rey. Durante los últimos años del reinado de Felipe, y merced al descubrimiento de nuevos criaderos de oro y plata, se acuñaron monedas de estos metales en gran cantidad, estampando en ellas el nombre de dicho soberano.

En tiempos de Servio Tulio aprendieron los romanos de los griegos á acuñar moneda. La moneda de oro romana más antigua que conocemos corresponde al año 206, y la de plata al año 269 antes de nuestra Era. Pero además del oro y la plata se empleaba en la fabricación de la moneda el bronce, desempeñando este material, al principio, un papel importante, pues los romanos se hallaban todavía muy atrasados en el arte de acuñar, cuando ya los griegos lo habían perfeccionado. Después de servirse en sus cambios de barras y trozos informes de metal, el primer adelanto consistió en moldear éste en forma de planchas, á las que daban la figura de una vaca, un gallo, etc.; estas piezas, que se llamaban *aes grave*, tenían un peso constante equivalente á medio kilogramo, y eran, por lo mismo, sumamente incómodas; más tarde, y para remediar inconveniente tan grave, se puso en circulación el *as* redondo (fig. 118, 6), que era ya bastante más ligero; pero lo que acabó por obligar á los romanos á adoptar una

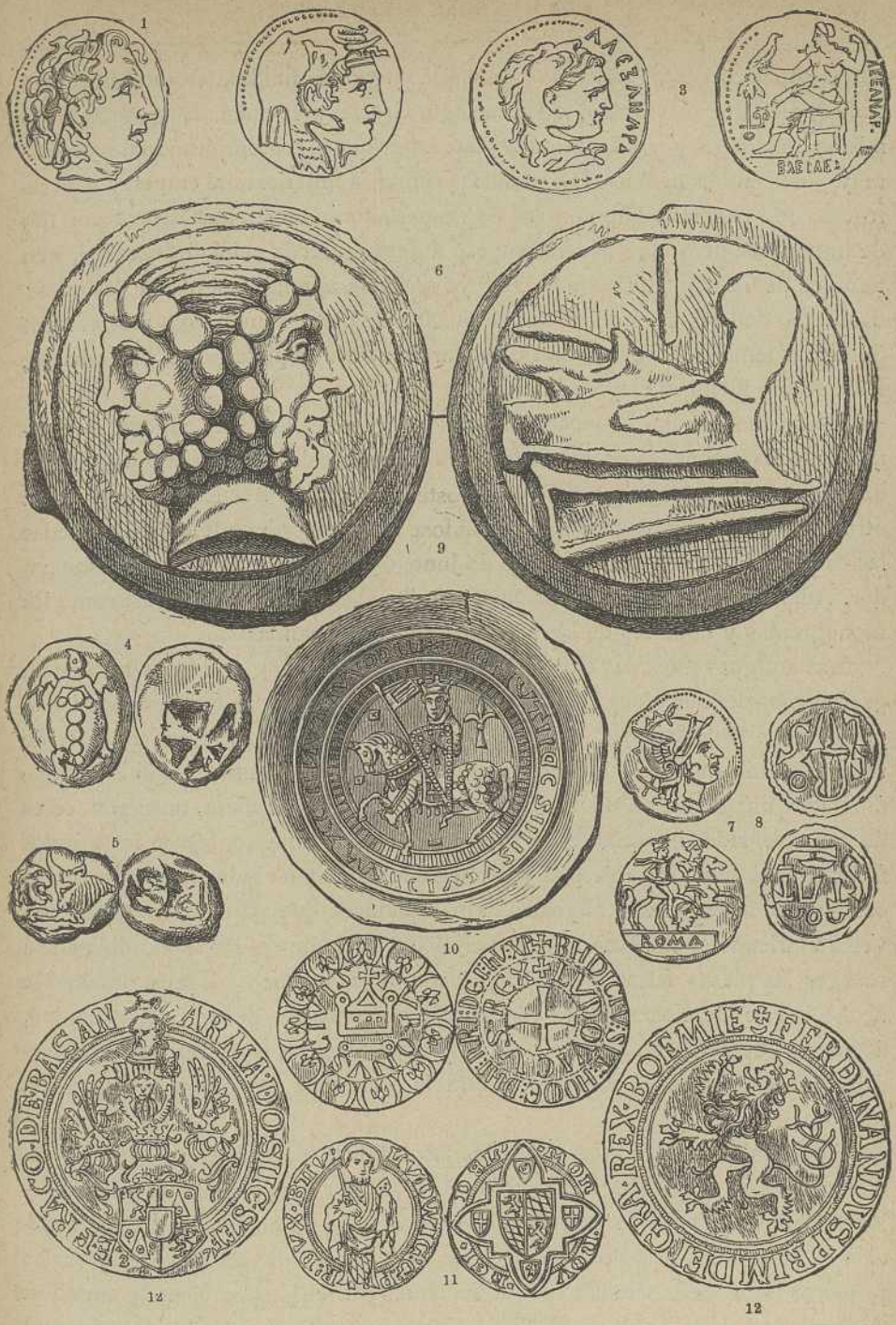


FIG. 118.—Monedas antiguas de diferentes épocas.

1. Moneda con la cabeza de Alejandro Magno, acuñada bajo Lisimaco de Tracia.—2. Alejandro como conquistador de la India, en una moneda del rey Ptolemeo I.—3. Anverso y reverso de una moneda acuñada en una ciudad del Asia Menor.—4. Moneda de plata de Egina.—5. Moneda de oro de Lidia.—6. *As* romano.—7. Denar romano de plata del tiempo de la República.—8. *Denar* de plata del tiempo de Carlo-magno.—9 *Bracteato de plata* alemán de fines del siglo XII.—10. *Gros de Tours* (francés) del siglo XIII.—11. *Gulden* de oro bávaro del siglo XIII.—12. *Thaler* de Bohemia (plata) del siglo XVI.

moneda más corriente, así como á acuñarla en vez de fundirla en moldes, fué su tráfico, cada vez más activo, con Cartago, Grecia y España. Los romanos, lo mismo que los griegos, adoptaron la plata antes que el oro, empleando al principio muy puros ambos metales. Las monedas romanas anteriores al emperador Severo eran de metal muy limpio, y las de Vespasiano no tenían más del 0,1 por 100 de impurezas; pero bajo Severo empezó á desmerecer la calidad del metal, y en tiempos de Claudio Gótico (año 268) ya se había aprendido á platear las monedas de bronce por cocción en una disolución de plata, llamándolas *nummi tincti* (monedas teñidas), y se dejaron de acuñar monedas de plata pura. Sin embargo, Diocleciano mejoró la ley de la moneda.

Lo mismo que los pequeños Estados griegos, las familias poderosas romanas acuñaban monedas propias, mostrándose muy celosas de su privilegio. Unas imitaban á las griegas, y sus piezas ostentaban con frecuencia la cuadriga; otras inventaban cuños nuevos, repitiéndose más especialmente en sus monedas las cabezas de Apolo, de Minerva ó de Juno, ó bien la imagen de algún emperador. Además, estas monedas particulares llevaban inscripciones, así como los monogramas y nombres de las personas que las hacían acuñar.

Las antiguas monedas eran de forma circular ó oval, y con frecuencia de un grueso considerable; con los progresos del arte de acuñar fué desapareciendo poco á poco la concavidad original, y los cuños se hicieron, generalmente, de relieve. También hubo falsificaciones en los tiempos antiguos, y bajo Aureliano dió lugar una de ellas á un motín, en el que, según se refiere, murieron cerca de 7.000 soldados imperiales; los promovedores del tumulto fueron los mismos falsificadores que, descubiertos y perseguidos, querían eludir de este modo el castigo que les esperaba. Merced á la mala moneda que circulaba por entonces, venía sufriendo el comercio graves perjuicios, y el emperador se vió obligado á recoger las piezas falsas y sustituirlas con otras legítimas. Tácito prohibió la acuñación de aleaciones de oro con plata y de cobre con plomo; y Constantino, á quien se debieron notables y radicales reformas en las leyes relativas al monedaje, promulgó una, el año 309, contra la costumbre de cortar ó cercenar la moneda.

Aparte de Roma, varias ciudades importantes del Imperio occidental tenían sus casas ó fábricas de moneda, dirigidas por funcionarios del Estado—los llamados *procuratores monetarum*,—encargados de cuidar de que la acuñación se hiciera con arreglo á las leyes; y las monedas de este período llevan las primeras letras de la ciudad en que se acuñaron: ALE., por ejemplo, significa Alejandría; CAR., KAR. ó KART., Cartago; LUG. ó LUGD. (Lugdunum) Lyon; TR., Tréveris; ROM., ROMA., URB. ROM., Roma, etc. (fig. 118.) Otras iniciales que se encuentran en dichas monedas se refieren á determinadas series de la acuñación, cual sucede hoy con los billetes de Banco; en una palabra, la variedad de las monedas antiguas es muy grande, como lo demuestran las piezas

que se han conservado hasta nuestros días y figuran en los Museos y colecciones particulares.

Pero á pesar de la buena administración que revelan semejantes pormenores, las monedas romanas, y aun las bizantinas, eran muy imperfectas desde el punto de vista artístico, y durante la decadencia de Grecia, los árabes fueron los primeros en producir monedas verdaderamente hermosas, aunque, por regla general, sólo contenía el cuño la indicación del valor y el nombre del soberano en cuyo reinado se hicieron. En cambio, el arte de acuñar parecía perdido para el Occidente, pues aun el mismo Saint-Eloy, un artífice francés muy célebre y que bajo los reyes Dagoberto y Chlodwig II parece haber dirigido la fabricación de la moneda, sólo produjo cuños imperfectos. Durante los carlovingios las fábricas de moneda estaban sujetas á un tributo, y desde Pipino en adelante los reyes se ocuparon mucho del desarrollo de este ramo de la economía nacional; en el año 844 se promulgó una ley que se refería al valor, la composición y el peso de las monedas, así como también á su falsificación. Por este tiempo empezó la acuñación de monedas alemanas; pues aunque existía ya antes en Tréveris una casa de moneda, sólo puede considerarse como romana. Carlomagno hizo circular nuevas monedas de plata en el reino carlovingio; tales eran los llamados *denares*, con cuño en ambas caras (fig. 118, 8), de los que entraban 240 en una libra de plata fina; en el anverso llevaban el nombre ó monograma del rey, y en el reverso el nombre del lugar de la acuñación y la figura ó contorno tosco de un edificio á manera de iglesia. Desde mediados del siglo XII circuló en la Alemania central y septentrional, así como en Escandinavia, el llamado *bracteat* (fig. 120, 9), que era una moneda de plata bastante grande, pero acuñada sólo en una cara. También en Francia, y en vista de haber desmejorado mucho los denares, se había empezado á acuñar monedas más pesadas, las llamadas *nummi grossi*, que por haberse fabricado primero en Tours se llamaron *grossi turenenses* (fig. 118, 10). Pero debemos interrumpir aquí estos apuntes históricos para volver á nuestro tema, ó sea la aplicación de los metales preciosos á la fabricación de la moneda.

El oro y la plata por sí, esto es, sin labrar, hacen las veces de dinero propiamente dicho en el comercio universal; pues cuando leemos en los periódicos que tal ó cual vapor, procedente de América, Australia, la India, etc., y arribado á un puerto europeo, ha traído cierta cantidad en dinero efectivo, no quiere decir esto precisamente que se trata de moneda acuñada, sino que también puede referirse á oro ó plata en barras ó lingotes, polvo ó pepitas, etc. Los metales preciosos se han adoptado como medidas de valores, y su acuñación sólo obedece á la conveniencia y comodidad que resulta de la división uniforme, y á evitar el tener que pesarlos y ensayarlos á cada paso. En Inglaterra, semejante moneda de plata y oro sin acuñar, es decir los lingotes, pepitas, etc., que constituyen medios legítimos de cambio entre apartadas regiones del globo, se

llama *bullion*, término comercial que han adoptado los alemanes; por extensión se aplica también á las monedas extranjeras, esto es, no europeas, que suelen tomarse al peso sin contarlas. La plata procedente de tierras lejanas y que por las vías comerciales se presenta en nuestros mercados, tiene formas más ó menos distintas de las usuales en los establecimientos metalúrgicos europeos, como indican las figuras 119, 120 y 121. El Gobierno ruso trató un tiempo de introducir en el comercio el platino como metal de moneda; pero después de algunos ensayos tuvo que desistir de su propósito. La producción de platino es bastante reducida, y el metal es tan indispensable en los laboratorios químicos y algunos ramos de la industria química, que su adopción para la moneda hubiera originado mayores perjuicios que beneficios. Además, las monedas de platino, por grande que sea su valor intrínseco, carecen del buen aspecto necesario para darles estima á los ojos del público y evitar desconfianzas.

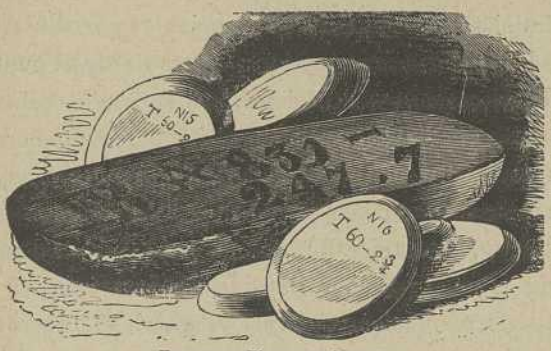


FIG. 119.—Plata americana.

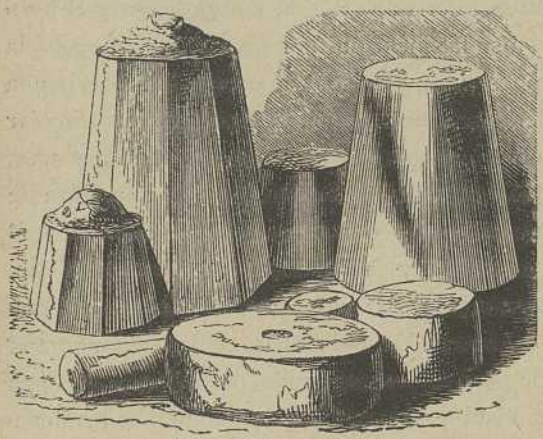


FIG. 120.—Plata americana.

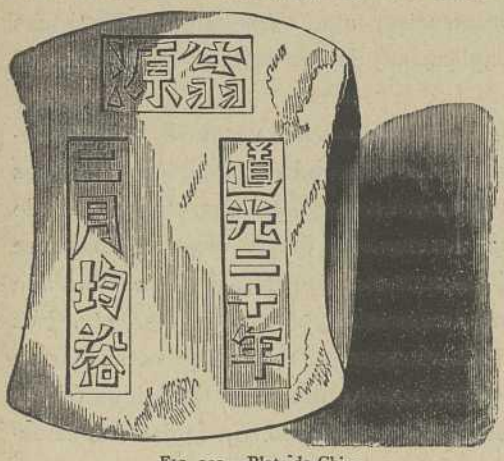


FIG. 121.—Plata de China.

Sabido es que en la fabricación de monedas de oro y plata nunca se emplean estos metales en estado de pureza, sino que se alean con cierta cantidad de cobre á fin de aumentar su dureza y resistencia. En las monedas de plata es siempre la proporción de cobre, por lo común, bastante considerable, con el objeto de que las piezas no resulten demasiado pequeñas; su valor real es, por lo mismo, bastante inferior al nominal. En las monedas de clase superior, cuyo

lor se rige sólo por la cantidad de metal precioso que contienen, sin entrar en el cálculo la pequeña proporción de cobre, tampoco se corresponde el valor real con el nominal; porque fuerza es que el Estado se resarza de los gastos de la fabricación, y también es preciso evitar que las monedas se fundan, para emplear su metal en otros usos, cosa que sólo puede tener cuenta cuando su valor equivale al del oro y plata en lingotes. Hace un siglo que esa diferencia entre el valor real y el nominal, ó sea la depreciación de la moneda, equivalía á veces al 9 por 100; pero hoy, merced á los progresos técnicos en el arte de que tratamos, dicha depreciación resulta cada vez menor, no pasando ya del 6 por 100; los ingleses y los franceses han llegado hasta el extremo de no acuñar más de 3.100 francos con una cantidad de metal que les cuesta 3.091, de modo que sólo ganan nueve francos, ó sea poco más de un 3 por 1.000. En cuanto á la moneda menuda, la depreciación de que hablamos se eleva en ciertos casos al 70 por 100.

El monedaje tiene, pues, por objeto: primero, formar aleaciones de la composición exacta que prescribe la ley; segundo, convertir el metal en piezas de tamaño y peso determinados ó iguales entre sí; y tercero, acuñar dichas piezas de modo que sea muy difícil su imitación ó falsificación. A pesar de los adelantos de la técnica y de todas las precauciones imaginables, no se puede conseguir que todas las piezas de metal destinadas á la acuñación, tengan exactamente la misma composición y estructura interna, porque al fundir y moldear las aleaciones, nunca resulta su masa perfectamente homogénea; por esto se admiten en la fabricación de la moneda ciertos límites, dentro de los que puede variar el peso de las piezas; pero la diferencia entre ellas nunca debe exceder de un corto número de milésimas. Las diversas operaciones á que se somete sucesivamente el metal para su conversión en moneda, son: la fusión de la aleación; su moldeado en barras; la transformación de éstas en planchas; el corte de las piezas redondas que han de acuñarse; el ajuste de las mismas; su limpieza por medio de ácido; el cerrillado, por cuyo medio se produce un cordoncito en los bordes de la moneda, y, por último, la acuñación, que con frecuencia se verifica al mismo tiempo que el cerrillado.

Para poder formar una aleación de composición exactamente determinada, es necesario, ante todo, conocer precisamente la de las materias primeras, las cuales, tratándose de moneda, pueden ser oro y plata en barras, oro y plata viejos, monedas usadas, etc. Es menester, en primer término, determinar con la mayor exactitud, por ensayo ó análisis, la proporción de oro ó plata finos que contienen dichas materias, á fin de poder hacer los cálculos respecto de la nueva aleación. No se encuentran en los mercados oro y plata químicamente puros, pues en los casos más favorables contienen dos milésimas de metales extraños (plata, cobre, plomo, etc.), elevándose con frecuencia la proporción á 5 y hasta 8 milésimas. Las monedas y objetos de oro y plata usados son desde luego alea-

ciones, y no metales puros. En cuanto á las monedas usadas, y tratándose de volver á acuñarlas separadamente, puede resultar necesario añadir alguna plata; pero en los demás casos, lo que precisa averiguar es la cantidad de cobre necesaria para formar la aleación deseada. Si la plata contiene oro, aunque no sea más que dos milésimas, conviene separarlo para aprovecharlo, y se somete al procedimiento correspondiente antes de emplearla en la fabricación de moneda, procedimiento de que hablaremos más adelante al tratar del oro. Para las monedas de oro, la mezcla destinada á la fusión se prepara exactamente con arreglo á la proporción de 900 de oro por 100; pero tratándose de la aleación necesaria para las monedas de plata, se parte de la base de una ley algo inferior, porque después, al someter las piezas de plata á la acción del ácido, con objeto de limpiarlas, siempre se enriquecen un poco por pérdida de cobre. El grado de semejante enriquecimiento no es constante, sino que varía en proporción inversa del tamaño de las piezas, y esto hay que tenerlo en cuenta al preparar las aleaciones; por ejemplo, para que las cinco monedas de plata alemanas, ó sean las piezas de cinco marcos, dos marcos, un marco, 50 y 20 céntimos, resulten con una ley de 900 milésimas, sus aleaciones correspondientes reciben 899,6, 899,5, 899,4, 899,2, 898,6 milésimas de plata respectivamente.

La fusión de los metales que han de formar la aleación de plata se verifica en crisoles de grafito colocados en hornos de tiro, que se calientan con cok ó carbón vegetal; tratándose de grandes partidas de plata, se emplean también grandes crisoles de hierro fundido, en los que caben de 200 á 300 kilogramos. Para fundir el oro se emplean crisoles de arcilla refractaria más pequeños. En todo caso el crisol se caldea primero, y entonces se echan en él las barras de metal, agregando más á medida que procede la fusión. Para preservar el baño metálico contra la influencia oxidante del aire, se cubre con una capa de polvo de carbón. Terminada la fusión, la masa se revuelve bien con varillas de hierro, el maestro encargado toma una prueba, y si de su ensayo resulta que la aleación está en regla, se procede á verterla en moldes de hierro para obtener barras. Las aleaciones correspondientes á las monedas menudas se moldean en arena, porque en los moldes de hierro el cobre resultaría demasiado agrio. Dichas barras tienen de 30 á 60 centímetros de largo, y de 4 á 5 milímetros de grueso, mientras que su ancho equivale casi al diámetro sencillo ó doble de la moneda que se trata de acuñar, porque al pasar las barras por el laminador se estiran poco en ese sentido.

Después de enfriadas, las barras se laminan entre cilindros de acero (fig. 123). Se emplean dos clases de laminadores: en el primero se estiran las barras hasta darles las dimensiones aproximadas, y en el segundo, ó laminador de ajuste, se acaba la obra. Cada barra pasa de veinte á treinta veces por los laminadores, y después de cada dos ó tres veces se caldea en una mufla de hierro (fig. 124), pues de otro modo se endurecerían demasiado y no se estirarían como corresponde

Una vez conseguidos el ancho y el grueso necesarios, las planchas laminadas se cortan á la longitud uniforme de 125 centímetros; en Inglaterra se producen también planchas más anchas que las referidas, que, después de laminadas, se divi-



FIG. 122.—Fusión y moldeado de oro y plata para la moneda.

den en tiras por medio de una sierra circular. Antes de pasar más adelante en la fabricación, las planchas de oro se someten á una prueba para ver si no son



FIG. 123.—Laminación de las planchas de oro y plata.



FIG. 124 —Caldeo de las planchas de oro y plata.

demasiado agrias ó broncas; esto sucede siempre que el oro contenga (aunque sean pequeñísimas) cantidades de otros metales, especialmente antimonio, resultando tan quebradizo, que salta como vidrio con el martillo. En tal caso es pre-

ciso volver á fundirlo, añadiendo cloruro de cobre al baño y mezclándolo bien.

Las planchas ó tiras de metal que después de la laminación tienen un ancho un poco superior al diámetro de la moneda que con ellas se trata de fabricar, ó bien el doble de dicho diámetro, se someten á la acción de otra máquina para dividirlas en piezas redondas ó discos del tamaño correspondiente. Para las monedas más bastas ó inferiores se emplean máquinas sacabocados, movidas á vapor; pero para las monedas finas se usan sacabocados de construcción más exacta (fig. 125), puestos en movimiento por un sistema de palancas ó un volante. Semejantes aparatos consisten esencialmente en un cuerpo que puede moverse en sentido vertical, debidamente guiado, y encuyo extremo inferior se sujeta una pieza circular de acero, cuya cara plana tiene exactamente el diámetro de la moneda que se trata de producir; al bajar dicha pieza, penetra, ajustando en un anillo de acero, de modo que si sobre éste se coloca una plancha de metal, la parte que cubre el hueco del anillo tiene que ceder á la fuerte presión del cuerpo superior; los bordes del anillo y del disco de acero la cortan circularmente como con tijeras, y cae por un orificio reservado en la base del aparato. Tratándose de monedas pequeñas, un operario hábil puede producir con uno de esos sacabocados de 6.000 á 7.000 discos por hora. Las tiras de metal agujereadas que resultan de la operación, y representan próximamente la tercera parte del metal empleado, se vuelven á fundir para formar nuevas planchas.

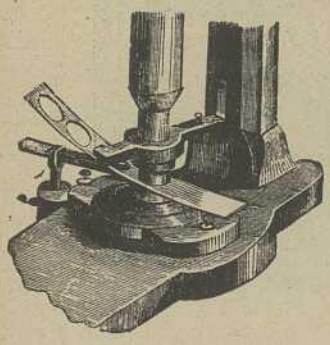


Fig. 125.—Sacabocados para formar discos para la acuñación.

Las piezas redondas ó discos que han de constituir la moneda, después de apartadas las que por cualquier causa resultasen imperfectas, se limpian bien con un trapo, quitando el aceite que las ensucia, y se someten entonces al ajuste, que tiene por objeto uniformar su peso. Por grande que sea el cuidado puesto en la laminación de las planchas, es imposible evitar ligeras desigualdades en su espesor, y por esto resultan siempre pequeñas variaciones en el peso de los discos que de aquellas se sacan; basta, por ejemplo, que el movimiento de los cilindros laminadores no sea perfectamente uniforme, es decir, que giren un momento un poco más despacio ó con más rapidez, para que la plancha que se estira resulte de espesor desigual.

Para el ajuste de los discos destinados á monedas de corto valor se procede al peso en globo, es decir, que se echan juntas en la balanza de ajuste el número de piezas que juntas han de tener el valor de una peseta, por ejemplo; si el peso resulta exacto, se vacía el platillo de la balanza y se llena nuevamente; en caso contrario, se cambian piezas demasiado pesadas por otras más ligeras, hasta equilibrar. Las piezas de más valor, para monedas de plata y sobre todo de oro,

se ajustaban antes á mano en la balanza, una por una; pero merced á los progresos realizados, esta operación, es decir, el pesar por separado cada pieza, se verifica automáticamente en balanzas de precisión de construcción especial (figuras 126 y 127). Semejantes instrumentos se componen esencialmente de un aparato de alimentación, digámoslo así, una serie de pequeñas balanzas yuxtapuestas y un mecanismo de distribución, y su acción obedece al principio siguiente: por la acción de tubos ó ruedas alimentadores, cae un disco sobre el platillo respectivo de cada balanza, hallándose el otro platillo constantemente cargado con el peso legal de la moneda de que se trata. En seguida empieza el juego de las balanzas, quedando pronto en equilibrio, ó desequilibrio, según el peso de los discos; es decir, que la que recibe un disco cabal queda en el fiel, mientras que los discos demasiado ligeros resultan elevados y los demasiado pesados bajan. A estos tres niveles distintos corresponden tres conductos que comunican con otras tantas cajitas ó depósitos, de modo que, al producir el instrumento, después de cada pesada, un ligero sacudimiento, efectúa automáticamente la separación ó distribución de las piezas de diferente valor; los discos son lanzados de los platillos, yendo á parar, por los conductos referidos, los de peso cabal á un depósito, los ligeros á otro y los pesados al tercero. Una de las mejores balanzas de este género es la inventada por *Seiss*, de Atzgersdorf, cerca de Viena, que han adoptado ya muchas casas de moneda; un operario puede vigilar fácilmente dos de

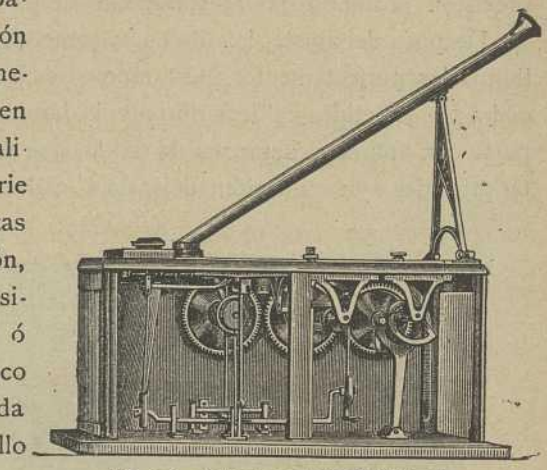


FIG. 126.—Balanza monetaria de Stückrath.

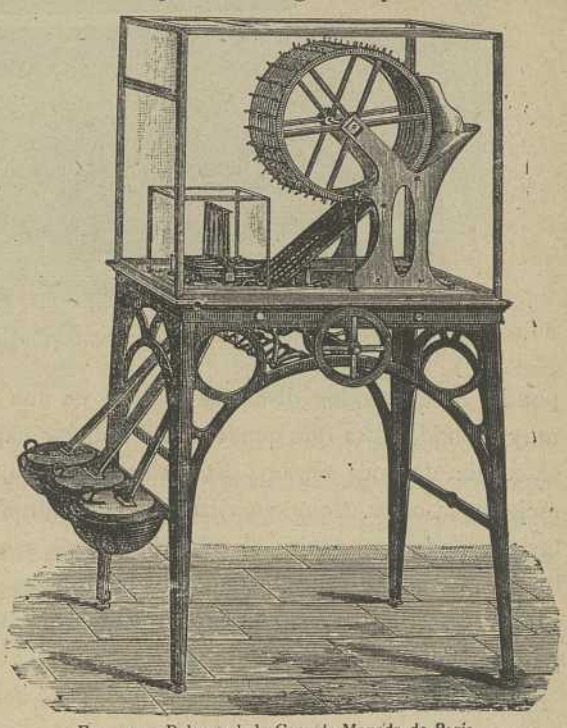


FIG 127.—Balanza de la Casa de Moneda de París.

ellas, ajustando en el espacio de diez horas unos 50.000 discos, mientras que por el procedimiento antiguo, es decir, operando á mano con una balanza de precisión ordinaria, no ajustaría más de 9.000 en igual tiempo.

Después del ajuste, los discos se someten á la acción de un ácido, á fin de limpiarlos perfectamente; pues merced á las operaciones anteriores, en especial á los repetidos caldeos durante la laminación, resultan revestidos en gran parte con una capa negruzca de óxido, que es preciso hacer desaparecer antes de proceder á la acuñación, dejando á cada metal el color puro que le corresponde. Al efecto, los discos se cuecen en una caldera llena de ácido sulfúrico muy diluído, hasta que quede disuelta dicha capa de óxido; á veces, los de oro se cuecen después en una disolución de nitro, sal común y alumbre, á fin de mejorar su color. Como en virtud de la acción disolvente del ácido puede resultar mermado un poquito el peso, los discos se vuelven á ajustar, y entonces se limpian definitivamente, echándolos en toneles giratorios con agua y polvo de carbón ó serrín, después de cuya operación se secan y se hallan en disposición para ser acuñados.

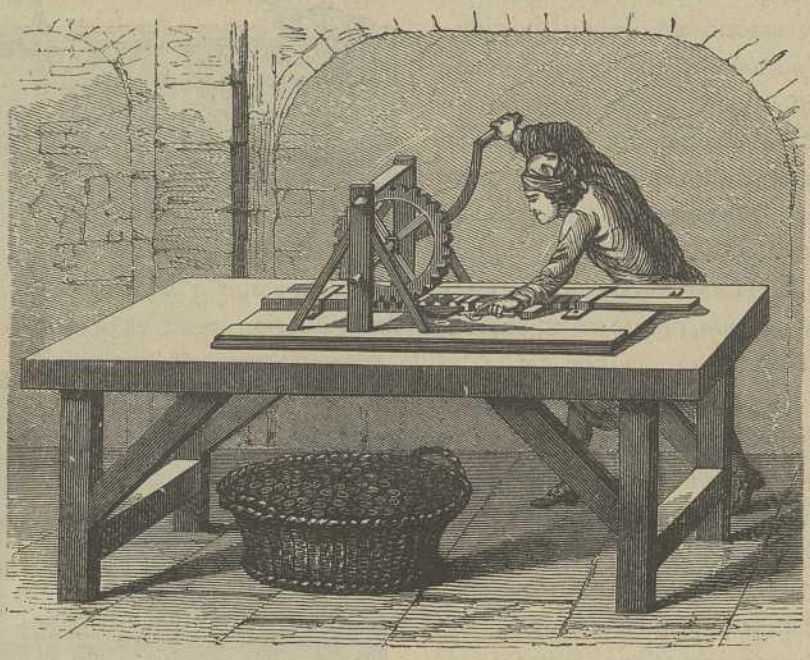


FIG. 128.—Cerrillo antiguo.

Los discos de cobre, bronce, níquel, etc., destinados á las monedas inferiores, se acuñan desde luego; pero los de plata y oro se someten primero á la operación llamada *cerrillado,* mediante la cual se estampa en su borde ó canto un cordoncillo ó una inscripción. Varios son los aparatos ó *cerrillos* inventados al efecto, siendo uno de los primeros el que representa la fig. 128, máquina tosca

que se usaba cuando se empleaban todavía volantes de acuñar muy primitivos (compárese fig. 132). Hoy ya se emplean cerrillos de construcción mucho más racional y perfecta.

En el que reproducimos en la fig. 129, las dos piezas *E* y *D*, que son de acero sumamente duro, llevan grabada en relieve en su canto curvilíneo, cada una la mitad del cordoncillo ó la inscripción que ha de estamparse, hallándose atornilladas, la *E*, á la pieza fija *A B*, y la *D*, al extremo de la palanca *P D*, que puede girar en torno de un eje; se le imprime con la mano un movimiento de vaivén en sentido lateral, obligando á los discos á pasar por el espacio reservado entre los dos cerrillos *E* y *D*. Un tubo vertical, que se encuentra debajo del aparato, y cuya boca superior asoma en *a*, se llena previamente con los discos que han de formar la moneda; después de cada golpe de la palanca *P*, un émbolo que funciona en la parte inferior de dicho tubo eleva los discos de modo que el superior viene á colocarse al nivel de los cerrillos, delante del brazo *F;* al funcionar la palanca, el disco pasa oprimido entre *E* y *D*, y sale en el extremo opuesto, *c*, provisto su canto del correspondiente cordoncillo, ó de la inscripción.

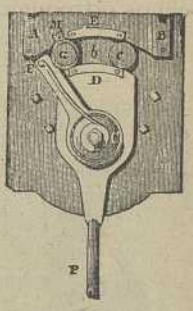


FIG. 129.
Cerrillo moderno.

La fig. 135 representa un cerrillo de construcción distinta de la del anterior: *a* y *b* son las dos piezas de acero que producen el cordoncillo; *b* es fija, mientras que *a* se halla sujeta á la cremallera *e*, susceptible de un movimiento rectilíneo de vaivén, mediante una rueda de engrane y un manubrio. Los

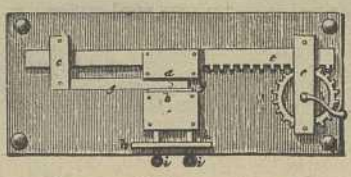


FIG. 130.—Cerrillos modernos.

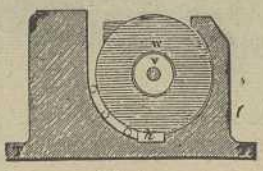


FIG. 131.—Cilindro recalcador.

discos se introducen entre los cerrillos, en *f*, y salen, con su canto acabado, en *g*. Los cerrillos que más se emplean en la actualidad obedecen esencialmente á los principios de construcción de los que dejamos descritos, pero funcionan mediante la fuerza del vapor, regularizando su acción un volante.

En Inglaterra se emplean aparatos análogos para alisar el canto de los discos que no llevan cordoncillo, y que funcionan tan rápidamente, que pueden pasar por ellos 250 piezas por minuto; y por regla general, y á fin de uniformar más perfectamente los discos destinados á recibir un cordoncillo, se pasan, antes del cerrillado, por un cilindro recalcador, como el que representa la fig. 131: *T T* es un cuerpo macizo de hierro, dentro del cual gira en torno de *V* un cilindro estrecho, *W*, quedando entre ambos un espacio cuya estrechez varía según el

diámetro de la moneda de que se trata; los discos se introducen por la parte superior, y después de sufrir la compresión consiguiente, salen por un orificio en *h*.

La acuñación de la moneda, esto es, la estampación en ambas caras de los discos, debidamente preparados, del busto, el escudo, las inscripciones y los adornos que corresponden al anverso y al reverso, se verifica por medio de dos cuños ó troqueles de acero, grabados en hueco y convenientemente endurecidos,



FIG. 132.—Volante antiguo de acuñar.

entre los cuales cada disco se somete á una compresión fuerte é instantánea. La máquina en que se sujetan al efecto los dos troqueles es en esencia una prensa, en la que actúa, según el sistema antiguo, un grueso tornillo, que baja y se eleva rápidamente á impulso de un pesado volante: de aquí el nombre *volante de acuñar* que suele darse al aparato. Decimos, «según el sistema antiguo,» porque en la actualidad el tornillo movido por un volante va cediendo el puesto al mecanismo más eficaz de la palanca, como luego explicaremos.

En la fig. 132 damos la vista de un volante de acuñar, de construcción sumamente primitiva; pero la fig. 133 representa en sección vertical uno moderno, y, como es natural, mucho más perfecto. *A A* es un sólido tornillo de rosca triple, y susceptible, por lo mismo, de elevarse y bajarse con rapidez, al

que se imprime el correspondiente movimiento de rotación, mediante un volante, consistente, como indica la fig. 132, en dos brazos de un metro de largo cada uno, provistos de pesadas esferas de metal á fin de aumentar su ímpetu: semejante volante se atornilla á la cabeza del tornillo (fig. 133, *B B*) y necesita varios hombres para su manejo. El tornillo se mueve dentro de una tuerca ó hembra de bronce, *N N*, que lo rodea en casi toda su longitud, y constituye por sí un cilindro que se sujeta firmemente en medio del cuerpo macizo de hierro fundido de la prensa. Al bajar, el tornillo choca contra el cuerpo del troquel superior *K*, y merced á la resistencia que encuentra y la elasticidad, se produce una fuerza de retroceso que favorece la subida del tornillo. Este está hecho de hierro fundido, pero su zapato *Q I* es una pieza de acero endurecido, un poco convexo en su cara inferior, que se fija en el extremo del tornillo de un modo particular, toda vez que los medios ordinarios (rosca, pasadores, etc.), no resistirían los golpes repetidos de la máquina. El zapato tiene una espiga, *Q*, y el agujero que para recibirla se practica en el tornillo, se hace un poco estrecho, de suerte que la espiga no entra; entonces se caldea el extremo del tornillo, y merced á la dilatación del metal, el agujero se ensancha lo bastante para que éntre la espiga fría; al enfriarse el tornillo, ésta queda sólidamente sujeta en virtud de la contracción del agujero.

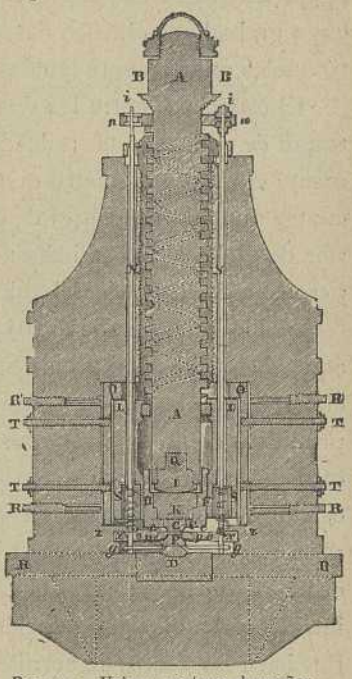


FIG. 133 —Volante moderno de acuñar.

La cara superior del cuerpo del troquel *K* es ligeramente cóncava, pero no en la misma medida que la convexidad del zapato del tornillo, de modo que al chocar las dos piezas, sólo se tocan en un punto; sin embargo, el uso constante agranda pronto esta superficie de contacto. El troquel mismo, ó cuño *G*, de acero muy duro, se halla sujeto á la parte inferior del cuerpo *K*, y cuando, después de un golpe, el tornillo vuelve á subir, este troquel sube también á impulso de muelles, lo suficiente para que puedan introducirse los discos por acuñar entre él y su compañero inferior el cuño *P*. Este, en cambio, descansa sobre una base fija *D*, hallándose provisto su cuerpo de los medios necesarios para su más perfecto ajuste respecto del cuño superior; pues como el uno lleva grabado el anverso, de la moneda, y el otro el reverso, es preciso que ambos se correspondan con la mayor precisión.

Los troqueles se forman del modo siguiente. Los dos cuños correspondientes al anverso y al reverso de la moneda se graban primero por separado en relieve, en dos piezas de acero blando que luego se endurecen, y constitu-

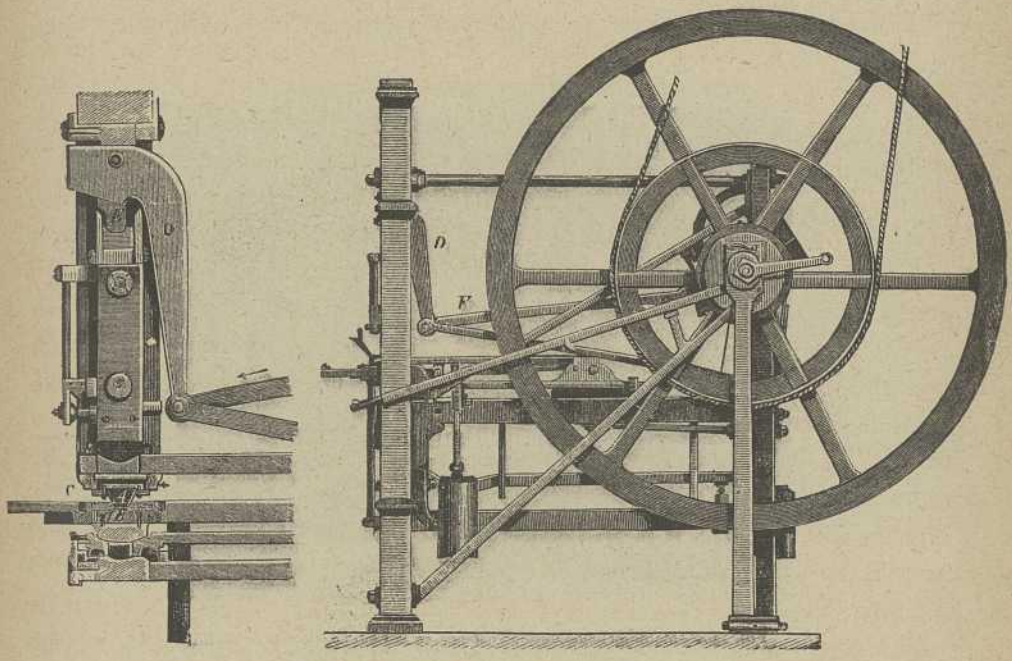
yen las llamadas *matrices;* cada matriz se fija en una prensa como la que estamos describiendo, sujetándose al cuerpo del troquel *K*, y colocando debajo una pieza de acero blando, se hace funcionar el volante varias veces, hasta dejar estampado ó reproducido en hueco en la misma, el relieve de aquélla: esta pieza, después de endurecida, constituye uno de los troqueles para la acuñación de la moneda. Como se ve, pues, no se acuña sólo la moneda, sino los mismos troqueles que se necesitan para ello; y de esta manera, con una sola matriz, cuyo grabado es obra en extremo delicada y costosa, se pueden formar muchos troqueles exactamente iguales.

El espacio *C* entre los dos troqueles, en el que se colocan los discos que se tratan de acuñar, está rodeado por un anillo de acero *e e*, que tiene exactamente el mismo diámetro que ellos, y se mantiene en posición por medio de cuatro muelles *o p*. Antes de cada acuñación, y durante la misma, el borde superior de dicho anillo se halla un poco elevado sobre el nivel del troquel inferior; pero cuando, después del golpe, el troquel superior vuelve á subir, una de dos, ó el anillo baja, ó sube el troquel inferior lo bastante para dejar la moneda ya acuñada en libertad y en disposición de poder ser retirada. Al bajar de nuevo el tornillo de la prensa, todas las partes móviles vuelven á ocupar su posición primitiva, como explicaremos luego, y entonces puede colocarse en el anillo otro disco para la acuñación. Dijimos más arriba que á veces la acuñación y el cerrillado de la moneda se efectúan á un tiempo, y, en efecto, suele utilizarse para ello el anillo de que venimos hablando; en tal caso el cordoncillo, ó la inscripción que ha de llevar el canto de la moneda, se halla grabado en hueco en el interior del anillo, reproduciéndose en aquél en relieve. Naturalmente, un anillo que hace las veces de cerrillo no puede constar de una sola pieza, sino que se hace en tres partes, á fin de que pueda cerrarse en torno de la moneda, y luego abrirse para soltarla.

Para completar nuestra descripción de la prensa ó volante de acuñar, en vista de la fig. 133, añadiremos que el troquel superior *K G* se halla encerrado en un cilindro *H F*, que puede moverse en sentido vertical, guiado por las piezas *L L*, que ajustan en las ranuras *O O;* merced al golpe del tornillo, dicho cilindro, con el cuño, es impelido hacia abajo, elevándose cuando se eleva aquél, á impulso de los muelles espirales *S S*. El tornillo *A*, al tiempo de subir, eleva el anillo *n n*, que está sujeto á su cabeza, y mediante las varillas *i i* que, partiendo del anillo *n n*, atraviesan el cuerpo de la prensa de alto á bajo, se eleva el anillo inferior *g g*, sobre el que descansa el troquel inferior *P;* por consiguiente, éste también resulta elevado, levantando á su paso la moneda que acaba de ser acuñada, fuera del anillo *e e*, de que hablamos antes, y dejándola en disposición de ser retirada de la máquina. Los tornillos *R R* y *T T* sirven para ajustar y mantener en la posición debida el cilindro *H F* que lleva el troquel superior. Advertiremos, por último, que los modernos volantes de acuñar están siempre

provistos de un sencillo mecanismo, mediante el cual la colocación de los discos entre los troqueles y la retiración de las monedas acuñadas se verifican automáticamente, y no á mano, como sucedía antes. De este modo, sólo hay que cuidar de tener lleno de los discos correspondientes el tubo que alimenta la prensa y se halla sujeto en la parte anterior, como se ve en la fig. 136.

El volante de acuñar que acabamos de describir, y era antes la única máquina del género, ha ido cediendo el puesto, en los últimos tiempos, á otros mecanis-



FIGS. 134 y 135 —Máquina de acuñar; sistema de palanca.

mos de construcción más ventajosa. Merced á las vueltas del volante, aquella máquina da lugar á una pérdida notable de tiempo; la violencia de su acción produce con frecuencia desperfectos que es preciso reparar, y, por último, ofrece el inconveniente de tener que manejarse á mano, siendo imposible para su movimiento especial la aplicación de la máquina de vapor.

Las máquinas de acuñar de nueva construcción estriban en la aplicación de la palanca de codo, y las figuras 134 y 135 dan idea exacta de su acción. En la primera, que es una sección en mayor escala del mecanismo acuñador de la segunda, *A* representa el troquel superior y *B* el inferior; entre ellos introduce el mecanismo de alimentación un disco, después de alejar la moneda acuñada y puesta en libertad por la caída del anillo *C*. La vara *F* (fig. 135), que es la misma de la fig. 134 señalada con una flecha, parte de una excéntrica que abraza el árbol motor, y claro está que al girar éste á impulso del vapor y de

una rueda volante *F*, se mueve alternativamente hacia adelante y hacia atrás; al mismo tiempo, la palanca de codo *D*, cuyo brazo largo está unido á la vara *F*, recibe un movimiento de vaivén, á manera de péndola, que, mediante la pieza intermedia *E* (fig. 134), se transmite al troquel superior. Nuestro grabado representa la máquina en el momento de acuñar una moneda; al retirarse hacia atrás la palanca *D*, la pieza *E* toma una posición inclinada, y en vez de oprimir el troquel hacia abajo, lo levanta, de modo que puede retirarse la moneda é introducirse otro disco.

Estas máquinas de palanca se construyeron primero por *Uhlhorn*, en Gre-



FIG. 136.—Máquina acuñadora de palanca, en la Casa de Moneda de Berlín.

venbroich, cerca de Aquisgrán, y todas las posteriores de igual clase, son imitaciones más ó menos perfeccionadas de las mismas. Aparte de funcionar las máquinas de Uhlhorn con gran precisión y rapidez, ofrecen la ventaja de un mecanismo para evitar los accidentes que pueden producirse en virtud de alguna irregularidad en la acción del de alimentación y retiración. Si, por ejemplo, un disco por acuñar no queda bien colocado dentro del anillo correspondiente entre los troqueles, ó si una moneda no se retira al tiempo debido y viene á colocarse un disco nuevo encima de ella, la máquina se pára instantáneamente antes de que pueda suceder una rotura. Otra disposición ingeniosa que se encuentra en toda máquina acuñadora de palanca, consiste en que, en el momento mismo de la acuñación, el troquel inferior gira casi imperceptiblemente en torno de su eje, movimiento lateral que favorece mucho la operación, puesto que con el empleo de mucha menos fuerza, el metal resulta oprimido entre los troqueles como por un tornillo, y toma la impresión del cuño con mayor limpieza. En cuanto á la mano de obra, una máquina de palanca sólo

necesita de un operario para introducir los discos por acuñar en el tubo de alimentación, á medida que éste se va vaciando, puesto que la retirada de las monedas hechas, lo mismo que todos los demás movimientos, se verifica automáticamente. Por último, la acuñación en semejantes máquinas resulta perfectamente uniforme, saliendo todas las monedas iguales, cosa que no sucede, ni puede suceder, con las máquinas de volante movidas á mano, por lo mismo que un hombre, manejando un martillo, nunca da dos golpes enteramente iguales.

Una máquina acuñadora, de palanca, hace en un tiempo dado el trabajo de ocho á diez máquinas de volante. Como durante una revolución del árbol motor

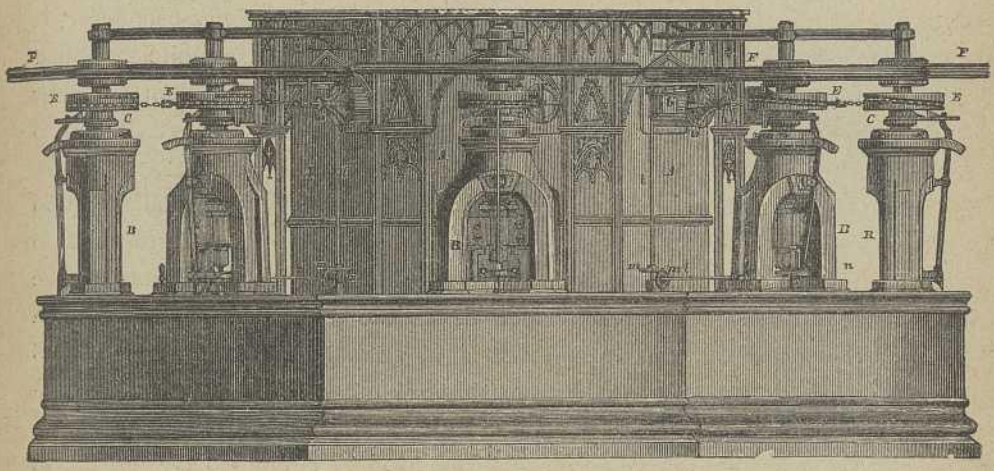


FIG. 137—Máquina acuñadora de Hague.

se verifican todas las operaciones relativas á la acuñación de una moneda, se puede graduar á voluntad, dentro de ciertos límites, la volocidad, y por consiguiente el número de piezas acuñadas en un tiempo determinado; sin forzar el movimiento, se pueden acuñar cómodamente con una sola máquina de palanca de 36 á 40 monedas grandes, ó de 50 á 60 medianas, ó 75 pequeñas por minuto. En la Casa de la Moneda de Berlín se emplean máquinas de este género, construídas por Loewe y Compañía, de las que damos una ilustración en la figura 136; en París se acuña con máquinas análogas, debidas á Thonnerlier.

No podemos terminar estas consideraciones sin hablar de una máquina de acuñar, de construcción original, invento del inglés *Hague*, y en la que se utiliza de un modo muy ingenioso la presión del aire. La fig. 137 representa la máquina de este género, construída para la Casa de la Moneda de Río Janeiro (Brasil): se compone de ocho prensas, *B B*, dispuestas en círculo, de las que sólo se ven cinco en el grabado. *C C C* son los tornillos, que se mueven por medio de cadenas que se arrollan en sus cabezas *E E*. Las ocho prensas están distribuídas en torno de un gran cilindro, *A*, dentro del cual se hace el vacío por medio de una máquina de vapor, y con el mismo comunican ocho cilindros

horizontales, *D D*, cada uno de los que corresponde á una de las prensas; en estos cilindros se encuentran émbolos á los que se hallan sujetas las cadenas ya referidas; de modo que, cuando se produce el vacío en *A* y en *D D*, la presión atmosférica obliga á los émbolos hacia adentro, las cadenas funcionan, y los tornillos de las prensas son impelidos con fuerza hacia abajo, fuerza que acentúan todavía más las ruedas volantes que están sujetas en sus cabezas. Acuñadas de este modo ocho monedas á un tiempo, se interrumpe la comunicación entre el cilindro *A* y los cilindros *D D*, introduciéndose al mismo tiempo aire en la parte posterior de éstos; es decir, detrás de sus émbolos, y entonces los tornillos de las prensas se elevan; apartadas las monedas hechas y colocados nuevos discos, la comunicación interior entre los cilindros se vuelve á establecer, el aire actúa de nuevo sobre la cara anterior de sus émbolos, y se repite la acuñación. Los mecanismos señalados en el grabado con *l* y *m*, permiten paralizar una ó más de las prensas, cuando no se quiere acuñar con todas á la vez, ó cuando alguna necesita repararse.

De la misma manera que las monedas, acúñanse también las medallas. Como éstas no se hallan destinadas á circular, es decir, á pasar continuamente de mano en mano, están mucho menos sujetas al desgaste, y su cuño, por lo tanto, puede tener mayor relieve y presentar mayor delicadeza en sus detalles que el de la moneda. Este relieve más pronunciado que generalmente se observa en las medallas, es lo único que determina algunas modificaciones en el procedimiento de la acuñación. En la mayoría de los casos, y como quiera que la producción de semejante relieve de un solo golpe supone el empleo de una fuerza ó presión extraordinaria, que redundaría en perjuicio de los troqueles y de la máquina misma, las medallas se acuñan gradualmente, es decir, por golpes ó presiones repetidas, entre las que se sacan las piezas y se caldean, introduciéndolas nuevamente en la máquina después de limpiarlas con un ácido. Cuando se trata de un relieve muy pronunciado, los discos metálicos destinados á la acuñación se funden, recibiendo en un molde parte del relieve que después ha de completar el troquel.



ORO, PLATINO Y METALES ANÁLOGOS

Oro: Apuntes históricos y estadísticos.—Modo de presentarse el oro en la Naturaleza.—Las principales regiones auríferas del globo, y los diferentes sistemas de beneficio.—Propiedades del oro y aplicaciones: aleaciones; batido del oro; dorado.—*Platino:* Modo de presentarse y beneficio.—Su elaboración é importancia para la ciencia y la técnica.—Iridio, paladio y metales análogos.

El oro, el más noble de los metales, que tiene por símbolo al sol resplandeciente, constituía ya, en una antigüedad muy remota, un importante artículo de comercio, siendo la India tal vez una de las primeras fuentes donde se fuera á buscarlo, aun antes de ese Ophir problemático, de donde el sabio Salomón se traía riquezas tan inconmensurables, á pesar de denunciar sin tregua las vanidades del mundo. Es posible que ciertas leyendas que nos hablan de tesoros de oro guardados por monstruos, se refieran á las regiones al Norte de la India, lo que indicaría que eran conocidos y beneficiados de antiguo los ricos depósitos auríferos de la Siberia que hoy se explotan; y el continente africano, que en nuestros tiempos ha producido cantidades no despreciables del precioso metal, aun antes del descubrimiento de los extensos terrenos auríferos del Transvaal, fué también en la antigüedad una fuente abun-

dante. A la verdad, son contados los países que, en un tiempo ó en otro, no hayan producido algún oro: Arabia daba un metal muy fino y apreciado para objetos de adorno; Egipto tuvo sus «placeres» auríferos; los famosos tesoros de Creso procedían, al parecer, del lecho de ciertos ríos del Asia Menor; los griegos sacaban bastante oro del suelo patrio, y de España, antes tan rica en plata, extrajeron los fenicios, y después los romanos, cantidades considerables de oro, celebrando varios escritores antiguos su riqueza en este metal, y refiriendo Plinio el modo de beneficiar sus criaderos; de lo que se desprende que los romanos empleaban al efecto medios hidráulicos análogos á los que hoy se usan en California. Además, los romanos sacaban oro de Iliria, y despues de subyugar el Noricum, explotaban criaderos auríferos en las regiones elevadas de los Alpes de Carintia, donde fundaron con este solo objeto la ciudad minera de Teurnia, así como en Transilvania.

Desde la Edad Media hasta los siglos XVI y XVII, Bohemia y Silesia produjeron cantidades muy apreciables de oro, y aquellas minas romanas en los Alpes carintios también se volvieron á trabajar con éxito, beneficiándose asimismo diferentes «placeres» auríferos en varios puntos de Europa. Pero de toda esta riqueza nada queda ya más que el recuerdo, salvo en los montes Cárpatos (Hungría, Transilvania), donde aún se extrae bastante oro de los célebres criaderos de Schemnitz, Kremnitz, Nagy-Banya, Kapnik, etc., en algunos de los cuales data la explotación de los antiguos romanos, y en otros del siglo XIII. Es verdad que en las estadísticas alemanas figura todos los años cierta cantidad de oro; pero salvo pequeñísimas cantidades de metal nativo que se sacan aún, entre Strasburgo y Manheim, de las arenas del Rhin, dicha producción resulta en parte de la extracción química á que se somete la plata aurífera procedente de minerales nacionales, y en parte del beneficio de minerales importados del extranjero. Por lo demás, se registra anualmente una pequeña producción de oro en Italia y Suecia; en las arenas de nuestros ríos Darro y Sil se encuentran á veces algunas modestas pepitas del precioso metal, así como en las de los ríos franceses Tarn y Garona; y de algunos años á esta parte se explotan en escala reducida y con escaso éxito algunos criaderos auríferos en el Norte del País de Gales (Inglaterra). Pero si bien el oro no ha sido tan raro en nuestro continente como generalmente se supone, hace ya tiempo que los criaderos europeos se hallan agotados, ó poco menos, y tenemos que ir á buscar el metal á regiones lejanas.

Méjico y ciertas regiones de la gran cordillera de los Andes contribuyeron antiguamente á satisfacer nuestra codicia á este respecto; pero si bien dichas comarcas eran extraordinariamente ricas en plata, su producción de oro nunca tuvo la importancia que la del Brasil, donde los primeros descubrimientos de criaderos auríferos, desde la llegada de los europeos, tuvieron lugar en la provincia de San Paulo, á fines del siglo XVI; en el XVII se descubrieron otros, más

abundantes aún, en la de Minas Geraes, y más tarde en la de Goyaz. Durante el siglo XVIII, constituyeron estos criaderos brasileños la fuente principal del oro en el mundo entero, alcanzando la producción, á mediados del mismo, su mayor desarrollo; por entonces se extraía oro por valor de unos 30.000.000 de pesetas al año; pero después la cantidad ha ido gradualmente disminuyendo. En Haití, la antigua Hispaniola, se encuentran criaderos auríferos que pueden conceptuarse como la continuación de los del Brasil, y de allí trajeron nuestros antepasados el primer oro americano que llegó á Europa. Hallándose ya muy reducida la producción en el Brasil, empezó, en el primer tercio de nuestro siglo, y bajo los auspicios de Rusia, la explotación del oro en los Urales y Siberia, que ha tomado después tan grandes proporciones; pero la mayor parte del oro que se produce desde 1850 procede de los Estados occidentales de la Unión norteamericana, particularmente de California y Nevada, así como del continente de Australia; y gracias al gran movimiento de descubrimiento y colonización que se ha iniciado de algunos años á esta parte en África, no está lejos el día en que se vaya acentuando considerablemente la extracción del oro de su ardiente suelo, contribuyendo de un modo notable al sostenimiento de la producción general, que, al contrario de lo que sucede con la de la plata, se halla de nuevo en descenso.

He aquí, según Burchard, el estado de la producción de oro en el mundo correspondiente á los años 1881, 1883 y 1884.

PAÍSES	1881 — *Kilogramos*	1883 — *Kilogramos*	1884 — *Kilogramos*
Estados Unidos	52.212	45.140	46.343
Australia	46.178	39.873	42.960
Rusia Asiática	36.671	35.913	32.829
Colombia	6.019	5.802	5.802
Venezuela	3.423	5.022	5.022
Africa	3.000	3.000	3.000
Méjico	1.292	1.438	1.780
Hungría	1.867	1.638	1.658
Canadá	1.648	1.435	1.435
Brasil	1.116	952	952
Alemania	350	457	555
Japón	702	181	256
Chile	194	245	245
Perú	—	—	179
República Argentina	118	118	118
Bolivia	109	109	109
Italia	109	109	109
Suecia	1	37	19
Turquía	7	10	10

De estos datos resulta que mientras en 1881 se produjeron 155.016 kilogramos de oro por valor de más de 515 millones de pesetas, en 1884 la producción no excedió de 143.381 kilogramos con un valor de 476,5 millones, si bien hubo en este año un pequeño aumento, comparado con el de 1883.

MODO DE PRESENTARSE EL ORO EN LA NATURALEZA

Las particularidades que ofrece el oro en la manera de presentarse en la Naturaleza, se explican en vista de sus propiedades físicas y químicas. De naturaleza más noble que la plata, el oro se mantiene casi siempre en estado nativo; es inatacable por los ácidos naturales, no se combina voluntariamente, digámoslo así, con el azufre ni con el oxígeno, y sólo con el teluro, un elemento afín al azufre y el selenio, forma á veces una combinación natural. Por otra parte, el oro, merced á su blandura, está sujeto en alto grado á la división mecánica. Con la única excepción, pues, del teluro de oro, que es muy raro, no existen en la Naturaleza minerales de oro propiamente dichos, ó sean combinaciones del metal con el oxígeno, azufre, arsénico y sustancias análogas, á menos que se comprendan en tal categoría las aleaciones del oro con plata y azogue.

Las rocas auríferas contienen el oro siempre en estado nativo, que en muchos casos se halla diseminado en partículas tan diminutas, que no se pueden observar á simple vista. Las piritas de hierro contienen con frecuencia algún oro, y también suele presentarse en las cobrizas y arsenicales, así como la antimonita y otros minerales compuestos. Se presenta también con frecuencia en rocas como cuarzo, gneis, esquisto micáceo y talcoso, granito, traquita, etc., hallándose diseminado en su masa en finas partículas, ó bien sólo en las grietas y hendeduras en forma de escamitas, hojitas ó venillas. Pero aunque el oro se encuentre en rocas diversas, el cuarzo común, ora constituya una roca propiamente dicha, ora tenga el carácter de filones atravesando los macizos roqueños, es en la mayoría de los casos la madre, digámoslo así, de tan precioso metal; y cuando la acción destructora de los elementos atmosféricos ha vencido la resistencia de roca tan dura, desintegrándola y arrastrando sus escombros, en las arenas así formadas vuelve á encontrarse el noble huésped, en forma de laminitas, granitos y pepitas. La arena más ordinaria puede contener una mínima cantidad de oro, y en las fábricas de vidrio se encuentran á veces, en el fondo de las vasijas que han servido para la fusión durante varias semanas, algunos granos de oro fundido. Sucede excepcionalmente que en semejantes arenas ó aluviones auríferos se presenta, el oro no ya en pequeñas partículas ó granos, como por lo general sucede, sino en verdaderas masas de tamaño y peso relativamente considerables; la fig. 138 reproduce una de éstas, procedente de California, tal como se encontró, y tanto en Siberia como en Australia, pero más en particular en esta última, se han hallado masas mucho mayores aún que la de nuestro grabado, y de 40 á más de 60 kilogramos de peso. Semejantes masas tienen siempre formas irregulares más ó menos redondeadas; pero una que se conserva en San Petersburgo, procedente de Siberia, y que tiene la forma de un ladrillo pequeño,

es en sumo grado interesante, por llevar en sus dos caras depresiones embudiformes, en las que se observan perfectamente las impresiones de cristales de cuarzo; lo que demuestra, no sólo que se encontraba antes formando el relleno de un hueco en una roca firme ó un filón, sino que rellenó dicho hueco después de formarse aquellos cristales. La masa de oro á que nos referimos se halló libre en medio de la arena, y es, probablemente, parte de una plancha tal vez mucho mayor.

Como se ve, pues, el oro se encuentra, lo mismo que el estaño, bien en criaderos primitivos, es decir, escondido en filones ó en la masa de la roca firme, ora en criaderos secundarios, esto es, en las arenas ó aluviones constituídos por los restos triturados y arrastrados de aquéllos, y que forman los llamados «placeres» auríferos, en los que, como ya observamos al tratar del estaño, el oro ha sido sometido á una concentración mecánica, acumulándose en virtud de su peso extraordinario, mientras que las aguas han arrastrado más lejos las materias más ligeras; también suelen acompañar al oro en semejantes «placeres» diversas piedras preciosas, como granates, zafiros, zircones, rubíes, topacios, etc., que por su dureza han resistido la acción desintegrante de los elementos, y en los Urales se agrega á dichos minerales y al oro, el platino en estado nativo, así como sus inseparables compañeros los metales paladio, iridio, osmio, rodio y rutenio. Sin esta especie de preparación mecánica que la Naturaleza se ha encargado de operar, la producción del oro distaría mucho de alcanzar las proporciones que en la actualidad tiene, y antiguamente hubiera sido tal vez insignifi-

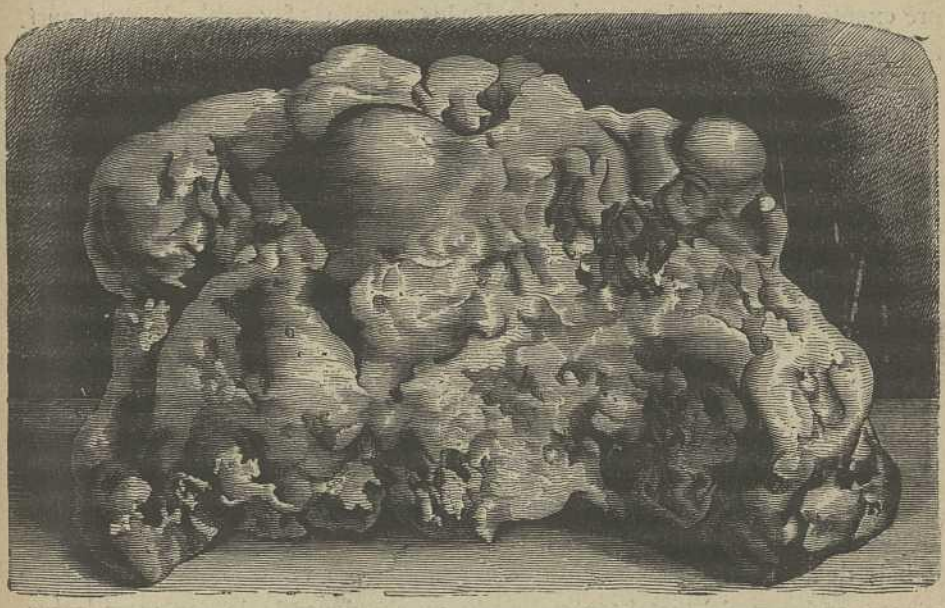


FIG. 138.—Masa de oro nativo, de tamaño natural, hallada en California.

cante; pues la explotación directa de los criaderos auríferos primitivos, en los que, salvo contadas excepciones, el metal se halla diseminado en corta cantidad en una roca ó un cuarzo muy duros, es faena ardua y costosa, que ofrece mucha menos garantía de buen éxito. Casi todo el oro que se producía antiguamente, y la mayor parte del que hoy se produce, ha procedido y procede de los aluviones ó «placeres», cuya explotación es sencilla, comparada con la de los criaderos de origen.

La Naturaleza, pues, y muy en especial las corrientes de agua, ha facilitado notablemente el trabajo del buscador de oro, que sin embargo no está siempre exento de penalidades y molestias. En los casos más favorables la arena aurífera yace á la superficie del terreno, desprovista de toda vegetación, y puede someterse directamente al respectivo lavado si es que se encuentra en las inmediaciones el agua necesaria; en caso contrario, es decir, cuando hay que desviar el cauce de una corriente más ó menos distante, ó derivar agua de algún río por medio de acequias, las operaciones resultan naturalmente más complicadas y costosas; pero las faenas son aún más arduas cuando los aluviones auríferos yacen escondidos debajo de una capa de tierra vegetal más ó menos densamente poblada de árboles, en cuyo caso es preciso alejar estos obstáculos superficiales. En California y Australia las capas auríferas yacen, por regla general, á alguna profundidad, de modo que para llegar hasta ellas hay que practicar excavaciones considerables; en Australia más en especial donde el oro se presenta con mayor abundancia en los lechos de los ríos antiguos, correspondientes á épocas geológicas anteriores á la nuestra, hay que buscarlo á profundidades relativamente grandes, que suelen variar entre 20 y 100 metros debajo de la superficie; de modo que el penetrar por vez primera en un distrito virgen, en busca del metal tan codiciado, mucho depende de una mera casualidad. Cuando el minero acierta, después de quitar las capas superiores y pobres del terreno de acarreo, se encuentra con una capa relativamente delgada de arena y grava, en la que se halla acumulado el oro; á veces resulta ésta muy rica, en otros casos apenas vale la pena de excavarse; mas aun cuando resulte productiva, la pequeña cuenca se agota pronto y se hace necesario buscar otra. Si en un reducido distrito se han puesto de manifiesto varios puntos productivos, de su posición relativa puede deducirse aproximadamente la dirección del antiguo lecho aurífero, si bien nunca pueden adivinarse sus vueltas y revueltas; de modo que, aun partiendo de los descubrimientos realizados, el encuentro de nuevos tesoros en sus inmediaciones resulta siempre más ó menos casual.

BENEFICIO DE LOS ALUVIONES AURÍFEROS

En la explotación de los «placeres» auríferos del Brasil, lo mismo que en la de los terrenos diamantíferos, se han empleado siempre los esclavos negros traídos de África, cuya emancipación definitiva ha decretado recientemente



FIG. 139.—Lavado de arenas auríferas en el Brasil.

aquel Gobierno; lo advertimos para que nuestros lectores no extrañen nuestro grabado adjunto (fig. 139), que representa el lavado de las arenas de la provincia de Minas Geraes, y en el que figura buen número de aquellos infelices. El procedimiento consiste en echar las arenas sacadas en una serie de hoyos excavados al efecto, y escalonados á diferentes niveles, y dirigir sobre ellas una corriente de agua que, entrando por la cabeza del hoyo superior, sale por el pie del inferior; en cada hoyo se encuentra uno ó más hombres, que revuelven con-

tinuamente la arena, dando así lugar á que el agua arrastre las partes más ligeras. De esta suerte se va concentrando el oro en una cantidad menor de arena, que se somete entonces á un lavado en la llamada *batea*, especie de artesilla redonda y embudiforme de madera, que se coge con ambas manos, después de echar en ella un poco de la arena enriquecida y agua, imprimiéndole entonces un ligero movimiento de rotación, acompañado de leves sacudidas, que tienen por efecto separar los granos de oro de los de arena, cuyos últimos se lleva el agua. Las partes más finas que no se dejan separar bien de este modo, se mezclan con azogue, obteniendo un amalgama de oro que se somete luego á la destilación, como ya dijimos al tratar de la plata. En algunos puntos del Brasil se conducen los arroyos de las montañas á través de los aluviones auríferos, como indica la fig. 139, obligando á las aguas, enturbiadas por la arena, á pasar por canales y hoyos, en los que se colocan pieles de vaca con el pelo hacia arriba; la tierra más ligera es arrastrada por la corriente, pero los granos de oro van al fondo y son detenidos por las pieles, que se sacan entonces del agua y sacuden ó golpean con varas para que suelten las pepitas del precioso metal. Sin embargo, este método tan primitivo se practica ya rara vez.

Por modos análogos se lavan hace tiempo arenas auríferas superficiales en Bolivia, Colombia y Venezuela, y en la parte septentrional de Méjico los *gambusinos* ó buscadores de oro se dedicaban á recoger las pepitas en la superficie del terreno, pues la carestía del agua en aquella región imposibilitaba en la mayoría de los casos el lavado de las arenas. Respecto de la América del Norte, se explotaban «placeres» auríferos, durante la primera mitad de nuestro siglo, en Virginia, la Carolina del Norte y del Sur, la Georgia y también en el Canadá; pero todos estos trabajos y sus resultados palidecieron ante los posteriores de la California.

Tres siglos han transcurrido desde que Drake recorrió aquella costa del Pacífico, y hablando de California refieren sus Memorias que no se podía coger un puñado de tierra sin encontrar en él granos de oro y plata. Esto ya lo supieron antes los jesuítas que dirigían las misiones en tiempo de la dominación española; pero ni entonces ni mucho después hubo de pensarse seriamente en aprovechar las riquezas de región tan distante y poblada de «indios.» Al profesor Erman, de Berlín, que visitó la California en el año 1829, hubo de llamarle la atención el parecido que notó entre ciertas masas térreas y los terrenos auríferos de los Urales; pero el verdadero descubrimiento del oro, que tanto había de dar que hablar y que hacer, se debe al hecho casual de abrir el colono suizo *Sutter*, en 1848, una acequia para conducir á su molino las aguas de un pequeño afluente del río Sacramento. Para evitarse la molestia de excavar dicho conducto, Sutter dirigió contra el terreno una fuerte corriente de agua con el objeto de que ésta misma se fuera abriendo paso, y entonces, en la tierra ó arena arrastrada, observó el brillante metal, del que recogió en un par de

días por valor de 225 duros. Este fué el hallazgo que determinó una verdadera revolución en el tráfico internacional. No sólo desde diferentes puntos del continente americano, sino también desde el nuestro, fueron acudiendo en tropel las gentes aventureras, enbusca de los tesoros de Sacramento; nuevos «placeres» auríferos se descubrieron uno tras otro, algunos de una riqueza asombrosa; el oro se encontraba en el lecho de todos los ríos y arroyos, tanto los corrientes como los desecados, y se le siguió la pista hasta en las laderas de los cerros,



FIG. 140.—Buscador de oro en California.

de donde lo arrastraban las lluvias. Pronto se verificó otro importante descubrimiento más al Sur, cerca de la frontera mejicana, donde en la cuenca del río San Joaquín, y en medio de un terreno volcánico, quebrado, selvático y de aspecto grandioso, se halló un campo aurífero de 2.800 kilómetros cuadrados de extensión. Por último, en 1851 descubrióse que también abundaba el oro en las más elevadas regiones montañosas del país.

No podemos extendernos en consideraciones acerca de los prodigiosos efectos de aquellos descubrimientos en California, que dieron por resultado inmediato la conversión de la población insignificante de San Francisco, que en 1848 no contaba más que mil almas, en una ciudad comercial de la mayor

importancia, que hoy tiene 240.000; pero recordaremos que, merced á la minería del oro y de la plata, el territorio occidental de los Estados Unidos se ha elevado desde entonces al rango de los primeros países comerciales, y desde que se halla enlazado con la costa oriental del inmenso continente por medio de las vías férreas más considerables del mundo, siguen brotando en él, año tras año, nuevos centros, nuevos puntos de cristalización, digámoslo así, del trabajo y de la cultura.

Los «placeres» de las cuencas del Sacramento y el San Joaquín se hallan



Fig. 141.—Cuna para el lavado de arenas auríferas.

actualmente casi agotados; no es posible sacar oro sin mucho trabajo; ya pasó el tiempo en que se ganaba una fortuna en pocas semanas, y el lavador se da por muy satisfecho si obtiene diariamente oro por valor de un par de duros. Las gentes que salen hoy en busca del metal precioso se encaminan en pequeños grupos hacia las regiones más elevadas, provistas de escopeta y revólver, pico y pala, la indispensable batea de palastro, y algunos utensilios de cocina (fig. 140). Cuando llegan á un sitio que les parece propicio, toman posesión del terreno, hincando en torno de él varios palos, en los que fijan un escrito con su nombre y la fecha; unos se ocupan en levantar la tienda ó choza que les ha de servir de albergue, mientras que los otros proceden acto continuo á explorar el suelo (lámina XIII). Excavan hoyos de tres á seis metros de hondo, y hacen



Descubrimiento de un criadero aurífero en California.

nes hidráulicas, que reunen las aguas en grandes depósitos ó estanques y las distribuyen por montes y valles en acequias y acueductos de mucha extensión (fig. 143); en 1858, la longitud total de semejantes conductos artificiales ascendía á 9.260 kilómetros, habiéndose gastado en establecerlos más de 72 millones de pesetas. Pero con semejantes disposiciones no se propusieron aquellos

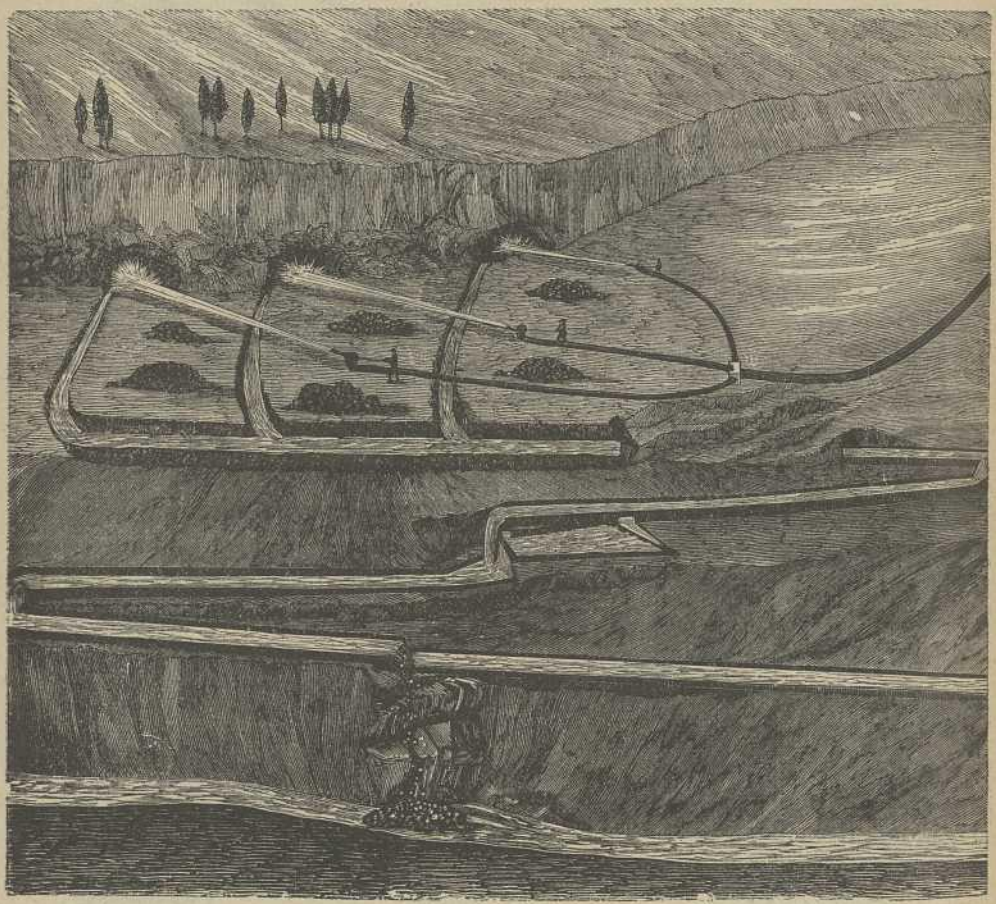
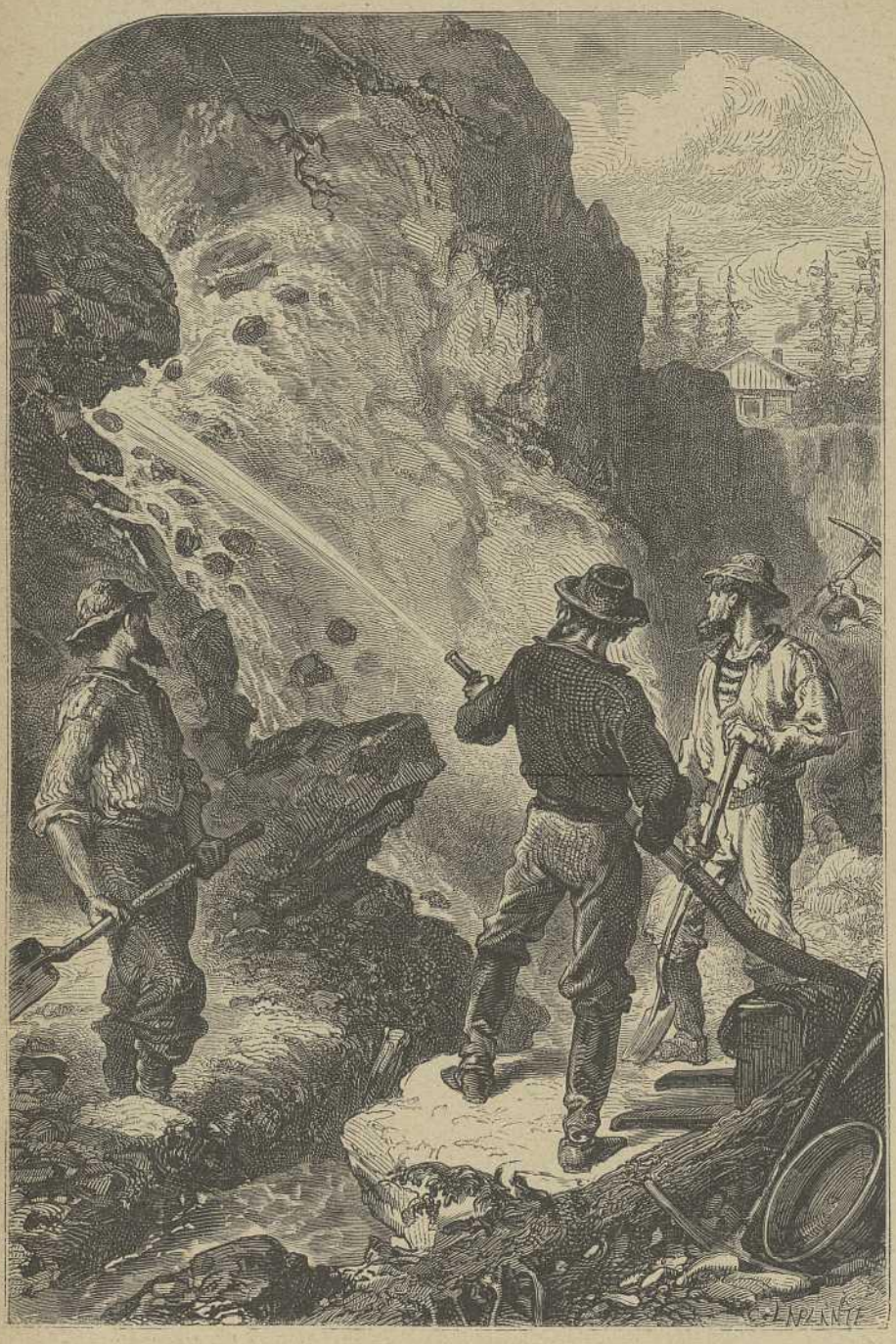


Fig. 144.—Aparato hidráulico para la excavación de los conglomerados auríferos en California.

emprendedores tan sólo la explotación de depósitos superficiales, sino más bien la de enormes masas de terrenos de acarreo ó conglomerados que, bajo una poderosa capa de basalto, ocupan en California una extensión de unos 50.000 kilómetros cuadrados, y contienen oro en pequeñas cantidades, irregularmente diseminadas. La excavación de semejantes terrenos por los medios ordinarios, nunca hubiera dado resultados, y por esto se apeló á la presión hidráulica, conduciendo el agua en gran cantidad á un nivel elevado, y haciéndola bajar con gran ímpetu dentro de tubos, al pie de las laderas, donde se lanzaba en podero-



Explotación hidráulica de terrenos auríferos.

sos chorros contra el terreno aurífero, como indican la fig. 144 y la lámina XIV. El agua, á medida que disgregaba el conglomerado, compuesto de cantos rodados de todos tamaños, grava, arena, etc., arrastraba los escombros por un sistema de canales hechos de madera, ó excavados en el terreno, en los que se verificaba la separación y el depósito de las partículas de oro, ó, cuando menos, una concentración de las mismas en cierta cantidad de arena fina que se sometía entonces á la amalgamación. De esta manera se ha cambiado completamente la faz de ciertas comarcas de aquel país, pues ante la fuerza irresistible de esos chorros de agua, han ido desapareciendo montes enteros, sembrándose por los valles sus escombros; y las materias acumuladas por la naturaleza durante un largo período geológico, han sido dispersadas por el hombre en el breve espacio de algunos años.

Al par de esta excavación hidráulica, y en vista de que no resulta ya tan productiva como antes, muchos mineros se ocupan en California de la explotación de los criaderos auríferos primitivos, penetrando en las entrañas de la tierra, sacando el cuarzo y pulverizándolo con bocartes y molinos, para luego extraer el oro por medio del azogue, sirviéndose de aparatos análogos á los ya descritos al tratar de la plata. Sin embargo, lejos están de haberse agotado los aluviones auríferos de la costa occidental del continente americano, pues se extienden al Norte hasta el territorio inglés, y si en su beneficio no se procede tan rápidamente ni con tanto entusiasmo como en las regiones meridionales, es porque el país es aún más quebrado y montañoso, el clima mucho más inclemente, y faltan todavía los medios indispensables de comunicación, sin los cuales los colonos no pueden proporcionarse sino con dificultad los alimentos precisos.

Poco después de desarrollarse aquella fiebre de oro, digámoslo así, que llevó á tantos aventureros á California, se declaró en Australia una epidemia análoga. En 1844 un examen de las montañas del Este de dicho continente llevó al ánimo del geólogo inglés Murchison el convencimiento de que debían contener oro; y tan persuadido se hallaba de ello, que, al regresar á Inglaterra, excitó á los mineros del Cornwall que se hallaban sin trabajo, á emigrar á Australia en busca del precioso metal. Entretanto algunos habitantes de la región visitada por dicho geólogo, siguiendo sus indicaciones, habían encontrado algún oro y lo remitieron á Londres, mientras que otros, que ya anteriormente habían hecho hallazgos parecidos, guardándose el secreto, se decidieron á revelar al Gobierno, mediante el pago de un premio, los sitios auríferos. Poco á poco, pues, se fué haciendo público que estos terrenos se hallaban á 320 kilómetros de la ciudad de Sydney, en los distritos de Bathurst y Wellington; y en Mayo de 1851, propagándose la noticia entre una población excitada ya por la de los descubrimientos de California, inicióse una verdadera peregrinación de gentes entusiastas hacia la región de Bathurst, que se bautizó con el nombre bíblico de Ophir, en recuerdo de los tesoros de Salomón. La ciudad misma de Bathurst quedó

pronto como muerta, por haberse marchado la mayor parte de sus habitantes en busca del oro tan codiciado; en el puerto de Sydney los marineros abandonaban sus buques con el mismo objeto, los talleres quedaban sin operarios, y desde otros puntos de la costa, especialmente Melbourne, partían largas procesiones de rebuscadores, viejos y jóvenes.

En dicho distrito de Bathurst se hallaba el oro, ya en forma de polvo, ora en la de pepitas y masas, á veces bastante grandes, habiéndose encontrado una, todavía adherida al cuarzo, que pesaba 53 kilogramos. Hasta el 19 de Agosto de 1851, es decir, en el corto espacio de tres meses, se había remitido ya á Inglaterra, desde Sydney, oro por valor de 675.000 pesetas. Pero las minas de Ophir no fueron el único punto de reunión de aquellas gentes: el lecho y las márgenes del río Turon, que desemboca en el Macquarie, á 68 kilómetros al Noroeste de Bathurst, se vieron invadidos por otro ejército de trabajadores, en número de 30.000 á 40.000. El sitio predilecto fué Fredericks-Vale, en la márgen occidental del Macquarie; pero también hacia el Sur se descubrieron ricos depósitos auríferos en las riberas del río Abercrombie, entre Bathurst y Melbourne. Luego se hallaron extensos «placeres» á unos 300 kilómetros al Sur de Sydney, en la cuenca del río Murru, y 75 kilómetros al Norte de Melbourne, en la colonia de Port-Philip; en una palabra, los rebuscadores acabaron por invadir todo el país, pues se hallaron indicios de oro desde la Nueva Gales del Sur, en una extensión de 12 grados de latitud en dirección Suroeste, hasta la colonia de Victoria, donde se formó un segundo centro minero (lám. XV). Aquí fueron los principales puntos de atracción el valle de Ballarat y el monte Alexander, y su producción rayó al principio en lo fabuloso. Ya dijimos que en Australia las capas auríferas más ricas se presentan, por lo general, á cierta profundidad bajo la superficie del terreno, y precisamente en Ballarat es donde las excavaciones resultaron más profundas (hasta 100 metros), haciendo necesario organizar verdaderas labores mineras subterráneas y extraer las tierras por pozos. De estas minas de Ballarat se extrae el oro más fino de Australia, y en general todo el que procede de este continente es más puro que el oro de California, que contiene una pequeña cantidad de iridio, y tiene, por lo mismo, un matiz ligeramente verdoso. De Ballarat salieron también aquellas masas de oro, relativamente enormes, cuyos modelos, en yeso dorado, se han visto ya tantas veces en las grandes Exposiciones, y pueden verse en los principales Museos mineralógicos; en 1858, por ejemplo, se halló la célebre masa llamada *Welcome* (bienvenida), la mayor que se conoce, que pesaba 68,26 kilogramos y se vendió por subasta en Melbourne, realizando más de 9.000 libras esterlinas; como resultó con una ley de 992 milésimas, valía, efectivamente, cerca de 240.000 pesetas; más tarde, en 1871, se halló otra masa un poco menor, es decir, de 50,41 kilogramos, á la que se dió el nombre de *Precious* (preciosa).

Hace ya años que en Australia, como en California, pasó la efervescencia



Explotación de los terrenos auríferos de Victoria (Australia).

extraordinaria que motivara el descubrimiento repentino de tanta riqueza, y la explotación de esos criaderos auríferos sigue una marcha ordenada sin perjuicio para el desarrollo de las demás industrias. Después de agotarse los «placeres» superficiales y más tangibles, y á medida que aumentaron las dificultades de la excavación, hubo, como era natural, una notable disminución en la producción general; pues mientras aumentó ésta desde 20.000 kilogramos en 1851, á 250.000 en 1852, bajó el año siguiente á 102.000, y en 1854 á 85.000, elevándose nuevamente á 100.000 en 1855, 107.000 en 1856 y 90.000 en 1857. En la Exposición de Londres, en 1862, se levantaba un obelisco dorado de 13 metros de altura por 8,5 metros cuadrados de base, que representaba el volumen (cerca de 50 metros cúbicos) de los 896.947,50 kilogramos de oro producidos en Australia durante los diez años de 1851 á 1861, y cuyo valor se elevaba á la enorme cifra de 104.649.728 libras esterlinas, ó sean más de *dos mil quinientos once y medio millones de pesetas*. Desde entonces, ha continuado gra- al año la baja hasta los 40.000 ó 45.000 kilogramos que hoy se obtienen al año; y no es probable que en lo sucesivo aumente sensiblemente, porque, si bien se calcula que existe aún material por explotar para varios siglos, está constituído, en su mayor parte, no ya por los aluviones, sino por los criaderos de origen, que ya se benefician, y cuyo laboreo, mucho más lento y difícil, supone gastos más cuantiosos y el empleo de máquinas y aparatos perfeccionados.

Pasando ahora á la Rusia asiática, cuya producción anual del metal precioso de que tratamos es considerable, tenemos dos regiones auríferas distintas: la de los montes Urales y la de la Siberia oriental. En el año 1814 no excedió de dos kilogramos el oro que se produjo en Rusia; pero en 1828, y merced á la explotación de los «placeres» de los Urales, ya se obtuvieron más de 4.500; en el año de 1832 estos «placeres» dieron 6.500 kilogramos de oro, pero desde entonces ha disminuído su producibilidad. En cambio, los aluviones de la Siberia oriental, que empezaron á explotarse en 1828, han adquirido una importancia cada vez mayor, y producían ya en 1842 doble cantidad de oro que los Urales, de modo que constituyen la fuente aurífera principal de Rusia. En los Urales las ganancias distan mucho de ser pingües, pues en general, las arenas son pobres; se lavan todavía cuando sólo contienen un tercio de *salonik* de oro por cada 100 *pud*, esto es, un kilogramo de metal en más de un millón de arena; además el oro se halla en un estado de división tan fina, que se pierden las tres cuartas ó las dos terceras partes del contenido total. Esto se ha demostrado experimentalmente, por fusión de grandes partidas de arena, resultando que 112.720 *pud* de ésta contienen 6 *pud* de oro; mas no es posible, por razones económicas, beneficiar las arenas por fusión, pues ésta sólo puede efectuarse por medio de álcalis (sosa ó potasa), produciendo un vidrio soluble en agua, en cuya disolución las partículas de oro se acumulan en el fondo de la vasija; procedimiento que resulta demasiado costoso.

Como en los Urales se tienen que tratar enormes masas de arena aurífera para obtener un resultado satisfactorio, hubo de pensarse, hace tiempo, en facilitar el trabajo por medios mecánicos, ideándose la máquina de lavar, centrífuga, que se emplea allí comúnmente y que reproducimos en la fig. 145. La vasija en que se verifica la separación de las materias de diversas densidades es el tambor cónico *B*, que tiene 2,3 metros de largo por uno de diámetro medio; se halla perforado por agujeros de unos dos centímetros, y se pone en rotación mediante ruedas de engrane combinadas con su eje y una rueda hidráulica,

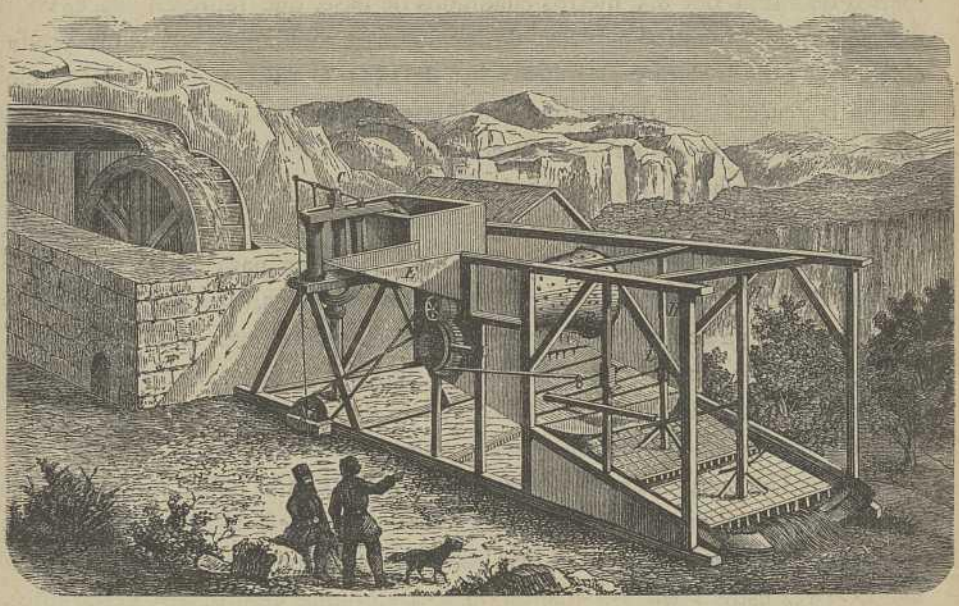


FIG. 145.—Máquina centrífuga para el lavado de las arenas auríferas en los Urales.

girando el tambor á razón de 30 á 40 vueltas por minuto. Una cigüeña fija al árbol motor determina la función de la bomba *C*, que eleva agua á un depósito desde el cual se extienden tubos hacia los extremos abiertos del tambor, que lanzan agua en él, mientras que por medio de la tolva *E*, se introduce la arena aurífera. Como siempre sucede en semejantes tambores clasificadores, la separación se efectúa pasando las partes más finas por los agujeros de sus paredes, mientras que las más gruesas salen por un extremo; aquéllas caen sobre un plano inclinado, cuya superficie está provista de listones transversales, que retienen las partículas finas de metal; la arena gorda pasa desde el tambor á un depósito lateral (que no se ve en el grabado), y con ella los granos de oro más gruesos, que se separan fácilmente. Desde el plano inclinado referido las arenas finas, arrastradas por el agua, siguen su descenso por un segundo plano, inclinado y cóncavo, *G*, provisto también de listones, dividiéndolas al paso multitud de cuchillas de hierro, fijas en la parte inferior de dos pesados tableros, que se

hallan suspendidas, como péndolas, mediante los maderos *H H*, y reciben un movimiento oscilatorio á impulso de un mecanismo, *L;* merced á esta disposición, las partículas de oro más pesadas y que no han sido detenidas sobre el primer plano, se depositan en el segundo, mientras que el resto, con las arenas, es arrastrado fuera del aparato y se somete despues á un segundo lavado. Por medio de esta máquina 26 operarios pueden lavar 2.000 quintales métricos de arena en el espacio de dos horas; de ellos se necesitan diez para alejar las arenas empobrecidas é inútiles. Es muy raro encontrar en los Urales grandes pepitas de oro, y sólo se registra un caso, que tuvo lugar en 1842, de haberse hallado una verdadera masa del precioso metal, comparable á las encontradas frecuentemente en California y Australia; dicha pepita mayúscula se conserva en el museo de San Petersburgo, y pesa 34 kilogramos.

El descubrimiento de los extensos aluviones auríferos del gobierno de Jeniseisk, en la Siberia oriental, se debe principalmente á los trabajos de calicata que mandó ejecutar el Gobierno ruso. El libro del ruso Skarjatin, titulado *Memorias de un cazador de oro*, contiene interesantes pormenores acerca de la tranquilidad que reinaba en aquellas comarcas antes del descubrimiento, y la efervescencia y el lujo ridículo que se desplegaron después, y demuestran que, á la vista del oro, el hombre revela en todas partes del mundo la misma flaqueza. Antes de 1828 sólo existía en dichas regiones un tráfico exiguo en las poblaciones situadas sobre la gran carretera militar de Siberia; fuera de esta línea, el trabajo del hombre apenas se tomaba en cuenta, y los artículos de primera necesidad se podían obtener casi de balde; los dones más ricos de la Naturaleza (cereales, legumbres, ganado, pescado, etc.), se hallaban en abundancia, sin encontrar compradores. En cambio, era tal la escasez de oro, que para cubrir gastos extraordinarios, como pagar los impuestos, costear una boda ó redimirse del servicio militar, aquellos labradores tenían á veces que prestar á las autoridades servicios gratuitos durante más de un año. Pero poco tiempo después del descubrimiento de que hablamos, todo había cambiado. La venida de miles de comerciantes y trabajadores, que regresaban con frecuencia de los campos auríferos con pingües ganancias, derrochando los rublos en las poblaciones; la llegada de artículos de industria y de lujo de todas clases, que hallaban compradores á precios fabulosos; un bienestar antes desconocido, que crecía de año en año en la ciudad como en la aldea, entre ricos lo mismo que entre pobres, todo esto componía un cuadro risueño, que, sin embargo, no estaba exento de sombras. En Siberia, como en California, se arraigaron los vicios más temibles, la codicia, el juego, la holgazanería, la especulación, que no tardaron en producir sus naturales frutos; de modo que aquellos habitantes, antes tan pacíficos, tuvieron en el fondo motivos sobrados para maldecir de las riquezas que atesoraba su suelo.

En cuanto á la explotación de los terrenos auríferos, los mineros aprovechaban el invierno para hacer acopio de víveres y útiles necesarios, y transportarlos

por aquellos desiertos nevados y helados á los sitios correspondientes, donde se instalaban en chozas; durante la primavera se ocupaban en la corta de los árboles que estorbaban, en quitar la capa de tierra vegetal que cubría los aluviones y en montar sus aparatos, dedicándose entonces, durante el verano, á la excavación y al lavado de las arenas, operaciones que en clima tan desapacible no podían continuarse más allá del mes de Septiembre.

Respecto de Africa, y sin hablar de la región del Nilo superior, de donde extraían oro los antiguos egipcios, 1.600 años por lo menos antes de nuestra Era, siguen beneficiándose por los indígenas las arenas auríferas de las cuencas del Senegal y del Djoliba, cuyo oro iban á buscar en la antigüedad los cartagineses, en la Edad Media los moros, y modernamente los portugueses, franceses é ingleses, debiéndose á esta circunstancia el nombre de Costa de Oro que recibió hace tiempo aquella región marítima. En diferentes puntos del interior de ese inmenso continente deben existir aluviones auríferos, pues de ello dan testimonio los objetos de adorno de diferentes tribus indígenas; pero la explotación de semejantes depósitos por los europeos se halla limitada actualmente al territorio de la República meridional del Transvaal y al país de Matebele, al Norte del Limpopo, donde también se explotan criaderos auríferos primitivos.

BENEFICIO DE CRIADEROS PRIMITIVOS Y DE MENAS AURÍFERAS COMPUESTAS

Tanto en California como en Australia y Africa se extrae mucho oro de los criaderos primitivos, es decir, de filones y venas de cuarzo que arman en esquistos y granitos firmes, ó en rocas eruptivas, y la escasa producción europea procede casi exclusivamente de semejantes criaderos. La explotación en estos casos se verifica con arreglo á la minería propiamente dicha, y resulta, por regla general, mucho más complicada y costosa que la de los aluviones auríferos de que tratamos en las páginas precedentes; pues aparte de que la excavación de subterráneos estrechos á la luz artificial, siempre es faena más ardua que el arranque libre á cielo abierto de terrenos relativamente blandos, es preciso, en la mayoría de los casos, fortificar semejantes labores y emplear poderosas máquinas en su desagüe y en la extracción de los productos. En el célebre filón de Comstock, en Nevada (Estados Unidos), las labores más avanzadas se encuentran ya á una profundidad de cerca de mil metros, y en las antiguas minas húngaras el desarrollo de los subterráneos es también considerable.

Dado el estado de fina división y diseminación que tiene el oro en semejantes criaderos, presentándose, ora en diminutos granos ó escamas irregularmente distribuídos en la masa del cuarzo, ora en partículas aún más finas en medio de la roca misma ó de minerales compuestos, como el sulfuro de plata y

las piritas, es preciso, para extraer dicho metal, someter la masa del criadero á una trituración ó pulverización, pasando las partes arrancadas por el triturador de Blake, los bocartes y los molinos de que hablamos al principio de este tomo. El polvo obtenido se amalgama entonces con azogue en toneles giratorios ó molinos parecidos á los que se emplean en la amalgamación de la plata (véanse figuras 113 y 114), destilándose después el producto para separar el azogue del oro. Ya dijimos en el capítulo del azogue que se emplea hoy con gran ventaja, para la amalgamación, dicho metal mezclado con una mínima proporción (de una ó dos milésimas) de sodio ó potasio, por resultar mucho más eficaz que el azogue solo.

La amalgamación da los mejores resultados con una pérdida mínima de mercurio, cuando la mena contiene oro solamente, libre de otros metales; si contiene piritas auríferas, se somete previamente á una calcinación, ó se expone á las influencias atmosféricas para transformar en parte las piritas en sulfato de hierro, que disuelven y se llevan las lluvias. Las menas de plomo, cobre y plata que contienen oro, se tratan de diversas maneras, como ya tuvimos ocasión de explicar, concentrándose el oro en el cobre negro ó en el plomo, y separándose, finalmente, por la vía húmeda ó por la copelación. Existen además diferentes procedimientos para la extracción directa del oro de las menas sulfurosas (piritas), ó de las menas auríferas muy pobres; uno de ellos consiste en humedecer la mena (previamente calcinada si es piritosa) con agua, y someterla en vasijas de loza á la acción del cloro, cuyo gas se introduce por el fondo y sube atravesando la carga; el clorido de oro que se forma se disuelve en agua, y luego se precipita por medio del hidrógeno sulfurado; el sulfuro se quema para separar el azufre, el residuo se disuelve en agua regia, y, por último, se obtiene el oro puro precipitándolo con sulfato de hierro.

AFINO DEL ORO

Todo oro, cualquiera que sea su procedencia, contiene alguna plata; además, el de California suele contener un poco de iridio, mientras que el que se obtiene metalúrgicamente por la fusión de menas complejas, puede resultar con algún antimonio, cinc y plomo. De estos metales comunes basta 1/2000 partes para perjudicar notablemente la ductilidad del oro, de modo que semejante metal impuro se somete necesariamente á un afino. Al efecto, se funde con un poco de bórax y nitro, y los metales extraños (salvo la plata) se oxidan pasando á la escoria que flota sobre el baño metálico; en cuanto á la plata, conviene separarla también en la mayoría de los casos; pero esta operación, que se llama *apartado*, se funda en la diferente acción de ácidos sobre los dos metales en cuestión:

la plata se disuelve en ácido nítrico, y algo más difícilmente en el sulfúrico, mientras que estos ácidos no atacan al oro.

El antiguo procedimiento del apartado por medio de ácido nítrico ha caído en desuso, si bien se practica todavía en la Casa de la Moneda de Filadelfia, con oro de California, del modo siguiente. Hay que advertir, primero, que para poder efectuar la completa separación de ambos metales, es preciso que la aleación los contenga en cierta proporción, ó sea la de dos partes de plata por una de oro; de modo que si, como generalmente sucede, el oro no contiene la plata necesaria, hay que añadir la que falta. En Filadelfia, pues, se ensaya primero el oro argentífero, y después de granularlo, se funde con la plata necesaria para obtener una aleación de la composición indicada, empleando grandes crisoles, en los que caben 25 kilogramos de oro y 50 de plata. Esta aleación se vuelve á granular vertiéndola en agua, y se somete entonces á la acción del ácido nítrico concentrado en grandes vasijas de loza; al cabo de siete días se retira la disolución, que contiene ya la mayor parte de la plata, y se diluye el resto durante alguna horas más con ácido puro. El oro que queda después de esta operación en estado de polvo, se lava con agua y se coloca en moldes, sometiéndolo á una fuerte presión hidráulica, y secando después al calor artificial los ladrillos obtenidos. De la disolución se precipita la plata, por medio de agua de sal común, en forma de cloruro, que se reduce á metal mediante el cinc. Por el procedimiento referido se necesitan 4,5 kilogramos de ácido nítrico para obtener un kilogramo de oro fino.

El oro impuro puede afinarse parcialmente mediante una especie de cementación; pero el procedimiento, que es bastante antiguo, sólo suele aplicarse para mejorar el color, y por tanto el aspecto de objetos de oro ó dorados y hechos, y rara vez al metal sin elaborar. Al efecto, dichos objetos, ó el oro en forma de planchas delgadas ó de granos, se colocan en cápsulas de arcilla, rodeándolos con un polvo compuesto de ladrillo pulverizado, sal común y caparrosa verde desecada, sometiendo entonces el conjunto á un caldeo moderado. Según que se trate de un verdadero afino ó apartado, ó bien de mejorar simplemente el color, la operación dura más ó menos tiempo; en el primer caso, diez horas ó más. Durante ella, se va desplatando gradualmente el oro desde su superficie al interior de su masa, pues el calentamiento de la sal y la acción de los vapores de ácido sulfúrico tienen por efecto el desprendimiento de cloro, que se combina con la plata y otros metales extraños, formando cloridos que absorbe el polvo de ladrillo. A consecuencia de semejante extracción, el oro se vuelve poroso y es preciso volver á fundirlo. Tratándose únicamente de hermosear el color del oro, la operación dura mucho menos tiempo; pero también en este caso resulta porosa y mate la superficie del metal, de modo que es preciso pulimentarla después.

Para apartar de la plata pequeñas cantidades de oro, el medio más común

mente empleado consiste en cocer el metal granulado con ácido sulfurico concentrado. La plata se oxida primero á costa del ácido sulfúrico y se desarrolla ácido sulfuroso, que es preciso diseminar en la atmósfera por medio de una chimenea elevada, ó que se aprovecha en los grandes establecimientos para la fabricación de ácido sulfúrico. La mayor parte de la plata se convierte en sulfato, y el oro, mezclado con una parte mínima de plata, queda sin disolver. La disolución argentífera se traslada á cajones forrados con plomo, diluyéndose con agua, y entonces el fino polvo de oro, antes suspendido en el líquido, se va depositando gradualmente. Este depósito de oro se cuece de nuevo con ácido en una pequeña caldera de platino, á fin de disolver el resto de plata que contiene, y se obtiene, por último, el oro puro en forma de polvo, que se cuece, para lavarlo, con agua, y después de secado se funde. Para obtener la plata contenida en la disolución sulfúrica se colocan en ésta planchas de cobre, sobre las que se deposita la plata químicamente pura en forma de hojitas brillantes; entonces no hay más que lavarla, secarla y fundirla para obtener un metal en extremo apreciado por su pureza, sobre todo para la fotografía.

Un nuevo procedimiento para el apartado del oro de la plata y otros metales es el de *Miller*, que se empleó primero en la Casa de Moneda de Sydney (Australia); descansa en la afinidad entre el cloro y los metales, y consiste en fundir el oro impuro en crisoles ordinarios de arcilla refractaria (que, para mayor seguridad, se colocan dentro de otros de grafito), verter sobre el baño metálico un poco de bórax fundido y hacer pasar una corriente de cloro á través de la masa por medio de un tubo de arcilla que baja hasta el fondo del crisol. Se desarrollan vapores espesos y pesados, que escapan por una abertura en la tapa del crisol, y consisten en los cloruros volátiles de los metales extraños comunes; en cuanto á la plata, va también absorbiendo cloro, formando su cloruro fundido una capa que flota sobre el oro, mientras que éste no se altera; es verdad que á la temperatura ordinaria existe una afinidad notable entre este metal precioso y el cloro; pero mucho antes de elevarse aquélla hasta el punto de fusión del metal el cloruro de oro se descompone, y he aquí la razón por qué el oro fundido no sufre alteración en presencia del cloro. Como el cloruro de plata tiene un punto de fusión más bajo que el del oro, es fácil separarlo vertiéndolo después de solidificado éste; el oro mismo se limpia del poco de cloruro de plata que puede quedar adherido á su superficie, por medio de una disolución concentrada de sal común, y entonces se halla en estado puro. El único inconveniente que ofrece este procedimiento de Miller consiste en lo perjudicial del cloro para la salud de los operarios encargados de practicarlo.

Antes no se sabía separar de la plata un pequeño contenido en oro; pero hoy existen en las grandes ciudades ó centros comerciales establecimientos destinados á este género de afino ó apartado. Francia fué la primera en reconocer el partido que podía sacar sometiendo á semejante tratamiento sus anti-

guas monedas de plata, y pronto halló muchos imitadores entre las demás naciones. Se calcula generalmente que la plata vieja contiene una milésima parte de su peso de oro, proporción que basta para obtener buenas ganancias, dadas la sencillez y baratura de los procedimientos. Para dar una idea de la economía del apartado, basta ofrecer á nuestros lectores un par de ejemplos de las condiciones en que suelen hacerse las operaciones: en Francia ser abona al afinador, por mano de obra, de 5 á 5,5 francos por kilogramo del metal afinado, teniendo aquél la obligación de devolver, además de la plata, todo el oro que ha sacado de ella, quedándose, en cambio, con el cobre. Hace algunos años que, al entregar el Gobierno del Gran Ducado de Baden una cantidad considerable de moneda vieja á un afinador de Francfort, éste se obligó á devolver la plata pura en lingotes y abonar, además, 68 céntimos de marco (0,85 de peseta) por el oro que sacara de cada kilogramo de metal; de modo que sólo se reservaba, para sus gastos y ganancias, el exceso de oro sobre la proporción que pagaba, y además el cobre.

Para separar ó apartar la plata del oro, siendo éste el metal preponderante, se puede proceder por la vía ígnea, si bien ninguno de los procedimientos da un resultado satisfactorio; la operación tiene lugar fundiendo el metal con sulfuro de antimonio, con azufre, ó con litargirio, ó bien por el procedimiento ya referido de la cementación. Por la vía húmeda puede verificarse el apartado con ácido nítrico, según el modo ya anticuado, que describimos antes; pero resulta más ventajosa la disolución del oro argentífero en agua regia, en cuya operación la plata viene á constituir el residuo en forma de cloruro. La separación por medio del ácido sulfúrico sólo es posible fundiendo previamente el oro con una cantidad de plata tal, que ésta sea el metal preponderante. Caso de que haya que separar del oro pequeñas cantidades de platino ó iridio, hay que adoptar diferentes medios, que tienden, naturalmente, á complicar las operaciones.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ORO

Al pensar en las cantidades considerables de oro que se producen año tras año, algunos de nuestros lectores se habrán preguntado tal vez en qué se emplean, y si, de continuar semejante producción, no acabará el oro por perder mucho de su valor. Si el tráfico y el comercio no hubieran adquirido en los últimos tiempos un desarrollo muy superior al de la producción de los metales preciosos, sería de temer, en efecto, que el rey de los metales tuviera que bajar del elevado solio en que se halla encumbrado; mas sucede en la actualidad que, á pesar del enorme aumento en la cantidad de oro producido anualmente de cuarenta años á esta parte, se siente más bien una escasez que no una superabundancia del metal precioso, y no sería extraño que semejante escasez se trocara un día en un ver-

dadero apuro, dada la tendencia de algunos Gobiernos á adoptar, como el inglés y el alemán, el talón de oro para su moneda, con exclusión de la plata, salvo, es claro, la precisa para facilitar los cambios y negocios menudos. Esta desmonetización de la plata en los últimos años, combinada con un exceso de producción en América, ha determinado ya una baja considerable en el precio de este metal, en tanto que el del oro se ha sostenido: mientras que en el año 1865 y en los países de la unión monetaria latina (Francia, España, Bélgica, Italia y Suiza) la proporción entre el valor de la plata y el del oro era de 1 á 15,5, en 1886 había bajado hasta 1 á 22.

No es tan despreciable como pudiera creerse el oro que se pierde por el mero desgaste de las monedas, merced á su continua circulación; según los casos puede variar dicha pérdida en $\frac{1}{40}$ y $\frac{1}{10}$ por 100 del peso, y llega á veces hasta $\frac{1}{6}$ por 100, de modo que, por ejemplo, cada pieza de 25 pesetas en circulación puede perder de 0,5 á 2 céntimos cada año. Además, el consumo del oro en la industria ha crecido considerablemente, apareciendo el metal, no sólo en la forma de objetos de adorno y de utilidad, sino hasta en las cosas más triviales y poco duraderas. Todo el oro depositado galvánicamente en la superficie de los objetos, lo mismo que el que en forma de panes se emplea en el dorado del cuero, papel, madera, de la porcelana, del vidrio, etc., así como el usado en la fotografía y otras varias ramas de la técnica, es metal perdido, en el sentido de que no se puede volver á utilizarlo. Por consiguiente, no es fácil que, en tales condiciones, haya superabundancia del metal precioso que nos ocupa; antes bien podrá resultar en lo sucesivo una escasez sensible, puesto que no se descubre cada veinte años una nueva California ó una nueva Australia.

Consideremos ahora un poco más de cerca las propiedades y combinaciones del oro. El metal puro fué tenido durante mucho tiempo por el más pesado que existía, hasta que se descubrió que el platino, el osmio y el iridio son más densos; la gravedad del oro en estado fundido varía entre 19,25 y 19,5, siendo aún algo superior después de elaborado mecánicamente el metal. Su solidez no es tan reducida como pudiera creerse en vista de su blandura, y su ductilidad es extraordinaria. Para su fusión, necesita el oro una temperatura algo más elevada que la plata y el cobre, y en estado fundido brilla con un color verde de mar, sin oxidarse ni volatilizarse; al condensarse de nuevo y enfriarse, se contrae de un modo considerable. Expuesto en forma de alambre ó hoja sumamente delgados, al calor de una fuerte batería eléctrica, el oro arde, al parecer, con llama verde; este fenómeno, sin embargo, se debe tan sólo á una pulverización del metal candente, pues el óxido de oro, que forma un polvo pardo oscuro, sólo se puede obtener indirectamente por la vía de la precipitación química, y la combinación del oro con el oxígeno es tan inestable, que el óxido de oro (también llamado ácido de oro) se convierte pronto en metal por la influencia del calor;

basta la luz del sol para que se cubra dicho óxido con una tenue capa de metal. En esta limitada afinidad que existe entre oro y oxígeno estriban la insolubilidad del metal en ácidos y la permanencia de su brillo.

Más noble que la plata, el oro metálico resiste los ataques del hidrógeno sulfurado y no se combina con azufre en estado fundido; en cambio, el oro se combina directamente con cloro, fósforo y arsénico, y también, en mayor ó menor grado, con bromo, yodo y cianógeno, y si se somete su disolución á la acción del hidrógeno sulfurado, se obtiene un precipitado de sulfuro de oro en forma de polvo negro. Durante mucho tiempo el cloro fué el único medio disolvente del oro; si se mezcla oro, en estado finamente dividido, con agua, y se hace pasar cloro á través de la mezcla, el oro se disuelve, prestando al líquido un color amarillo. Mucho antes de que se conociera el cloro por sí, utilizábase, sin saberlo, dicha propiedad disolvente en el agua regia, que es una mezcla de los ácidos clorhídrico y nítrico, debiéndose su acción á que el hidrógeno del ácido clorhídrico se oxida á costa del oxígeno del ácido nítrico, formando agua, mientras que queda libre una cantidad correspondiente de cloro gasiforme; este cloro se combina con el oro, formando clorido de oro, que es soluble en agua, prestándole un color amarillo, y que constituye la materia primera más común para obtener otros preparados de oro. Una combinación singular es el llamado *oro fulminante*, que explosiona con una violencia extraordinaria, y que se obtiene cociendo el clorido de oro con amoniaco líquido. Para separar nuevamente de clorido el oro en estado metálico, se pueden emplear muchas de las sustancias que en química se llaman reductivas; en general se emplean al efecto el sulfato de hierro (caparrosa verde) ó el ácido oxálico.

En determinadas condiciones el oro produce colores rojos: el clorido de oro, por ejemplo, presta á la piel, al papel, etc., un color de púrpura; la misma combinación, ó bien el óxido de oro fundido con vidrio incoloro, da á éste un precioso color de rubí. Si dicho clorido se mezcla con el clorido y el cloruro de estaño en estado disuelto, se obtiene un hermoso precipitado de color de púrpura, que al secarse se vuelve casi negro: tal es la célebre *púrpura áurea de Cassius,* que se emplea en la fabricación de la porcelana y del vidrio para obtener hermosos matices rojizos.

El óxido de oro no tiene las propiedades de una base fuerte, sino que se comporta, en presencia de los álcalis, como un ácido, formando con ellos sales simples y dobles en bastante número; por esta razón se le llama también *ácido de oro*. Dichas sales se descomponen fácilmente, y merced á su sensibilidad ante la luz, prestan buenos servicios al fotógrafo, que las emplea para dar diferentes tonos á sus imágenes. Semejantes preparados fotográficos son, además del clorido de oro puro y simple, la combinación del mismo con cloruro de sodio, y el tiosulfito sódico de oro, que constituye la llamada *sal de oro*, por más que es perfectamente incolora. El cianido potásico de oro se utiliza en el

dorado galvánico, que se forma fácilmente disolviendo oro en una disolución de cianido de potasio.

Pero hemos dicho ya bastante respecto de las aplicaciones químicas del oro, y conviene pasar á la consideración de las industriales, en la cual, sin repetir lo expuesto acerca de la fabricación de la moneda, del alambre, etc., nos detendremos principalmente con las aleaciones del oro, el batido del mismo y el dorado.

El oro forma aleaciones con varios metales, pero con cobre y plata son las únicas que tienen importancia técnica, si bien conviene advertir que en la bisutería se emplea una aleación de cinco á seis partes de oro por una de hierro, que se llama *oro gris*. Con azogue, forma el oro una amalgama con la mayor facilidad: si se coloca en azogue un pedazo de oro, un anillo, por ejemplo, al cabo de corto tiempo se hincha, perdiendo completamente su forma de resultas de la amalgamación. La blandura del oro y su elevado precio hacen más necesario aún que con la plata el empleo de una materia barata que aumente su durabilidad, y de aquí que el oro se elabore casi siempre en forma de aleaciones con cobre ó plata. La aleación con cobre se llama la roja, y la con plata, la blanca, y cuando se agregan al oro ambos metales, se habla de una aleación mixta. La cantidad de cobre ó plata que se emplea en semejantes mezclas suele ser bastante grande, pues el oro dicho de 14 quilates es una materia que se aplica ya á los trabajos finos ó de clase superior. La expresión «de 14 quilates» significa que cada 24 partes de la aleación se componen de 14 de oro y 10 de los otros metales, proporción que dista bastante del puro ideal; pero para los objetos inferiores de bisutería de oro se emplean aleaciones todavía mucho peores, que sólo contienen 6, 4 y hasta 3 quilates de oro por cada 24 partes. En el último caso, es decir, tratándose de un oro de 3 quilates, que no es más que una aleación de siete partes de cobre por una de oro, hay que recurrir al dorado superficial de los objetos para mejorar su aspecto. Debemos advertir en este lugar que hoy ya no se habla de quilates, sino de milésimas, como dijimos al hablar de la plata. Las monedas de oro contienen hoy, generalmente, 900 milésimas de este metal, lo que equivale á 21 quilates y 7,20 gramos.

La aleación blanca, es decir, la en que el oro se alía con plata sola, se emplea rara vez, porque su color resulta demasiado pálido y parecido al del latón. Se usa más la aleación roja, ó sea la del oro con cobre, pero principalmente la mixta, en la que entran cobre y plata en proporciones muy variables, según que se desea producir un color más amarillo ó más rojizo. Además de estos oros amarillo y rojo, se elabora también el ya referido oro gris, que, según la proporción del hierro ó acero, ostenta matices más ó menos azulados. Una aleación de siete partes de oro con tres de plata tiene un color amarillo verdoso; pero al lado del oro rojo aparece de un verde pálido, y de aquí que se hable de oro verde. Aleando el oro con la cantidad suficiente de plata pura ó de platino, pierde completamente su color.

El oro, á pesar de su blandura, es uno de los metales más refractarios; pero mediante su aleación con cobre ó plata se vuelve mucho más fusible, siendo más cómodo su tratamiento, sin que por ello se convierta en material á propósito para moldear. El elevado precio del oro es ya un obstáculo para el empleo del metal en objetos fundidos; pero aparte de esto, el oro, al enfriarse después de fundido, se contrae demasiado para dicho objeto. Por esto sólo se emplea en forma laminada ó amartillada, y aun así, y salvo las monedas, se hacen hoy rara vez objetos macizos; la extraordinaria ductilidad del oro permite su empleo en forma de láminas ú hojas sumamente delgadas, con las que puede prestarse un valor aparente á muchas materias comunes.

BATIDO DEL ORO

La conversión del oro y de la plata en hojas de una delgadez extremada, ó sea en los llamados *panes*, se practica desde muy antiguo, y el dicho popular de que con un ducado de oro se podría dorar un caballero con su caballo, no es ninguna exageración.

El batidor elabora en parte oro fino ó puro, en parte un metal con una mínima cantidad ($^1/_{30}$) de plata ó cobre, según el color que quiere que tengan los panes; como oro fino se emplea preferentemente el que resulta del apartado de la plata por los procesos químicos de que hablamos antes. El oro se funde y vierte de una vez en un molde para obtener una barrita, la cual se estira en un pequeño laminador hasta convertirla en una tira de 2,5 centímetros de ancho y un milímetro de grueso, que se divide en pedazos de 15 centímetros de largo, con los que se forma un paquete, el que se amartilla, estirándolo primero en el sentido de la longitud y luego en el de la anchura, merced á cuya operación cada lámina de oro que forma el paquete adquiere la delgadez del papel. Estas tiritas, que pesan 66,3 gramos, se dividen entonces en hojitas cuadradas de 2,5 centímetros de lado, que se colocan separadamente entre hojas de pergamino de 7,5 centímetros en cuadro, las cuales, sobrepuestas en número de 150, se introducen en una cápsula de pergamino del mismo tamaño; el conjunto se golpea sobre un bloque de granito, con un martillo de 2,5 á 7,5 kilogramos de peso (fig. 146), hasta que las hojitas de oro adquieren las mismas dimensiones que las de pergamino, ó sean 7,5 centímetros en cuadro. Durante esta operación dichas hojitas se tornan duras, y para devolverles su blandura es preciso colocarlas en una cápsula de hierro y caldearlas; hecho lo cual se vuelven á colocar entre pergaminos de 10 centímetros de lado y se golpean hasta que tengan también esta dimensión. Entonces cada una de las hojitas se divide en cuatro partes iguales de 2,5 centímetros en cuadro, y cada una se coloca separadamente entre las llamadas venzas ó películas de batihoja, que consisten en la mem

brana externa del intestino ciego de la vaca, debidamente preparada; 600 venzas, con las hojitas de oro correspondientes, se apilan cuidadosamente, y el conjunto se golpea de la misma manera referida, hasta que las hojitas de oro de 2,5 centímetros de lado tengan 7,5, alcanzando con ello la extrema delgadez de los conocidos «panes». Por último, y en este estado, se dividen de nuevo en cuatro partes y colocan los panes definitivos entre las hojas de papel rojizo de libretas hechas á propósito y en las que el género se entrega al comercio.



FIG. 146.—Batidor de oro.

Las venzas que se emplean en el batido del oro son de la mayor importancia, pues de su calidad depende la hermosura de los panes, y por consiguiente, constituyen un artículo bastante caro, cuya preparación es complicada y exige sumo cuidado. Para quitar á las venzas la bronquedad que adquieren durante el batido, es necesario de cuando en cuando humedecerlas con vinagre; aparte de esto, hay que conservarlas siempre secas y lisas, prensándolas, porque absorben fácilmente la humedad del aire. Al tiempo de emplearlas conviene calentarlas, á fin de asegurar su perfecta sequedad. Las venzas inglesas son las mejores, aunque se hacen hoy muy buenas en Nurenberg.

En cuanto al batido mismo, que, á medida que adelanta el trabajo, se verifica con martillos cada vez menos pesados, es una operación al parecer muy sencilla, pero que supone mucha destreza. Por esto han fracasado hasta hoy las tentativas de sustituir este trabajo manual por el mecánico, pues ninguna de las máquinas inventadas al efecto ha dado resultados satisfactorios. La cápsula ó molde en el que se hallan encerradas las hojitas se sujeta sobre el yunque de granito con una mano, como indica la fig. 146, moviéndolo de acá para allá á fin de repartir mejor los golpes; al mismo tiempo hay que darle de cuando en

cuando una sacudida especial, para evitar que los panes de oro queden adheridos á las venzas. Mas con el mayor cuidado y destreza apenas si se obtiene la mitad del oro empleado en forma de panes servibles, siendo necesario recoger y fundir la parte desperdiciada, ó bien aprovecharla en la preparación de la verdadera pintura de oro, á cuyo fin se mezcla con miel y se muele con el mayor cuidado; la miel se separa después por medio de agua, dejando el oro en forma de un polvo finísimo.

Allí donde el batido se practica en grande escala, las diferentes operaciones



FIG. 147.—Separación de los panes de oro y su colocación entre las venzas.

están repartidas, encargándose de las más delicadas las mujeres (fig. 147), las que colocan las hojitas de oro entre las hojas de pergamino y las venzas, separan los panes útiles de los inservibles, cuentan aquéllos y los colocan en las libretas, etc., mientras que el batido mismo se verifica exclusivamente por hombres, pues el manejo de los pesados martillos supone fuerza.

Los panes hechos con el oro más fino pueden ser tan delgados, que 10.000 de ellos, colocados uno sobre otro, sólo compongan el espesor de un milímetro. Hasta este punto permanecen perfectamente compactos, á pesar de ser translucientes por completo; pero al intentar adelgazarlos más, empiezan á rasgarse. Sin embargo, aquella delgadez extremada no representa, ni con mucho, el límite de la ductilidad del oro, pues se ha comprobado que la capa de oro con la cual, y

por medio del torno de estirar, resulta revestido el alambre más fino de plata (llamado alambre de oro), sólo tiene la seismillonésima parte $\left(\frac{1}{6\,000\,000}\right)$ de un milímetro de espesor. Por lo demás, se fabrican panes de oro de diferentes clases: los más gruesos se emplean en el dorado del alambre de plata, por medio del torno de estirar; otra clase es la que usan los encuadernadores, y contiene un poco de plata, resultando, por lo mismo, de color relativamente claro; una tercera clase la constituyen los panes llamados mixtos, que son amarillos por un lado y blancos por otro, y se obtienen uniendo en el laminador primero, y después con el martillo, una hoja sumamente delgada de oro fino, con otra igual de plata. Se hacen también panes de plata fina de la misma manera que los de oro, aunque no se obtienen tan delgados. Los panes de oro y plata falsos se producen también, como los legítimos, mediante el batido del llamado *tombac* (una especie de latón) y del estaño respectivamente.

DORADO

Muchísimos objetos, especialmente los no metálicos, se doran revistiendo su superficie en todo ó en parte con panes de oro, cuya adhesión se logra mediante un barniz ó cosa análoga. Se obtiene un dorado muy duradero pintando primero la superficie perfectamente alisada de los objetos, con una mezcla de aceite de linaza y ocre levigada, y cuando el barniz está casi seco, aplicando los panes de oro; lo mismo puede procederse, naturalmente, con panes de plata, salvo que, en lugar del ocre, se mezcla albayalde con el aceite de linaza. Dicho procedimiento, empero, no permite el pulimento: el dorado queda mate; para obtener el brillo que se observa, por ejemplo, en muchos marcos dorados de espejos y cuadros, es preciso dorar al agua, como se dice, por más que los efectos de este procedimiento sean mucho menos permanentes que los del dorado al óleo. Los objetos se impregnan ó saturan primero con cola, y entonces reciben de seis á ocho manos de un fondo consistente en creta levigada y agua de cola; hay que tener cuidado de que se seque perfectamente la mano dada antes de proceder á dar la siguiente; este fondo se alisa con piedra pómez, primero en seco y luego en mojado, y entonces se pinta toda la superficie con una mezcla de ocre rojo y grafito, finamente pulverizados, con cola y un poco de cera, extendiendo sobre esta capa los panes de oro ó de plata. Después de secada perfectamente dicha base, los puntos de la superficie dorada destinados á ser pulimentados se alisan primero con el bruñidor de ágata y se pulen con rojo inglés; las partes que han de quedar mates reciben un baño de agua de cola muy clara, ligeramente coloreada con sangre de dragón (una resina). Hoy ya, en la fabricación de las molduras doradas, se emplean principalmente panes de

plata, en lugar de los de oro, produciendo después sobre el plateado el efecto del dorado, en todos sus diferentes tonos, por medio de una laca amarilla. Las molduras doradas de este modo resultan muy baratas y pueden ser lavadas sin inconveniente alguno.

Con panes de oro pueden dorarse también los metales sin ninguna sustancia intermedia que promueva la adhesión; pero este método se emplea ya en pocos casos, y principalmente con objetos de acero. Los puntos de la superficie destinados á recibir el dorado se muerden primero con ácido, y después de calentar el acero hasta que se vuelve azul, los panes de oro se aplican y oprimen; esta operación de calentar y aplicar panes se repite tres ó cuatro veces, y entonces se saca brillo al dorado por medio de un bruñidor de acero. También pueden rayarse las superficies metálicas con un instrumento puatiagudo, en vez de morderlas con ácido, para asegurar la adhesión del oro; pero en este caso el gasto de panes resulta algo mayor, si ha de desaparecer todo rastro del rayado.

El procedimiento por cuyo medio se doran más sólida y permanentemente los metales (plata, cobre, bronce y latón) es el llamado *dorado á fuego*. Su duración estriba en que, mediante la incandescencia, se inicia la fusión ó se produce una verdadera aleación en las superficies de contacto del oro y del metal de fondo. Para dorar á fuego se toman delgadas láminas de oro, y después de caldearlas se vierte sobre ellas de seis á ocho partes de azogue (por una de oro), produciendo de este modo una amalgama que, después de enfriada, se prensa para separar el exceso de azogue. El objeto metálico que ha de dorarse se somete á una preparación, caldeándolo bien, dejándolo enfriar, luego limpiándolo perfectamente con ácido sulfúrico diluído, y, por úlimo, frotándolo con una mezcla de ácido nítrico, sal común y hollín; hecho esto, se extiende sobre su superficie la amalgama por medio de una brocha de alambre de latón previamente humedecida con una disolución de azogue en ácido nítrico. En este estado el objeto se baña con agua y se deja secar, y luego se caldea en un fuego de carbón, dándole las vueltas necesarias; durante esta operación el azogue se volatiliza dejando el oro sobre el metal en forma de una tenue capa, que queda fuertemente adherida. Si se quiere que la capa de oro sea más gruesa, se puede repetir el dorado dos ó tres veces, volviendo á extender nuevas porciones de amalgama y caldeando como antes. En último término, la superficie del objeto se limpia frotándola con vinagre, y entonces se pulimenta con ágata.

Tratándose de objetos de bronce y latón, se pone especial cuidado en el caldeo previo y la limpieza con ácido, procurando, mediante un tratamiento más enérgico, eliminar algún cinc de la capa superficial, á fin de obtener una superficie más rica en cobre, que admite mejor la amalgama y presta al dorado un tono más agradable. Si se quiere producir un dorado mate en algunas partes del objeto, éstas se cubren con una composición que, por la influencia del calor, desarrolla cloro, que ataca la superficie del oro destruyendo el brillo; al mismo

tiempo, como se comprende, las partes del dorado que han de ser pulimentadas se cubren, para protegerlas, con una ligera capa de creta y goma. Para dar al dorado un tono rojizo, se unta el objeto, después de expulsado el azogue de la amalgama, con una cera preparada al efecto y que contiene cardenillo: bajo la influencia del calor se forma superficialmente una aleación del oro con el cobre del cardenillo. En cambio, si se emplea cera preparada con el sulfato de cinc, el dorado resulta de color más amarillo.

Los vapores mercuriales que se producen durante el dorado á fuego, así como el cloro que se desprende cuando se forma el dorado mate, son muy perjudiciales para la salud de los operarios. Por esta razón es preciso que el taller en que se verifiquen estas operaciones esté provisto de una elevada chimenea, y se active además el tiro por medio de ventiladores centrífugos, á fin de alejar los vapores nocivos que se reunen sobre el hogar, el cual se construye, con el mismo objeto, debajo de una campana de obra en comunicación con la chimenea, y el espacio que á la fuerza ha de quedar abierto, se cierra en parte mediante una vidriera; además los operarios se protegen la cara contra las influencias nocivas de los gases y contra el calor, por medio de caretas especiales. Todas estas disposiciones se hallan ilustradas en la fig. 148, que representa el acto de dorar á fuego una pieza muy grande de una estatua de bronce.

El dorado á fuego de los objetos de hierro y acero supone una preparación especial, puesto que estos metales no admiten directamente la amalgama de oro. Dicha preparación consiste en hervir los objetos en agua con azogue, cinc, sulfato de hierro y ácido clorhídrico, por cuyo medio se reviste el hierro de una tenue capa de azogue, ó bien se cubren dichos objetos con un ligero baño de cobre. El dorado de hierro y acero así preparado no ofrece dificultad. En cuanto al dorado de la porcelana y del vidrio, nos ocuparemos de él en otros capítulos de este tomo.

Los métodos de dorar en frío y por la vía húmeda producen dorados mucho menos duraderos que el procedimiento al fuego que acabamos de describir. El dorado en frío es aplicable al cobre, latón, tombac, metal blanco y á la plata, practicándose más especialmente con esta última. El oro se disuelve, al efecto, en agua regia hasta la saturación del líquido, y entonces se empapan con la disolución pequeños trapos de lienzo, que se secan y carbonizan. En estos trapos medio quemados se halla el oro en estado de división finísima, y tomándolo de ellos con un corcho mojado en vinagre, se frota la superficie, previamente limpia de los objetos de cuyo dorado se trata. Por medio tan solo de un frotamiento prolongado, las partículas de oro se adhieren á dicha superficie, constituyendo un dorado hermoso, que después se puede pulimentar. El método suele aplicarse á la renovación de objetos usados, que antes se doraron ligeramente al fuego ó por el procedimiento galvánico.

El dorado por la vía húmeda comprende todos los procedimientos por los que

el oro se emplea en forma de una disolución. Antes de que se inventara la galvanoplastia, ó, mejor dicho, la *galvanostegia*, como se llaman propiamente el dorado y el plateado galvánicos, se doraban ligeramente los artículos de bisutería por medio de una disolución del llamado oro potásico, esto es, una composición de clorido de oro disuelto y bicarbonato de potasa con agua. Esta disolu

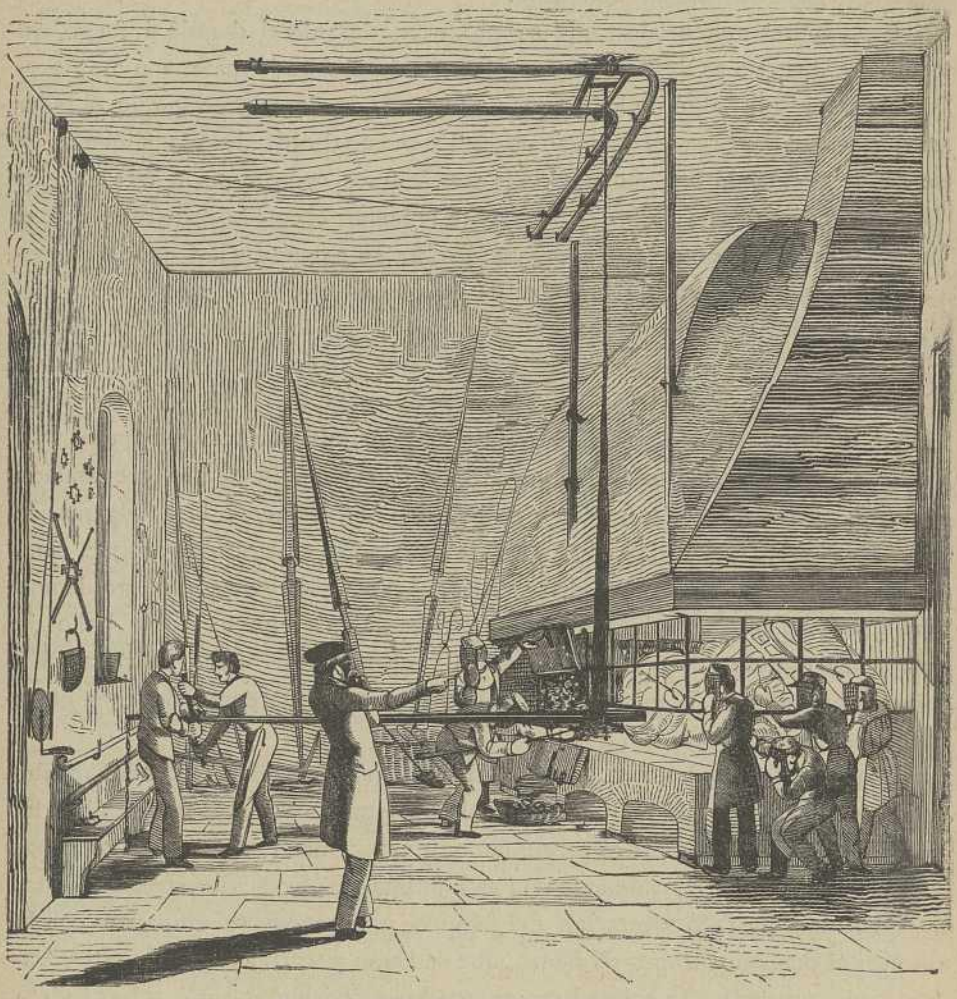


FIG. 148.—Dorado á fuego de una estatua de bronce.

ción se mantiene hirviéndola en una vasija de porcelana ó de hierro esmaltado, y en ella se sumergen los objetos suspendidos en alambres de cobre, retirándolos dorados al cabo de un minuto. El método es aplicable al cobre, al latón y al tombac, y también al hierro y al acero, si se revisten previamente con un ligero baño de cobre; pero no es á propósito para dorar la plata. Los pequeños instrumentos de acero, como tijeras, agujas de coser y hacer media, etc., reci-

ben á veces un dorado sumamente ligero en todo ó en parte; á cuyo efecto se sumergen en éter de oro ó se pintan con esta disolución, apareciendo el dorado después de calentar un poquito los objetos. El éter de oro se produce mezclando la disolución común de clorido de oro con éter sulfúrico, que absorbe dicho clorido. El cinc y todos los objetos que han recibido un baño del mismo se pueden dorar parcialmente con facilidad, pintando los puntos correspondientes con una pasta formada con el ya referido cianido potásico de oro y un poco de tártaro, pasta que luego se quita lavando los objetos.

Todos los procedimientos de dorado por la vía húmeda estriban en una acción química reductiva: los metales comunes tienen mayor afinidad con los elementos que acompañan al oro (cloro, cianógeno, etc.) que este metal precioso, y resulta, por lo tanto, de un lado una separación y de otro una nueva combinación. Si además entran en juego corrientes eléctricas, dichos cambios proceden más rápidamente, y también por ese medio pueden producirse en casos en que, sin la electricidad, no podrían verificarse.

PLATINO Y METALES ANÁLOGOS

Según el concepto tradicional del universo, que ya va perdiendo terreno, y que considera al hombre como objeto y término de la creación, los dones de la Naturaleza, que se suponen existentes tan sólo para bien de este señor del mundo, deben hallarse precisamente en la cantidad y distribución más adecuadas: explíquese, por ejemplo, que el carbón de piedra únicamente se halla tan escondido en las profundidades de la tierra, á fin de que se emplee con economía. La mera enumeración de los hechos que patentizan lo absurdo de semejante concepto, bastaría para llenar un abultado tomo; pero el platino, por sí solo, sobra para hacerle caer por su base. Es evidente á todas luces que, dadas sus propiedades tan valiosas para la técnica, el platino es un metal demasiado raro, y, por consiguiente, demasiado caro; el hombre podría utilizarlo en cantidades muchísimo mayores á los fines de la ciencia y la industria si la madre Naturaleza no se hubiese mostrado tan parca en proporcionarlo. En efecto, el platino, que no es en realidad á propósito, como metal de lujo, cual el oro y la plata, tiene su puesto señalado en el laboratorio del naturalista y en los talleres y las fábricas de la física y la química industriales; sin los utensilios de platino, la fabricación del ácido sulfúrico, por ejemplo, nunca hubiera podido adquirir el desarrollo que actualmente tiene.

La historia del platino nada tiene de antigua: en la primera mitad del siglo pasado observáronse en algunas arenas auríferas de la América meridional, y mezclados con pepitas de oro, granos de otro metal, blanco y más pesado, con el que nada se podía hacer, por de pronto, puesto que no se lograba fundirlo, y

como se parecía exteriormente á la plata, diósele el nombre diminutivo de *platina*. En realidad, el primer nombre que recibió el nuevo elemento fué el de *platina del Pinto*, por haberse encontrado primero en las arenas del río Pinto, en Nueva Granada (Colombia); pero luego se descubrió también, si bien en cantidad más exigua, en el Brasil, Perú, Méjico y Santo Domingo. Aunque en los primeros años, como ya dijimos, no se supo qué hacer con el nuevo metal, por resistirse á la acción del calor en los hornos ordinarios, pronto aprendieron los americanos que el platino podía aliarse en bastante cantidad con el oro, sin perjudicar el color y el peso de éste, de modo que se prestaba desde luego á la falsificación de la moneda; en su vista, el Gobierno español mandó recoger todas las existencias de platino y tirarlas al mar. Empero, andando el tiempo, fueron revelándose las propiedades del platino; el inglés Wood lo trajo por primera vez á Europa en 1741; en 1754 los suecos Steffen y Lewis lo reconocieron como un metal nuevo, pero en 1803 se descubrió que el platino, tal como se encuentra en los «placeres» auríferos, es en realidad una mezcla de cinco metales diferentes, á saber, ademas del platino propiamente dicho, el paladio, rodio, iridio y osmio, entre los que se descubrió más tarde (1846) otro, ó sea el rutenio. Estos metales se encuentran tan constantemente en compañía del platino, que suelen llamarse «metales del platino».

Hasta el año 1822 no se conocía más platino que el americano; pero en dicha fecha se descubrió el nuevo metal en los «placeres» auríferos de las vertientes orientales de los Urales, y no se tardó mucho en observar su presencia, en cantidad mayor ó menor, si bien siempre reducida, en todas las arenas de aquella cadena de montañas. Las más ricas son las de Nischni-Tagilsk y Kuschwinsk: las primeras, que pertenecen á la célebre familia Demidow, que paga al Gobierno ruso, como cánon, el 13 por 100 del platino extraído, se encuentran en la parte más elevada de los Urales, inmediatamente debajo de la superficie del terreno. La producción de platino en este distrito ruso dejó pronto en la sombra á la americana, pues desde 1825 á 1874 se elevó aquella á 66.000 kilogramos, habiendo alcanzado 5.800 en el año 1880 y 4.082 en 1882; mientras que Colombia, el Brasil y Santo Domingo juntos sólo producen unos 425 kilogramos de platino al año. Se ha encontrado el platino también en California, aunque en poca cantidad, y actualmente la isla de Borneo produce al año unos 120 kilogramos; pero aunque suelen presentarse en diferentes partes del globo partículas de platino, sólo ofrece esta circunstancia un interés puramente científico, siendo los Urales la única región de donde se extrae con relativa abundancia. Según Petenkoffer, todo el oro y la plata del comercio, sin afinar ó apartar, contiene un poco de platino, y los químicos franceses han reconocido su presencia en muchas rocas, especialmente de los Alpes. El hierro fundido y el acero de determinadas procedencias lo contienen también, aunque sólo en la proporción de 10 á 20 milígramos por quintal métrico.

Como se ve, el platino puede encontrarse en los mismos aluviones que el oro; pero es un hecho que los depósitos más ricos en platino son pobres en oro, así como en la arena de cuarzo que suele acompañar este metal; de modo que es probable que la roca madre del platino sea distinta de la más común del oro. Como el platino se encuentra á veces adherido al mineral de hierro crómico y á la serpentina, se supone que ésta pueda ser su roca madre; pero en Colombia se ha hallado incrustado en sienita, en filones de cuarzo y limonita, ó hierro pardo. Como el oro, el platino sólo se presenta en la Naturaleza en estado nativo, aunque siempre en compañía de otros metales y minerales, con los que se halla en parte mezclado, en parte aliado. Por esto un pedazo de platino bruto puede tener un valor muy variable, según que se componga de platino puro, ó sólo contenga una mínima porción de él. En la mayoría de los casos, el platino y sus metales afines se encuentran en estado de arena metálica fina, ó bien formando escamitas, pequeñas pepitas hasta del tamaño de un guisante, que ora tienen brillo, ora ostentan un color gris negruzco; pero rara vez se encuentra el platino en masas relativamente grandes, como sucede con el oro; el pedazo mayor que se ha encontrado en Colombia, y se conserva en Madrid, pesa 820 gramos; pero en los Urales se han hallado varias masas mayores, de 5 á 10 kilogramos de peso, habiendo alcanzado una 16,5 kilogramos. Además de los metales ya referidos, los acompañantes más comunes del platino en sus «placeres» son: los minerales de hierro magnético, titánico y crómico, el zircón, la espinela, el cuarzo y la serpentina; generalmente se encuentran también en las arenas pepitas aisladas de una mezcla ó aleación de osmio é iridio.

BENEFICIO DE LAS ARENAS PLATINÍFERAS

El platino y sus congéneres se separan de las arenas de los «placeres» por medio de un lavado igual al que se practica para la separación del oro, empleándose además el imán para apartar los granos de mineral de hierro, así como los de una verdadera aleación de este metal con el platino, que suele presentarse lo mismo en las arenas platiníferas rusas que en las americanas. La extracción del metal puro de la mena concentrada por el lavado es una operación que nada tiene de común con los procedimientos metalúrgicos ordinarios, correspondiendo en realidad al laboratorio químico, pues consiste esencialmente en disolver la mena en agua regia, precipitar el platino por medio de cloruro de amonio y caldear el precipitado, obteniendo el metal en forma de una masa pulverulenta.

El platino comparte con el oro la insolubilidad en los ácidos sencillos, y en su estado bruto resiste aún más que él á la acción disolvente del agua regia, necesitándose emplear gran cantidad de ésta y promover la operación por medio del calor. Pero antes de disolver el platino se puede someter la mena á la acción

del ácido nítrico para extraer el cobre y hierro que pueda contener, y luego á la del agua regia diluída y fría, á fin de separar el oro. En San Petersburgo, sin embargo, donde se encuentra el principal establecimiento de extracción del platino, en el cual se tratan casi todos los productos platiníferos de los Urales, se procede desde luego á la disolución en agua regia caliente. Sobre un baño de arena debidamente calentado se hallan dispuestas treinta cápsulas de porcelana, que pueden contener cada una de 12 á 17 kilogramos de platino bruto, con la cantidad correspondiente de agua regia, compuesta de una parte de ácido nítrico por tres partes de ácido clorhídrico. Cuando al cabo de ocho ó diez horas ha cesado el desprendimiento de los vapores rojizos, se separa el líquido del residuo no disuelto, que consiste generalmente en osmio, iridio, cromo, rutenio y hierro titánico. La disolución que contiene el platino se evapora hasta la sequedad, y la masa sólida que de tal modo se obtiene se calienta hasta los 125 grados, á fin de convertir los cloridos de paladio é iridio en cloruros, que no se precipitan durante el tratamiento siguiente con cloruro de amoniaco. Verificada dicha conversión, la masa se disuelve en agua, y entonces se va añadiendo cloruro de amonio mientras se produce un precipitado amarillo, el cual es una sal doble consistente en clorido de platino y amonio. Para obtener el platino en estado metálico basta caldear este precipitado, pues por tan sencillo medio se vaporizan el cloro y el cloruro de amonio, dejando el metal solo; el caldeo se practica en una cápsula de platino y el metal resultante presenta el aspecto de un polvo gris sumamente delicado y poroso, que se llama *esponja de platino*, y se tritura con cuidado en un mortero metálico, pasándolo después por un tamiz.

El polvo fino y uniforme que resulta de esta operación se introduce en cierta cantidad en un fuerte tubo de hierro fundido, y mediante un sólido pistón de acero, que entra ajustado en el tubo, y una poderosa prensa, se oprime fuertemente la masa hasta convertirla, por la mera cohesión de sus partículas, en un pequeño cilindro, ó, mejor dicho, en un grueso disco de bastante solidez. Formado cierto número de estos discos, se someten durante treinta horas al fuerte calor de un horno de porcelana, merced á cuya acción las partículas de platino se aglutinan, digámoslo así, ó aglomeran, sin fundirse realmente, reduciéndose, como es consiguiente, el tamaño de los discos. El platino en este estado es maleable y á propósito para varios usos; pero por lo común se forman con él pequeñas barras, que se convierten luego en planchas y láminas, ó en alambre de diferentes gruesos. El metal mismo contiene todavía un poquito de iridio; pero tratándose de aplicarlo á la fabricación de vasijas, esta mezcla, lejos de perjudicar, resulta favorable.

La diferencia de valor entre el platino bruto y el extraído es bastante considerable, pues en San Petersburgo cuesta un kilogramo del primero unas 500 pesetas, mientras que el segundo se paga á razón de unas 875 pesetas el kilogramo. La gran cantidad de agua regia que se consume encarece notablemente

el procedimiento de extracción allí adoptado, y desde este punto de vista resulta más ventajoso el modo de beneficio siguiente. La mena platinífera se funde con dos ó tres partes de cinc, obteniéndose de semejante manera una aleación sumamente agria, que con facilidad puede convertirse en un polvo fino, el cual se somete á la acción del ácido sulfúrico diluído, que disuelve el cinc y el hierro, luego á la del ácido nítrico, que separa la mayor parte de los demás metales extraños, y, por último, se disuelve el resto en agua regia, extrayendo el platino con arreglo al método anterior.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL PLATINO

Tan indestructible como el oro, el platino tiene además casi tanta solidez como el hierro y el cobre, si bien en realidad esta última propiedad se debe á la pequeña porción de iridio que, como dijimos más arriba, contiene generalmente el platino extraído. El platino puro, en cambio, es más blando que la plata, igualando por lo menos á ésta respecto de su ductilidad, que es poco inferior á la del oro; se puede reducir por el batido á hojas tan delgadas como los panes de plata, y en el torno de estirar se obtienen directamente alambres muy finos. Pero se puede producir un alambre de platino de una delgadez extraordinaria, cubriendo un alambre relativamente grueso con una capa aún más gruesa de plata, y estirando el conjunto hasta un límite extremo: el alma de platino se estira al par de la cubierta de plata, y cuando ésta se disuelve por medio del ácido nítrico, aparece en forma de un pelito impalpable y apenas visible; Wollaston produjo de este modo un alambre de platino cuyo diámetro no pasaba de seis diezmilésimas partes de un milímetro (0,0006 mm.)

El platino es más pesado que el oro, pues en estado químicamente puro su gravedad equivale á 21; su punto de fusión se halla próximamente á los 1.775 grados. La masa porosa llamada *esponja de platino* tiene la propiedad de absorber los gases, condensándolos dentro de sus poros, y de aquí su aplicación á la lámpara de hidroplatino inventada por Doebereiner, que ya ha caído en desuso. Esta propiedad de absorción se manifiesta aún en grado superior en el llamado *negro de platino*, un polvo negro muy delicado que puede absorber hasta 250 veces su volumen de oxígeno, y tiene, por lo mismo, una acción oxidante muy enérgica. El negro de platino se puede preparar de diferentes maneras, consistiendo el procedimiento más sencillo en precipitar el metal de la disolución del clorido por medio del cinc. Los ensayos encaminados á utilizar el negro de platino en la fabricación del vinagre no han dado resultados satisfactorios.

Dada la resistencia del platino contra la oxidación y otras acciones químicas, siempre puede sustituirse con ventaja al oro, tan caro, cuando puede prescindirse del color de éste. Tal es el caso, por ejemplo, en los trabajos del dentista; y la aplicación del platino á este ramo debe ser ya bastante extensa, cuan-

do se considera que una sola fábrica de Filadelfia emplea mensualmente un kilogramo del metal en hacer pequeños ribetes para fijar los dientes postizos. En la forma de hojas ó panes, el platino sustituye á veces á la plata para revestir molduras, objetos de talla y cosas semejantes, pues se presta bien al dorado y tiene la ventaja de no volverse negro bajo la influencia de vapores sulfurosos, como sucede con la plata.

Pero el platino tiene la mayor importancia cuando se trata de objetos que, al par de resistir á los ácidos más fuertes, no estallan ni se funden, y por esto es de tanta utilidad en los laboratorios químicos, donde se emplea en forma de retortas, crisoles, cápsulas, cucharas, pinzas, espátulas, láminas y alambre. Ciertas industrias, como la fabricación del ácido sulfúrico y el apartado del oro, necesitan alambiques y cápsulas de platino de grandes dimensiones: una fábrica que produce diariamente 40 quintales métricos de dicho ácido, necesita un alambique de platino que, con los tubos, grifos y demás accesorios vale, cuando menos, 75.000 pesetas; y no hay medio de evitar semejante gasto, salvo el empleo de alambiques de vidrio, que pueden estallar á cada momento. La fabricación en grande del ácido sulfúrico es imposible sin el platino; y si se considera la importancia de este medio disolvente para toda suerte de operaciones técnicas, es evidente la del metal que nos ocupa. Sin embargo, el platino no es refractario á todas las influencias sin excepción, y el químico y todos los que emplean vasijas ó utensilios de él, saben muy bien que tienen que preservarlos contra determinados efectos; por ejemplo, no los pondrían en contacto con sustancia alguna que desprende cloro, porque éste es el medio de disolver el platino, como el oro; y lo propio puede decirse respecto del bromo, yodo, fósforo y azufre. Tampoco debe ponerse el platino en contacto con carbón ardiendo, porque absorbe fácilmente el silicio de las cenizas, volviéndose quebradizo y agujereándose. También atacan más ó menos al platino las combinaciones del litio, la potasa cáustica, el nitro fundido, etc., mientras que para fundir otros metales las vasijas de platino son impropias, por el peligro de que se formen aleaciones entre su metal y aquéllos; el plomo, el estaño y otros análogos se alían desde luego con el platino, produciendo agujeros en el crisol.

Lo mismo que el cobre, el oro y la plata, el platino puede precipitarse por la vía galvánica ó electrolítica; pero no se ha logrado aún formar en la superficie de vasijas metálicas una capa ó depósito de platino con la densidad bastante para que puedan aquéllas resistir la acción de los ácidos en igual grado que las vasijas de platino puro. Para semejante uso, pues, no sirve el platinado galvánico, y el único medio de obtener vasijas relativamente baratas, que llenen las condiciones apetecidas, es el plaqueado con láminas ó chapa de platino.

En el fuego ordinario, el platino es completamente infusible; pero á la incandescencia blanca se ablanda, y entonces puede pegarse lo mismo que el hierro dulce, salvo que se enfría mucho más rápidamente que éste. Por lo tanto,

la elaboración del platino tiene lugar, de ordinario, por medio del amartillado, la abolladura, la laminación y procedimientos análogos, y cuando es preciso soldar diferentes piezas, se emplea al efecto el oro fino. Mas desde que los franceses *Deville* y *Debray* lograron fundir cantidades relativamente considerables de platino, la técnica de este metal ha recibido un nuevo impulso. Dichos químicos llegaron á fundir, hace unos cuarenta años, hasta diez kilogramos de platino en un pequeño horno de construcción especial, basada en la aplicación del soplete oxhídrico. El combustible es una mezcla de gas del alumbrado y oxígeno puro, y el calor desarrollado es tan grande, que las materias arcillosas más refractarias se funden bajo su influencia, como el vidrio; por esto la plaza ó el laboratorio del hornillo lo constituye una pieza de cal, con una depresión á manera de crisol. Con sólo verter en un molde común el platino fundido en varios hornos semejantes, se obtienen barras ó lingotes de tamaño más que suficiente para cualquier objeto. Desde entonces, una fábrica de Londres ha logrado fundir de una vez en diferentes hornos cien kilogramos de platino, y en la Exposición de Viena de 1873 se veía un lingote de metal químicamente puro del valor de 27.500 pesetas. En tal estado, el platino se deja elaborar con la misma facilidad que el cobre, pero ofrece la gran ventaja de tomar bien la forma de los moldes; razón por la cual los grandes alambiques para la concentración del ácido sulfúrico, y otras vasijas análogas, cuya elaboración suponía antes un trabajo ímprobo, se moldean hoy en arena con platino fundido, y cuestan, por lo mismo, la tercera parte de los que se hacían á mano.

PALADIO, IRIDIO, OSMIO, ETC.

Entre los metales raros que, como ya dijimos, suelen acompañar al platino en los «placeres», el *paladio* se encuentra á veces en estado nativo y en granos aislados. Aunque en muchas de sus propiedades es parecido al platino, su color recuerda más bien el de la plata, su peso específico es sólo de 11,3 á 11,8, es decir, la mitad del del platino, se funde más facilmente que éste, y se disuelve en ácido nítrico. Se emplea el paladio en la fabricación de instrumentos náuticos finos, en vista de que el agua del mar no lo ataca como al cobre y la plata, y también para fijar los dientes postizos y para agujas de vacunar. La propiedad más singular del paladio consiste en su capacidad de absorber á la temperatura ordinaria, y mejor aún á los 100 grados, tanto hidrógeno y retener tan tenazmente este gas, que es preciso considerar la combinación como una verdadadera aleación, en la que el hidrógeno desempeña el papel de un metal.

Después de separar de la disolución de la mena platinífera el platino y el paladio, se pueden precipitar los metales *iridio*, *rodio* y *rutenio*, y separarlos. El iridio es un metal muy bronco y poco á propósito para aplicaciones técnicas;

es la materia más pesada que se conoce, pues su gravedad equivale á 22,4; en vista de su dureza, se empleaba antes para las puntas de las plumas de oro; pero hoy se prefiere el rodio. Salvo esta aplicación del rodio, este metal, lo mismo que el rutenio, no ha tenido hasta ahora más que un interés científico.

El *osmio* es una materia de carácter distinto al de los demás metales del platino, pues es un metal que forma un ácido, y por lo mismo no parece á propósito para ningún uso técnico. Cuando se caldea, se volatiliza en forma de ácido ósmico, el cual ha encontrado algún empleo externo en la medicina. En la mena platinífera, la mayor parte del osmio se halla aleada con iridio, formando un polvo negro, que constituye la parte predominante del residuo que resulta de la disolución de dicha mena en agua regia. En todas las fábricas de platino semejantes residuos han ido acumulándose, porque no se sabía qué hacer con ellos; mas después de las investigaciones de Deville y Debray, es probable que pronto se someterán á un tratamiento adecuado para extraer el iridio que contienen. Aunque, como ya dijimos, este metal es por sí de poco valor industrial, se ha descubierto que las buenas cualidades que presta al platino en cantidad mínima se pueden mejorar aún con aumentar su proporción: mezclado con 10 á 15 por 100 de iridio, el platino es mucho más duro y resiste mucho mejor al calor y á los ácidos que en su estado ordinario, más ó menos puro, y está también probado que la aleación del platino con 20 ó 30 por 100 de rodio resiste casi por completo la acción disolvente del agua regia. En cambio no se ha hallado todavía aplicación para el rutenio.

Respecto de las combinaciones del platino, forma con el cobre y el cinc aleaciones parecidas al oro, y en la fabricación de dentaduras postizas se emplean aleaciones de platino con oro ó plata, ó bien con ambos á la vez.

El medio disolvente más común del platino es el cloro en forma de agua regia, resultando el *clorido de platino,* que se disuelve en agua, prestándole un color amarillo rojizo. Dicho clorido sirve de base para obtener los demás preparados del metal en cuestión, que, generalmente hablando, son análogos á los del oro. Ambos metales comparten la tendencia á formar sales dobles y, lo mismo que el oro, el platino forma, con el amoniaco, una combinación explosiva, llamada platino fulminante. También con el azufre se combina el platino en dos proporciones, y por la oxidación del sulfuro doble de platino, mediante el ácido nítrico, se obtiene el sulfato de platino, que asimismo es una sustancia útil. Todos los preparados del platino se convierten fácilmente en metal mediante el calor y otros agentes reductivos, y esta circunstancia halla hoy su aplicación en la pintura de la porcelana, para producir un tono gris.



ALUMINIO, MAGNESIO

Y LAS

PIEDRAS PRECIOSAS ARTIFICIALES

La alúmina y su presencia en piedras preciosas y otros minerales.—La glucina y la magnesia.—Producción artificial de piedras preciosas.—El aluminio y los diferentes modos de producirlo.—Fabricación del metal en Francia.—Propiedades y aplicaciones del aluminio.—El magnesio: su producción y aplicaciones.

ANTES de abandonar el campo de los metales, réstanos hablar de algunos de los llamados térreos por el químico, que han llamado mucho la atención en los últimos tiempos, y que constituyen la base de varias piedras preciosas. El hermoso rubí, que, después del diamante, es la piedra preciosa más generalmente estimada, se compone, por singular que parezca, de una de las materias más comunes, y que, al lado de la sílice, más ha contribuído á la formación de la parte sólida de nuestro globo. El rubí, en efecto, no es más que *alúmina* pura, cristalizada, es decir, un óxido metálico, una mena, si se quiere, como la hematites roja ú óxido de hierro, por ejemplo.

El elemento metálico, base de la alúmina, es el *aluminio*, que tanto dió que hablar hace algunos años, y del que contiene el 54 por 100, en combinación con 46 de oxígeno. Una piedra preciosa, el zafiro, tiene exactamente la

misma composición, diferenciándose tan sólo del rubí por su color, que es azul, mientras que el rubí tiene diversos matices de rojo. El apellido mineralógico, digámoslo así, de la familia á que pertenecen esos dos hermanos, es el de *corundo*, que comprende minerales cuya dureza se aproxima más á la del diamante, y que, en virtud de sus hermosos colores, su transparencia y sus destellos, son de las piedras de adorno más apreciadas. Las variedades más hermosas se encuentran en la isla de Ceilán, si bien se obtienen también de gran valor en China, Siberia y el Brasil.

Es digno de notar, á este propósito, el puesto tan modesto que ocupa la zona terrestre que habitamos, y se manifiesta tanto en el reino orgánico como en el mineral: sólo las regiones cálidas del Mediodía se prestan, al parecer, al desarrollo de las formas más ricas y fantásticas, así como de los colores más brillantes de los mundos animal y vegetal, mientras que en la producción de metales nobles y piedras preciosas rivaliza con aquéllas el helado Norte. El Asia oriental, la América meridional y los Urales, tan desapacibles, son las fuentes principales, no sólo del rubí y del zafiro, sino de todas las piedras aristocráticas, incluso el diamante, que también abunda en el Sur de Africa. En cambio, las piedras del género que se presentan en nuestra zona han renunciado, por regla general, á su uniforme de gala, á sus colores y su brillo, y sólo se diferencian de las comunes que las rodean por sus propiedades internas. En Europa tenemos también el corundo, pero en un traje enteramente distinto de los que revisten el rubí y el zafiro; aparece en forma de una masa de color gris azulado, que se llama *esmeril;* en este estado no puede servir como piedra de adorno, pues no tiene vista alguna; pero su excesiva dureza, que revela la nobleza de su origen, le presta valor como material para pulimentar las piedras preciosas, el vidrio y los metales.

En las piedras referidas la alúmina se presenta pura, esto es, sin mezcla con otras materias, salvo las mínimas proporciones de las que determinan los diferentes colores, y son generalmente meros indicios de algún óxido metálico; pero en un sinnúmero de minerales la alúmina se encuentra combinada con otras sustancias, y en semejantes combinaciones constituye uno de los principales componentes de nuestra tierra, ó sea de muchas rocas. La arcilla común de los alfareros, la tierra de porcelana, la tierra de bataneros y otras materias análogas, se componen de alúmina y sílice, combinadas con agua, pero son productos secundarios, es decir, resultantes de la transformación de otros minerales cristalizados, y sobre todo de la descomposición del feldespato, un compuesto de silicato de alúmina con el silicato de algún álcali, que se encuentra, en una forma ú otra, en la mayor parte de las rocas. En una palabra, la tierra de porcelana y sus congéneres son los restos de granitos, fonolitos, pórfidos y rocas análogas, en cuya composición desempeña el feldespato el papel principal.

Otras tierras análogas á la alúmina son la *glucina*, que forma la base de algunos minerales, y la *magnesia*, que se halla más ó menos esparcida por toda la tierra, constituyendo parte de la dolomia, magnesita, serpentina y otros muchos minerales, así como de las cenizas de materias orgánicas. La glucina se compone de glucinio y oxígeno, y la magnesia de oxígeno y magnesio; el glucinio y el magnesio son dos metales que se pueden obtener, lo mismo que el aluminio, mediante el tratamiento adecuado de sus óxidos.

Dichas tierras, lo mismo que la alúmina, tienen tendencias nobles, pues forman parte de muchas piedras preciosas: la espinela, por ejemplo, es una combinación de magnesia y alúmina; la esmeralda y la almandina se componen de silicato de glucina y silicato de alúmina, de los que el último entra también en la composición de los granates; en el topacio, la alúmina se halla combinada con sílice y con fluor, y en el hermoso lapislázuli se encuentra en compañía con sílice, sulfuro sódico y sulfuro férrico. El mismo pigmento que produce el color azul del lapislázuli se fabrica hace tiempo en grande escala, bajo el nombre de ultramarino. La alúmina químicamente pura, ú óxido de aluminio, preparada artificialmente, constituye un polvo blanco, sin olor ni sabor, insoluble en agua y por completo infusible por los medios ordinarios.

FABRICACIÓN DE PIEDRAS PRECIOSAS

Al calor intenso que desarrolla el soplete oxhídrico se ha logrado fundir pequeñas porciones de alúmina, obteniendo de esta manera, y con la adición de mínimas cantidades de óxido de hierro ó de cromo, piedras preciosas artificiales, de color tan hermoso como las naturales. En París se hicieron repetidos ensayos, encaminados á sacar un partido práctico de este descubrimiento; pero si bien los rubíes producidos de dicho modo eran por entero iguales á los naturales respecto del color, del brillo, de la dureza y de la forma cristalográfica, sólo se obtenían de tamaño sumamente pequeño, porque no bastaba siquiera el calor del soplete oxhídrico para fundir masas relativamente grandes de alúmina. Es verdad que *Gaudin* logró producir por ese medio, y con alúmina pura, una esferita perfectamente diáfana de corundo, del tamaño de una avellana, que ostentaba en su interior un hueco revestido de diminutos cristales; mas el procedimiento era demasiado dificultoso para que alcanzara una aplicación práctica. Tampoco dieron resultados satisfactorios en este sentido los ensayos encaminados á obtener esmeraldas, granates, etc., por la fusión de las mezclas correspondientes á su composición; en cambio otros procedimientos, basados en reacciones químicas distintas é ideados con el fin de producir piedras preciosas artificiales, han respondido tan bien al objeto, que es extraño que la técnica no se haya apoderado de ellos para desarrollarlos prácticamente.

El procedimiento de *Ebelmen* se funda en lo siguiente: hay materias que tienen la propiedad de combinarse con las llamadas tierras (alúmina, magnesia, glucina, etc.), formando compuestos relativamente fusibles, pero que, al someter la combinación á una temperatura más elevada, como la que se obtiene en un horno de porcelana, vuelven á separarse, dejando las tierras aisladas. Entre dichas materias tenemos, en primer término, el ácido bórico, y luego el bórax, los carbonatos de potasa y sosa, y algunas otras. Si se toman magnesia y alúmina finamente pulverizadas, en la proporción en que se hallan contenidas en la espinela natural, y se echan gradualmente en un crisol que contiene ácido bórico en fusión, y si después de que dichas materias se hallan por completo disueltas en el ácido, formando con él un vidrio en fusión perfectamente tranquila, se somete el crisol á una temperatura muy elevada, se volatiliza gran parte del ácido bórico, no bastando el resto para mantener disueltas toda la magnesia y la alúmina. La parte de éstas correspondiente al ácido bórico volatilizado se separa de la masa, depositándose en forma de cristales de espinela, que tendrán el color respectivo si previamente se ha añadido á la masa en fusión una pequeñísima cantidad de óxido metálico; con el de cromo se obtiene un color rojo, con el de cobalto uno azul, y con el protóxido de hierro uno verde, como el que caracteriza al crisoberilo.

De este modo ha producido Ebelmen gran número de piedras preciosas, empleando como medio disolvente, ora el ácido bórico, ora otras sustancias. Pero además de dichos productos de valor, ha logrado producir muchos minerales, cuya formación artificial, si bien ofrece menos interés práctico que la de las piedras preciosas, tiene gran importancia científica, por cuanto arroja mucha luz sobre la formación natural de los diferentes minerales en las rocas y las transformaciones ó metamorfosis que éstas han sufrido durante las edades geológicas. También ha producido Ebelmen en su laboratorio varios minerales nuevos, es decir, que nunca se han encontrado en la Naturaleza; demostrando así cómo el investigador puede completar la acción creadora de ésta, determinando, mediante la combinación de nuevas condiciones, la formación de productos que, en igualdad de circunstancias, se hubieran producido sin duda por vía natural, pero que de hecho, y faltando las condiciones precisas, ó si se quiere la oportunidad, nunca se han formado, que sepamos.

Daubrée, *Saint-Claire Deville* (fig. 149) y *Caron*, tres eminentes sabios franceses que también se han dedicado preferentemente á la investigación del génesis de los minerales y la producción artificial de metales, emplearon un procedimiento distinto del de Ebelmen. Hicieron de manera que la alúmina se separara de combinaciones gasiformes, estableciendo condiciones más favorables para la formación de individuos ó cristales de mayor tamaño que los que pueden obtenerse por el modo antes descrito. Daubrée, por ejemplo, calentó fluoruro de silicio, haciendo pasar sus vapores sobre alúmina pura, finamente

pulverizada; durante la operación, el fluoruro silíceo se descompuso, formándose fluoruro de aluminio y sílice, en el mero hecho de combinarse el oxígeno de la alúmina con el silicio, y el fluor con el aluminio libertado; pero al propio tiempo, el sílice así formado se iba combinando con parte de la alúmina, y el silicato de alúmina resultante se combinaba á su vez con el fluoruro de aluminio, produciéndose en último término una sal doble que, por su naturaleza química, correspondía enteramente al topacio. En efecto; la masa que obtuvo Daubrée consistía, de hecho, en un agregado de pequeños cristales de topacio

Las piedras preciosas, como todos los demás minerales, no son acumulaciones ó mezclas arbitrarias de sus diversos componentes, sino combinaciones dobles ó múltiples, cuyos elementos se relacionan unos con otros en proporciones muy sencillas. El berilo, por ejemplo, se compone de sílice, glucina y alúmina, de manera que una molécula de silicato de glucina siempre corresponde á dos moléculas de silicato de alúmina. Si pues se expone dentro de un tubo una mezcla candente de glucina y alúmina á la acción de vapores de fluoruro de silicio, siempre, y con arreglo á la ley natural, se producirá una molécula de silicato de glucina, cuando se formen dos moléculas de silicato de alúmina; la producción del uno determina la del otro. Lo único que hay que procurar es que el óxido, ó si se quiere la tierra, con cuyo metal el fluor tiene mayor afinidad á la incandescencia, se halle en exceso, á fin de que no haya impedimento para la formación de la sílice necesaria. Lo mismo que el topacio y el berilo, pueden producirse de dicho modo, y mediante las combinaciones convenientes, otros muchos minerales.



FIG. 149.—Enrique Saint-Claire-Deville.

El inconveniente del procedimiento de Daubrée consiste en que el producto forma una masa aglomerada, en la cual los cristales se aislan difícilmente, no siendo fácil obtenerlos de tamaño á propósito para usos prácticos; pero este defecto se evita por el procedimiento de Saint-Claire-Deville y Caron, que vamos á describir. El fluoruro de aluminio y el ácido bórico, sometidos á una temperatura elevada, se convierten ambos en vapores, y si éstos se reunen, el fluor se com-

bina con el boro del ácido bórico, mientras que el oxígeno de éste se asocia al aluminio, formando alúmina, que se cristaliza en el acto. Si se adoptan las disposiciones necesarias para que el desprendimiento y la reunión de dichos vapores de fluoro de aluminio y ácido bórico sigan sin interrupción durante algún tiempo, los cristales de alúmina van aumentando gradualmente en tamaño; habiendo logrado Deville y Caron obtenerlos, perfectamente transparentes, de tres milímetros de largo, aunque no bastante gruesos para que hubieran podido utilizarse como piedras de adorno. Al vaporizar al mismo tiempo que las sustancias referidas un poco de fluoruro de cromo, los cristales de alúmina ó corundo resultantes aparecieron coloreados, representando, ora rubíes rojos, ora zafiros azules; también se formaron algunos cristales verdes, que asimismo debían su color al cromo, y correspondían á la variedad tan rara de corundo, llamada esmeralda oriental. Como se ve, por medio del cromo solo, pueden producirse cristales de tres colores distintos. En lugar del fluoruro de aluminio solo, puede emplearse éste mezclado con fluoruro de glucinio, y entonces se obtienen cristales de crisoberilo; es decir que, variando de materias, se pueden producir, por el procedimiento descrito, diferentes especies de piedras preciosas.

Hasta aquí los resultados obtenidos en el laboratorio químico, de los que se deduce que, para producir cristales de mayores dimensiones á propósito para piedras de adorno, bastaría operar con mayores cantidades de material y prolongar la operación el tiempo suficiente, cuidando de mantener la temperatura á un grado constante, que no debe ser mayor que el preciso para la vaporización lenta de las materias, á fin de que los cristales vayan creciendo gradualmente y con regularidad. También sería ventajoso tal vez calentar separadamente el ácido bórico y los fluoruros en crisoles distintos, reuniendo después sus vapores en una vasija común, en atención á que la volatilización de las diversas sustancias supone temperaturas diferentes. Pero la fabricación de rubíes, zafiros y esmeraldas no tiene tanta importancia práctica como la de las sales de alúmina, entre las que ocupa el primer puesto el alumbre. De la producción de éste hablaremos detenidamente en un capítulo ulterior, pasando ahora á ocuparnos del metal que le sirve de base.

EL ALUMINIO Y SU FABRICACIÓN

Después que Davy hubo determinado los álcalis como combinaciones de metales especiales con oxígeno, logrando separar el potasio y el sodio, que forman las bases de la potasa y la sosa, dedújose, con razón, que también las llamadas «tierras» debían ser óxidos de metales particulares, y los químicos se dedicaron con afán á procurar la separación del que corresponde á la alúmina.

El primero que consiguió aislar el *aluminio* en estado metálico fué *Woehler*,

que describió, en 1827, el procedimiento que había ideado al efecto; y tanto él como otros químicos se valieron en lo sucesivo de él para demostrar en los laboratorios universitarios la existencia de dicho metal, sin ocuparse de su producción en mayores cantidades; porque, aparte de los crecidos gastos que suponía semejante fabricación, no se estimaba entonces, dadas las propiedades del aluminio, que pudiera redundar en beneficio de la ciencia ni de la industria.

Mas cuando en 1853 el ya referido químico francés Saint-Claire-Deville, siguiendo el procedimiento de Woehler, y gracias, más especialmente, á una cuantiosa subvención que le concedió el Gobierno para llevar adelante sus ensayos, logró producir en París cantidades relativamente grandes del nuevo metal, que, con ser tan blanco como la plata, se diferencia tanto de los demás metales, el público, excitado por las descripciones y lucubraciones exageradas de la prensa, se entregó á los sueños más fantásticos, en la creencia de que iba á convertirse en plata, y como por ensalmo, la arcilla despreciable que por do quier se pisaba. Nunca el humilde barro se ha mirado con tanto respeto como cuando los franceses, tan impresionables como nosotros en semejantes casos, le tributaron los honores debidos á una abundante mena argentífera, suponiendo que bastaba echarlo al horno, como los minerales tan comunes de hierro, para que corrieran ríos de una plata nueva, superior acaso á la conocida, y con la cual, amén de aplicaciones más vulgares, se iba á dotar al ejército imperial entero con brillantes cascos y corazas. Pero semejantes ilusiones, que no dejaron á la sazón de hallar eco en otros países, fueron poco á poco desvaneciéndose, máxime cuando se hizo patente que la producción del aluminio no resultaba tan sencilla como se supuso en un principio, y que el metal mismo no respondía al exagerado concepto que de él había formado el vulgo crédulo.

Para separar el aluminio de sus combinaciones, se sigue esencialmente el mismo principio que se aplica al beneficio de las menas de hierro; es decir, que se pone el metal en libertad, sometiendo su óxido, ó sea la alúmina, á la acción de una materia que tiene mayor afinidad con el oxígeno que el aluminio. Pero mientras que, tratándose del óxido de hierro, dicha reducción se verifica por medio del carbón, para desoxidar la alúmina es preciso valerse de un metal alcalino, el potasio ó el sodio, los cuales se combinan tan fácilmente con el oxígeno, que, expuestos al aire, se convierten rápidamente en óxidos; son metales tan ligeros, que flotan sobre el agua, y entonces arden, oxidándose á costa del oxígeno de este líquido; y no es menos pronunciada su afinidad con cloro, fluor, etc.

Pues bien; la alúmina podría descomponerse ó reducirse directamente por medio del potasio metálico; pero Woehler reconoció que era más ventajoso en la práctica emplear, en lugar de aquélla, el cloruro de aluminio, y más tarde el profesor Rose, de Berlín, recomendó el empleo de fluoruro de aluminio, materia tanto más fácil de preparar, cuanto que se encuentra bastante pura en uu mineral, la *kriolita*, que existe en grandes masas en Groenlandia, y se

compone de fluoruros de aluminio y sodio. La alúmina, el cloruro de aluminio ó el fluoruro, pues, se echan en un crisol con potasio, formando con ambos capas alternativas, y el conjunto se calienta gradualmente; á una temperatura bastante baja el potasio empieza á fundirse, descomponiendo en seguida las partículas más inmediatas de la alúmina, combinándose con su oxígeno (ó en caso del cloruro ó fluoruro de aluminio, con el cloro ó el fluor), y dejando libre el aluminio metálico, que, al disolver en agua la masa fund ida, se reune en el fondo del vaso, en forma de un polvo gris. El proceso químico que se verifica durante dicha descomposición es tan enérgico, que toda la masa se calienta hasta la incandescencia más intensa, y hay que tener cuidado para que no salte el crisol.

Tal fué el procedimiento de Woehler, que Deville empleó en 1853, cuando produjo el aluminio en cantidad relativamente grande; y aunque más adelante se introdujeron algunas variaciones en él, no se modificó en lo esencial. En lugar del potasio se empleó el sodio, cuya acción es enteramente igual, y que cuesta menos que aquél, y es hoy el metal alcalino que se usa por lo general en la producción del aluminio, toda vez que los ensayos encaminados á sustituir materias tan costosas como el potasio y el sodio con alguna sustancia más económica, no han dado, hasta la fecha, resultados prácticos. En Inglaterra se obtiene actualmente el aluminio por un procedimiento electroquímico; pero los fabricantes guardan su secreto y nada se sabe de público respecto de él. La fabricación que se basa en el empleo del cloruro de aluminio supone la preparación en grande de esta combinación, que es una operación bastante laboriosa; el cloruro se mezcla con sal común, á fin de disminuir su volatilidad á una temperatura elevada, y á cada diez partes de esta mezcla se agregan cinco de kriolita, que sirve como fundente; la masa se echa sobre la plaza candente de un horno de reverbero, con dos partse de sodio, y se somete á una temperatura elevada, hasta que se halla completamente fundida; entonces se rompe una piquera, dando salida, primero á la escoria y luego al aluminio, que se purifica ó afina fundiéndolo de nuevo en crisoles de grafito.

La preparación de un cloruro de aluminio puro supone una alúmina lo más pura posible y no combinada con sílice; de modo que, para la industria del aluminio, era de la mayor importancia encontrar un mineral á propósito. Tal es la llamada *beauxita* ó *bauxita*, por haberse descubierto en Beaux, cerca de Arlés, en Francia, que se explota también en grande escala cerca de Tolon, y se presenta en Wiener-Neustadt y Feistritz, en Austria, y algunos otros puntos; tiene el aspecto de una arcilla roja, y se compone, por regla general, de 60 por 100 de alúmina, 25 de óxido de hierro, 3 de sílice y 12 de agua químicamente combinada. Pero en lugar del cloruro de aluminio se puede emplear la kriolita finamente pulverizada, fundiéndola con sal común desecada y sodio, en grandes crisoles de hierro fundido, en cuyo fondo se acumula el aluminio.

Lo dicho hasta aquí bastaría, en rigor, para dar una idea general de los procedimientos en uso para obtener el metal de que tratamos; mas á fin de iniciar á nuestros lectores en las dificultades de la fabricación, vamos á describir con algún pormenor el procedimiento empleado hoy en Francia, donde la producción del aluminio alcanzó desde el principio el mayor desarrollo.

La materia primera, la mena, si se quiere, es la ya referida bauxita, de cuyo contenido en alúmina (60 por 100) sólo la sexta parte se halla combinada con sílice, quedando el resto libre, es decir, en un estado á propósito para su fácil reducción. Dicho mineral se pulveriza, se mezcla con carbonato de sosa calcinada en la proporción de 8 á 5, y se calienta sobre la plaza de un horno de reverbero. A medida que se eleva la temperatura, el ácido carbónico se va desprendiendo de la sosa, y ésta entra con la alúmina en una combinación soluble en agua, mientras que el óxido de hierro contenido en el mineral ó en la sosa se vuelve insoluble, y puede, por lo tanto, separarse por una filtración. Por la disolución clarificada de este modo se hace pasar el gas ácido carbónico que se combina con la sosa, y la alúmina se separa en forma de una masa gelatinosa que contiene, aun después de seca, de 30 á 40 por 100 de agua de combinación, constituyendo la llamada alúmina hidratada ó hidróxido de aluminio.

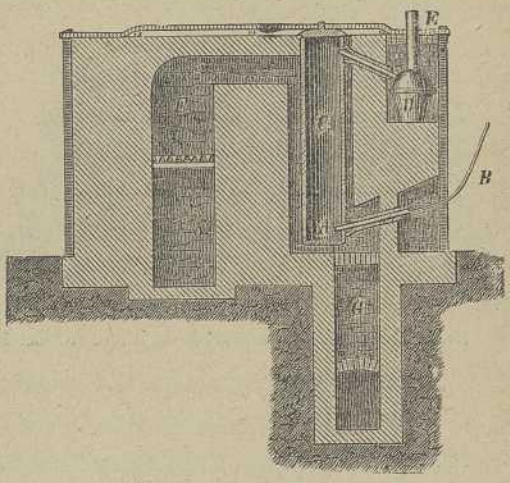


FIG. 150.—Retorta para la preparación del cloruro de al uminio

Con esta materia se procede entonces á preparar una combinación de cloruro de aluminio y cloruro de sodio, operación que se verifica como sigue: mezclando la alúmina hidratada con sal común y polvo de carbón vegetal en determinadas proporciones, se amasa el conjunto formando bolas del tamaño del puño, que se colocan en una retorta, de cuya forma y disposición da idea la figura 150. Para la mejor comprensión de este aparato, es necesario hacerse cargo del proceso químico que ha de verificarse en él: la mezcla referida, ó sean las bolas, se somete á la incandescencia á una corriente de cloro gasiforme, á fin de que, merced á la afinidad entre el cloro y el aluminio, se combinen estos elementos, mientras que el oxígeno de la alúmina se asocia con el carbón, formando el gas óxido de carbono, el cual escapa y arrastra también parte del cloruro de aluminio, que tiende á evaporarse. Pero la mayor parte de este cloruro se asocia al de sodio, ó sea la sal común, resultando una combinación doble, que también es volátil, y que se condensa en una vasija á propósito, mientras que los gases no condensables escapan por una chimenea.

En nuestro grabado, pues, *A* es el orificio por el que el cloro, conducido por el tubo *B*, penetra en la retorta *C; D* es la vasija en que se condensan los cloruros combinados de aluminio y sodio, y *E* la chimenea para la salida de otros gases; la retorta se calienta desde el hogar *F*, y en el cenicero *G* caen los residuos procedentes de aquélla, después de terminada la operación. En las fábricas francesas sigue ésta sin interrupción día y noche, cargándose la retorta con material nuevo cada doce horas próximamente. El producto que se acumula en la vasija de condensación *(D)*, ó sea el cloruro doble de aluminio y sodio, es de color pardo verdoso, un poco opalescente, pareciéndose bastante al colofonio.

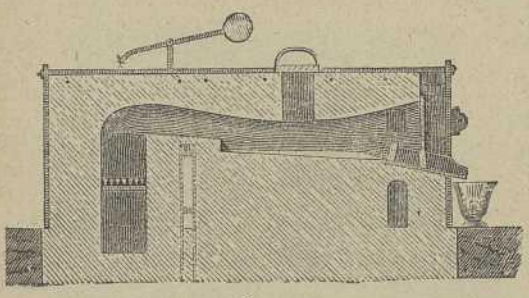


FIG. 151.
Horno de reverbero para la reducción del cloruro de aluminio.

Para la reducción de este cloruro se necesita, como ya dijimos, una sustancia que tiene mayor afinidad con el cloro que el aluminio, y puede, por lo tanto, poner á éste en libertad. Tal es el metal sodio, que se produce hoy en bastante cantidad, destilando en tubos de hierro una mezcla de carbonato de sosa, carbón mineral (hulla) y creta, y condensando los vapores sódicos en una vasija llena de petróleo. El sodio es un metal blanco como la plata, blando como la cera á la temperatura ordinaria, y más ligero que el agua, oxidándose tan fácilmente que, como el potasio, es preciso conservarlo en cajas herméticamente cerradas ó sumergido en petróleo.

Volviendo á nuestra descripción, el cloruro doble ya referido se mezcla íntimamente con kriolita en polvo, y luego se le agregan pedazos de sodio, del tamaño de avellanas, y se introduce la mezcla lo más pronto posible en un horno de reverbero de construcción especial, del que reproduce la fig. 151 una sección vertical, echándola sobre la plaza por una abertura reservada al efecto en la bóveda. Todas las aberturas del horno se cierran entonces herméticamente, para impedir la entrada del aire, y elevándose gradualmente la temperatura, se verifica la descomposición ó reducción del cloruro de aluminio, bajo la acción del sodio, proceso que se hace perceptible al oído, merced á las ligeras detonaciones que produce; la cesación de este ruido es señal de que la reducción ha terminado, y después de esperar una hora próximamente para dar lugar á la separación de los productos, se abre el horno. En efecto, la masa fundida se halla dividida en capas de diferentes densidades; las superiores y más ligeras se componen, sobre todo, de los elementos de la kriolita y de la sal, formando una escoria, que se separa y saca del horno por medio de espetones ó ganchos; inmediatamente debajo de la escoria se halla la mayor parte del aluminio metálico, en forma de una torta, que se rompe también para sacarla; y, por último,

se levanta la capa inferior, consistente en escoria más pesada, que contiene muchos perdigones de aluminio, para separar los cuales se pulveriza la masa y se somete á una levigación.

PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ALUMINIO

El aluminio obtenido por uno ú otro de los procedimientos referidos es un metal cuyo color y brillo ordinarios tienen algo de los del platino y del estaño, pero que en estado puro, y sobre todo después de pulimentado, ostenta el blanco, brillante característico de la plata. Es sólo dos veces y media más pesado que el agua, de modo que un pedazo de aluminio es cinco veces más ligero que uno de plata de igual tamaño, y siete veces más que uno de oro. En cuanto á su solidez ó resistencia, se equipara próximamente, y en estado fundido, al latón; es bastante tenaz y dúctil, dejándose amartillar, laminar y estirar en forma de alambre; también se puede elaborar por presión y abolladura, á cuyo efecto conviene, sin embargo, revestirlo con un baño de barniz, compuesto de esencia de trementina y estearina. Tiene gran afinidad con el oxígeno, razón por la cual nunca se presenta en la Naturaleza en estado nativo, y en forma regulina se muestra muy inestable ante la acción de reactivos químicos. El agua pura no ataca al aluminio, pero sí los líquidos alcalinos, y se disuelve con mucha facilidad y con desprendimiento de hidrógeno, cuando el agua contiene algún ácido libre con el que puede combinarse la alúmina. Los ácidos concentrados lo disuelven más lentamente, circunstancia que suele citarse en prueba de la indestructibilidad del aluminio; pero con igual razón, ó sin razón, podría llamarse indestructible al hierro, en vista de que se pueden destilar los ácidos más fuertes en retortas de este metal sin perjudicarlas de un modo sensible, mientras que, expuesto sencillamente á la intemperie, el hierro se descompone bajo la acción del aire y del agua.

¿Qué puede esperarse, pues, de un metal atacable, tanto por los álcalis débiles como por los ácidos diluídos, puesto que apenas hay líquido que no sea bastante ácido ó alcalino para destruir muy pronto la hermosa superficie del aluminio, ó disolver gradualmente toda su masa? El café, el té, el vino, la cerveza, todos los jugos de las frutas, son medios disolventes; hasta el sudor priva al aluminio de su brillo, atacando superficialmente los objetos de adorno hechos con él, dando lugar á la formación de la alúmina común. Si el color del aluminio fuera aún mucho más hermoso de lo que es en realidad, y si este metal fuera susceptible del mayor grado de pulimento, la facilidad con que se oxida impediría que sustituyera á la plata como metal de adorno. Merced al loco entusiasmo que cundió en Francia después de los experimentos de Deville, arraigóse eneste país la industria del aluminio, apareciendo pronto tres grandes fábricas, destinadas á

su producción en mayor escala: la una en Nanterre, cerca de París (Morin y Compañía), otra en Amfreville, cerca de Rouen, y la tercera en Solindres (Merle y Compañía); pero hoy sólo esta última se halla en actividad. En Inglaterra existe la fábrica de aluminio de los hermanos Bell, cerca de Newcastle, y además una en Londres y otra en Hollywood. A estos establecimientos se reducen, pues, en la actualidad, las fuentes principales de un metal del que tantos milagros se esperaban hace unos veinte años. Y no se crea que las fábricas citadas, con ser pocas, producen cantidades considerables de aluminio, pues en el año 1874 la producción total no pasó de 1.750 kilogramos, de los que corresponden 1.000 á Francia y el resto á Inglaterra; si bien parece que actualmente la fábrica de Solindres produce unos 2.400 kilogramos al año.

Sin embargo, gracias á la producción industrial, el precio del aluminio ha bajado considerablemente; pues mientras que en 1856 costaba el metal á razón de 3.000 pesetas el kilogramo, hoy ya puede comprarse esta cantidad por unas 62 pesetas, y, según noticias recientes, la fábrica de Hollywood, en Inglaterra, ha adoptado un nuevo procedimiento de beneficio, mediante el cual espera poder rebajar dicho precio á dos pesetas y media, ó sean 2.500 por tonelada de mil kilogramos. Esto queda aún por probar en la práctica, y entretanto semejante diferencia nos parece muy problemática, toda vez que el nuevo procedimiento no se diferencia muy esencialmente de los ya practicados.

Consultando los catálogos detallados de las últimas Exposiciones internacionales, hallamos que el aluminio se emplea principalmente en la fabricación de la bisutería y de objetos análogos, haciéndose con él broches, botonaduras, brazaletes, medallas, empuñaduras de bastones y paraguas, tubos para anteojos de teatro, etc., y también trabajos en filigrana, imitaciones de encajes, trenzas y cosas por el estilo. Combinado con el oro en los objetos de bisutería, el aluminio produce un bonito efecto, especialmente cuando su superficie se deja mate y se cincela ó graba; pero la bisutería de aluminio ha pasado ya de moda.

La única propiedad capaz de prestar al aluminio un valor práctico es su gran ligereza, á la que debe su empleo, ya referido, para los tubos de anteojos de larga vista, que son más cómodos de llevar y usar cuando son ligeros; también responde á la misma idea su introducción en el ejército francés; pues si bien nunca se realizó el sueño de hacer de él cascos y corazas, gran número de las águilas que antes llevaban los regimientos como estandartes, se hicieron de aluminio. Se trató un día de adoptarlo como metal de moneda, en vista precisamente de su ligereza, pensando que así acabarían las falsificaciones; mas esto es una pura ilusión, pues nada hay más fácil que reducir la gravedad ó peso específico de un cuerpo determinado: basta hacerlo hueco ó rellenarlo con una materia más ligera. En cambio, es imposible, por un artificio cualquiera, sustituir el cuerpo específicamente más pesado con otro, y desde este punto de vista

sería más razonable adoptar para la moneda el platino ó el iridio, ambos más pesados que el oro.

Si, como se desprende de lo que antecede, es bien escasa la utilidad del aluminio por sí, en cambio sus aleaciones con otros metales parecen llamadas á prestar buenos servicios. El aluminio se alía fácilmente con otros metales, y sus aleaciones con cobre, más en especial, se distinguen por propiedades dignas de llamar la atención de los industriales.

Una aleación compuesta de 90 por 100 de cobre y 10 de aluminio ostenta un color amarillo de oro, que se conserva bien al aire, razón por la cual se emplea en la fabricación de artículos de bisutería, etc., para imitar del metal precioso. La fusión de una parte de aluminio, noventa y cinco partes de cobre y cuatro de estaño, da un bronce de hermoso color y de grano fino, que se distingue por su dureza, su ductilidad y lo bien que toma la forma de los moldes. Las aleaciones compuestas de 90, 92,5 ó 95 partes de cobre, por 10, 7,5 ó 5 de aluminio respectivamente, se caracterizan también por sus excelentes propiedades, en especial por su dureza; en la fábrica de Christofle, en París, se emplean para los discos de pulimentar, que tienen que girar á razón de 2.200 revoluciones por minuto, cojinetes hechos con una aleación de 90 de cobre por 10 de aluminio, en vista de que duran año y medio, mientras que los empleados antes, y que se componían de otras aleaciones, sólo resistían unos tres meses en los casos más favorables. Advertiremos, por último, que el aluminio no se amalgama con el mercurio.

MAGNESIO

Así como el aluminio se conocía bastante tiempo antes que empezara á desempeñar un papel industrial, del mismo modo el magnesio, que preparó por vez primera 1829 el químico francés *Bussy*, en por reducción de la magnesia, sólo ha empezado á llamar sobre sí la atención pública de unos veinte años á esta parte, presentándose en forma de materia luminosa.

Cuando en la extremidad de un resorte de reloj se fija un pedacito de yesca ardiendo, y se sumerge en una vasija llena de oxígeno puro, el acero arde despidiendo una lluvia de chispas brillantes. Los vapores de cinc pueden encenderse en el aire ordinario, ardiendo con llama deslumbradora; y el potasio y el sodio descomponen hasta el agua, flotando sobre ella y ardiendo con mucho brillo en el oxígeno desprendido. Pero ninguno de los metales referidos desarrolla, al arder, una luz tan intensa como el magnesio.

La producción de este metal no se diferencia esencialmente de la del aluminio, salvo que, en lugar de la alúmina, se toma como primera materia la combinación respectiva de magnesia, que se prepara con la *magnesita* ó car-

bonato de magnesia, que es un mineral que se presenta muy puro en la Naturaleza. Pero además del procedimiento ordinario, correspondiente al que empleó Deville en la producción del aluminio, hanse propuesto otros varios para obtener magnesio, á cuyo estudio se dedicaron con preferencia los químicos y metalurgos por los años de 1860 á 1870. En sustitución del cloruro doble artificial de magnesio y sodio, Reichart recomendó en 1865 la *carnalita*, mineral que se presenta en gran cantidad en las salinas de Stassfurt, que se compone de cloruro de potasio y cloruro de magnesio, y se funde reduciéndose con la añadidura de 10 por 100 de espatofluor y otro tanto de sodio; procedimiento que en 1868 adoptaron los franceses. Al principio, las grandes esperanzas que se concibieron respecto del magnesio dieron lugar al establecimiento de fábricas destinadas á producirlo en mayor escala, siendo las más importantes la de Manchester (Inglaterra), y de Boston (Estados Unidos). Estos establecimientos producen hoy la mayor parte del magnesio que se encuentra en el comercio, y deben su prosperidad principalmente á los respectivos Ministerios de Marina y Guerra, que creyeron sacar gran partido del poder luminoso del metal en cuestión, para iluminar de los mares y campos durante la noche; por ejemplo, en 1867, cuando se organizó la expedición contra Abisinia, el Gobierno inglés encargó á la fábrica de Manchester centenares de kilogramos de magnesio.

Un alambre de este metal, del grueso de una fuerte crin de caballo, encendido en la llama de una vela, produce una luz más intensa que la de setenta bujías de parafina, concentrada en un punto, consumiéndose en un minuto un metro, próximamente, de semejante alambre. De resultas de la combustión, el magnesio se convierte en óxido (magnesia), esto es, la misma sustancia que se vende en las farmacias para usos medicinales, y constituye el componente principal de varias piedras preciosas, como la espinela, el piropo (granate), la crisolita, etc. En vista de la extraordinaria intensidad de la luz del magnesio, hase tratado de generalizar su empleo en los faros, así como en la fotografía; pero semejante aplicación tropezó con graves inconvenientes, entre ellos el precio tan elevado del metal. En cambio, se emplea con ventaja en pequeñas cantidades en la pirotécnica, así como para producir ciertos efectos de luz en los teatros.

Las dos fábricas, ya referidas, de Manchester y Boston no producen en la actualidad más de 3.750 kilogramos de magnesio al año, de los que corresponden las tres quintas partes al establecimiento inglés; pero recientemente (1885), y merced á la aplicación de la corriente eléctrica á la producción de dicho metal, procedimiento que ha iniciado la fábrica de los Sucesores de E. Schering, en Berlín, se ha logrado reducir los gastos de la fabricación en términos que habrán de permitir el empleo del magnesio en la pirotecnia, en cantidades más considerables que antes.

El magnesio es un metal brillante, del color de la plata, que se funde á la incandescencia roja, es decir, á una temperatura relativamente baja; pero en este estado tiene poca fluidez, siendo de consistencia casi pastosa, razón por la cual no llena bien los moldes; á los 1.020 grados, próximamente, se evaporiza. El magnesio es todavía más ligero que el aluminio, pues su gravedad no pasa de 1,74. En el comercio se encuentra, por lo general, en forma de cinta delgada y estrecha. Forma con otros metales aleaciones que ofrecen ventajas en su empleo como material luminoso; pues como el magnesio cuesta actualmente 100 pesetas el kilogramo, debe considerarse como ventajoso todo cuanto tiende á abaratarlo sin perjudicar su potencia luminosa. Una aleación compuesta de dos partes de magnesio por una de cinc, produce una luz tan intensa como aquel metal puro, aunque ligeramente azulada; tres partes de magnesio por una de cinc producen una luz verde, y se obtiene una roja preciosa aleando dos partes de magnesio con una de estroncio. Con cobre da el magnesio un bronce amarillo de latón, pero que resulta demasiado caro.



CERÁMICA

Apuntes históricos acerca del arte del alfarero.—Materiales de la cerámica.—Fabricación de ladrillos ordinarios y refractarios.—Pipas de arcilla.—La alfarería común y sus procedimientos.—La loza: su historia y fabricación.—Loza llamada de piedra.—La porcelana. Su historia en China y en Europa.—Fabricación de la misma: pintura y dorado.—Fabricación de los botones de porcelana.

En la Introducción general á esta obra hicimos resaltar la importancia que tiene la industria de los vasos para la civilización de los pueblos, sin descender á los pormenores de tan interesante asunto. Pero siguiendo el curso sistemático de las consideraciones químicas, que constituyen la materia del tomo presente, es llegado el momento de ocuparnos con alguna detención de un ramo de

dicha industria, cuya utilidad supera, no ya sólo á la de la formación de vasos de madera, cuero, conchas y materias análogas, sino hasta la fabricación, de suyo tan importante, del vidrio. Nos referimos al arte de elaborar la arcilla, ó sea la cerámica, como se llama genéricamente, tomando pie de la voz griega *keramos*, nombre del barro ó la arcilla de alfareros, así como de los objetos, en general, que se forman con él.

Los principios de la cerámica se pierden en la oscuridad de los tiempos prehistóricos, y es imposible decir, siquiera aproximadamente, cuándo el hombre se hizo alfarero. Cuando consideramos que no sabemos á ciencia cierta la antigüedad de las tradiciones históricas de las primeras civilizaciones, es evidente que hemos de tropezar con obstáculos insuperables al querer determinar la época á que se remontan los primeros ensayos de semejante arte, ó el paraje en donde se verificaron. Algunos pozos abiertos en nuestros días á través de las capas de légamo, tan lentamente depositadas durante las edades por el Nilo, han sacado á luz restos de vasos de barro vidriados, que yacían sepultados á tal profundidad bajo la superficie actual, que es preciso atribuirles una antigüedad de más de trece mil años, á menos de suponer que dichos depósitos se formaban antiguamente con mucha menos lentitud que hoy. En los palafitos prehistóricos, descubiertos recientemente en diferentes puntos de Europa, y cuya edad es imposible precisar, se han hallado restos de vasos de barro, formando á veces montones considerables, que indican que ya la industria se practicaba en escala relativamente grande. Por lo demás, la tradición más antigua acerca de la creación del hombre con barro ó arcilla, demuestra con claridad que la plasticidad de este material tan común era conocida y utilizada desde una antigüedad sumamente remota.

Respecto del modo de trabajar de los primitivos alfareros, de las herramientas y procedimientos que emplearon en su arte, sólo podemos juzgar por analogía; pero no erraremos mucho al suponer que dichos modos fueron de los más sencillos, tales como se practican todavía por los pueblos bárbaros ó semisalvajes de ciertas regiones de nuestro globo. Sin embargo, los vetustos monumentos egipcios, que constituyen, digámoslo así, el libro más antiguo é instructivo acerca de los principios de la civilización, esparcen bastante luz sobre la materia, pues en sus relieves se hallan representadas las diferentes operaciones del arte que nos ocupa: vemos en aquellas antiquísimas esculturas hombres pisando ó amasando la arcilla con los pies, á fin de aumentar su plasticidad, mientras que otros forman vasos y objetos de figuras diversas, en parte con las manos solamente, en parte con ayuda del torno de alfarero, como indica la fig. 152; también se encuentra ilustrada en dichos relieves la cochura de los vasos, etc., viéndose claramente, no sólo la forma del horno, sino la manera cómo se colocaban en él los objetos y se sacaban después de cocidos; y hallan asimismo su representación los artistas que adornaban los vasos con pinturas. En los antiguos sepul-

cros egipcios se han hallado numerosas figuritas de momias hechas de arcilla cocida, con inscripciones impresas en su superficie, y revestidas con un vidriado de color azul verdoso. Asimismo, en las ruinas de Nínive se han encontrado ladrillos vidriados (azulejos), y es también evidente, en vista de numerosos textos de la Biblia, que los israelitas practicaban de muy antiguo el arte de la alfarería.

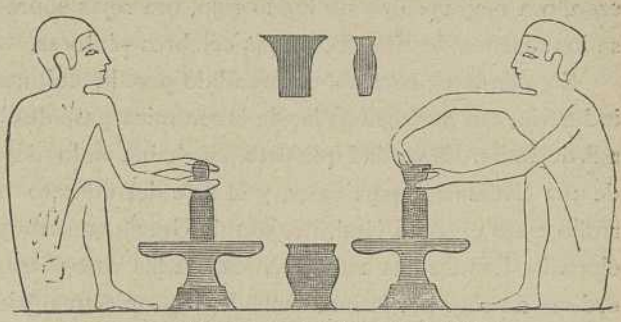


FIG. 152.—Alfareros egipcios trabajando en el torno.

Como se comprende fácilmente, dado su genio artístico, los antiguos griegos no tardaron en descollar por sus producciones cerámicas. En tiempos de Homero existían alfarerías en la isla de Samos, que alcanzaron gran celebridad, y al vate ciego se atribuye una poesía en alabanza de las mismas, llena de interesantes pormenores acerca de los métodos empleados. Se han conservado también los nombres de muchos alfareros griegos célebres, como *Dibutades*, de Sikiyon, del que no se sabe cuando vivió, pero cuyos vasos se llevaban en gran cantidad á Corinto y otras ciudades é islas del archipiélago griego; *Koroebos*, de Atenas, que vivía por el año 1.500 antes de nuestra Era; y *Tales*, el hijo de *Perdix* y sobrino de *Daedalos: Therikles*, de Corinto, dió su nombre á una clase determinada de vasos. Pero aparte de la legeancia de sus formas, lo que daba singular



FIG. 153.—Vaso de Argesilaos: Pintura interior.



FIG. 154 —Vaso de Argesilaos.

realce á los productos de la cerámica griega fueron las pinturas, cuyas figuras eran, ora negras sobre un fondo rojo, ora rojas sobre un fondo negro, debiéndose los diseños de ellas á los más célebres pintores.

Siguiendo el camino emprendido por la cultura y el arte en general, la industria, tan perfeccionada, de la cerámica pasó desde Grecia á la parte meridional de Italia. Es verdad que este país había sido desde muy antiguo el asiento de una civilización particular, y el arte del alfarero había tomado cierto desarrollo; pero el soplo vital, llegado de Grecia, contribuyó esencialmente á perfeccionarlo. Las formas características de los vasos etruscos se hermosearon extraordinariamente por la influencia de las muestras griegas. Merced á la costumbre de los antiguos, de depositar las cenizas de sus muertos en vasos ó urnas, ha llegado hasta nosotros un rico material para poder juzgar del gusto y de la capacidad técnica de aquellas edades, pues pasan de veinte mil los vasos desenterrados de sepulcros griegos y etruscos, que se conservan hoy en nuestros Museos. Al contemplar estas colecciones de urnas, ánforas, jarros, jarrones, etc., no podemos menos de admirar la riqueza y variedad de las formas y la incomparable hermosura y exquisito gusto de muchos de ellos. La fig. 154 reproduce una de las más célebres obras existentes de la alfarería etrusca, llamada «Vaso de Argesilaos», en vista del asunto de su pintura interior, de la que da una idea la fig. 153; este precioso vaso mide unos 20 centímetros de alto por 30 de diámetro, y se conserva en la Biblioteca nacional de París.

En Roma, y en tiempo de Plinio, se apreciaban más especialmente los objetos de cerámica procedentes de Tralles, en Lidia; Erythrae, en Jonia; Adría, en la Italia superior, y Rhegium y Cumae, en la inferior. Los jarrones de Kos, con asas, se estimaban tanto, que los patricios romanos los regalaban á sus clientes cuando en ocasiones especiales querían asegurar su adhesión. El material con que estaban hechos todos estos vasos consistía en una arcilla roja ó pardo-rojiza, y la pintura se destacaba generalmente en negro sobre el fondo natural. Considéranse como los más antiguos de los vasos griegos, los que ostentan pinturas de color pardo oscuro uniforme sobre un fondo amarillo-rojizo claro; más adelante aparecieron otros con pinturas de un color pardo-oscuro, variado á veces con un poco de blanco ó violado, sobre un fondo amarillo pálido; á éstos siguieron los vasos griegos y etruscos con figuras rojas sobre fondo negro, si bien en este último período se hicieron muchos vasos ó ánforas grandes de singular hermosura, con pinturas de diversos colores sobre fondo blanco. Cuando se querían reproducir las mismas figuras en diferentes vasos, se facilitaba el trabajo, pintando el primero, calcando sobre éste el dibujo en una hoja de papel de papiro y después de calar las figuras, aplicando la plantilla á los demás vasos sucesivamente, sumergiéndolos así en el líquido colorante; las partes del vaso correspondientes á los calados del papel tomaban el color, mientras que en las cubiertas quedaba el fondo intacto.

Los romanos practicaban el arte del alfarero en grande, no sólo en Italia, sino en sus colonias, como lo demuestran las alfarerías desenterradas en nuestros días; en Rheinzabern (provincia bávara del Pfalz), por ejemplo, habíanse descubierto hasta 1858 setenta antiguas alfarerías romanas y treinta y seis hornos de cocer ladrillos. Los vasos romanos se distinguen por el hermoso color rojo de su masa, componiéndose de la llamada *terra sigillata*, que no es más que una arcilla muy plástica y rica en óxido de hierro. Dichos vasos se adornaban frecuentemente con figuras en relieve que se producían en la superficie de la masa blanda por medio de cuños. Pero también algunos pueblos bárbaros de Europa practicaban independientemente el arte de que tratamos, pues en los antiguos sepulcros eslavos de Rusia, Polonia y Alemania se han encontrado muchos vasos de barro cocido, cuyas formas singulares demuestran claramente que la alfarería se había desarrollado entre ellos sin la menor influencia extraña.

Aunque, como ya dijimos, se han hallado en las ruinas asirias y egipcias figuras y ladrillos de barro cocido, de superficie vidriada, esta capa ó baño de vidrio fundido, destinado á aumentar la duración de los objetos y hacerlos impermeables por los líquidos, es, al parecer, un invento que sólo hicieron algunos pueblos antiguos, y que no llegó á generalizarse. Los vasos griegos y etruscos de que hablamos más arriba no ostentan un vidriado propiamente dicho, hallándose únicamente revestidos de una capa de resina ó barniz; y es probable que éste fuera antiguamente el procedimiento más en boga para privar á los vasos de arcilla de su porosidad, como lo sigue siendo hoy entre algunos pueblos indígenas de la América meridional. Sin embargo, los griegos y los romanos aprendieron á vidriar su cerámica, así como también á pintarla al encausto, arte este último que se practicaba ya en tiempos del rey etrusco Porsena, unos 500 años antes de nuestra Era. El vidriado antiguo forma una capa tan delgada, que el brillo de los vasos vidriados más bien parece haberse producido por medio del bruñidor: circunstancia que dificulta notablemente las investigaciones sobre el particular; pero es posible, como cree Keller, que, en cuanto á los vasos rojos romanos se refiere, dicho vidriado se produjera con bórax, cuyo componente principal, el ácido bórico, se volatilizaría en parte durante la cochura. La pintura se extendía siempre debajo del vidriado; el arte de pintar el vidriado ya fundido es de invención muy posterior, ó sea de principios del siglo XV, atribuyéndose al florentino *Luca della Robia*.

Los grandes trastornos políticos que siguieron á la decadencia del Imperio romano y precedieron á la formación de las naciones, aniquilaron la cultura antigua, y en especial todo cuanto se relacionaba con la técnica artística. Los árabes fueron los primeros en fecundar de nuevo la industria del Occidente, y su espíritu inventor introdujo nuevos métodos técnicos, y animó, digámoslo así, las obras con las hermosas creaciones de su fantasía oriental. Los persas y los árabes eran maestros en el arte de producir vidriados y esmaltes

de colores y reflejos preciosos; y merced, de un lado, á las Cruzadas, y de otro á la conquista de nuestra patria por los moros, cuyos hermosos azulejos y platos son el encanto de cuantos visitan á Granada y los Museos modernos, desarrollóse de nuevo en el Mediodía de Europa el arte de la cerámica y la fabricación de vidrios.



FIG. 155.
Copa fabricada en Málaga y decorada con azul y oro.

En la relación de los viajes de Ibn Batoutah, que visitó á España por el año 1350, háblase de la hermosa cerámica dorada que se fabricaba entonces en Málaga y se exportaba á los países más lejanos. Dicho viajero habla de Granada, pero nada dice de practicarse allí la alfarería, siendo probable, por lo tanto, que Málaga fuera el centro de fabricación del reino granadino, y el punto en donde se hizo el célebre vaso de la Alhambra, así como los dos que se conservan en París en el Museo de Cluny. La fig. 155 representa una copa fabricada en Málaga y decorada con azul y oro. Después de Málaga, la isla de Mallorca fué uno de los primeros centros de la alfarería hispano-moruna; tanto que su nombre, transformado primero en *majorica*, y luego en *majólica*, se adoptó más tarde en Italia para designar la loza en general. El tipo principal de esta fabricación se halla representado en el plato que se conserva en Cluni, con las armas de la villa de Inca, situada en el centro de la isla, y que debiera ser punto principal de fabricación, además de la capital. Otra muestra de los mejores tiempos de esta fabricación es el vaso representado en la fig. 156, en la cual llama la atención la firmeza del cincelado, el dibujo gracioso y puramente oriental, y sus reflejos dulces y nacarados. Sagunto (hoy Murviedro) era célebre por su cerámica roja en tiempo de los romanos, y más tarde, es decir, á principios del siglo XV, la alfarería vidriada deValencia era la más estimada en España, y



FIG. 156.
Vaso con reflejos nacarados de Mallorca.

de ella damos una muestra en la fig. 157, celebrándose, sobre todo, los productos de Manises. En el año 1455 el Senado de Venecia promulgó un decreto prohibiendo la introducción en sus dominios de cualquiera obra de alfarería extranjera; pero hizo una excepción en favor de los crisoles *(correzoli)* y la *majólica de Valencia*, que se declararon de introducción libre. Otros puntos de nuestro país donde se desarrolló más adelante el arte de la cerámica fueron Palencia, Barcelona, Toledo y Talavera, sin hablar de otros de menor importancia.

También en Italia, y al par de las demás artes, renació en el siglo XV el de la cerámica, adquiriendo un desarrollo extraordinario y propagándose á otros países, especialmente á Francia, la Alemania meridional y Holanda; pero durante el siglo XVIII decayó grandemente la industria alfarera en general, al par que el buen gusto; decadencia que la invención europea de la porcelana, lejos de impedir, contribuyó á acelerar, merced á su rápido desarrollo, si bien en la actualidad ha vuelto á recobrar la alfarería el puesto que le corresponde.



FIG. 157.—Vaso dorado de Valencia con inscripción cristiana.

La historia de la cerámica en China se remonta á una época mucho más antigua que la de la europea. En tiempos del emperador Hoang-Ti, que reinaba por el año 2650 antes de nuestra Era, existían en China grandes alfarerías imperiales, dirigidas por empleados del Estado. Pero no nos detendremos en este lugar en la cerámica del Celeste Imperio, puesto que tendremos más adelante ocasión de abarcarla en la historia de la porcelana; y procederemos ahora á tratar de los materiales y procedimientos de que se sirve el alfarero, y de los diferentes productos de su arte.

MATERIALES DE LA CERÁMICA

La materia primera ó fundamental de la cerámica es la arcilla, y todo el arte, ora consista en la fabricación de los ladrillos más ordinarios, ora en la de las más hermosas obras artísticas, como las de las célebres alfarerías de Wedgwood y Minton, y de las grandes fábricas de porcelana de Meissen y Sèvres, estriba en la propiedad de la arcilla de entrar, por la influencia de una temperatura elevada, en un estado de fusión incipiente, merced al cual sus partículas se aglomeran entre sí y su masa gana en solidez y dureza.

En el capítulo precedente, y con motivo de la producción artificial de piedras preciosas, tuvimos ocasión de observar que la alúmina, que es el compo-

nente principal de la arcilla, sólo se funde, esto es, sólo entra en estado líquido por la acción del soplete oxhídrico, es decir, á una temperatura sumamente elevada; pero la combinación de la alúmina con sílice, es decir, el *silicato de alúmina* ó arcilla pura, es infusible, ablandándose tan sólo por el calor más fuerte y aglomerándose sus partículas, y esta propiedad se puede modificar mediante la adición de sustancias apropiadas, de modo que, como luego veremos, se emplean diferentes mezclas en los diversos ramos de la cerámica. Como quiera que la arcilla, lo mismo que la marga, se compone de los residuos ó restos de rocas feldespáticas descompuestas, las cuales se componían en parte de minerales que contienen hierro, cal, sílice (cuarzo), magnesia, etc., estas materias, según su grado de insolubilidad, se vuelven también á encontrar en las arcillas en diferentes proporciones. En cambio, los componentes solubles de aquellas rocas, como la potasa y la sosa, han sido extraídos totalmente ó en su mayor parte por el agua, extracción que constituye precisamente la esencia de la desintegración de las rocas.

No todas las arcillas son á propósito para los objetos de la cerámica. La más apreciada, aunque no la más pura desde el punto de vista químico, puesto que contiene todavía finas partículas de feldespato no descompuesto y un poco de sílice libre, es el *kaolín* ó *tierra de porcelana;* la arcilla más plástica, y por tanto la más pura, químicamente hablando, es la llamada *arcilla de pipas*, que, como la de porcelana, se halla completamente libre de hierro, y da, por lo mismo, en la cochura una masa enteramente blanca. Cuanto más hierro contiene la arcilla, tanto más coloreados resultan los objetos hechos con ella y cocidos, variando los matices producidos desde los más pálidos del amarillo, rojo y pardo, hasta los más oscuros de estos colores, y hasta el negro más intenso; son más raras las arcillas que, después de la cochura, ostentan matices grises ó azulados. La coloración depende del estado en que se encuentra el hierro en la arcilla, ó en que se transforma bajo la acción del fuego durante la cochura; en otros términos, varía el color según que el hierro se halla en forma de protóxido, de peróxido, ó de una combinación de ambos, ó bien en la de un silicato, esto es, combinado uno de sus óxidos con sílice. Lo propio puede decirse respecto de los óxidos del magnesio, los cuales, sin embargo, se presentan en las arcillas en mucha menor cantidad que los de hierro. Pero el hierro no ejerce solamente una influencia colorante, sino que tiende, lo mismo que la cal y la potasa, á formar escorias fusibles; razón por la cual las arcillas que contienen estas materias nunca son de las más refractarias. Cuando consideramos en conjunto los productos de la cerámica, inclusos los que llamamos ladrillos y baldosas, podemos calificar de útiles para determinados objetos, arcillas de ciertas propiedades, que serían totalmente inútiles para otros ramos de la industria.

Las arcillas pueden clasificarse en *plásticas* ó grasas, es decir, que se dejan amasar y formar, como la arcilla común de los alfareros, vulgar aunque impro-

piamente llamada «barro» entre nosotros; y arcillas *no plásticas*, ó magras, cuyo representante típico es la tierra de porcelana. Las primeras se distinguen por la gran finura y uniformidad de sus partículas, careciendo de componentes minerales extraños en granos relativamente gruesos, como cuarzo, etc., merced al proceso natural de levigación á que fueron sometidas durante su formación.

No se encuentran en los yacimientos primitivos de las rocas de que procedieron, sino que, arrastradas por las aguas, se depositaron más ó menos lejos en los remansos de las corrientes ó en los mares; de aquí su finura, homogeneidad, y la constancia de su composición química, que equivale á dos moléculas de alúmina y dos de agua por cada molécula de sílice, ó bien, según el concepto más reciente de la ciencia, á la de un hidrosilicato de aluminio. Además, las arcillas plásticas se distinguen por un contenido variable de sílice libre, y á veces por una pequeña porción de materia orgánica. Producen al tacto la sensación de las sustancias grasas, y en estado húmedo se les puede dar todas las formas imaginables, por cuya razón son tan apropiadas, no sólo para el alfarero, sino también para el escultor y el fundidor de metales, que las utiliza para hacer sus modelos. Expuestas al aire, pierden estas arcillas la parte de su contenido en agua que no se halla químicamente combinada, y sí sólo mezclada mecánicamente con su masa sólida; de modo que acaban por secarse, dejándose entonces reducir á polvo fino; pero vuelven á recobrar su plasticidad cuando se amasan con agua.

Cuando se exponen al fuego ó se cuecen, se escapa también su agua de combinación, y pierden para siempre su plasticidad; pues aun cuando la arcilla se convierta en polvo tan fino como la harina y se mezcle con agua, no conserva forma alguna de las que se le intente dar. Durante el caldeo ó la cochura, las clases puras de arcilla disminuyen poco en volumen, pero se endurecen, sin aglomerarse, sus partículas, y resultan, por lo mismo, muy porosas. Al mismo tiempo su color natural se torna más claro, pues las materias orgánicas ó carbónicas, que dan origen á los matices azules, grises ó negruzcos, se consumen en el horno. Las arcillas menos puras, especialmente las que contienen hierro, cal, potasa y materias análogas, se ablandan más ó menos bajo la influencia del calor, aglomerándose sus partículas hasta formar una masa casi totalmente exenta de porosidad, mientras que su volumen queda, en muchos casos, considerablemente reducido. Semejantes arcillas son á propósito para la fabricación de vasos destinados á contener líquidos, mientras que las arcillas puras de que hablamos antes son poco apropiadas para este objeto. Si el contenido de una arcilla en bases escorificantes excede de cierto límite, los objetos formados con él pueden llegar á fundirse á una temperatura elevada; en tal caso los óxidos de hierro y manganeso que pueden estar presentes producen en la masa colores muy intensos ú oscuros, como se observa á veces en ladrillos que han estado expuestos á un calor demasiado fuerte y se hallan en parte fundidos ó vidriados. Actualmen-

te, y para determinados usos, se fabrican de propósito semejantes ladrillos vidriados, y más en particular tejas vidriadas, que dan á los edificios un bonito aspecto y resisten muy bien las influencias atmosféricas; en Holanda se emplean hace mucho tiempo los ladrillos vidriados, ó, mejor dicho, fundidos superficialmente. Claro está, pues, por lo que acabamos de decir, que las arcillas más refractarias son las que consisten casi exclusivamente en silicato de alúmina.

De las diferentes variedades de arcilla que se presentan en la Naturaleza, la arcilla cuarcífera común, es decir, que contiene arena fina de cuarzo y más ó menos óxido de hierro, se emplea en la fabricación de ladrillos y tejas ordinarios; la arcilla margosa, esto es, la que contiene cierta porción de cal ó dolomia, se utiliza para los objetos de cerámica más bastos; la arcilla dicha de alfareros, que es relativamente pura y muy plástica, halla aplicación en la fabricación de objetos vidriados, vulgarmente llamados de barro, así como en la de la loza común; la llamada arcilla de pipas, que es refractaria y más pura, es el material que da la loza fina; y la tierra de porcelana es la primera materia para la fabricación que indica su nombre.

Esta tierra de porcelana, ó *kaolín*, es la más útil de las arcillas no plásticas ó magras, las cuales se encuentran generalmente en los mismos sitios donde yacían ó yacen todavía las rocas á cuya descomposición deben su origen, y por consiguiente, contienen todavía, por regla general, todos los componentes minerales insolubles de dichas rocas; en su virtud, es preciso en determinados casos someterlas á una preparación mecánica, un lavado ó levigación, á fin de separar las materias extrañas, y para aumentar su plasticidad se mezclan frecuentemente con alguna arcilla plástica ó grasa. La arcilla cuarcífera común corresponde también á la categoría de las magras.

Pasando ahora á ocuparnos de los diferentes ramos de la industria cerámica, empezaremos con el más sencillo, ó sea la fabricación de ladrillos, baldosas, tejas, etc.

FABRICACIÓN DE LADRILLOS

Esta industria, que se practica desde tiempo inmemorial en diferentes partes del globo, y que también se halla ilustrada en las pinturas de los antiguos monumentos egipcios (fig. 158), utiliza materiales cuya preparación es, por regla general, muy sencilla. La arcilla, excavada con la pala, se limpia de las piedras y raíces que pueda contener, y si es demasiado grasa, se mezcla íntimamente con una cantidad conveniente de arena; pero para que su masa resulte lo más uniforme posible es necesario, ante todo, saturarla de agua, operación que tiene lugar en grandes zanjas ú hoyos. Si contiene materias que en la cochura puedan ejercer una acción perjudicial, y que no sea dado separar á mano, es preciso someterla á una levigación, procedimiento que se aplica más especialmente á

las arcillas destinadas á la fabricación de los ladrillos, tejas, etc., más finos. Sigue entonces el amasado de la arcilla, que antes solía efectuarse pisándola con los pies, pero que hoy se verifica en aparatos especiales. Uno de los que más comúnmente se emplean al efecto consiste en una gran cuba cónica de madera, dentro de la cual gira, á impulso de caballerías ó de un motor mecánico, un sólido árbol vertical, provisto de cuchillas inclinadas, que van cortando y revolviendo la arcilla que se echa en la cuba, oprimiéndola al mismo tiempo hacia el fondo, desde donde va saliendo en forma de una masa compacta, y de la plasticidad deseada. También se emplean molinos cilíndricos de construcción diversa.

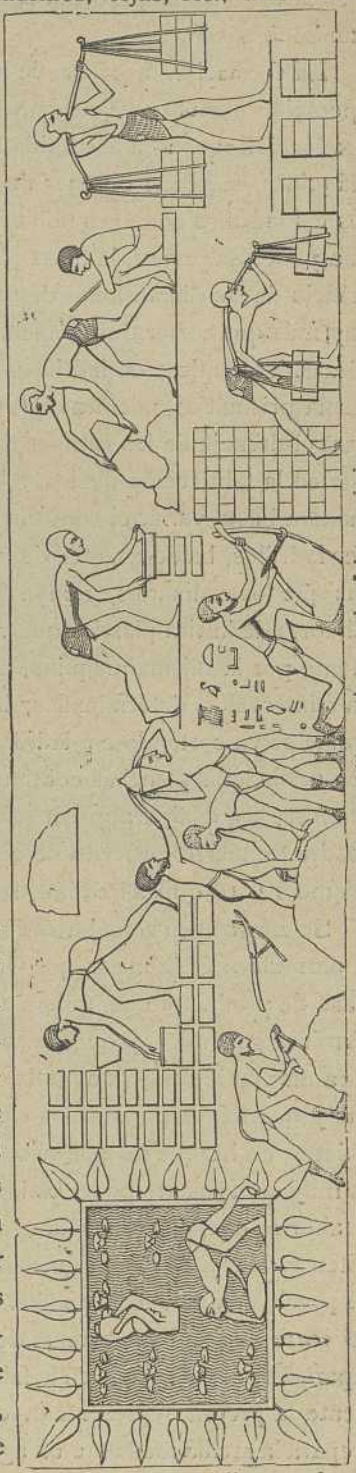


FIG. 158.—Fabricación de ladrillos, según una antigua pintura egipcia.

Así preparada, la arcilla se convierte acto continuo en ladrillos, operación que en otros tiempos se verificaba exclusivamente á mano, pero que hoy se ejecuta en muchas partes á máquina. Donde se hacen los ladrillos á mano, la arcilla amasada se oprime en sencillos moldes ó marcos de madera de las dimensiones deseadas, colocados sobre un tablero, quitándose la parte de arcilla sobrante por medio de un rasero y retirando entonces los marcos, los cuales se humedecen interiormente con agua, á fin de que la arcilla no se adhiera á sus paredes, ó bien, como es costumbre en algunas localidades, se rocían con arena fina. También suelen rociarse con arena los ladrillos mismos al tiempo de levantar los moldes; de este modo su superficie resulta algo más áspera, pero por lo mismo el mortero (mezcla) se adhiere mejor á ella. Los ladrillos más finos reclaman, naturalmente, un trabajo más esmerado, y se secan con mayor cuidado, sometiéndose, aun después de secados al aire, á cierta presión mecánica, ó á un recorte, y alisando sus caras; hecho lo cual, éstas se pintan ó untan con una pasta de arcilla fina, que se iguala muy bien con una cuchilla. De este modo los ladrillos, después de cocidos, aparecen como pulimentados; y

mediante la adición á dicha pasta de materias colorantes, se pueden obtener con bonitos colores.

La formación mecánica de los ladrillos ha sustituído ya en muchas partes la operación manual que acabamos de describir; primero, porque consiente una producción mucho más rápida, y en segundo lugar, porque, por medio de las máquinas, se puede obtener mayor variedad de formas. En semejantes aparatos los ladrillos comunes no se forman separadamente, sino que, por medio de una poderosa prensa, la masa plástica se obliga á pasar continuamente por un orificio de las dimensiones deseadas, de modo á formar como una tira, que no hay más que cortar transversalmente con arreglo al largo que han de tener las piezas. Tratándose de ladrillos, la masa arcillosa, al salir de la prensa, toma la forma prismática, mientras que tratándose de tubos, como los que se emplean para el drenaje de los campos, la masa se oprime en torno de un alma, lo mismo que en la fabricación de los tubos de plomo. Es evidente, pues, que de esta manera basta variar el contorno del orificio por donde sale la masa, para obtener ladrillos, baldosas, etc., de diferentes formas, con la misma facilidad y rapidez que los ordinarios, y cuya fabricación á mano ofrecería serias dificultades. El corte de la tira plástica que va saliendo de la prensa se verifica automáticamente por la misma máquina, mediante un alambre ó una cuchilla, que funciona á intervalos determinados; hay máquinas en las que una tira estrecha de arcilla se va cortando en ladrillos aislados, mientras que otros aparatos producen verdaderas planchas continuas de la masa, que cortan á intervalos en piezas grandes, las cuales, al pasar sobre un tablero, se dividen á mano mediante un cuadro de hierro provisto de alambres cruzados, produciendo cada corte del mismo 12, 16 ó más ladrillos, según su tamaño.

Se construyen actualmente máquinas de hacer ladrillos muy diversos, según la naturaleza de la masa que están destinadas á elaborar, así como según la clase de producto que quiere fabricarse. Las que acabamos de describir en términos generales, y que suelen combinarse con molinos de diferentes clases para amasar la primera materia, son aplicables á la elaboración de arcillas húmedas y que tienen por sí solas cierta consistencia. Mas como para determinados objetos, en los que no son necesarios ladrillos perfectamente angulares y lisos, es muy conveniente poder elaborar la arcilla en el estado más seco posible, á fin de ahorrar combustible en la cochura, se han inventado otras máquinas que permiten formar ladrillos con masas poco coherentes. Lo característico de semejantes prensas en seco, como se llaman, está en que los ladrillos aislados no resultan del corte de una tira continua de la masa, sino del moldeado de ésta en moldes separados, como sucede en la fabricación á mano. En Francia se emplea comúnmente la prensa representada en la fig. 159: desde el cilindro *b*, en el que se prepara la arcilla mediante un agitador mecánico, la masa relativamente seca cae directamente en una serie de moldes ó marcos de hierro, *f*, *i*, unidos por articu-

laciones de modo á formar como una cadena sin fin, *i*, *f*, *i*, que se hace circular en torno de dos tambores situados en ambos extremos del aparato. Dichos moldes no tienen fondo, pues son simplemente marcos; pero en el punto donde se llenan y sufre su contenido la presión del cilindro *a*, descansan momentáneamente sobre planchas de hierro, dispuestas también en forma de una cadena sin fin, *h h*, que circula sobre una serie de rodillos con la misma velocidad que los moldes. En el punto señalado en el grabado con *d*, las planchas referidas abandonan los moldes, que siguen su camino con su contenido prensado, suspendi-

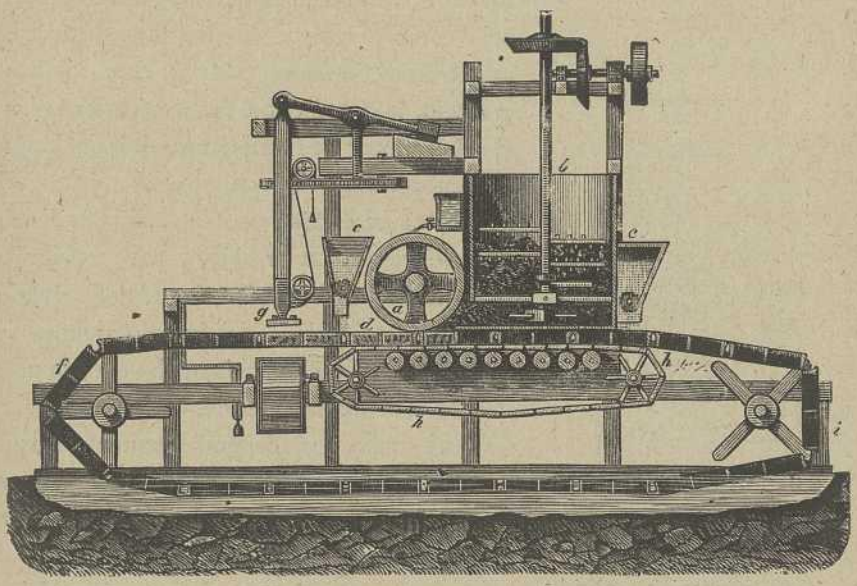


FIG. 159.—Prensa para hacer ladrillos en seco.

dos en el aire; un poco más allá, la cara superior de los ladrillos se rocía con arena que cae de la tolva *c*, y seguidamente una palanca armada de un zapato de hierro, *g*, oprime al paso cada ladrillo, haciéndolo caer, á través del molde, sobre una tela sin fin, que lo traslada á la plaza, donde se seca. En el viaje de retorno los moldes vacíos pasan por un depósito lleno de agua para que se limpien, y antes de recibir una nueva porción de arcilla se empolvan á su paso debajo de la tolva *e*, de la que cae una fina lluvia de arena.

Los ladrillos formados de una ú otra manera tienen que secarse completamente al aire antes de ser cocidos; los que se prensan en seco necesitan muy poco tiempo para perder la humedad de su masa; pero los que se producen con arcilla en estado plástico se secan á veces muy lentamente, y en muchos países es preciso construir extensos cobertizos para protegerlos entretanto contra las lluvias, pues aun en el nuestro, donde se secan, por lo general, apilándolos al aire libre, una tempestad ó un fuerte chaparrón de verano suele destruir bastante obra.

Para la fabricación de piedras artificiales destinadas á pavimentos se emplea la prensa de vapor, de *Naigle* (fig. 160). Consiste esencialmente en un cilindro de vapor vertical, en el cual puede moverse un émbolo alternativamente hacia arriba y hacia abajo; su vara atraviesa tanto la tapa inferior como la superior del cilindro, y termina por arriba en otro émbolo, que corresponde á la prensa propiamente dicha, y se mueve dentro de un molde ó caja de hierro. Este molde se llena desde lo alto con la masa plástica que ha de formar la piedra artificial, mediante una tolva movida por una palanca, y que al avanzar abre el molde, llenándolo, y al retroceder lo deja cerrado con una fuerte tapa de acero. El movimiento de dicha palanca, como indica el grabado, lo determinan dos excéntricas fijas en el árbol motor de la máquina, situado horizontalmente debajo del cilindro; el mismo árbol tiene otra excéntrica que determina la distribución del vapor. La presión, y por consiguiente la formación de la piedra, tiene lugar cuando el vapor penetra debajo del émbolo, que se eleva entonces empujando hacia arriba el de la prensa dentro del molde referido. La presión alcanza su grado máximo, independientemente de que el molde contenga mucho ó poco material, cuando la presión dentro del cilindro de vapor llega á ser igual á la de la caldera ó generador. En este momento se abre la válvula superior, dejando penetrar el vapor sobre el émbolo, y entonces éste, en unión con el émbolo de la prensa, baja de repente, aunque sin golpe. Seguidamente, y mediante la palanca referida, se retira la tapa del molde, y á impulso de una cuarta excéntrica del árbol motor, que actúa sobre el extremo inferior de la vara de los émbolos, suben éstos, elevando la piedra formada hasta el borde superior del molde, para que se pueda retirar.

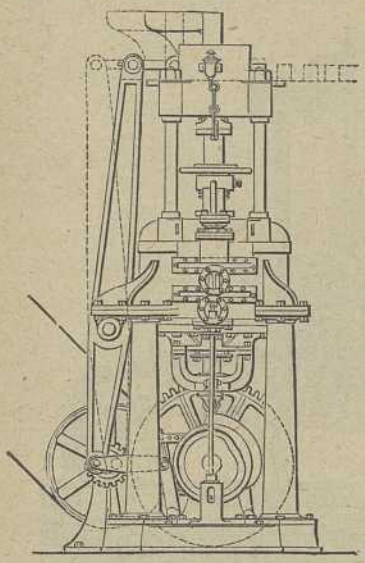


FIG. 160.—Prensa de Naigle para la fabricación de piedras artificiales.

La cochura de los ladrillos, previamente secados al aire, se verifica, bien en grandes montones ó pilas al raso, bien en hornos. El primero de estos procedimientos, que es el más antiguo y primitivo, puede ser ventajoso en comarcas donde hay abundancia de combustible menudo, ó cuando la fabricación del ladrillo sólo se verifica de vez en cuando, respondiendo á necesidades locales y pasajeras. Los ladrillos se colocan uno sobre otro, extendiendo sobre cada capa sucesiva un poco de carbón menudo, y reservando en el macizo canales horizontales y verticales, que se llenan también de combustible; el montón se cubre entonces con tierra, reservando tan sólo algunas aberturas en la parte superior para promover el tiro necesario y dar salida á los gases de combustión. Se pega fuego

al montón desde los canales inferiores, inmediatas al suelo, y que se llenan al efecto de leña seca, y desde este momento el ladrillero ó encargado de la operación sigue una marcha análoga á la del carbonero. Según la dirección del viento y el progreso de la combustión, se abren nuevos respiraderos, de modo que el fuego, que se extiende primero por las capas inferiores, va ganando gradualmente las superiores, caldeando al fin el montón entero. Semejante cochura dura bastante tiempo, pues por lo general los montones se hacen muy grandes; á medida que se consume el combustible, va reduciéndose el volumen del montón, y se necesita mucha práctica para tener en cuenta este cambio al tiempo de disponer los canales, pues de no tomar las precauciones debidas, se corre el riesgo de que el montón se hunda, obteniéndose, en lugar de ladrillos servibles, multitud de pedazos inútiles.

Los hornos que se emplean para cocer los ladrillos son de construcción muy diversa. Los más sencillos son los antiguos, llamados «alemanes», que carecen de bóveda, tapándose únicamente con pedazos de ladrillo, después de llenos con los ladrillos secados de cuya cochura se trata. Semejantes hornos no son recomendables, pues aparte de que se pierde en ellos gran parte del calor, dan lugar á una proporción considerable de desperdicios: las capas superiores de la carga resultan con frecuencia muy poco cocidas, mientras que las interiores salen requemadas ó escorificadas. Los hornos holandeses están cubiertos por una bóveda de medio punto; y respecto de la economía de combustible, resultan muy inferiores á los que tienen bóvedas rebajadas. La disposición interior depende en gran manera de la clase de combustible que se emplea; y no decimos más, porque semejantes hornos son ya antiguallas que sólo se usan allí donde la rutina impide el progreso.

En efecto; ante el extraordinario impulso que en nuestros días ha recibido la industria en general, y ante el gran incremento que ha tomado la construcción, la fabricación de ladrillos no podía permanecer estacionaria, y en muchas partes ha tomado ya los vuelos de una gran industria racionalmente dirigida. No sólo se ha ido generalizando el empleo de maquinaria para la preparación de las primeras materias y la formación de los ladrillos, sino que se ha aplicado ya á la cochura de éstos la experiencia adquirida en otras industrias respecto de la construcción de hornos, y en especial del modo más adecuado y racional de generar y aprovechar el calor. Los antiguos hornos en que se desperdiciaban lamentablemente los gases de combustión, han ido cediendo el puesto á aparatos mucho más perfectos, basados en el principio regenerador de Siemens, que se aplicó por *Arnold* hace unos cincuenta años, en su llamado «horno anular», pero que sólo se ha generalizado de veinte años á esta parte. Hoy existe ya gran número de sistemas diversos de hornos ladrilleros que se disputan la preminencia, y trataremos ahora de señalar los principios esenciales en que se funda su construcción, sin poder descender á sus pormenores.

En contraposición á los hornos antiguos, que es preciso dejar enfriar después de cada cochura para vaciarlos y volver á cargarlos, los modernos son todos de acción continua, es decir, que sin interrumpir la combustión, se va introduciendo en ellos obra cruda, por cocer, á medida que se retira la cocida. En vista de la disposición de sus partes, pueden clasificarse genéricamente en *hornos anulares* y *hornos de canal;* los primeros se componen, en sustancia, de un espacio en forma de anillo, que, por medio de tabiques movibles de hierro, puede dividirse en cierto número de compartimientos ó cámaras, cada una de las cuales puede ponerse en comunicación con la chimenea común, que se levanta en el centro del anillo; en cambio, en los hornos de canal, la disposición general es la que indica su nombre, pues se reduce en esencia á un canal rectilíneo de unos 40 metros de largo. Respecto de la marcha de la cochura, la diferencia esencial entre los dos sistemas consiste en que, mientras en los hornos anulares la carga permanece fija y se muda, digámoslo así, en los de canal, por el contrario, el fuego es fijo y la carga movible.

La cochura continua en un horno anular se verifica del modo siguiente: los ladrillos crudos se apilan primero hasta llenar todo el hueco del horno, que se puede dividir, digamos así, en doce cámaras, hallándose, por lo tanto, juntas la primera y la duodécima; todas las cámaras, salvo estas dos, se dejan en comunicación una con otra, manteniendo levantados los tabiques de hierro correspondientes. Pero antes de empezar la cochura, que se inicia en la cámara núm. 1, se utiliza la 12 como hogar, estableciéndose en ella una rejilla, sobre la que se echa el combustible necesario. Al tiempo de prender fuego, se baja el tabique detrás de la sexta cámara, de modo que divida el espacio del horno en dos partes, formadas cada una por seis cámaras, y se abre el conducto que pone la sexta cámara en comunicación con la chimenea, de suerte que los gases de combustión pasan desde la primera cámara á través de las cinco siguientes, calentando gradualmente la carga. Tan luego como los ladrillos de la primera cámara se han calentado lo bastante, se quita la rejilla de la cámara duodécima, cerrando la comunicación entre ella y la primera, y acto continuo se echa carbón menudo sobre la carga candente de esta cámara, mediante una abertura reservada al efecto en su bóveda. Desde este momento el fuego se mantiene única y exclusivamente, echando combustible menudo, á intervalos determinados, sobre la carga por los orificios superiores de las cámaras, mientras que el aire necesario para la combustión penetra por estrechos canales reservados al efecto en la obra, y susceptibles de ser abiertos y cerrados como mejor convenga.

Cuando la carga de la primera cámara está cocida, se deja de echar más combustible sobre ella, haciéndolo, en cambio, por el orificio correspondiente á la segunda cámara; al mismo tiempo se abre la comunicación, antes interrumpida, entre la cámara sexta y la séptima, así como el canal que une ésta á la chimenea, cerrando, como es consiguiente, el de la sexta, y bajando también el

tabique divisorio entre la séptima y la octava; y así sucesivamente, de modo que los gases de la combustión tienen siempre que atravesar cinco cámaras antes de llegar á la chimenea, calentando las cargas correspondientes y escapando en estado relativamente frío. Entretanto, al aire exterior que, para alimentar la combustión, sigue penetrando por los canales referidos de la primera cámara, se le obliga á pasar á través de las cargas ya cocidas antes de llegar al en que se está haciendo fuego, de modo que se va calentando previamente, determinando un ahorro no despreciable de combustible. Como este aire se calienta á expensas de las cargas ya cocidas, éstas se van enfriando en la misma medida, y tan luego como una de ellas se ha enfriado lo bastante, se retira del horno por una puerta lateral, cargando seguidamente la cámara vaciada con nuevos ladrillos crudos. De este modo, pues, van retirándose sucesivamente las cargas cocidas, sustituyéndolas con otras crudas, sin interrumpir la marcha del horno, que continúa hasta que éste necesite reparaciones ó convenga suspender la fabricación. Según la cantidad de ladrillos que se desea producir, varían el número y las dimensiones de las cámaras de estos hornos anulares, construyéndose de 12 hasta 32 cámaras, para obtener diariamente de 2.000 á 2.0000 ladrillos.

Los hornos de canal son de construcción bastante más sencilla que los anulares, pues se reducen, en esencia, á una galería abovedada, horizontal y rectilínea, de unos 40 metros de largo, cerrada con puertas en ambos extremos, y sobre cuyo piso se encuentra una vía férrea, destinada á la circulación de la carga. Los ladrillos crudos se apilan, en efecto, fuera del horno, sobre vagones de hierro de construcción muy sencilla, y la cochura, una vez iniciada la marcha normal, se verifica continuamente en la parte media de la galería, entrando las cargas crudas por uno de sus extremos y calentándose gradualmente bajo la influencia de los gases, y después de cocidos, siguiendo hasta salir por el extremo opuesto, sufriendo de paso la acción enfriadora del aire exterior, que penetra y se calienta al contacto con ellas, para luego alimentar la combustión. Para iniciar la operación se introduce primero en la galería un vagón que sostiene un hogar lleno de combustible, enganchado á otros cargados con ladrillos crudos; el tren avanza lentamente, de modo que cuando llega la primera carga á la parte media, ya está bastante candente para que en lo sucesivo la combustión pueda mantenerse, como en los hornos anulares, echando carbón menudo por orificios reservados en la bóveda de la galería. A medida que se va cociendo la primera carga, se caldean las siguientes, que en su turno reciben combustible y se acaban de cocer, marchando lentamente hacia la salida. El avance del tren lo determina un motor, mediante cadenas, ó una prensa hidráulica.

Tanto los hornos anulares como los de canal que dejamos descritos, son muy á propósito para la fabricación económica y en grande de las clases ordinarias de ladrillos; mas tratándose de los más finos, que en las obras han de

quedar á la vista, y que por lo mismo deben tener un color uniforme y una superficie limpia y lisa, dichos hornos ofrecen el inconveniente de que, por contacto con el combustible en polvo, los ladrillos salen más ó menos manchados y de superficie áspera. En lo tanto, y para las clases más finas de ladrillos, se han inventado hornos anulares y de canal, que se calientan por medio de combustible gasiforme, y en los que, por consiguiente, los ladrillos sólo sufren el contacto de gases encendidos. Su instalación es más costosa que la de los hornos continuos comunes; pero también sus productos alcanzan precios más elevados que los ladrillos ordinarios.

Una rama muy importante de la industria de que tratamos es la fabricación de ladrillos refractarios, es decir, muy resistentes á la acción del fuego, que tanto se emplean en la construcción de los altos hornos y otros hornos de fundición, los de porcelana, vidrio, etc. La arcilla necesaria para su fabricación ha de ser un hidrosilicato de aluminio puro, pues toda materia extraña, como sílice libre, cal, álcalis y óxido de hierro, disminuye la refractibilidad de la masa. Como quiera que semejante arcilla se contrae bastante y deforma, en virtud de la pérdida de su agua de combinación, es preciso formar una mezcla con parte de ella previamente cocida y molida (la llamada *chamotte)*, y otra parte de ella en estado natural; los ladrillos hechos con semejante combinación no se contraen durante la cochura.



FIG. 161.—Horno para cocer pipas de arcilla.

Antes de entrar de lleno en el campo de la cerámica propiamente dicha, hemos de dedicar algunas consideraciones á la fabricación de pipas de arcilla, cuya importancia, que en otros tiempos era grande en los países del Norte, ha perdido mucho desde que se pusieron de moda el cigarro y las pipas de madera, espuma de mar (que es el mineral llamado *sepiolita)*, y otras materias. A pesar de que la fabricación de las pipas de arcilla ordinarias, es decir, las blancas y lisas, supone toda una serie de operaciones, el precio del artículo es tan sumamente módico, que sólo se puede explicar en vista de su producción en masa. La mejor arcilla de pipa es muy fina y refractaria, volviéndose enteramente blanca durante la cochura. Se prepara sometiéndola á una levigación cuidadosa, y después de obtener una pasta de cierta consistencia, se forma con ella cada pipa, arrollando con las manos la porción necesaria sobre una mesa hasta producir un cilindro largo y muy delgado, unido á una bola que luego ha de constituir la cabeza. El cilindro se perfora en el sentido de su longitud, con

un alambre, y entonces la bola se introduce en un molde de latón para darle la horma, hecho lo cual se hace penetrar el alambre hasta dentro de la cabeza. Después de quitar la arcilla sobrante, se pega el botoncito del cuello, que lleva la marca de la fábrica, y se coloca la pipa en una posición conveniente para que se seque sin deformarse. La cochura se verifica en hornos de construcción especial, en cuyo hueco, y en torno de un árbol ó columna fija, se fijan las pipas de manera que no se toquen, como indica la fig. 161. Después de cocidas, las pipas más finas se untan con una mezcla de jabón, cera y una goma procedente de plantas del género *Astragalus*, y entonces se pulimentan ó frotan al menos con un trapo de lana; las clases inferiores sólo se alisan superficialmente.

En la fabricación de las pipas de arcilla entran en juego manipulaciones, aparatos y hornos totalmente distintos de los que se emplean en la de vasos y objetos análogos; por esto no puede considerarse en rigor como perteneciente á la industria cerámica, y en su virtud nos hemos limitado á tratarla, lo mismo que la fabricación de ladrillos, con la sobriedad que nuestros lectores han visto.

Pasaremos, pues, ahora á la cerámica propiamente dicha, esto es, á la fabricación de artículos de arcilla que responden á necesidades utilitarias en forma de vasos de todo género, ó bien se destinan á satisfacer nuestro sentido estético, ora en forma de vasos artísticos, ora en la de azulejos, ó bien como relieves decorativos, estatuas, bustos, candelabros, etc.

CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA CERÁMICA

Los diversos productos del arte cerámico pueden dividirse en dos grandes grupos: de una parte tenemos los de masa blanda, y de otra los de masa dura. Las *masas blandas*, en estado cocido, ofrecen en sus superficies de fractura una estructura terrosa, se adhieren á la lengua, son opacas, de consistencia relativamente poco compacta, y menos sonoras que las *masas duras;* éstas, cuyas partículas se adhieren fuertemente entre sí, ó en virtud de un medio más ó menos fusible, son de grano mucho más fino, y por tanto más compactas y sonoras que las masas blandas; no se adhieren á la lengua, y tienen cierta translucidez, que se acentúa tanto en la porcelana, que da lugar á la fabricación de las imágenes semitransparentes llamadas *litofonios*.

El grupo de las masas blandas comprende: las llamadas *terracottas*, los vasos de los pueblos semibárbaros, las urnas cinerarias de la antigüedad, ora ostenten una superficie mate ó una vidriada ó barnizada; además, las lozas comunes, frecuentemente coloreadas superficialmente y siempre revestidas con un vidriado plomífero; los productos ordinarios de la alfarería, y, por último, las lozas

finas esmaltadas en blanco ó en color con un vidriado de estaño y plomo, como las de Delft y Rouen, así como las llamadas mayólicas.

Las masas duras, compuestas de arcillas que contienen sílice, cal y álcalis, comprenden: los productos ingleses finos y mates, dichos *de piedra*, cuya masa está generalmente coloreada en azul, pardo, negro ó se halla jaspeada, así como otras diversas masas pétreas que reciben un vidriado de sal ó de pasta de vidrio; la loza fina de Wedgwood, y, por último, las porcelanas.

Como quiera que la diferencia esencial entre las masas blandas y duras se halla determinada por la presencia de un medio aglomerante ó fundente, como la sílice, la cal y los álcalis, es evidente que, variando la proporción de semejante sustancia, pueden obtenerse productos intermedios; lo que equivale á decir que no existe límite bien preciso ó bien definido entre las masas de una y otra clase. El caso se presenta, como hemos visto en la fabricación de los ladrillos ordinarios, los cuales, según el material empleado, pueden ostentar todos los grados de la aglomeración hasta su completa vitrificación ó escorificación; y existen otros muchos productos de la cerámica que lo mismo podrían comprenderse en el grupo de las masas blandas que en el de las duras.

TERRACOTTA

Esta voz italiana no significa en rigor otra cosa sino «tierra cocida», y se aplica genéricamente á una gran variedad de productos cerámicos que se distinguen, sobre todo, por su masa seca y terrosa, así como por carecer de vidriado, ó al menos de uno refractario al fuego. Como la temperatura relativamente baja á que se someten semejantes masas para su cochura, así como la falta en ellas de todo medio fundente, son circunstancias favorables para la conservación de las formas que reciben, las *terracottas* se emplean con frecuencia en la fabricación de obras plásticas de arte, fáciles de reproducir ó multiplicar. Se modelan libremente á mano, ó por medio de moldes, y este arte ofrece al escultor la ventaja de poder prestar á sus bocetos ó modelos, mediante la cochura, una gran consistencia, sin destruir el encanto de sus rasgos originales; en tal concepto, las figuras de *terracotta* se relacionan con las obras esculturales acabadas, en cierto modo como los grabados al agua fuerte con las pinturas al óleo. El color rojizo ó pardusco claro que les es propio produce un efecto muy agradable á la vista; y si á esto se añade el genio artístico de un Leopold Harze (escultor de Bruselas), por ejemplo, cuyas figuras de terracotta han alcanzado gran celebridad, resultan verdaderas maravillas de gracia y delicadeza, pues ningún material, ni la madera, el marfil, el bronce ó la plata, se presta tan bien como la humilde arcilla á reproducir la concepción original del artista.

Los objetos de *terracotta* común, ó, como diríamos, de «barro cocido»,

representan el primer progreso realizado por los pueblos en el arte de la cerámica; pues antes de pensar en cocer sus productos de arcilla, prestándoles con ello mayor dureza y consistencia, sólo los secaban al sol. Los más antiguos restos del género que se encuentran en los sepulcros griegos, romanos, celtas, eslavos, etc., son sencillamente objetos de *terracotta* ó barro cocido. Los antiguos griegos no sólo se distinguieron en el arte de formar preciosos vasos de arcilla cocida, adornados con pinturas y barnizados ó vidriados, sino que hicieron con *terracotta* maravillas de otro género distinto. Tales son las preciosas figuritas que, desde el año 1873, se han desenterrado en gran número de la primitiva necrópolis de la antigua Tanagra (ciudad de Beocia), de las que reproducimos algunas en la fig. 162, y que pueden admirarse en diferentes Museos europeos;



FIG. 162.—Figuras encontradas en la necrópolis de Tanagra.

son modelos acabados de gracia y naturalidad, correspondiendo en su mayor parte al cuarto y al tercer siglo antes de nuestra Era.

En tiempos del Renacimiento, los adornos plásticos de arcilla cocida desempeñaron en la arquitectura italiana un papel importante, y las numerosas obras de Luca della Robbia y de su escuela, que aún se conservan en Toscana, demuestran que los artistas más eminentes de la época no vacilaban en trabajar tan modesto material y colocarlo al lado de los mármoles y los bronces. Las primeras obras italianas del género conservan su color y aspecto natural; pero posteriormente se les daba un vidriado de color, con lo cual se parecieron más á los productos que llamamos loza y mayólica. En nuestros tiempos ha vuelto á renacer la aplicación de la *terracotta* al decorado de edificios, logrando efectos muy hermosos; como ejemplos, citaremos la nueva Casa de Ayuntamiento de Berlín, y reproducimos en la fig. 163 el magnífico arco triunfal, de ladrillo y relieves de *terracotta*, que levantaron en la última Exposición de Viena los fabricantes de Wienerberg.

Si la arcilla se mezcla con otras materias, como el polvo de las carreteras, por ejemplo, que en otros países se recoge de propósito, se obtienen composicio-

nes muy apropiadas para determinados objetos, y que se conocen en el extranjero bajo el nombre genérico de *siderolitas*. Como la masa de los objetos fabricados con semejantes mezclas no suele tener un color puro y hermoso, se pinta exteriormente con pinturas al óleo ó con barnices, ó se reviste con un vidriado de naturaleza muy fusible. Las *terracottas* antiguas ostentan con frecuencia un vidriado fino que se asemeja á la laca japonesa más tenue, si bien es de



FIG. 163.—Arco triunfal de ladrillo y *terracotta* en la Exposición de Viena de 1873.

naturaleza mineral, y se encuentra un vidriado parecido, de color pardo, en una clase especial de cerámica que se fabricaba en Dresde á principios del siglo pasado, debido probablemente á Boettger, el inventor europeo de la porcelana.

Pero salvo los jarros, botijos, etc., que en los países meridionales, especialmente en España, se emplean para conservar el agua fresca por resudación y evaporación, los vasos y demás objetos análogos de cerámica ordinaria, destinados á contener líquidos, se distinguen de los de *terracotta* propiamente dichos,

en que reciben un revestimiento compacto que cierra sus poros é impide la resudación. Además, dicho revestimiento influye esencialmente, cambiando el aspecto y demás propiedades de los objetos de arcilla cocida, de modo que semejantes artículos revestidos, que constituyen los principales productos de la alfarería, no se consideran como *terracottas*, por más que tienen en el fondo una masa análoga, que se somete durante la fabricación á las mismas manipulaciones.

ALFARERÍA Y FABRICACIÓN DE LAS LOZAS

En la alfarería la primera operación consiste en preparar el material con arreglo al producto que se trata de fabricar: la arcilla se analiza ó prueba, y si no responde enteramente al objeto, se mezcla con la cantidad necesaria de otra más grasa ó más magra, según el caso. Esta mezcla se deja entonces, durante algún tiempo, expuesta al aire, en contacto con agua, por cuyo medio las partes orgánicas que contienen se descomponen y la masa entra en un estado de fermentación. Después se somete á una levigación y se amasa ó corta, á fin de separar todas las piedrecitas ó granos demasiado gruesos. En las fábricas se verifica este lavado y amasado por medio de aparatos, á cuyo pormenor no podemos descender; pero, hágase mecánicamente ó á mano, siempre el objeto es obtener una masa homogénea, plástica y libre en lo posible de materias orgánicas.

La formación de los objetos con la masa plástica se verifica principalmente por medio del torno de alfarero, ó bien mediante moldes huecos. El torno se emplea para todos los objetos cuya forma fundamental es circular; es un aparato sumamente sencillo, pues consiste en un ligero árbol vertical de hierro, cuya extremidad inferior descansa en un gorrón y se sujeta más arriba á un banco, mediante una argolla, de modo que pueda girar libremente, llevando fijo, junto á su base, un disco horizontal de madera relativamente grande, y en su extremidad superior otro más pequeño, los cuales giran, como es natural, con él. La disposición del torno de alfarero y el modo de usarlo se comprenden fácilmente por la fig. 164; el operario se sienta al banco de manera que domine el disco superior, mientras que con los pies apoyados alternativamente en el inferior, imprime á éste, y por ende al conjunto, un movimiento rotatorio, lento ó veloz, como mejor le convenga. Suponiendo que se propone formar una olla ordinaria, ó vaso por el estilo, coloca sobre el disco superior un puñado ó dos de arcilla blanda, y poniendo el torno en movimiento, oprime la masa con la mano de manera que tome la forma de un cilindro. Aplicando ahora ambos pulgares en el centro y haciendo como que quiere cerrar las manos, sin dejar de hacer girar el torno, empieza á formarse el hueco interior; la arcilla se va elevando y el alfarero la sigue con las manos, guiándola de modo que la pared circular que

va resultando tome las inflexiones correspondientes á la figura que quiere dar á la olla, como se ve en nuestro grabado. Por último, vuelve el borde superior para que resulte un poco más grueso, ó lo allana simplemente, y después de separar la olla del disco por medio de un alambre que hace pasar entre ambos, la coloca en un lado para que se seque. Esta operación se verifica con gran rapidez, es decir, tratándose de un objeto tan sencillo como la olla consabida, no menos tiempo del invertido en hacer esta descripción.

La invención del torno de alfarero es sumamente antigua, y se hizo, al pare-



Fig. 164.—Trabajo con el torno de alfarero.

cer, con independencia por diferentes pueblos. Los griegos la atribuían, ora á *Tales*, un operario que vivía, según era fama, en el siglo XII antes de nuestra Era, ora á *Teodoro de Samos;* pero es probable que date de una época aún más remota. Sin embargo, al hacer semejantes apreciaciones bueno es recordar que aún existen pueblos rudos que forman sus vasos circulares, hasta de las mayores dimensiones, sin ayuda de aparato alguno: tales son, por ejemplo, los arovacos y los waranes de la América meridional, que hacen grandes tinajas, hasta de dos metros de alto, para conservar en ellas los frutos del campo, con solo ir arrollando en espiral largos rollos de arcilla blanda, que aprietan luego con las manos.

Para el trabajo ordinario con el torno son pocas las herramientas auxiliares que necesita el alfarero, bastándole generalmente una pequeña regla de madera para aplanar ó alisar las superficies, y un compás de grueso para medir el espe-

sor de las paredes de las vasijas, si bien un trabajador experimentado tiene más confianza en su tacto y sus ojos que en dicho instrumento. Tiene siempre á su lado una vasija con agua, para humedecer la arcilla sobre el torno, cuando resulta demasiado seca y dura. Si la forma del vaso es más complicada de la que supusimos más arriba, el alfarero se vale de palillos y tablillas de madera de diversas formas para sacar los contornos con más regularidad, pero sus manos son siempre las que hacen lo principal; sólo para acabar su obra, igualándola perfectamente, se sirve de un escantillón, esto es, una tabla delgada, cortada con exactitud con arreglo á la sección de la forma deseada, y que, aplicándose contra el objeto desbastado, blando, que gira velozmente, lo deja con contornos perfectamente regulares y limpios. Así se forman, por ejemplo, muchos jarrones, platos y fuentes. Si los objetos han de recibir asas, el alfarero las forma separadamente con las manos, y las pega al vaso acabado por medio de un poco de arcilla muy blanda ó desleída con agua; los picos, en forma de tubo, se añaden de igual modo, pero los abiertos los forma el operario, aplicando dos dedos abiertos de una mano contra el borde superior del vaso, y oprimiendo la masa todavía blanda desde el interior con un dedo de la otra.

El trabajo con el torno de alfarero sólo produce objetos circulares y lisos; para formar los ovales ó angulares, y también los redondos con adornos, el operario se vale de moldes huecos. Es verdad que se emplean también tornos de construcción especial para construir objetos ovalados; pero los demás referidos se forman exclusivamente prensando la arcilla blanda en moldes, cuya configuración interior corresponde á la forma externa que ha de tener el objeto acabado. Al efecto, la masa de arcilla se extiende uniformemente sobre un tablero, por medio de un rodillo, como hacen los pasteleros con sus pastas y como indica nuestra fig. 165 (véase el operario á la derecha, en el fondo); la plancha ú hoja así preparada se coloca entonces sobre el molde, ó dentro de él, y se oprime contra la superficie firme para que tome bien la forma en todos sus detalles. Si sólo se trata de adornos de relieve en la superficie exterior del objeto, y que ya lleva en hueco el molde, basta, después de aplicar la arcilla como queda dicho, igualar y alisar su superficie interna con la mano ó con tablillas cortadas al efecto; mas si ha de adornarse también de relieve el interior del objeto, es preciso que el molde conste de dos partes, una externa y otra interna, entre las cuales se comprime la arcilla. Tratándose de objetos de forma muy complicada, el molde se compone de más de dos piezas, á fin de facilitar la separación del objeto deseado; pero los adornos de alto relieve, ó que sobresalen mucho de la superficie general, siempre se forman aparte y pegan después al objeto. Los moldes que por regla general emplea el alfarero, son de yeso, que absorbe, merced á su porosidad, la humedad de la arcilla, de modo que es fácil sacar el objeto moldeado; pero en determinados casos se usan moldes de madera, piedra ó metal.

Los objetos de arcilla formados, ya sea con el torno, ya por medio de moldes, tienen que secarse perfectamente al aire, á fin de que adquieran la solidez necesaria para ser sometidos á la cochura, que es lo que les da, en último término, toda la dureza de que es susceptible su masa. Después de secados como corresponde, los jarros, botijos, porrones, etc., que, como dijimos, se usan mucho en los países cálidos para mantener fresca el agua potable (que, resudando á través de la masa porosa, se evapora rápidamente á la superficie externa del vaso, dando lugar á un enfriamiento notable), pueden someterse desde luego á



Fig 165.—Moldeado de los objetos de arcilla.

la cochura, como cualquier objeto de terracotta, propiamente dicha. Pero salvo esta excepción, que no es aplicable á los países del Norte, donde no se usan semejantes jarros y botijos, todos los vasos y la vajilla destinados á contener líquidos tienen que vidriarse superficialmente antes de la cochura, á fin de tapar todos los poros de su masa é impedir toda resudación.

El vidriado se aplica á los objetos de arcilla debidamente secados al aire, en forma de una pasta líquida, que se vierte sobre ellos ó se extiende con una brocha, ó bien se prepara y conserva en grandes cubas de madera, en las que se sumergen los objetos, como indica la fig. 166. Después de esta operación los objetos se secan nuevamente antes de someterse á la cochura. Este es el procedimiento usual con todos los productos ordinarios de la alfarería; mas tratándose de objetos finos, hay que cocerlos antes y después de aplicar el vidriado, como explicaremos más adelante. La pasta del vidriado común consiste casi siempre

en una mezcla de litargirio (óxido de plomo), con arcilla, marga ó arena, á la que se añade el pigmento correspondiente al color que se le quiere dar; todos estos ingredientes se reducen juntos al polvo ó harina más impalpable, en un molino, agregándose el agua necesaria. Como medios colorantes se emplean diferentes combinaciones metálicas: por ejemplo, el esmaltín, para producir azul; el sulfato de hierro (caparrosa verde), para obtener el rojo; el sulfuro de antimonio, que da el amarillo; el óxido de cobre, para el verde; el de manganeso para el negro, etc.

La esencia y la acción del vidriado consisten en que la pasta, sometida al



Fig. 166.—Vidriado de los objetos de arcilla.

calor del horno, se funde, transtormándose en una especie de vidrio, que rellena los poros de la arcilla y produce una superficie lisa. Si el fundente es el litargirio, se forma un silicato de plomo, que es muy fusible y se asemeja al vidrio; cuanto más plomo contiene, tanto más fusible resulta el vidriado, ó, en otros términos, tanto menos calor necesita para formarse; pero resulta también más blando y menos duradero en la misma proporción. Semejante vidriado, muy fusible, y que es generalmente de color amarillo claro, se llena, con el tiempo, de grietas muy finas, y siendo atacable por grasas y líquidos ácidos, puede envenenar más ó menos los alimentos conservados en los vasos que reviste, suministrándoles cierta cantidad de plomo. Por esto se ha tratado repetidamente de suprimir el empleo de este metal en los vidriados, y con frecuencia se anuncian las llamadas *vasijas higiénicas*, cuyo nombre indica que están libres de plo-

mo. Pero, generalmente hablando, el plomo sigue empleándose, y si no se usa en cantidad excesiva, ó, lo que es lo mismo, si el vidriado plomífero es bastante duro, es poco el perjuicio que puede resultar para el consumidor; sería mucho más razonable suprimir el uso del plomo en obsequio del alfarero mismo, cuya salud se quebranta merced á la respiración de un aire cargado con polvo plomífero. Pero hasta la fecha no se ha descubierto una materia á propósito para sustituir el plomo; pues las sustancias propuestas, como, por ejemplo, mezclas de feldespato, bórax calcinado, vidrio, etc., resultan, las unas demasiado caras, y las otras demasiado refractarias. En lugar del litargirio se emplea con frecuencia la galena ó sulfuro de plomo; como el azufre que contiene este mineral se volatiliza durante la cochura, el resultado es el mismo que el que se obtiene con el óxido de plomo.

En la fabricación de las lozas, que se cuecen á una temperatura más elevada que los productos de la alfarería propiamente dicha, se emplea la sal común en el vidriado, bien mezclada con otras materias, como marga ó arcilla magra, ó bien por sí sola, como sucede con la loza de piedra. En este último caso su empleo es muy sencillo: se echa la sal en el horno candente, dejando obrar á solas las afinidades químicas; en efecto, bajo la influencia de la elevada temperatura, la sal (cloruro de sodio) se evapora, y como al mismo tiempo, y merced á la combustión de la leña, se desprende vapor de agua, se forma ácido clorhídrico, que escapa, y sosa, que se combina con la sílice de las vasijas candentes sometidas á la cochura, produciéndose en su superficie un vidrio fino y muy duro.

La cochura se verifica en hornos de construcción especial, en los que los objetos revestidos de la pasta deseada y debidamente secados, se colocan de manera que no se toquen, porque de otro modo quedarían pegados unos con otros, mientras que los que no se vidrian, como nuestros jarros y botijos y las macetas para flores, pueden apilarse unos encima de otros. Los objetos quedan expuestos al contacto de las llamas, calentándose primero con moderación y elevándose después la temperatura hasta que el vidriado se funde; entonces se cierran todas las aberturas del horno, dejando en él los objetos cocidos hasta su completo enfriamiento. Los objetos más finos se colocan, para su cochura, en cápsulas de arcilla refractaria, mientras los pintados se cuecen en muflas.

Generalmente hablando, todos los productos de la cerámica se someten á las operaciones que dejamos descritas sucintamente en los párrafos precedentes; sólo los más finos son objeto de mayores cuidados y de una manipulación más complicada, en especial las clases superiores de las llamadas *mayólica* y *loza de Fayenza*, que, antes de la invención de la porcelana en Europa, eran los mejores productos de la cerámica, y en cuyo perfeccionamiento se ha trabajado durante siglos, desplegando á veces no poco arte y destreza. La historia de dichos productos es tan interesante é instructiva, y se relaciona tan estrecha-

mente con el desarrollo de la fabricación de lo que hoy llamamos loza, que nuestros lectores agradecerán, sin duda, el bosquejo que de la misma hacemos á continuación.

Digamos, ante todo, que los géneros llamados *mayólica*, *fayenza* y *loza* no se diferencian esencialmente, respecto de la masa de que se componen, ni tampoco respecto de los procedimientos generales seguidos para su fabricación; nuestra loza no es otra cosa que lo que los franceses llaman *fayence*, el origen de cuyo nombre, así como el de *mayólica*, explicaremos más adelante. La arcilla que se emplea para dichos productos cerámicos contiene con frecuencia cal, volviéndose blanca en la cochura; cuando, como también suele suceder, toma un color amarillo ó rojizo, se reviste con un vidriado opaco que, por regla general, contiene, además del óxido de plomo, óxido de estaño, el cual determina la blancura y la opacidad, produciendo una especie de esmalte. Los productos en cuestión se cuecen siempre dos veces: la primera antes de revestirlos con la pasta del vidriado, y la segunda después de recibir este revestimiento ó baño; si han de pintarse, esta operación se verifica sobre el baño del vidriado, después de seco, pero antes de cocido. Los nombres *fayenza* y *mayólica* se emplean especialmente para designar los antiguos objetos artísticos, y á veces muy costosos, del género, así como los que se fabrican actualmente imitando su estilo; *fayenza* se aplica generalmente á los blancos, ó de fondo blanco, mientras que los productos más artísticos, pintados en varios colores ó revestidos con vidriados de color, se comprenden bajo el nombre de *mayólica*. Pero en el fondo no existe diferencia esencial entre ambos géneros.

Como tuvimos ocasión de decir más arriba, el nombre *mayólica* toma su origen del de *Mallorca*, isla que los pisanos conquistaron á los moros en el año 1115. Entre el botín encontraron muchos de los azulejos, platos y vasos de hermosos reflejos metálicos, en cuya fabricación los moros se hicieron célebres, y que hoy apreciamos tanto; para conmemorar la victoria, según cuenta la crónica, se fijaron en las paredes de las iglesias y sirvieron de modelos á los alfareros italianos, que tal vez ya habían tratado de imitarlos mucho antes de aquella fecha.

Por entonces la cerámica artística se hallaba en el resto de Europa á muy bajo nivel. Es verdad que el monumento sepulcral del duque Enrique IV de Silesia, que se conserva en Breslau y se ha descrito tantas veces, parece desmentir semejante afirmación; á juzgar por su estilo, es evidente que es obra de fines del siglo XIII; tanto la figura de cuerpo entero del duque como las demás figuras menores y todos los relieves decorativos, están hechos de arcilla cocida ó *terracotta*, y siempre se ha creído y afirmado que estaban revestidos de un vidriado de vivos colores; lo cual significaría que los vidriados de color se emplearon en Alemania mucho antes que en Italia, donde se inventaron y usaron primero hacia el año 1420, por Luca della Robbia; pero el hecho es, como al fin

se ha demostrado satisfactoriamente, que no existe semejante vidriado, sino que dicho monumento se halla simplemente pintado al óleo, lo que cambia enteramente el aspecto de la cuestión.

De Italia, pues, partió la iniciativa, merced al impulso dado por los productos de la cerámica morisca, aquellos preciosos azulejos, vasos y platos brillantemente vidriados, cuya imitación allanó el camino al renacimiento de este ramo del arte en el siglo XV. Con el empleo de un vidriado de estaño, opaco y



FIG. 167.—*Terracotta* vidriada de Luca della Robbia.

blanco, que se podía colorear ó pintar, y con el que revestía sus obras de *terracota* destinadas al adorno de los grandes edificios (fig. 167), el célebre escultor *Luca della Robbia* sacó la industria alfarera de la postración en que yacía. Los objetos ordinarios de arcilla cocida, destinados á usos puramente domésticos, fueron elaborándose cada vez con mayor esmero, y desde luego se puso mayor empeño en la producción de vasos artísticos, con los que empezaron á decorarse las habitaciones. Así nació y se fué gradualmente perfeccionando la célebre *mayólica* italiana, cuyos productos más hermosos corresponden á la primera mitad del siglo XVI, á la época del florecimiento de la pintura en Italia.

La cuna de la mayólica italiana fué el ducado de Urbino, donde los señores de Pesaro, la familia Malatesta, mantenían una corte de amantes del arte. La ciudad de Pesaro tenía grandes alfarerías, en las que, al principio, se elaboraba

una arcilla que al cocerse tomaba un color pardo. Para obtener una superficie de color más claro, los objetos formados con dicha arcilla se revestían con una capa delgada de tierra blanca de Siena, y después de cocidos una vez, se pintaban y vidriaban. Estos antiguos productos, compuestos de dos clases de tierra ó arcilla, se llamaron *mezzamajólica* (media-mayólica); su decorado revela muy á las claras la influencia de los modelos moriscos; su coloración comprende sólo el amarillo, el azul, el verde y el negro, y sólo tienen un escaso valor artístico. Pero poco á poco los pesareños aprendieron á elaborar arcillas blancas solas, y desde entonces la mayólica fina se compuso de una masa blanca ó amarillenta, revestida con un vidriado opaco de estaño, ó, mejor dicho, de estaño y plomo. Los vasos á medio cocer se revestían con la pasta de esmalte (vidriado de estaño) y después de secados se pintaban, cubriéndose la pintura muchas veces con una capa delgada de vidriado de plomo; al someter entonces los objetos á una segunda cochura, el vidriado se fundía con los colores, adquiriendo éstos, por lo mismo, mayor viveza. Los reflejos metálicos que ostentan los mejores objetos de mayólica se producían probablemente por medio de una tercera cochura.

Como la pasta seca de esmalte, sobre la que se pintaba, absorbía al momento los colores, sin dar tiempo para hacer enmiendas ó corregir defectos, el decorado de los objetos de mayólica suponía artistas muy diestros, capaces de producir, con mano ligera y segura, el efecto deseado en la primera pincelada. En esta circunstancia residen el encanto particular y el valor artístico de las buenas mayólicas, por más que con frecuencia ostenten poca variedad en sus colores. Las obras de Luca della Robbia, del primer período, sólo ostentan el blanco y el azul, aunque más tarde se agregaron á éstos el violado, el amarillo, el verde y el rojo. También las medias-mayólicas de Pesaro, de que hablamos antes, ostentan principalmente matices amarillos y azules solos. El empleo del rojo de rubí es invento de *Giorgio Andreoli*, de Pavía, que vivió desde el año 1498 en Gubbio, donde llevó la pintura de la mayólica hasta la mayor perfección. Los objetos pintados por él se pagan hoy á precios fabulosos, siendo fáciles de reconocer en vista de la marca ó monograma del artista. Todos los artistas de aquella época grababan ó pintaban su marca especial en sus obras. La fig. 168 reproduce la de Giorgio Andreoli, ostentando debajo de la fecha, ó sea el año 1525, *M*, que significa «maestro», y una *G*, inicial del nombre del artista. La fig. 169 representa la marca de Xanto de Urbino, maestro también célebre del primer tercio del siglo XVI, que se llamaba, con todas las letras, Francesco Xanto Avello Rovigo.

Las mayólicas de colores más hermosos y de reflejos purpúreos salieron de los talleres de Gubbio y Pesaro, y parece que el referido Andreoli se ocupaba también, por encargo, de producir dichos reflejos en obras ya pintadas y procedentes de otros puntos. El dorado de las mayólicas se practicó primero por

Lanfranco, en 1569, es decir, en una época en que ya había pasado el florecimiento del arte que nos ocupa. En Urbino, donde nunca se logró producir colores tan brillantes en las mayólicas, dedicáronse los artistas á perfeccionar el dibujo. El duque Guidobaldo procuró para sus pintores en mayólica, cartones de Rafael, para que les sirvieran como modelos, y á esta circunstancia se debe, sin duda, el nombre de «mayólica de Rafael», dado á ciertos productos del género, por suponerlos obra propia del célebre pintor. En Urbino alcanzaron gran renombre, como pintores de mayólica, *Battista Franzo*, de Venecia (1540 á 1560), y *Oracio Fontana*. De dicha ciudad salieron muchos artistas notables, estableciéndose en otros puntos y propagando en ellos el arte de la mayólica; Castelduranté, Pesaro y Faenza, fueron centros que rivalizaron en la mejor época con Gubio y Urbino.



FIG. 168.
Marca de Giorgio Andreoli.

La ciudad de Faenza dió su nombre á la loza de fondo blanco, ó sea la *fayenza*, cuya fabricación se desarrolló más tarde en Francia y otras partes; pero andando el tiempo decayó el arte cerámico en Italia, hasta tal extremo de que á veces las mayólicas comunes, fabricadas por los alfareros de las aldeas, daban prueba de mejor gusto artístico que las vajillas que se empleaban en la mesa de los magnates. Luego vino la época de la porcelana, durante la cual nadie mostró el menor interés por las demás ramas de la cerámica; de modo que sólo en nuestros días, y calmado el entusiasmo por el nuevo género, volvieron los italianos á acordarse de sus mejores tiempos artísticos, poniendo nuevo empeño en hacer florecer un arte casi olvidado. Y la verdad es que sus esfuerzos han sido coronados del mayor éxito; pues en la Exposición de París del año 1867, y mejor aún en la de Viena de 1873 y la parisiense de 1878, lucieron las antiguas ciudades de Faenza, Gubbio, Bolonia y Florencia, mayólicas y fayenzas que rivalizaban en hermosura con las mejores obras del siglo XVI, y llamaron extraordinariamente la atención de los peritos en la materia. Las mayólicas modernas de Ginori in Doccia, cerca de Florencia, de las que reproducimos un ejemplar (aunque sin los preciosos colores y reflejos) en la figura 170, gozan hoy de fama universal.

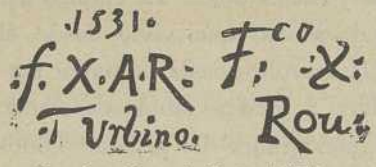


FIG. 169.—Marca de Xanto de Urbino.

En Francia, y desde el siglo XVI, llevóse á un gran perfeccionamiento la fabricación de las lozas ó fayenzas, contribuyendo principalmente á ello un artista, modelo de laboriosidad y de perseverancia, cuya historia es por todo extremo interesante. Como se deduce de la novela de Rabelais, titulada *Gargantúa y Pantagruel*, que se publicó en el año 1535, existían por entonces en Beauvais grandes alfarerías, cuyos productos eran célebres; pero los mejores géneros pro-

cedían, por regla general, de Italia, y aun más tarde los alfareros franceses llamaron frecuentemente en su ayuda artistas italianos.

Pero el artista autodidáctico á que nos referimos, ó sea *Bernardo Palissy*, debió su éxito casi exclusivamente á su laboriosidad é ingenio. Nacido en el año 1519 en Saintes (departamento de Lot y Garonne), de profesión pintor sobre vidrio, tuvo ocasión de admirar, á los treinta años de edad, una hermosa mayólica esmaltada, obra tal vez de Hirschvogel de Nurenberg. Concibió al momento la idea de producir algo parecido, y sin conocimientos químicos de ningún género, empezó á moler y á mezclar cuantas materias le parecían á propósito; con las mezclas ó pastas untó pedazos de vasos de arcilla rotos, y en un horno tosco, que él mismo había construído, trató de fundirlas. Después de dos años de ensayos infructuosos, llevó sus preparados á una alfarería próxima, en cuyo horno tampoco consiguió el resultado apetecido; más tarde, en una fábrica de vidrio, y merced al calor mucho más intenso del horno, logró llevar hasta la fusión algunas de sus pastas, aunque sin obtener el vidriado opaco tan anhelado; pero por último, casi desesperado, y en un postrer ensayo con más de trescientos preparados, tuvo la inmensa satisfacción de ver que uno de ellos, después de enfriado, se convirtió en un esmalte blanco. Más de diez años habían transcurrido antes de que alcanzara este primer éxito; años terribles de angustia y miseria, pues no ganaba lo suficiente para atender á las necesidades más apremiantes de su familia, ni para comprar los vasos, los ingredientes y la leña precisos para sus ensayos; además amargaba su existencia una mujer impaciente.



FIG. 170.—Mayólica moderna de Ginori in Doccia, cerca de Florencia.

Pero con el descubrimiento hecho estaba aún muy lejos del término su período de prueba. Como las ollas de sus vecinos no le parecieran apropiadas y dignas para ser revestidas con el precioso esmalte, tuvo que dedicarse á la alfarería y formar y pintar artísticamente una serie de objetos adecuados. Al mismo tiempo construyó con sus propias manos un nuevo horno; mas cuando después de estos preparativos esperaba tocar la recompensa de tantos afanes y desvelos, un suceso inesperado vino de nuevo á desengañarle. El mortero empleado en el horno estaba lleno de piedrecitas de cuarzo, que saltaron por la influencia de la temperatura; de modo que al retirar sus vasos, después de la cochura,

todos se hallaban tan salpicados de astillitas de dicho mineral, que resultaron completamente inservibles. Pero á pesar de este y otros muchos contratiempos por el estilo, Palissy perseveró, y después de quince ó dieciséis años de andar á oscuras, como él mismo decía, acabó por producir obras que llamaron extraordinariamente la atención de sus contemporáneos y le proporcionaron los medios necesarios para vivir con más desahogo y perfeccionarse. En efecto, no tardó en rayar á gran altura en la producción de obras plásticas, sorprendentes por la



FIG. 171.—Mayólica de Bernardo Palissy.

variedad y hermosura de sus adornos; muchos de sus trabajos, que se conservan en los Museos, están decorados en alto relieve con imitaciones de objetos naturales, en especial peces, anfibios, reptiles, crustáceos, conchas, hojas, etc. (figura 171), hecho todo con la mayor fidelidad y esmero. En su combinación predominan, por regla general, matices parduscos, verdes, azules y amarillos, que suelen perjudicar el efecto del conjunto; pero salvo esto, dichas obras tienen un mérito incontestable, y no es extraño que su autor fuese nombrado artista de la corte.

Con este motivo, Palissy se trasladó á París; mas como era protestante exaltado, cuando tomó cuerpo la persecución de los hugonotes, sus protectores más pudientes y decididos sólo lograron librarle de una muerte violenta, pero no pudieron impedir su encarcelamiento en la Bastilla, en 1587, donde murió dos

años después. Las obras de Palissy llevan su marca, que es sencillamente la inicial de su nombre, como indica la fig. 172.

Mientras dicho artista insigne llevaba á cabo en Saintes sus prolijos ensayos, el arte á que se dedicaba con tan singular empeño se cultivaba en otros puntos de Francia. Catalina de Médicis, hija de un duque de Urbino, hizo venir de Italia varios artistas en mayólica, que se establecieron en Nevers. Durante mucho tiempo produjo esta ciudad lozas excelentes, que desde el siglo XVII llevaban generalmente como marca una *N* pintada (fig. 173); en el siglo XVIII trabajaba allí un artista célebre, *Jacques Senlis*, cuyas obras llevan el monograma *J S*, reproducido también en la fig. 173. Además se desarrolló la fabricación de la loza en Moustier y en Rouen, cuyos productos se admiran todavía por la hermosura de sus adornos. A aquella época, tan favorable para el arte, es decir, al siglo XVI, corresponde una loza muy celebrada con el nombre de *fayence de Henri deux* (loza de Enrique II), que hoy se llama, con más propiedad, *loza de Oiron*. No se conocen ya más de 55 piezas de este género, las cuales, tanto por su rareza como por su gran valor artístico, se pagan á precios fabulosos cuando la ocasión se presenta: por ejemplo, la Dirección del Museo de South-Kensington, en Londres, compró un día un vaso de beber, de dicha loza, que se guardaba antes en la colección Pourtales, por 27.500 francos. Las investigaciones más recientes acerca de dichos objetos, que empezaron á despertar la curiosidad de los peritos hace unos cincuenta años, han demostrado que no proceden originariamente de Italia, sino del castillo de Oiron, en las cercanías de Thouars (Francia, departamento de Deux-Sèvres), cuya dueña, Helena de Hangest-Genlis, viuda de un gobernador en el reinado de Francisco I, y muy amante de las artes, tenía un taller de alfarería, al frente del cual se hallaban François Charpentier, como técnico, y el bibliotecario Jehan Bernart, como dibujante. A juzgar por sus adornos, los productos de esta alfarería particular, en cuya formación cooperaron, sin duda, artistas de nota, estaban destinados como regalos á magnates franceses; varios de los que se conservan llevan las iniciales del rey Enrique II y de su esposa (dos *CC* entrelazadas y una *H*). Su decorado hermoso, y de colores variados, revela la influencia del arte oriental; pero respecto de su fabricación, la loza de Oiron no tiene igual, no sólo por cuanto se refiere al procedimiento mismo, sino también por su maravillosa ejecución. Según Brogniart, se compone de tres masas distintas: de un núcleo ó alma, de arcilla de pipas, luego de una capa de otra arcilla fina y blanca, y, por último, de una arcilla coloreada, que es la empleada en las incrustaciones, pues los adornos de la loza en cuestión no están pintados sobre el fondo general como en las demás lozas, sino constituídos por cortes ó grabados en hueco en la arcilla blanca, rellenados después hasta igualarse con la superficie



FIG. 172. Marca de Bernardo Palissy.



FIG. 173.—Marcas de Nevers y de Jacques Senlis.

general, con arcilla de color. El conjunto está revestido con un vidriado delgado y transparente, de modo que, en rigor, el género no es una *fayenza* propiamente dicha, sino una cosa única en su clase. Minton, el conocido fabricante inglés de mayólicas de lujo, ha logrado reproducir con gran fidelidad algunas piezas de la preciosa loza de Oiron, con arreglo al procedimiento original, y la fig. 174 representa, en escala reducida, dos de estas imitaciones que se hallaban en 1873 en la Exposición de Viena; pero las dificultades que ofrece su fabricación son tales, que su precio se eleva á 1.000 ó á 1.500 pesetas.

En nuestros días, tanto en Francia como en Italia, se ha dado nuevo impulso á la producción de mayólicas superiores. Sin hablar de los italianos, que ya mencionamos anteriormente, buen número de artistas en París y otros puntos, en especial Deck y luego Parvillée y Collinot, han sabido muy bien



FIG. 174.— Objetos de loza de Oiron, reproducidos por Minton.

hacer valer los adelantos de la química, produciendo un material artístico en forma de esmaltes y colores, mucho más variado y perfecto que el que tuvieron á su disposición los alfareros de siglos anteriores. En cuanto á la aplicación de estos materiales, es decir, la formación y el adorno de los objetos, no se contentan dichos artistas con una mera imitación de los mejores modelos antiguos; pues si bien es verdad que en Choisy-le-Roi, en Gien, en Saarguemines y otros puntos se reproducen en masa las mayólicas de Palissy y las lozas de Rouen, Moustier, etc., así como las antiguas obras italianas y persas (figuras 175 y 176), muchos trabajos originales de los mejores ceramistas franceses dan prueba de independencia artística y de grandes conocimientos técnicos.

Desde Francia la fabricación de de la loza de *fayenza* se propagó á los Países Bajos, donde abundaban arcillas excelentes que se utilizaron primero en la producción de la llamada loza de piedra, de que hablaremos más adelante, pero desde el siglo XVII los holandeses se dedicaron principalmente á imitar en lozas más ó menos duras, los objetos de porcelana de China y del Japón que importaban en gran cantidad; y como el vidriado opaco de estaño admite una pintura azul igual ó muy parecida á la de las porcelanas de más valor, la nueva industria

tomó un vuelo extraordinario, siendo la ciudad de Delft y sus alrededores el centro más importante. Durante el triste período de nuestra dominación en los Países Bajos, y huyendo de la persecución de que eran objeto, varios alfareros protestantes pasaron á Inglaterra, estableciendo allí su industria al amparo de la reina Isabel. Pero la loza fina, en cuya fabricación los ingleses superaron á las demás naciones, se debe á la inventiva de un tal *Astbury*, que consistía en emplear la arcilla de pipas con sílice en forma de pedernal calcinado y pulverizado, con lo que la masa adquiría una dureza notable.



FIG. 175.—Jarrones de loza, por Geoffroy, en Gien.

Sin embargo, el impulso más eficaz que recibiera la cerámica inglesa lo debe á la inteligencia y la laboriosidad de *Josías Wedgwood* (fig. 177), hijo de un modesto alfarero, que nació en el año 1730, en Burslem



FIG. 176.—Platos de loza en estilo persa, hechos por Parvillée, en París.

(condado de Stafford). Dedicado desde muy joven á la industria de su padre, y en una época en que todo el empeño de los fabricantes se cifraba en producir en masa y á bajo precio, sin cuidarse del valor artístico de los objetos, Wedg-

wood se propuso, por el contrario, introducir formas y adornos de mejor gusto, á cuyo efecto consultó con escultores y pintores eminentes, como Flaxman, y estudió la cerámica antigua, conservada en los museos antiguos de su país. Trabajando sin descanso sobre esta base, é imitando en sus obras las formas y los adornos de la antigüedad clásica, acabó en 1760 por fundar una pequeña población para sus operarios, á la que, en honor de la cerámica etrusca, dió el nombre de *Etruria;* aquí, y después de otros treinta años de trabajo é investigaciones interesantes, durante los cuales escribió varias obras relativas á la cerámica antigua, murió rico y considerado en 1875, dejando cimentada sobre sólida base una industria de las más importantes. En efecto, en la actualidad Etruria no es más que el centro de un inmenso distrito de unos 600 kilómetros cuadrados, llamado *Potteries* (las alfarerías), cubierto de poblaciones que casi se tocan, formando como una ciudad inmensa, que cuenta más de 300.000 habítantes, dedicados en gran parte á los diferentes ramos de la cerámica, para los cuales ofrece la comarca arcillas inmejorables.

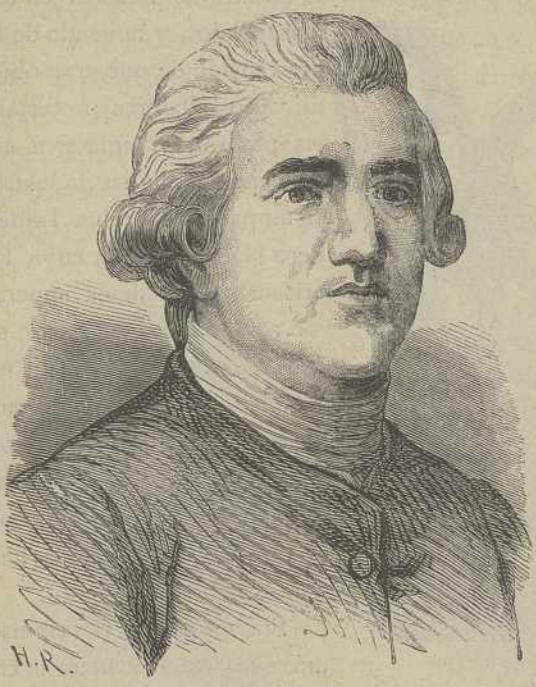


FIG. 177.—Josías Wedgwood.



FIG. 178.—Jarro alemán, de loza, del siglo XVI.

Desde la primera Exposición universal de 1851, que tanto contribuyó al fomento de la industria en general, la mayor parte de los fabricantes ingleses de cerámica se han dedicado á perfeccionar sus productos, y sus lozas finas y mayólicas son ya superiores en originalidad artística, en elaboración y en la calidad de su masa, á cuantas se fabrican en otros países. La célebre fábrica de cerámica de *Minton*, en Stoke-upon-Trent (condado de Stafford), es hoy la ma-



Fuente monumental de mayólica inglesa, en la Exposición londonense de 1862.

yor del mundo, y sus mayólicas han alcanzado fama universal por los matices tan hermosos y particulares que ostentan, y que nadie ha podido imitar. Nuestros lectores pueden formarse una idea de lo que son capaces los ingleses en materia de cerámica, en vista de nuestra lámina XVI, que reproduce, naturalmente en escala reducidísima y sin los preciosos colores que constituyen su mayor encanto, la fuente monumental, hecha enteramente de mayólica y levantada por Minton bajo la cúpula principal de la Exposición londonense de 1862; tan hermosa obra tiene 15 metros de elevación y 13 de diámetro, y está coronada por una figura de San Jorge (de mayor tamaño que el natural) en el acto de dar muerte al dragón, que lanza por su boca un chorro de agua.

En Alemania, la cerámica artística data de más antiguo que en ninguno de los países que estuvieron bajo la influencia directa ó indirecta del arte italiano; pues si bien, como ya dijimos, el célebre monumento sepulcral del duque Enrique, en Breslau, no se puede admitir en prueba de la invención del vidriado de estaño, siempre queda como demostración del notable desarrollo que á fines del siglo XIII había alcanzado ya la técnica cerámica en el Norte de Alemania; y á juzgar por esta obra y otros datos que se conservan, parece que en diferentes puntos del país, dicha industria se valía en los siglos XIII y XIV de ciertos procedimientos especiales, que en otros países sólo se conocieron y practicaron más tarde. Este hecho tiene tal vez su razón de ser en la circunstancia de que la pintura sobre vidrio se desarrolló muy temprano en Alemania, y la experiencia técnica adquirida en este arte pudo aplicarse al de la cerámica. Lo cierto es que una célebre familia de pintores sobre vidrio, en Nurenberg, los *Hirschvogel*, se dedicó, desde fines del siglo XV, á la cerámica artística, y que sus obras, que aún se conservan y son notables, tanto por su modelado como por sus colores y vidriados, se hicieron en parte al mismo tiempo que las de Luca della Robbia, de modo que pueden considerarse como originales alemanes. Refiérese que el jefe de aquella familia, Veit Hirschvogel, estando en Italia el año de 1503, visitó las alfarerías de Urbino, y sólo después de su regreso á Nurenberg montó un taller para la formación de mayólicas; mas las formas y adornos de sus obras son de carácter tan marcadamente alemán, y sus colores y vidriados difieren tanto de los italianos, que, aun cuando fuera cierto aquello del viaje á Urbino, la parte de Italia se reduciría á haber hecho concebir la idea que el artista alemán puso por obra. Todo lo demás, toda la técnica de Hirschvogel, estriba en sus propios conocimientos de escultura, que explican los adornos en relieve que ostentan todas sus obras de cerámica, y su arte de pintar sobre vidrio, que aclara las particularidades de sus esmaltes y vidriados. Celébranse más especialmente las estufas de Hirschvogel, que siguieron haciendo sus hijos después de su muerte, y de las que se conservan todavía bastantes, las más hermosas en el castillo de Nurenberg.

Desde esta ciudad se propagó la fabricación de mayólicas y lozas á otras

partes de Alemania, especialmente á Augsburgo y las comarcas vecinas hasta el lago de Constanza, á Baireuth y toda la Franconia, á Sajonia y Silesia, donde se desarrolló de diversas maneras ó en diferentes sentidos, durante los siglos XVI, XVII y XVIII.

Los objetos más característicos de la antigua cerámica alemana son los jarros y botijos vidriados y esmaltados, que tienen á veces las formas más singulares, como se desprende de nuestras figuras 178 y 179. El primero y el tercer jarro de este último grabado, contando desde la izquierda, son obras de los



FIG. 179.—Jarros antiguos de loza, alemanes.

Hirschvogel. Pero la fabricación de lozas y mayólicas artísticas halló además en Alemania ancho campo para su desarrollo en los revestimientos de un mueble de que no tenemos en España la menor idea; esto es, de las grandes estufas de arcilla cocida, vidriadas ó esmaltadas, que se levantaban y aún se levantan en el fondo ó en un rincón de las habitaciones alemanas, y cuyo calor es tan agradable en la estación fría del año, más rigurosa y larga que en nuestro país. Tienen muchas de esas estufas formas y dimensiones monumentales, y están revestidas exteriormente con piezas de loza ó mayólica, blancas ó de diversos colores, ricamente moldeadas y adornadas con relieves, siendo á veces verdaderos objetos de arte. La fig. 180 da idea de semejantes estufas, aunque representa en realidad una obra moderna del género, ejecutada en el estilo del siglo XVII.

Con la introducción de la porcelana á principios del siglo pasado, la fabricación de la mayólica y la loza artística decayó en Alemania, como en los demás países; los mejores artistas y operarios se dedicaron á la nueva industria, y la aplicación al adorno de la loza del procedimiento del reporte, tan en boga en

la litografía, acabó por convertir un arte en una mera operación mecánica. Sólo en los últimos años, y en vista de los notables productos ingleses y franceses, han vuelto los alemanes á ocuparse del arte que abandonaron y olvidaron, y cuentan ya con gran número de fábricas para la producción de lozas artísticas,

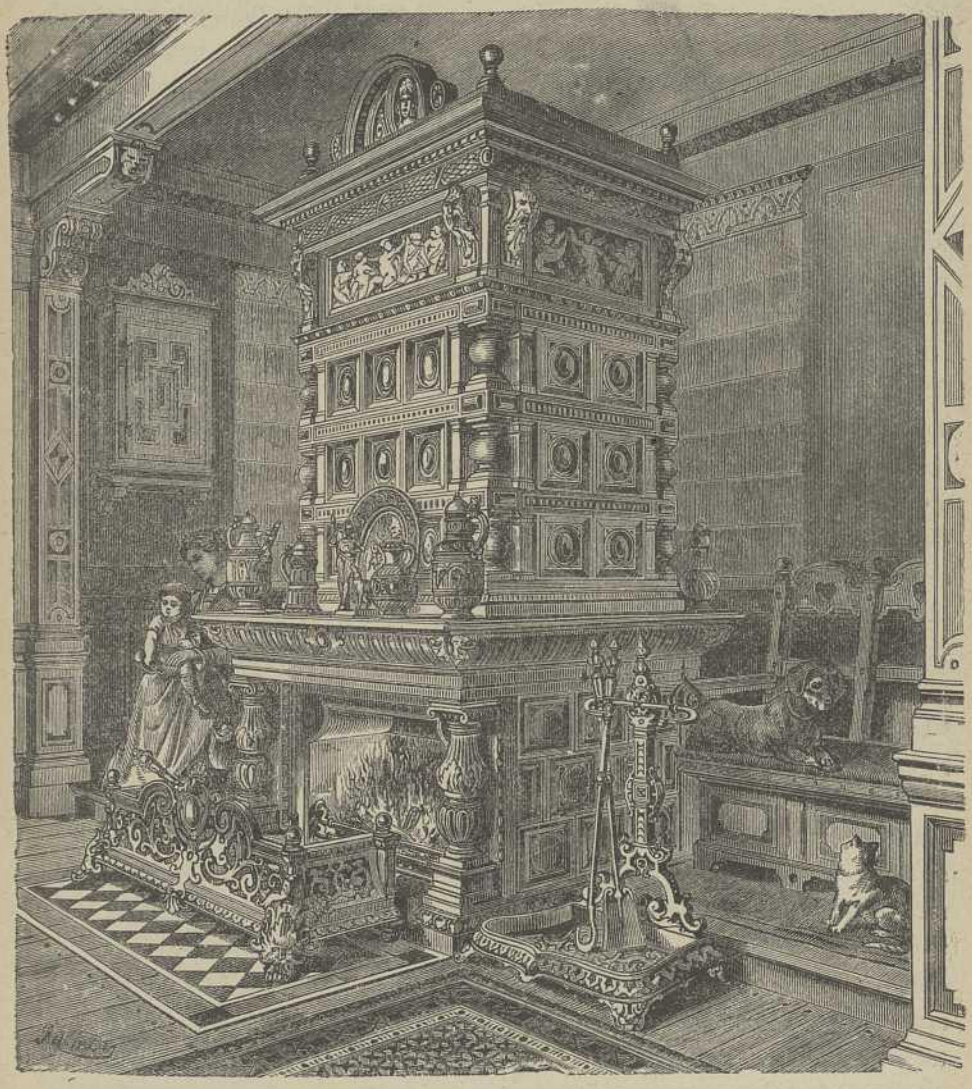


FIG. 180.—Estufa de loza ó mayólica; trabajo alemán moderno.

dedicadas algunas, como la de Fleischmann, en Nurenberg, á reproducir obras antiguas, mientras que otras, como las de Seydel, en Dresde, y Schütz, en Cilly, ejecutan las concepciones de artistas contemporáneos. Seydel produce, entre otros, preciosas estufas esmaltadas, por el orden de la de nuestra fig. 180, que es trabajo de un fabricante de mayólica, de Berlín.

Respecto de la técnica de las lozas modernas, parece ocioso entrar en más pormenores, porque no difiere esencialmente de los procedimientos antes en boga, y de que hemos hablado repetidas veces. Los objetos plásticos, grupos de figuras y relieves, se forman primero en moldes, acabándose después á mano como las obras de *terracotta*, mientras que en la fabricación de vasos lisos y objetos semejantes se emplean el torno y los métodos del alfarero ya descritos. La pintura de los objetos más finos tiene lugar, como la de la mayólica, empleándose una pasta de vidriado fácilmente fusible, coloreada con óxidos metálicos, y que se diluye, para pintar, con aceite de alhucema.

En la fabricación en masa de las vajillas de loza fina, tan bonitas y baratas, que ha tomado un incremento sorprendente en los últimos tiempos, celebrándose en España los géneros que produce Pickman en la antigua Cartuja de Sevilla, se aplica con frecuencia para los adornos el procedimiento del reporte. Tratándose de reproducir en la loza vistas ó adornos grabados en cobre ó litografiados, las planchas grabadas se untan con un vidriado negro ó azul finamente pulverizado y desleído en aceite, se toma una impresión con papel muy delgado, que se coloca después, en estado todavía húmedo, con la cara impresa sobre el objeto que se quiere decorar. La arcilla de éste, cocida ya de primer intento, absorbe ávidamente el color, y entonces se retira la hoja de papel, en la que no queda casi rastro de la impresión, se da al objeto un baño de vidriado transparente, y se cuece nuevamente, apareciendo después el dibujo ó adorno á través del vidriado diáfano. Los adornos de diversos colores se producen pintando á mano con el pincel los reportes obtenidos de la manera ya descrita; ó bien se aplica el procedimiento de la metacromatipia, que consiste en imprimir figuras cromolitográficas sobre un papel especial, de modo que se pueden reportar ó trasladar y fijar sobre madera, metales, vidrio, loza, porcelana, cuero, etc.; tratándose de la loza y la porcelana, los colores empleados en la impresión deben ser óxidos metálicos, y los que no se dejan fijar debajo del vidriado, tienen que aplicarse en la superficie de éste, reclamando entonces su fijación una nueva cochura. Por medio de vidriados llamados de lustre, se producen en las lozas los efectos del oro, de la plata ó del cobre: el lustre del oro se obtiene pintando los objetos con una mezcla compuesta con un poco de disolución de oro y estaño en agua regia, con bálsamo de azufre y esencia de trementina; para obtener el lustre de plata se emplea una disolución de platino con los demás ingredientes mencionados. Se producen también efectos muy bonitos por medio de ligeras impresiones en la superficie, aún blanda, de los objetos de arcilla, con sellos ó cuños grabados; al revestir semejantes objetos con un vidriado transparente y de color, se forma una capa más gruesa en los puntos impresos, de modo que después de la cochura el color resulta más intenso en éstos que en la superficie general donde el vidriado es más delgado.

LOZA DE PIEDRA

Al lado de las lozas de masa blanda se fabrican hace mucho tiempo, especialmente en Alemania, lozas de una masa especial, que contienen componentes de naturaleza, ora caliza, ora alcalina, ora silícea, que, bajo una temperatura muy elevada, forman con la arcilla combinaciones fusibles, y por lo mismo se funden parcialmente ó aglomeran con fuerza en un fuego ordinario, pero muy vivo. Semejante masa posee una fractura concoidea, y una dureza con frecuencia tan grande, que, como el pedernal, produce chispas con el acero; de aquí el nombre de «loza de piedra» con que se designan los objetos hechos con dicha loza, que los franceses llaman *grès*, nombre que es propio de la piedra arenisca común.

No puede extrañarnos que la loza de piedra date de muy antiguo, cuando consideramos que las condiciones esenciales para su masa se encuentran en muchas tierras nautrales; pero es evidente que la alfarería en general hubiera de alcanzar antes cierto grado de desarrollo, es decir, que el alfarero dispusiera ya de hornos capaces de producir un calor fuerte, dado que las temperaturas que bastan para la cochura de los productos ordinarios de la alfarería no son bastante elevadas para producir loza tan dura. En efecto, la fabricación de semejantes géneros de masa dura corrió parejas, en muchas regiones del Centro y Norte de Europa, con la de las lozas blandas, aplicándose aquélla, no sólo á los objetos de uso doméstico común, sino también á objetos artísticos ó decorativos, que, en tiempos del Renacimiento más especialmente, desempeñaron en Alemania un papel análogo al de la mayólica en Italia.

Como la masa de la loza de piedra es impermeable por los líquidos, no necesita de vidriado alguno; y de cualquier modo, el calor, relativamente elevado, que requiere su cochura, es incompatible con el empleo de los vidriados de estaño y plomo. En los casos, pues, en que se desea producir una vitrificación en la superficie de dicha masa, hay que valerse de otros medios, empleándose, por regla general, la sal común, y á veces el pedernal en polvo ó materias análogas. Estos medios, pero más especialmente la temperatura elevada á que se cuece, reducen mucho el número de los colores de que puede disponerse para pintar la loza de piedra; á menos de someter los objetos á cochuras repetidas, son pocos los colores metálicos empleados en la pintura de la mayólica que puedan resistir aquella temperatura, contándose entre ellos el cobalto para producir el azul, y el óxido de manganeso para obtener el violado. Por esta razón, la técnica de la loza de piedra ha buscado siempre, digámoslo así, su centro de gravedad artístico, no en la pintura de los objetos, sino en su for-

ma y la producción de adornos en relieve ó en hueco, que no puede perjudicar un vidriado compacto.

Entre los restos de la antigua civilización egipcia se encuentran objetos de una masa dura, parecida á la de la loza de piedra, que suele llamarse por los arqueólogos porcelana egipcia, y tanto en China como en el Japón se elaboraban masas análogas en tiempos muy remotos; mas carecemos de espacio para entrar en pormenores acerca de estos productos no europeos. En nuestro continente, la elaboración de un material tan fino y duradero fué una industria predilecta en Franconia, Sajonia y otros países alemanes desde el siglo XV, y se practicó aún antes en las provincias del Norte de Francia, pues los productos de Beauvais, que pertenecen á la categoría de la loza de piedra, datan del siglo XIV. Pero donde dicha industria alcanzó su mayor desarrollo y perfeccion artística, fué en las comarcas del Bajo Rhin, siendo el siglo XVI la época de su florecimiento, y distinguiéndose más especialmente las regiones que rodean á Colonia, Coblenz, Bonn, y la de Nassau. Los Museos y las colecciones particulares conservan muchos objetos del género de las que nos ocupan: jarros de todas las formas imaginables, y parecidos á los representados en la figura 179, adornados más ó menos profusamente con relieves é impresiones, botijos, también ricamente adornados (fig. 181), y además botellas y vasos de formas fantásticas, saleros, tinteros, etc. Como es natural, todos estos objetos no tienen el mismo valor artístico; pero los mejores entre ellos dan prueba de un gusto tan bueno y original, que merecen desde luego la calificación de obras de arte, y aun los más ordinarios no están exentos de cierto mérito.



FIG. 181.—Botijo alemán de loza de piedra, del siglo XVI.

La masa de estos objetos de loza de piedra, que se llaman común—aunque erróneamente,—géneros de Flandes, es de un blanco puro, como en los jarros y

vasos cónicos de Colonia ó Siegburgo, ó de un gris amarillento ó azulado, como en los vasos de Nassau y otros puntos, los cuales están revestidos frecuentemente con un vidriado grueso de color pardo, que disimula el tono de la arcilla misma. Los relieves que constituyen los adornos, y representan, ora escenas de la vida ordinaria, ora escudos de armas, inscripciones, etc., etc., se formaban aparte en moldes y se aplicaban entonces sobre la superficie lisa del vaso ú objeto; en cambio, los adornos en hueco se grababan ó se producían en la masa blanda por medio de sellos metálicos. Para la coloración se empleaban, además del vidriado pardo ya referido, pigmentos azules y violetas en diferentes matices, y el negro para hacer resaltar mejor los relieves.



FIG. 182.—Jarrón moderno de loza de piedra, fabricado en Wächterbach (Alemania).

Merced á la terrible guerra de los treinta años, la industria de que hablamos recibió, como todas las alemanas, un golpe fatal durante el siglo XVII; y cuando se iba reponiendo algo de su postración, vino la porcelana á disputar el campo á sus productos más finos. Sin embargo, continuó la fábricación de los objetos de loza de piedra destinados á usos domésticos, para los que la materia ofrece muchas ventajas, y en años recientes han vuelto á ocuparse varios fabricantes alemanes en la producción de vasos de adorno de este género, ora imitando los antiguos, ora siguiendo modelos modernos. La fig. 182 representa un hermoso jarrón moderno de loza de piedra, procedente de la fábrica de Wächterbach; y en la 183 reproducimos tres jarrones de la misma materia, debidos al fabricante inglés Copeland, y que demuestran á qué grado de superioridad se ha llevado en Inglaterra la industria de que tratamos.

La preparación de la masa para la loza de piedra reclama mayor cuidado que la usual en la alfarería; la arcilla se somete á una levigación para obtenerla en estado de polvo sumamente fino, y se mezcla íntimamente con las materias necesarias para promover su aglomeración ó fusión parcial, como feldespato, yeso, cal, barita, ceniza de huesos, y en Inglaterra, pedernal, así como con los óxidos metálicos destinados á prestarle color. Las pastas más finas de Wedgwood están comunmente coloreadas en toda su masa, de azul. violeta ó negro;

en cambio, las pastas que los ingleses llaman «de Carrara» y «de Paros», nombres que recuerdan los mármoles más blancos, son, en efecto, blancas por completo, y se relacionan estrechamente con la porcelana llamada *biscuit*. A veces, y por razones económicas, los objetos de loza de piedra, en vez de estar uniformemente coloreados en toda su masa, reciben sólo una capa exterior de la pasta



FIG. 183.—Objetos modernos de loza de piedra, fabricados por Copeland, en Inglaterra.

colorante, cual sucede, por ejemplo, con los conocidos productos alemanes de Benzlau.

Salvo lo referido, la elaboracion, formación y cochura de los objetos de loza de piedra no ofrece nada de particular, sino es que la temperatura del horno tiene que ser muy superior á la que se necesita para productos ordinarios de la alfarería y las lozas blandas. En nuestros tiempos ha adquirido mucha importancia la fabricación de toda suerte de objetos de loza de piedra, de calidad inferior, como tubos para escusados, alcantarillas y acueductos, y grandes fuentes, jarros y vasos análogos para las fábricas de productos químicos.

LA PORCELANA

La fabricación de la porcelana es, sin duda, la rama más noble de la industria cerámica, en cuanto que da un producto de la mayor hermosura, que reune en sí las propiedades más estimadas de los demás productos de dicho arte. Siendo por completo impermeable y extraordinariamente dura y refractaria, la porcelana resiste tan bien los rápidos cambios de la temperatura, que pueda emplearse en el laboratorio como en la cocina para cocer; mientras que por su blanco tan puro y cierto grado de translucidez que le es propio, se presta muy bien á la pintura, constituyendo, por consiguiente, una materia de mucho valor, tanto para los usos domésticos y técnicos, como para artículos de lujo de carácter artístico.

La porcelana es invención de los pueblos orientales, probablemente de los chinos. Tanto éstos como los japoneses, la fabricaban muchos siglos antes que los europeos, y con una perfección á la que muy pocas de nuestras fábricas han podido aún llegar. En los libros históricos chinos se menciona la porcelana por primera vez durante el reinado de Hang, época comprendida entre el año 185 antes de nuestra Era, y el 87 de la misma. El primer horno para su cochura se levantó en Chan Nan, en la provincia de King-Si, y actualmente, según refieren los viajeros, existen en China localidades, como, por ejemplo, el pueblo de Ruitchin, donde se hallan en actividad miles de hornos de porcelana. Los portugueses, que fueron los primeros en establecer relaciones comerciales con la China y el Japón, trajeron á Europa los primeros objetos de porcelana oriental, á principios del siglo XVI; y siguieron importándolos después en gran cantidad, en vista de la aceptación que tenían en Europa; ejemplo que más adelante imitaron los holandeses. El nombre «porcelana» también se debe á los portugueses, y proviene de una concha muy conocida, que tiene el lustre característico de aquella materia, y que llamaban *porcella* (puerquezuelo), en vista de su forma. Es común la creencia de que dicha concha tomó el nombre de la porcelana por parecerse tanto á ella; pero aparte de que semejante idea no es compatible con la etimología, es el caso que la palabra *pourcelaine* existe en la lengua francesa desde el siglo XIV, es decir, mucho antes de la aparición de la porcelana en Europa, aplicándose entonces, y aun en siglos posteriores, para designar la capa interna de las conchas marinas, ó sea la madreperla; además, se suponía al principio que los chinos fabricaban la porcelana con conchas marinas y cáscaras de huevo, cosa que afirma, entre otros, Eduardo Barbosa, que murió en 1576.

Los vasos de porcelana que traían á Europa los portugueses y holandeses eran tenidos en alta estima, y se pagaban á veces casi á peso de oro; refiriéndose, entre otras cosas, que el príncipe Augusto II de Sajonia regaló al primer rey de

Prusia nada menos que un regimiento entero de dragones á cambio de cuarenta y ocho jarrones chinos, que figuran todavía en parte en un Museo de Dresde. Mas con los objetos orientales no vino á Europa la invención misma, es decir, el procedimiento de su fabricación, que hubo de inventarse independientemente dos siglos más tarde; pues si bien, como dijimos más arriba, los holandeses se dedicaron á imitar la porcelana china, la loza de Delft distaba mucho de poseer las propiedades de esta nueva sustancia, y nunca pudo confundirse con ella. Decíase que los chinos guardaban rigurosamente el secreto de su arte, pero parece más verosímil que los europeos que visitaban el Celeste Imperio no se tomaron la molestia de averiguarlo; pues hace muchísimo tiempo que los chinos tienen la costumbre de dar cuenta circunstanciada, en voluminosas enciclopedias, de todo lo que saben y hacen, y hace algunos años que el sabio francés Julien ha traducido un antiguo tratado chino sobre la fabricación de la porcelana, después de haber hecho lo propio con un tratado chino sobre la cría del gusano de seda. Hoy ofrece ya este libro poco interés para la industria, pues resulta de él que los chinos proceden en dicha fabricación casi de la misma manera que nosotros, y con materiales idénticos; y para que la analogía sea completa, refiere el autor oriental que el Gobierno de su país tomó desde el principio la iniciativa en dicha industria, que es precisamente lo que ha sucedido en Europa, donde las fábricas de porcelana del Estado, en diferentes países, han servido de modelo y estímulo á los particulares. La fábrica imperial de porcelana que se fundó en China en el siglo VI de nuestra Era, con el nombre de *Nan-tchang-tchin*, y posteriormente con el de *King-te tchin*, constituye una población industrial de muchos miles de habitantes, y contaba en el siglo pasado más de tres mil hornos. En el tratado chino referido se describen minuciosamente, y se ilustran con numerosos grabados,



FIG. 184.—Antiguos objetos de porcelana china.

todas las operaciones de la fabricación, viéndose en él, entre otros muchos, los que reproducimos en las figuras 184 y 185, que representan diferentes vasos característicos.

Las porcelanas chinas, que se fabrican hoy de la misma manera que hace siglos, se distinguen por una masa sumamente fina y homogénea, así como por un vidriado tan íntimamente fundido con ella, que en las superficies de fractura no se puede distinguir el límite entre la masa térrea y el revestimiento vítreo. Las pinturas son tan finas y originales como las formas de los objetos, y aun cuando no siempre responden á nuestro concepto de la belleza, son desde

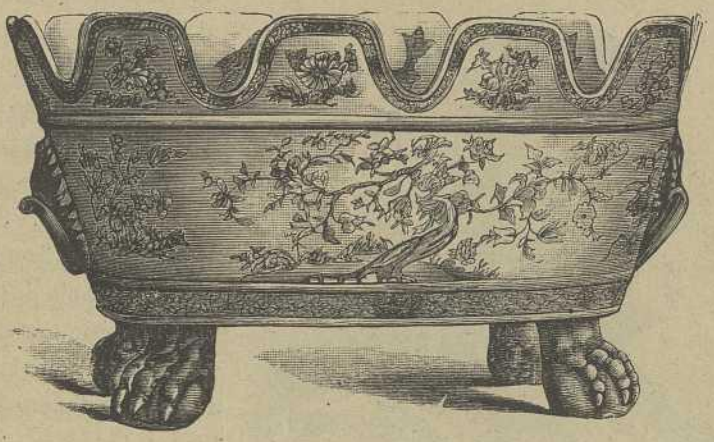


FIG. 185.—Fuente de porcelana china (del siglo XVI).

luego muy instructivas para nuestros artistas y fabricantes; el efecto general de los adornos pintados en las porcelanas chinas y japonesas tiene el gran mérito de ser siempre armonioso, lo que no cabe decir de muchos de los productos más delicados de nuestras fábricas de porcelana; además, los esmaltes chinos son desde luego superiores á los europeos. Pero en China, como en Europa, y sin duda por motivos análogos, semejantes trabajos artísticos no se ejecutan hoy, en general, con el mismo cuidado que antes, y las porcelanas modernas del Celeste Imperio son menos hermosas y de calidad más inferior que las antiguas.

Invención de la porcelana en Europa.—La gran afición que se despertó en Europa por la porcelana china, y los elevados precios que se pagaban por ella, exçitó naturalmente el espíritu de imitación; los fabricantes de loza europeos se esforzaron en producir una masa parecida, y por el año 1645 apareció en Francia un género que, exteriormente, ofrecía gran analogía con la porcelana oriental, pero que en el fondo se diferenciaba mucho de ella; no sólo era su masa relativamente blanda y poco refractaria, sino que consistía realmente en una pasta de vidrio, hecho opaco con la añadidura de materias blancas; además, su fabricación era en extremo complicada, siendo la masa tan poco plástica, que había

necesidad de agregarle jabón ó goma; sustancias que, como se comprende, no contribuían á la bondad del producto.

Entretanto, el célebre naturalista sajón *Ehrenfried Walter, conde de Tschirnhausen*, se dedicaba á hacer experimentos con el objeto de aprovechar industrialmente los minerales útiles de su país, y trató de imitar, entre otros, los preciosos vasos de porcelana de China que poseía el príncipe Augusto; sus esfuerzos en este sentido no fueron, al parecer, infructuosos, puesto que en la biografía de dicho sabio, publicada por la Academia de Ciencias de París, de que era miembro, se lee: «Durante su estancia en París (1701), el señor de Tschirnhausen comunicó al Sr. Homberg un descubrimiento que había hecho, tan importante como el de la fabricación de sus grandes lentes, y era el de la preparación de la porcelana. Tschirnhausen reveló á Homberg su secreto, á cambio de otros secretos y la promesa de no hacer uso de él durante la vida de su autor.» La fuente de esta noticia, y ser Homberg un reputado químico, demuestran que, aun cuando el producto de Tschirnhausen no fuera exactamente igual á la porcelana china, sus trabajos habían sido coronados de cierto éxito; y en el Museo de Dresde se conservan cinco pequeños jarros, atribuídos á dicho naturalista, cuya masa, enteramente blanca, si bien dista mucho de igualarse á la porcelana fina, se aproxima mucho más á ésta que á las primeras pastas que más tarde produjo el célebre Boettger. Pero no anticipemos.



FIG. 186.—Juan Federico Boettger.

Mientras Tschirnhausen estaba ocupado con sus ensayos para producir porcelana con materiales de su país, oyó hablar el príncipe Augusto de un tal *Boettger* (fig. 186), nacido en Schleiz en 1682, que, siendo aprendiz en una farmacia de Berlín, se había dedicado en secreto á la alquimia, y al ser despedido con este motivo, trató de ganar su subsistencia haciendo creer que había descubierto el modo de hacer oro. Mandado prender por el rey de Prusia, Boettger penetró en Sajonia, y como hallara crédulos en la corte de Dresde, consiguió que se le montara un laboratorio; mas como el oro prometido por él no parecía,

y como tampoco podía revelar un secreto que en realidad no poseía, trató de marcharse á Viena, impidiendo su fuga la vigilancia de que era objeto. Sin embargo, el príncipe de Sajonia no desconfiaba de él, y como el conde de Tschirnhausen juzgara que podía sacarse partido de sus conocimientos químicos y de su habilidad, se le encerró en el castillo de Meissen, bajo la custodia de dicho naturalista. Esto sucedió en 1703, y tanto en dicho castillo como en otro de Dresde, siguió trabajando, si bien, y merced sin duda á la influencia de Tschirnhausen, se dedicó más especialmente á descubrir el secreto de la porcelana. En 1707 logró producir una masa rojiza que se le asemejaba bastante, por sus propiedades, y en vista de numerosos vasos que formó con ella, se despertaron grandes esperanzas; pero sólo descubrió Boettger la porcelana verdadera dos años más tarde, valiéndose del entonces pregonado «polvo mineral para el pelo», que no era otra cosa que un kaolín ó tierra de porcelana muy pura.

Refiérese, en efecto, que un herrero llamado Schnorr descubrió cerca de Aue, en el término de Schneeberg, una tierra particular, muy blanca, y que, al examinarla, cayó en la cuenta de que podía hacer un negocio lucrativo, limpiándola y levigándola hasta reducirla á polvo casi impalpable, y entonces venderlo mucho más barato que la harina de trigo con que, en aquellos tiempos, casi todo el mundo solía empolvarse el pelo, siguiendo la moda reinante. Llevó Schnorr su pensamiento á la práctica, y un día Boettger, que, como tantos otros, había comprado la nueva sustancia para empolvarse la cabeza, tuvo la buena idea de someterla á otro género de prueba, que dió por resultado la producción de la pasta de porcelana real y verdadera. Esto ocurrió en Marzo del año de 1709, según la Memoria que Boettger dirigió al Soberano anunciándole su invento.

El conde de Tschirnhausen había muerto el año anterior; mas aunque no tuvo, al parecer, intervención alguna en el último descubrimiento de Boettger, no debe escatimársele, como muchos hacen, la parte de mérito que legítimamente le corresponde en el importante invento de que hablamos. Como en un principio no se podía dar con un vidriado á propósito para los objetos formados con la pasta dura rojiza ó pardusca que se inventó primero, se alisaba ó pulimentaba la superficie de ellos adornándola también con grabados, como se hacía con el vidrio; y es probable que estos procedimientos se originaran en la mente de Tschirnhausen, puesto que, con motivo de la fabricación de sus grandes lentes, había montado cerca de Dresde talleres para labrar y pulir el vidrio, y debió ocurrírsele que la porcelana basta pudiera elaborarse de la misma manera para mejorar su aspecto. También el vidriado, tan parecido al vidrio común, que se observa en los objetos de pasta pardo oscura, que suelen designarse como la porcelana sajona más antigua, se debe tal vez á Tschirnhausen, que poseía una fábrica de vidrio en Ostragehege, no lejos de la capital de Sajonia.

Las pastas primitivas, de color pardo oscuro, que precedieron al invento de la porcelana blanca, y que, segun se dice, siguieron elaborándose al lado de ésta hasta el año 1730, difieren mucho entre sí, diferenciándose á veces totalmente de la porcelana verdadera. Con el nombre de «porcelana de Boettger» se designa en primer término una pasta de un hermoso color rojo ó pardo rojizo, con la que se hacían cafeteras, tazas, fuentes, jarros y adornos en relieve, sin vidriado y á veces pulimentados y grabados; al cocerlos en el primer horno, que era muy imperfecto, se formaba en su superficie una tenue capa de color gris-pardusco ó negro, que desaparecía al tiempo de pulirla, dejando á la vista la masa rojiza; Boettger dió el nombre de jaspe á la pasta en cuestión, porque, después de pulimentada, se parecía mucho á este mineral. En segundo lugar tenemos una serie de vasos de pasta dura y revestida de un vidriado de color pardo oscuro ó negro, de la consistencia del vidrio común y con frecuencia dorado; objetos que se diferencian poco de los buenos productos del alfarero, y que nada tienen que ver con el invento en cuestión, no mereciendo el nombre de porcelana que algunos les aplican. Por último, llámase también «porcelana de Boettger» á otra clase de objetos fabricados con una pasta de color rojo oscuro y revestidos de un vidriado muy fino y hermoso, parecido á la laca japonesa, y adornados con dibujos grabados ligeramente sobre la masa rojiza, y dorados ó plateados. En su esencia, semejantes objetos difieren totalmente de la porcelana propiamente dicha, pues su masa es terrosa, sin medio aglomerante, adhiriéndose á la lengua; es ligera por extremo, y representa, en suma, nada más que una *terracotta*. No se ha podido precisar la época de su fabricación, y tampoco existen pruebas fehacientes de que se hicieran dichos vasos por Boettger mismo ó en su taller; lo cual no obsta para que se le reco-



FIG. 187.—Castillo de Meissen; primera fábrica europea de la porcelana.

nozca una perfección notable, tanto respecto de su fabricación como de sus adornos tan artísticos.

Sentadas las aclaraciones precedentes, ocupémonos ahora de la porcelana propiamente dicha, cuyo invento en Europa data del año de 1709. Tan luego como se tuvo la seguridad bastante en la preparación de la pasta para poder proceder á la imitación de la porcelana china, y con el fin de iniciar la fabricación en grande, el castillo de Meissen (fig. 187), á orillas del Elba, se convirtió en fábrica de porcelana, bajo la dirección de Boettger; el cual, á pesar de haber sido recompensado con un título nobiliario, seguía sujeto siempre á una vigilancia estrecha, por temor de que se escapara y revelara el secreto de su descubrimiento. Semejante temor es menos de extrañar, considerando que Boettger era hombre de costumbres bastante disolutas y tan pródigo en sus gastos, que al morir, en el año 1719, no tenía un cuarto; y lo único que puede reconciliarnos con un hombre parecido, es el fruto de su trabajo, que dió lugar á la creación de la primera fábrica de porcelana en Europa. Fundada por el Estado, ha conservado siempre el carácter de Fábrica nacional, bajo la administración gubernativa, de modo que ha podido dedicarse exclusivamente al perfeccionamiento de la industria en cuestión, sin reparar en los caprichos de la moda, trabajando, digámoslo así, por amor al arte; y es un hecho indiscutible que la porcelana de Meissen, ó la sajona, como la llamamos generalmente, ha contribuído de un modo poderoso al fomento del buen gusto artístico, y, por ende, de la cultura. Lejos estamos de querer abogar por el principio de la industria del Estado, ó del Estado industrial, en nuestros días, pues lo considerarmos desde luego contraproducente; pero hace siglo y medio las condiciones eran muy distintas, y en muchos casos el Estado, ó la corte, ha comprendido bien su misión, haciéndose industrial, ó, mejor dicho, fomentando una industria nueva, en el mero hecho de dar el ejemplo práctico.

En los primeros tiempos se dedicó principalmente la fábrica de Meissen á la imitación de vasos chinos, alcanzando en ello tal maestría, que es difícil decidir, en muchos casos, cuál de los dos es mejor, si el original ó la copia; pero no tardó en producir objetos plásticos, como bustos, figuras, grupos de animales y flores, etc., que formaban y pintaban artistas de primer orden. Semejantes objetos de arte de la primera época de Meissen tienen gran mérito, y se pagan hoy á precios mucho más elevados que cuando se hicieron. Entonces, es decir, cuando se inició la fabricación, eran bastante reducidos los beneficios materiales; se trabajaba casi exclusivamente para la corte, y aunque se trató de crear un mercado más extenso para los productos, los resultados dejaron mucho que desear, merced á la mala administración de Boettger. En el año 1710 apareció por vez primera en la gran feria de Leipzig una muestra de la porcelana blanca, y en la misma feria se vendieron objetos de la primitiva pasta rojiza por valor de 12.588 pesetas. Empero, desde el año 1720, y bajo la dirección del pintor

Herold, inicióse el período tan brillante en que el estilo *rococó* dió motivo para adornos tan variados y caprichosos, y se produjeron los lindos grupos y tan preciosas figuras de animales del escultor Kaendler. En 1732, el personal de la fábrica se componía ya de 378 personas, y durante la primera mitad del siglo la industria siguió prosperando; mas durante la guerra de los siete años (1756-63) y algún tiempo después, la fabricación sufrió bastante. Las hermosas porcelanas que se produjeron en el período siguiente se designan comunmente con el nombre del conde de Marcolini, que en 1774 tomó á su cargo la dirección general del establecimiento; pero el mérito corresponde, en realidad, al pintor Dietrich y al director técnico Holzwig.

El primer mandamiento de la fábrica de Meissen, tanto durante la vida de Boettger como después, fué el secreto respecto del procedimiento. Pero merced á las revelaciones de un operario, pronto se tuvo en Viena conocimiento de él montándose allí una fábrica de porcelana en 1718, que fué la segunda que se estableció en Europa; desde ella, así como por operarios de Meissen que se trasladaron á Berlín y otros puntos, empezó á divulgarse el secreto del procedimiento, y se fundaron varias fábricas, entre las que figuran la de Hoechst, sobre el Rhin, en 1740, y poco después las de Anspach y Baireuth, la de Fürstenberg, en 1744, de Berlín, en 1750, y de Frankenthal en 1754; parte de ellas desaparecieron pronto, pero algunas existen todavía, sin que sus productos hayan podido sobrepujar á los del gran establecimiento sajón.



FIG. 188. Marcas de la fábrica de Meissen.

Los productos más antiguos de Dresde ó de Meissen están señalados con las letras *K*, *P*, *M*, es decir, *Koenigliche Porzellan Manufactur* (Real fábrica de porcelana); mas no tardóse mucho en adoptar allí la marca que se usa todavía y se conoce ya en todas partes del mundo, esto es, las dos espaditas cruzadas (fig. 188), pintadas en azul pálido en la parte inferior de los objetos. Los vasos, etc., destinados á la casa real llevaban además las iniciales *A. R.*; por el año 1720 estuvo un tiempo en boga la marca que se ve en segundo término en nuestro grabado, con las cruces de las espadas prolongadas hacia abajo, y posteriormente se introdujeron otras pequeñas modificaciones en la marca original, como un pequeño círculo ó una estrellita entre las espadas, que se refieren á tal ó cual artista ó director. La fábrica de Viena adoptó como marca un sencillo escudo (fig. 189), tomado de las armas imperiales; Frankenthal tuvo por marca primero un león saltando, pero la cambió más tarde por las letras *C. T.* (fig. 190), iniciales de Carlos Teodoro, conde del Pfalz, que se pintaban en azul sobre la porcelana; Hanung, el fundador de la fábrica en cuestión, llevaba como marca una *H* sobre dos *ff*, apareciendo generalmente al lado un número relativo á la muestra del objeto, como indica la fig. 191; pero la fábrica bávara de Franzen-



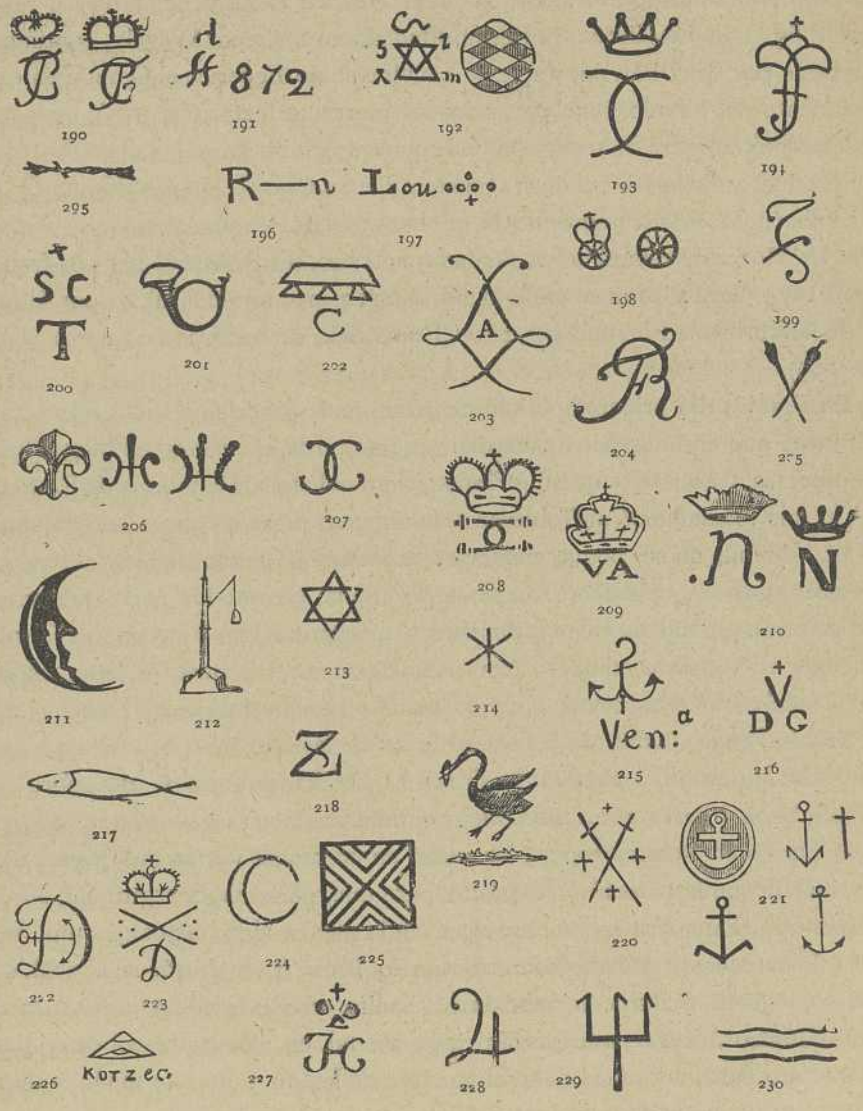
FIG. 189. Marcas de la fábrica de Viena.

thal desapareció en 1800. Las figuras 192 á 199 reproducen las marcas de otras fábricas alemanas, que alcanzaron cierta celebridad; en la 192 se ven dos de la de Nymphenburg, en Baviera, fundada en 1758; la 193 es la marca de la fábrica de Ludwigsburg, erigida el mismo año, pero que cesó de existir en 1824; menos aún duró la del obispo de Fulda, que se cerró en 1780, y cuya marca reproduce la fig. 194. La fábrica de Berlín, fundada en 1750 por Wegely, continuada más tarde por Gotzskowski, y que se convirtió bajo Federico el Grande en establecimiento del Estado, tuvo por primera marca un cetro (fig. 195); más adelante adoptó la figura de un águila, y después un globo sobre las letras *K. P. M.* Los productos de la fábrica de Ravenstein llevan una *R* en azul (fig. 196); los de Limbach, la marca reproducida en la fig. 197; los de Maguncia, ó mejor dicho de Hoechst, cuya fábrica, fundada en 1740, fué destruída por los franceses en 1774, llevan las marcas de la fig. 198, en oro, rojo ó azul; y, por último, los de la fábrica de Furstenberg, en el Brunswick, ostentan como marca una *L* (fig. 199).

En Francia dió principio la fabricación de la porcelana unos veinte años más tarde que en Meissen. Es verdad que no tardó el secreto en llegar hasta los franceses, y se refiere que fué Hanung, el fundador de la fábrica de Frankenthal, el que lo comunicó al Gobierno francés; pero dióse entonces la circunstancia fatal de que no se podía encontrar en ninguna parte del país el material necesario, esto es, el kaolín ó tierra de porcelana; y como los países alemanes, que ya comprendían su valor, prohibieron su exportación, las primeras fábricas francesas no pudieron competir con las alemanas, y después de una campaña corta, muchas de ellas cesaron de existir. No parecía sino que, respecto de la porcelana, Francia había de depender de las demás naciones, cuando una casualidad vino de pronto á cambiar la situación. Un día la mujer de un pobre barbero de Saint Irieux, cerca de Limoges, llamada *Darret*, andaba en busca de arcilla para blanquear su ropa, y encontró en un monte vecino una piedra blanca y blanda que le pareció á propósito, pero que, para mayor seguridad, enseñó á su marido. Este, que creyó reconocer en la piedra algo mejor que una mera tierra de bataneros, consultó con el boticario *Villaris*, de Burdeos, el cual, sospechando que la materia en cuestión era kaolín, envió seguidamente una muestra al químico *Maquer*, que declaró que era tal, en efecto. Descubrióse, pues, en el punto indicado un depósito abundante de kaolín, y de este modo la tierra, al parecer tan insignificante, hallada por una pobre mujer, determinó el rápido desarrollo de la fabricación de la porcelana en Francia. En el año 1774 se hallaba ya en plena actividad el célebre establecimiento de Sèvres, que aún se cuenta entre las fábricas más importantes del mundo, y cuyos productos son de los mejores y más hermosos.

En rigor, hay que considerar como cuna de la gran fábrica de Sèvres la de Saint-Cloud, que desde fines del siglo XVII producía objetos de cerámica

de las clases más diversas, que llevaron primero la marca reproducida en nuestra fig. 200, ó la que representa un sol radiante, que se adoptó en 1702, cuando Luis XIV concedió grandes privilegios á la fábrica. Pero durante esta época no



FIGS. 190 á 230.—Diferentes marcas de fábricas de porcelana.

se produjo en Saint-Cloud la porcelana propiamente dicha, como tampoco en Chantilly, donde se fundó en 1735 una importante fábrica de cerámica (marca, fig. 201), ni en Clignancourt, donde á mediados del siglo pasado floreció un establecimiento análogo, cuyos productos llevan las armas del duque de Orleans (fig. 202). Mucho antes del descubrimiento de Boettger, en Sajonia, los estable-

cimientos franceses referidos y otros de menor importancia venían dedicándose á la imitación de la porcelana de China, y existe un privilegio de invención, correspondiente al año 1664, á favor de un fabricante de loza parisiense, llamado Reverend, referente á la imitación de «porcelanas de la India»; pero los diferentes productos que resultaban no eran sino lozas finas, parecidas á la que hacía tiempo se fabricaba en Delft (Holanda) con idéntico objeto. Sin embargo, semejantes imitaciones se llamaban porcelana, aplicándose este nombre más en particular á una pasta semitransparente que desde 1695 se producía principalmente en Saint-Cloud, sólo que para distinguirla de la porcelana verdadera, que es muy dura, se le llamaba *porcelaine tendre* (porcelana blanda). En la fabricación de este género se alcanzó cierta perfección; mas, como ya dijimos en otro lugar, la masa, que se prepara sin kaolín alguno, era en realidad un vidrio incompletamente fundido, más bien que una porcelana propiamente dicha. En efecto, dicha masa, que se fabrica todavía en algunas partes, se compone de una mezcla fusible de sílice, álcalis, marga y creta, finamente pulverizados, que se conserva durante meses en forma de pasta, luego se seca y vuelve á moler, mezclándola, finalmente, con agua de jabón ó de cola para hacerla plástica; como vidriado se emplea un vidrio rico en plomo, y la cochura se verifica á una temperatura muy inferior á la que necesita la porcelana verdadera. La llamada porcelana de Reaumur, que se parece al vidrio lechoso, es un producto análogo.

Pues bien; después del descubrimiento de la porcelana propiamente dicha en Sajonia, redoblaron en Francia los esfuerzos para fabricarla con arreglo á las recetas recibidas de Alemania; pero, como ya indicamos más arriba, fueron infructuosos, porque se carecía en Francia de kaolín. En 1754 se trasladó á Sèvres la fábrica de Saint-Cloud, y el rey Luis XV, que antes había contribuído al negocio con la tercera parte del capital, quedó entonces como propietario único. En esta fábrica de Sèvres, que recibió desde luego el título de «real», siguió fabricándose exclusivamente la llamada porcelana blanda, hasta que, después de descubierto el kaolín cerca de Limoges, en 1765, como referimos oportunamente y llevadas á cabo las obras y demás preparativos necesarios, se empezó en 1769 á fabricar la porcelana verdadera ó dura, sin dejar de producir la blanda. Esta marcha siguió sin variación hasta el año 1800, cuando, por la dirección tan ilustrada de Brongniart, se introdujeron grandes mejoras en la fabricación de la porcelana verdadera, que fué desde entonces el objeto principal.

Los productos de la fábrica de Sèvres llevaron primero como marca dos *L L* entrelazadas (inicial del rey Luis), y desde 1753 en adelante se puso en el centro de este monograma cada año una nueva letra, desde *A* (fig. 203), pasando sucesivamente por todo el alfabeto, de modo que la *Z* correspondió al año 1776; en 1777 empezó el alfabeto de nuevo; pero entonces se emplearon

letras dobles; de suerte que los objetos señalados con *RR*, por ejemplo, corresponden al año 1794. Desde este año en adelante se adoptó un monograma compuesto de una *R* y una *F* (fig. 204), que significa *Republique française;* de 1800 á 1804 se sustituyó esta marca con las letras *M, NLE.* (*Manufacture nacionale*), con el nombre de *SEVRES*; en 1804 se cambió *NLE* por *IMPLE* (*imperiale*), y desde 1810 á 1814 campeó como marca el águila coronada de Napoleón. Luego vino Luis XVIII, que volvió á restablecer el primitivo monograma con la flor de lis en el centro; Carlos X mandó poner sus iniciales debajo de una corona; Luis Felipe hizo lo propio, y la República de 1848 adoptó sencillamente la letra *S* con el número correspondiente al año. En el año 1773, el ya referido Hanung, fundador de la fábrica de Frankenthal, en Baviera, y que, según es fama, había vendido al Gobierno francés el secreto de la porcelana, montó en París una fábrica, cuyos productos llevaron como marca una *H;* el mismo año se estableció la fábrica de Locré, cuya marca reproducimos en la fig. 205, y las de Mourelle y de Souroux, apareciendo posteriormente en dicha capital toda una serie de fábricas particulares, mientras que en las provincias la fabricación de la porcelana propiamente dicha, ó dura, se arraigó en diferentes puntos, especialmente en Limoges, Strasburgo y Marsella. En la actualidad se halla dicha industria muy desarrollada en Francia, distinguiéndose muchos de sus productos por su bondad bajo todos conceptos, y siendo los principales centros París y Limoges.

En los jardines del Retiro, en Madrid, fundó Carlos III, en 1759, la fábrica llamada *La China*, valiéndose de operarios traídos de Nápoles; y sus obras, tanto en tamaño como en mérito artístico, rivalizaron un tiempo con las mejores del extranjero, celebrándose más especialmente su parte de escultura cerámica y sus pinturas. Muchísimos fueron sus productos en la primera época de su desarrollo, y de ellos se conservan aún notables ejemplares en los palacios de Madrid, Aranjuez, el Escorial y San Ildefonso, en el Museo arqueológico de nuestra capital, y en varias colecciones particulares; mereciendo citarse más especialmente el saloncito del Palacio de Madrid, llamado «de China», por hallarse hechos con esta materia su techo, paredes, muebles, etc. Las diferentes marcas de *La China* están reproducidas en las figuras 206 á 208. Dicha fábrica fué destruída completamente por el año 1812, y aunque Fernando VII la restableció nuevamente después de su restauración, pronto cayó en completo abandono, sustituyéndola el establecimiento de la Moncloa, creado en 1827 por Sureda, antes director en la del Buen Retiro. Entretanto habíase desarrollado la fabricación de la porcelana en Alcora (Valencia), en la fábrica de cerámica que fundó allí en 1727 el conde de Aranda, el cual, después de buscar en el extranjero artistas notables, se propuso imitar las mejores obras de Sèvres, Meissen, Viena, etc., llegando, en efecto, á producir objetos de singular mérito. Llegaron á fabricarse en Alcora todas las diferentes clases de porcelana, y hoy todavía

entrega dicho establecimiento á nuestros mercados infinidad de piezas de porcelana ordinaria, sin contar otras muchísimas de loza; pero hace tiempo que no produce obras artísticas. A esto queda reducida la fabricación de la porcelana en nuestro país; pues el establecimiento cerámico actual de la Moncloa, fundado en 1887 por los señores Zuloaga, y hoy propiedad de una Sociedad anónima, se dedica exclusivamente á la producción de azulejos y lozas artísticas, imitación de las obras de mayor mérito de Valencia, Talavera y Alcora.

En cuanto al vecino reino de Portugal, cerca de Oporto, en Vista Alegre, fundóse por el año 1790 una fábrica de porcelana verdadera (dura), cuyos productos llevaron la marca que reproducimos en la fig. 209; la fabricación sigue todavía bajo una razón social particular.

Años antes de establecer la fábrica del Buen Retiro, había fundado Carlos III la más célebre de Capo di Monte, en Nápoles, que data de 1736, y en la que el Rey tomó tanto interés, que, según se afirma, solía trabajar en ella; sus productos, especialmente los de la segunda época (1760), son muy hermosos y se pagan á elevados precios por los aficionados; llevan las marcas que reproduce la fig. 210; pero no son de porcelana propiamente dicha, sino de pasta blanda. Las marcas que figuran en nuestro grabado con los números 211 y 212, corresponden á otras fábricas napolitanas, que también estuvieron en actividad durante la segunda mitad del siglo pasado. Otra fábrica italiana de mérito es la de Doccia, en Toscana, cuya fundación se remonta al año 1735, y que todavía existe, llevando sus productos las marcas que damos en las figuras 213 y 214, y son muy parecidas á las del establecimiento de Nove, en la Lombardía; en Doccia se fabrica tanto la porcelana verdadera como la blanda; pero la fábrica de Nove desapareció en 1835, no pudiendo sostener la competencia con los géneros alemanes y franceses. La célebre porcelana de Venecia (dura y blanda), que cesó de fabricarse en 1812, lleva diferentes marcas, entre ellas las de la fig. 215, mientras que la 216 corresponde á los productos de Vieneuf, en el Piamonte, donde la fabricación empezó en 1750. En Suiza sigue la producción de la porcelana verdadera, en Nyon (cantón de Vaud), cuya marca, hasta el año 1800, fué la figura de un pez (fig. 217); otra fábrica del mismo género, fundada en Zurich en 1759, tenía por marca una *Z* (fig. 218).

Durante la guerra llamada de los siete años (1756-63) se crearon en Holanda varias fábricas de porcelana, siendo las principales la de Weesp, que tuvo por marca una *W;* la de Amsterdam, cuyos productos se distinguen por una *A;* la del Haya, que adoptó la marca característica de la fig. 219; y la de Tournai, en cuyos productos se ven dos espadas cruzadas en medio de cuatro crucecitas (fig. 220).

En Inglaterra se desarrolló pronto la fabricación de la porcelana blanda, y las fábricas de Bow y Chelsea, que se fundaron por los años de 1730 y 1744 respectivamente, produjeron obras de gran mérito, que hoy se pagan á precios

exorbitantes por los aficionados. Dichas fábricas, que eran de particulares, florecieron durante la vida de sus fundadores; pero muertos éstos, decayeron rápidamente, cesando, la de Bow en 1763, y la de Chelsea dos años más tarde. La porcelana de Bow lleva como marca diversas combinaciones de ancla, espada ó flecha y media luna, mientras que el ancla (fig. 221) es el distintivo principal de la de Chelsea, que, por lo demás, se parece mucho á la porcelana veneciana. Los modelos y materiales de las fábricas referidas fueron

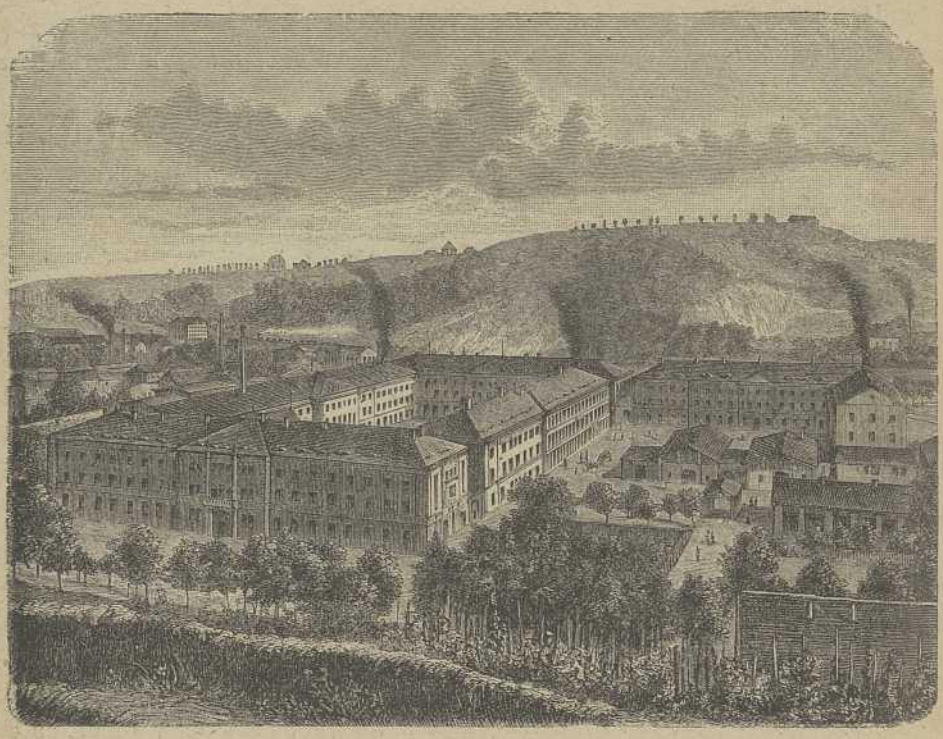


FIG. 231.—Fábrica actual de la porcelana de Meissen.

adquiridos por la de Derby, que existía desde 1751, y cooperando también los mismos artistas y operarios, los productos de este establecimiento alcanzaron pronto gran celebridad: al principio se distinguieron por una *D* cruzada por un ancla (fig. 222), pero más tarde ostentaron la corona real en una marca que reproducimos en la fig. 223, cerrándose el establecimiento en 1846. La fábrica de Worcester, creada también en 1751, y, como todas las inglesas, por iniciativa particular, se dedicó exclusivamente á la producción de porcelana blanda, tomando más especialmente como modelos los productos chinos y japoneses; sus marcas variaron bastante, pero las principales son las de las figuras 224 y 225. Otra fábrica importante fué la de Lowestoft, establecida en 1756 para la producción de porcelana blanda, pero que desde 1775 produjo también la

verdadera ó dura, hasta el año 1802, cuando cesó de funcionar. Plymouth también tuvo, desde 1760, una fábrica de porcelana dura, cuyos productos, muy apreciados, llevan la marca de la fig. 228, mientras que los de la de Bristol, del mismo género, se señalaron con una *B* ó una cruz. Además de las citadas gozaron de cierta fama, á fines del siglo pasado y principios de éste, las fábricas inglesas de Swansea (marca, fig. 229), Leeds y Rockingham.

Por último, con mencionar la fábrica imperial de porcelana de San Peters-

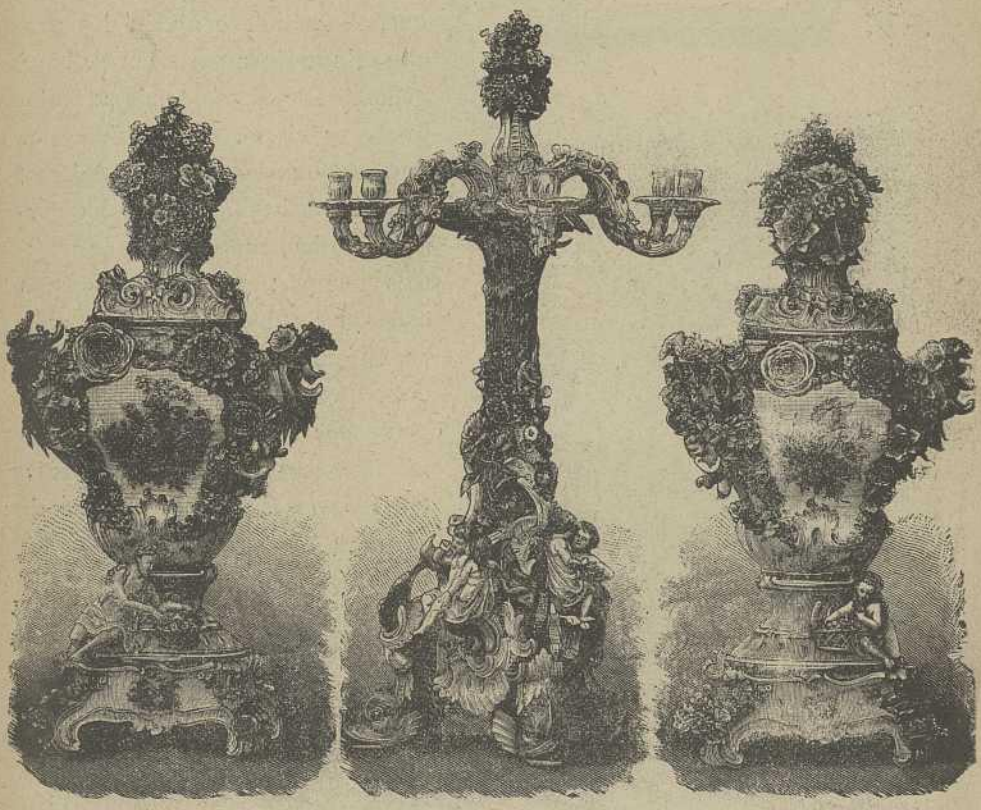


Fig. 232.—Jarrones y candelabros modernos de la fábrica de Meissen.

burgo, que se fundó en 1744 con operarios de Meissen, y cuyos productos llevan una corona con la inicial del soberano (fig. 227, marca del tiempo de Nicolás I); y con recordar las fábricas de Korzec, en Polonia, y de Copenhague, en Dinamarca, cuyas marcas respectivas reproducimos en las figuras 226 y 230, habremos terminado la lista de los establecimientos más importantes en la historia de la porcelana europea.

Entre ellos, los más considerables fueron siempre, y siguen siendo, los de Meissen y Sèvres, el primero de los que se trasladó en 1863 desde el antiguo castillo al nuevo grupo de edificios construído expresamente (fig. 231); síguenles actualmente en importancia la real fábrica de Berlín y las fábricas inglesas

de Worcester y Minton. Los productos de estos establecimientos se distinguen, tanto por la bondad de los materiales como por la hermosura de sus formas y la ejecución tan artística de sus relieves y pinturas; mas si se comparan los mejores productos de hoy con los que se fabricaban hace cien años, el progreso desde el punto de vista puramente artístico es más aparente que real. Los adelantos se refieren más bien á la parte técnica, á los procedimientos mismos de fabricación, que se han perfeccionado notablemente, dando lugar á que, abaratándose mucho los precios, el uso de la porcelana se haya generalizado. Esta ventaja se ha logrado, es cierto, á costa del valor puramente artístico de los objetos, que en muchas fábricas se ha desatendido lamentablemente en nuestros tiempos; pero nos podemos consolar considerando que el público, en general, se halla mejor servido, y que para aquellos que pueden permitirse el lujo de tener porcelanas artísticas de primer orden, existen todavía fábricas, como las de Meissen, Sèvres, Berlín y Worcester, con artistas capaces de producir obras maestras, como las que reproducimos (sin sus hermosos colores) en las figuras 232 á 236, y en la lámina XVII. La primera da una idea de los preciosos objetos de estilo «rococó», cuya producción siempre fué una especialidad en Meissen; mientras que la segunda (fig. 233) representa un soberbio jarrón, de estilo antiguo clásico, puro, y nada menos que de dos metros de alto, ejecutado según los diseños de Schnorr. Aparte de las dimensiones tan grandes de esta preciosa obra, que suponen el vencimiento de serias dificultades durante la cochura, en razón del reblandecimiento de la porcelana en el horno, es digna de admiración la ejecución magistral de la pintura, copia del célebre cuadro de Albani, en el Museo de Dresde, representando el baño de Diana.



FIG. 233.—Gran jarrón de porcelana de Meissen.

La fábrica de Sèvres, que desde principios de este siglo ha estado bajo la sabia dirección de hombres como Brongniart, Regnault y Ebelmen, siempre ha



Vasos artísticos de la Real Fábrica de porcelana de Berlín.



Fig. 234.
Jarrón de Fontenoy, hecho en la fábrica de Sèvres.



Fig. 235.
Frasco de porcelana, de Worcester.



Fig 236.—Servicio de porcelana, de la fábrica de Berlín.

sido célebre por la delicadeza de sus colores, razón por la cual un grabado como el nuestro (fig. 234) no es sino pálido reflejo del original. El establecimiento berlinés, en cambio, se distingue más por las hermosas formas de sus productos que por sus pinturas, como se echa de ver desde luego al contemplar nuestra lámina y el servicio de porcelana construído en la fábrica de Berlín (figura 236). El frasco de Worcester (fig. 235) es una preciosa imitación en porcelana de la célebre *fayenza* de Oirón, que Minton ha reproducido tan magistralmente en loza (compárese la fig. 174).

FABRICACIÓN DE LA PORCELANA

Comprende, en esencia, los mismos procedimientos que se emplean en la fabricación de la alfarería ordinaria, salvo que, en atención al valor de los productos, la elección de los materiales y su elaboración reclaman un cuidado especial. Pero, aparte de esto, las particularidades del producto dependen de circunstancias peculiares, que determinan á su vez en la fabricación la observancia de precauciones extraordinarias.

La porcelana es una masa blanca como la leche, no totalmente opaca, sino dotada de cierta translucidez, y revestida con un vidriado por completo transparente y, por regla general, libre de plomo. Las dos materias primeras de que se compone son el *kaolín* y el *feldespato*, y como el vidriado también se prepara con el mineral último nombrado, se comprende que resulte, en último término, una masa muy homogénea, en la que no puede ser cuestión de grietas en el vidriado, sino que, por el contrario, éste se halla de tal modo unido ó fundido con la pasta fundamental, que una superficie de fractura no deja percibir límite alguno entre ambos. El kaolín es infusible, pero el feldespato se aglomera bajo la acción del fuego; de aquí que la porcelana consista en partículas blancas y opacas, envueltas y unidas entre sí por una masa vítrea, que es la que determina la semitransparencia ó la translucidez del conjunto. Con mucha propiedad llaman los chinos, al kaolín, los huesos, y al feldespato, la carne de la porcelana.

Con el nombre de *kaolín*, ó tierra de porcelana, se designa una tierra enteramente blanca, que debe su existencia á la descomposición natural del granito, de la sienita, del gneis, de los pórfidos y otras rocas feldespáticas. Cual la arcilla para los productos de la alfarería, el kaolín constituye la materia fundamental en la fabricación de la porcelana, y se encuentra, no sólo en China, sino en casi todos los países donde aquellas rocas se presentan á la superficie del terreno, aunque no siempre con igual abundancia; explótase, por ejemplo, en Aue, cerca de Schneeberg, en Seilitz, cerca de Meissen, y otros varios puntos de Sajonia, en el término de Halle (Prusia), en Saint-Irieux, cerca de Limoges (Francia), Saint-Stephans, en el Cornwall (Inglaterra), etc., y se halla también en nuestro

país, en Galapagar y Valdemorillo (Madrid), Cabarrús (Guadarrama), Burela (Galicia), y otros puntos. El kaolín se compone principalmente de silicato de alúmina (de 50 á 70 por 100), sílice libre (de 1 á 10 por 100), agua (de 8 á 12 por 100), y residuos de la roca madre. Cuanto más libre se halla de estos últimos, en forma de granos más ó menos gruesos de diversos minerales sin descomponer, tanto mejor se presta á la fabricación de la porcelana; pero si aquellos residuos se componen de feldespato puro, y si sus partículas son tan finas como las del kaolín, no causan perjuicio alguno, sino que su presencia es muy aceptable; sin embargo, mediante un tratamiento mecánico adecuado, se puede en muchos casos convertir un kaolín impuro en un material utilizable. El kaolín es de por sí infusible, y por consiguiente no se puede emplear en la fabricación de la porcelana sin mezclarlo con otras materias.

Lo que influye principalmente sobre la fusibilidad de la masa es el *feldespato*, un mineral que se presenta en diversas variedades y se caracteriza por la facilidad con que se cristaliza. Se compone de silicatos de los álcalis y de aluminio, y según el metal alcalino que contiene, se distinguen feldespatos potásicos y feldespatos sódicos; los primeros se componen, pues, total ó principalmente de silicato de potasio y aluminio, y los segundos de la combinación sódica correspondiente. Estos feldespatos, que reciben diferentes nombres, como ortoclasa, pegmatolita, oligaclasa, albita, sanidina, etc, son componentes de las rocas silicatadas más importantes, especialmente del granito, sienita, gneis y varios pórfidos; expuestas estas rocas á las influencias atmosféricas, el agua y el ácido carbónico descomponen lentamente los feldespatos, formándose, de un lado, carbonatos alcalinos, y combinándose, por otro, el silicato de aluminio con agua, para formar arcilla, ó sea hidrosilicato de aluminio. Por sí, el feldespato es fusible, y por esto, además de agregarse á la masa de la porcelana, se emplea también en su revestimiento exterior, porque constituye un vidriado excelente. Se presenta á veces en la Naturaleza en grandes masas, compactas y puras, que son de mucha importancia para la industria de que tratamos.

La *sílice*, en forma de cuarzo, constituye el tercer componente de la porcelana. El cuarzo, mineral duro y blanco, cuyas variedades cristalinas más puras se conocen bajo el nombre de cristal de roca, es un medio para hacer más refractarias, esto es, menos fusibles, las tierras de porcelana ricas en feldespato. Además se emplea para la preparación de vidriados, en unión con vidrio pulverizado, sosa, potasa, sal común, bórax, yeso, óxido de estaño, óxidos metálicos colorantes, etc.; sustancias, la mayor parte de ellas, de que se valen los fabricantes únicamente para evitar el empleo del feldespato.

Si se examina con el microscopio un pedacito de porcelana, se observa que la masa fundamental, ó sea el kaolín, se resuelve en diminutas láminas hexagonales, mezcladas generalmente con restos duros del mineral feldespático de origen. Con un kaolín que contiene todavía mucho feldespato sin descomponer,

se puede hacer porcelana sin necesidad de mezclarlo con otra materia, como de hecho sucede en algunas fábricas, entre ellas la de Sèvres.



FIG. 237.—Excavación del feldespato.



FIG. 238.—Trituración del feldespato.



FIG. 239.—Formación de los objetos.



FIG. 240.—Cochura en hornos abiertos y cerrados.

FIGS. 237 á 240.—Fabricación de la porcelana en China: copia de grabados originales del país.

Todos los componentes de la porcelana se convierten en polvo finísimo por medio de bocartes molinos y el procedimiento de la levigación. El kaolín que, merced á su origen, constituye rara vez una masa homogénea, sino que contie-

ne frecuentemente cantidades considerables de los componentes de la roca madre, sin descomponer y semidescompuestos, tiene que someterse ante todo á una especie de afino, á fin de eliminar las materias extrañas. Esta operación consiste en una levigación con agua, practicada con sumo cuidado; el kaolín, tal como llega del sitio donde se extrae, se deja ablandar en grandes depósitos llenos de agua, con la que se mezcla después por medio de un agitador mecánico hasta obtener una lechada, que se deja correr en el aparato de

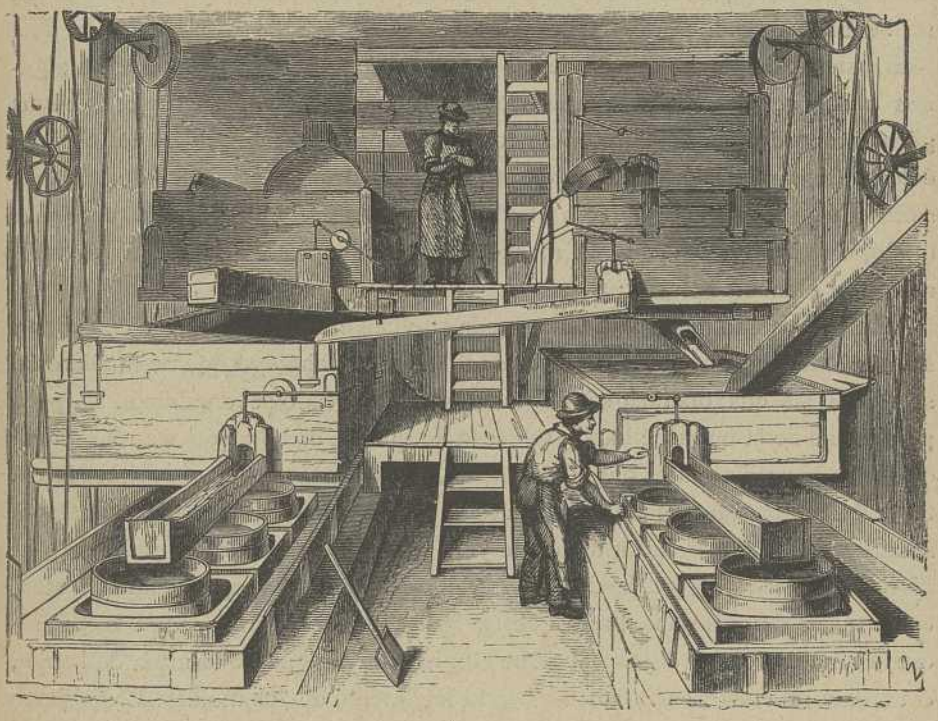


FIG. 241.—Aparato de levigación en una fábrica de porcelana.

levigación (fig. 241) en la misma medida con que sigue afluyendo agua fresca. Los granos de roca más gruesos quedan en el fondo del depósito en que se forma la lechada; pero ésta arrastra la arena más fina, y se le obliga, por lo mismo, á pasar por un canalón largo y poco inclinado, en el que se posan las partes más pesadas. Las partículas más finas del kaolín se depositan luego en grandes cubos, en los que se deja descansar la lechada durante mucho tiempo, trasegando de tarde en tarde el agua clara que se forma á medida que procede la deposición, y sustituyéndola con una nueva cantidad de la lechada.

En dichos cubos, que en las grandes fábricas tienen la forma de depósitos de obra de cemento, va formando el kaolín ó tierra de porcelana un poso finísimo y homogéneo que, en estado húmedo, tiene cierta plasticidad, pero que no

se puede elaborar sin agregarle otras sustancias, cuales son el feldespato y el cuarzo, que se añaden entonces en las proporciones convenientes, después de pulverizarlas y levigarlas con gran esmero, y el conjunto se vuelve á mezclar con el agitador y luego á pulverizar, obteniéndose, por ende, un poso que se somete á una presión para exprimir el agua, y en estado todavía húmedo se convierte en bolas. En esta forma se deposita en bodegas, donde se deja un año cuando menos (en China, según se dice, de cuarenta á cincuenta años), produciéndose una especie de fermentación, que le presta madurez y aumenta su plasticidad. En efecto, la masa sufre una modificación particular, cuya naturaleza aún no se ha estudiado á fondo: á veces se ennegrece de resultas de la descomposición de pequeñas cantidades de materia orgánica que contiene; en algunos casos se desarrollan primero en ella organismos microscópicos, cuyos gérmenes proceden del aire circundante y que producen en la superficie una coloración pardusca ó negruzca; en otros casos entran en juego combinaciones sulfurosas, pues se nota á veces el olor del hidrógeno sulfurado. De cualquier modo, al sacar nuevamente la masa al aire libre y á la luz, recobra gradualmente su blancura.

En este estado, la mezcla fermentada se vuelve á amasar bien, y con ella se forman entonces los diferentes objetos de un modo análogo que en la alfarería, salvo que las dos operaciones del torno y el moldeado se combinan. La poca plasticidad de la masa de kaolín es causa de que su elaboración sea más difícil que la de la arcilla grasa; por consiguiente, después de formar de primer intento, ó desbastar sobre el torno de alfarero un vaso, una taza ú objeto análogo, se acaba colocándolo en un molde de yeso previamente torneado, y después de fijar éste en el torno, y á medida que se le hace girar, se va oprimiendo y frotando la masa de porcelana hasta que se aplica perfectamente contra la superficie del molde. Como el yeso absorbe con rapidez el agua de la masa de kaolín, ésta toma tal consistencia, que se separa fácilmente de los moldes. Los objetos huecos se forman en dos mitades, que luego se unen ó pegan por medio de una pasta líquida de kaolín, pasando sobre la unión una esponja húmeda para quitar toda señal del pegado. El calado de ciertos objetos se forma á veces en moldes, pero á veces también cortando con instrumentos á propósito la masa blanda y maciza. Los bustos, figuras y cosas análogas siempre se acaban, cincelan, etc., á mano, después de secados al aire. Los adornos en hueco se producen por medio de sellos ó cuños, mientras que los en relieve se forman en parte al mismo tiempo que el objeto, en el mismo molde, en parte separadamente, pegándolos después al objeto con la pasta de kaolín ya referida. Para formar platos y fuentes, se extiende la masa blanda sobre un tablero por medio de un rodillo, á manera del de los pasteleros, hasta producir hojas ó planchas de la delgadez deseada, que se colocan sobre un molde macizo, fijo en el torno, molde cuya superficie da el interior del plato, mientras que el exterior se forma

torneando y con ayuda de un escantillón; los objetos de esta clase, una vez formados, se dejan sobre los moldes hasta que se secan perfectamente. Ciertos objetos de porcelana, ó, mejor dicho, de su masa, después de secados al aire, se acaban en el torno mecánico de la misma manera que se tornea la madera.

También se dan objetos que se forman de un modo especial en moldes huecos de yeso, hechos de dos ó más piezas y de paredes gruesas, que se llenan con una masa de kaolín de la consistencia de la nata; el yeso absorbe el agua de la masa inmediata á él, de modo que ésta se solidifica pronto, y entonces, abriendo el molde por la parte inferior, se deja salir la masa restante y todavía semilíquida, dejando el molde revestido interiormente con una capa más ó menos gruesa, que constituye el objeto que se trataba de formar; después de secado al aire, no hay más que desarmar el molde para poderlo sacar. A veces, en lugar de dar salida á la masa líquida sobrante por el pie del molde, se invierte éste vaciándolo; tratándose de objetos pequeños, suele sacarse la masa sobrante por medio de una jeringa. De este modo se pueden formar fuentes, cápsulas y cosas análogas, tan delgadas como el papel de cartas. El mismo efecto, es decir, una delgadez extremada, se consigue también por medio de una máquina centrífuga: de la masa de kaolín en estado diluído se echa una poquita en una cápsula madre de la forma deseada, que se coloca en el centrífugo, haciéndola girar rápidamente; en virtud de la fuerza centrífuga la masa se extiende sobre toda la cápsula, subiendo hasta su borde, y si el movimiento se continúa bastante tiempo, la delgada capa acaba por secarse y no resta más que cocerla. Tratándose de grandes vasos, y con el fin de que la masa se aplique uniformemente en todas partes del molde hueco, se hace éste de modo que pueda cerrarse herméticamente, y entonces, por medio de una bomba, se introduce en él aire comprimido, cuya fuerte presión produce el efecto deseado.

Acabamos de describir someramente algunos de los procedimientos, más ó menos mecánicos, de que se vale el fabricante de porcelana para formar los objetos de uso corriente; pero los productos más finos y artísticos reclaman el talento y la destreza de artistas expertos, para prestarles el sello característico que los distingue y da tanto valor. Muchos jarrones, grupos de figuras, candelabros, cuadros y demás objetos de porcelana, de diversas formas y ricamente adornados en alto relieve, pueden formarse parcialmente en moldes; pero las diferentes piezas parciales siempre necesitan retoques, y éstos, así como su reunión para formar el objeto mismo, suponen, no sólo manos delicadas y expertas, sino un gusto artístico bien educado. Mas hay objetos en cuya formación no intervienen los moldes para nada, como, por ejemplo, esas preciosas agrupaciones de flores ó ramilletes que tanto admiramos en ciertas obras de Meissen (compárese fig. 232), y cuya elaboración supone, no sólo habilidad, conocimientos y gusto artístico, sino también una paciencia de santo, pues cada tallo y hoja, y cada pétalo de las flores, se forma aparte entre los dedos de las manos,

con todos sus detalles, uniéndose ó pegándose á la obra en construcción, digámoslo así, á medida que se acaba.

La fábrica de Meissen es célebre, entre otras cosas, por sus preciosas figuras con los trajes tan ricos, aunque extravagantes, del tiempo de Luis XV, en los que los encajes desempeñaban un papel importante. Pues bien; en dichas figuritas de porcelana, estos encajes aparecen reproducidos, con el relieve y todos los minuciosos detalles correspondientes, de una manera maravillosa; los hemos visto hacer en aquellos bien ordenados talleres, y vamos á referir de qué modo proceden las mujeres encargadas de trabajo tan exquisitamente delicado. La única herramienta es un pincel muy fino, con el cual se va formando punto por punto, hilo por hilo; se moja su punta en una pasta de kaolín de la consistencia de la nata, y se aplica ligeramente en el punto respectivo de la figura, retirándolo con rapidez; como la figura ha sido sometida previamente á una cochura parcial, su masa absorbe el agua del pincel y se deposita en la superficie un bultito de la pasta, que se estira un poco al tiempo de retirar el pincel; de modo que á fuerza de repetir la operación se acaba por formar un hilito de pasta en el sentido deseado, cuya dirección depende del artista. Terminado un hilito, se empieza otro, y así sucesivamente, hasta concluir el encaje más complicado, afirmándose luego la pasta en la segunda cochura. Otro procedimiento, que se emplea en algunos casos, consiste en fijar sobre las figuritas encajes verdaderos, previamente mojados en la pasta de kaolín, hasta que cada hilito se empape bien con ella; después de secado al aire, el objeto se cuece, los hilos del encaje verdadero se consumen en el horno, y queda en su lugar la pasta que habían absorbido, y que reproduce con la mayor fidelidad los detalles más minuciosos del tejido original.

Los llamados *litofanios*, esto es, las planchas delgadas de porcelana sin vidriar que, miradas al trasluz, ostentan figuras, países y composiciones artísticas semejantes, con preciosos efectos de luz y sombra, se forman prensando la masa correspondiente en moldes de yeso; los sitios que en la imagen han de aparecer oscuros, resultan más gruesos, y las partes claras mucho más delgadas, de manera que interceptan poca luz. Para formar el molde necesario, se reproduce primero el dibujo sobre una plancha de vidrio, cubriéndose luego con una capa de cera; entonces, é iluminando la plancha desde abajo, se modela la cera con herramientas de madera hasta obtener el efecto deseado, y con la matriz de cera que resulta se forma el molde de yeso.

Los objetos formados con la masa de kaolín se secan primero al aire á la temperatura natural, ó en una pieza convenientemente calentada, y se someten entonces á una cochura parcial, merced á la cual se endurecen lo bastante para poder recibir el vidriado. La composición de éste varía más ó menos en las diferentes fábricas; en Meissen se compone de 37 por 100 de cuarzo, otro tanto de kaolín de Seilitz, 17,5 por 100 de cal y 8,5 por 100 de fragmentos de porcelana

reducidos á polvo. Todos los materiales se muelen hasta producir una harina impalpable, y mezclados entre sí y con agua constituyen una lechada, en la que se sumergen los objetos, sacándolos al cabo de un momento cubiertos con el baño necesario. Este es el procedimiento más común; pero á veces se extiende la lechada del vidriado sobre los objetos con un pincel, ó bien se humedecen éstos un poco y se salpican con el vidriado en forma de polvo fino; sin embargo, este último modo sólo se practica con las porcelanas de calidad inferior, para las que se emplea un vidriado compuesto de blenda (sulfuro de cinc y sal de Glauber) (sulfato de sosa). También se produce á veces el vidriado colocando en el horno, durante la cochura, ciertas sustancias, como sal común y bórax, que se volatilizan, ocasionando ciertas reacciones químicas en la superficie de los objetos. Ciertos metaloides son también muy á propósito para este modo de vidriar, y cuando sus silicatos son coloreados, producen lustres muy bonitos, que se aprecian muchísimo, especialmente en la Gran Bretaña.

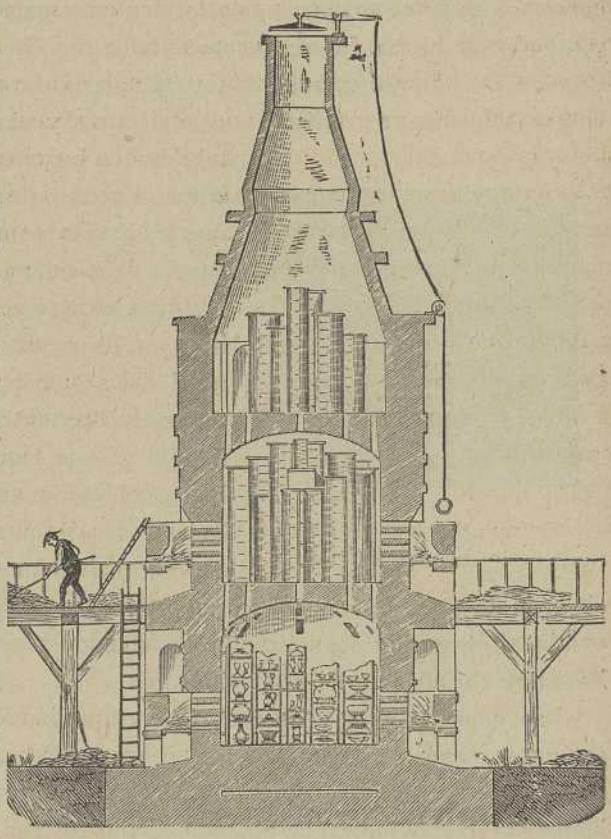


FIG. 242.—Horno para la cochura de la porcelana.

Los objetos revestidos con la lechada del vidriado y debidamente secados se colocan en cápsulas ó cajas de arcilla refractaria, á fin de que, durante la cochura, no los ensucien las llamas y cenizas; la capas se apilan en un horno de forma cilíndrica, dividida generalmente en tres pisos, entre los que se reparten los objetos con arreglo á la temperatura que más les conviene y que, en la parte más caliente del horno, se eleva hasta los 1800 grados. Cuando la porcelana se ha calentado hasta la incandescencia blanca, lo cual se reconoce por medio de un objeto de prueba que se pueda sacar fácilmente del horno, todas las aberturas de éste se cierran y se deja enfriar lentamente. Semejante cochura definitiva dura, por regla general, de diecisiete á dieciocho horas; el enfriamiento del horno es naturalmente más lento, durando de cuatro á seis días.

La fig. 242 representa, en sección vertical, un horno de porcelana, de la construcción más usual, cargado con objetos encerrados en cajas y cápsulas. El cuerpo cilíndrico del horno termina superiormente en una chimenea cónica, que puede cerrarse por medio de una tapa de hierro, suspendida á una palanca. A fin de conservar mejor el calor, las paredes del horno, que se construyen con ladrillos refractarios, son dobles, con un espacio intermedio que se rellena con cenizas ó materias análogas; exteriormente se refuerzan con una red de barras y argollas de hierro. Interiormente se halla dividido el horno en tres pisos, por medio de dos bóvedas, que están perforadas, á fin de dar paso á los gases de combustión. Esta se verificaba antes siempre, y aún se verifica hoy en algunas fábricas, en hogares establecidos en la base del horno, en torno de su pared externa, de modo que las llamas penetren por aberturas reservadas en la misma; á veces, como indica nuestro grabado, el horno está provisto de otros cuatro hogares, dispuestos como los primeros, pero al nivel del segundo piso. El combustible consistía exclusivamente antes en leña, pero hace tiempo que se emplean con el mejor éxito la hulla y el lignito, que si es verdad que producen llamas más impuras, como los objetos por cocer se hallan encerrados en cajas, los perjuicios son de poca monta. Cesan de producirse por completo cuando se emplea combustible gasiforme, aplicando el sistema regenerador de Siemens, como se hace hoy en todas las fábricas importantes.

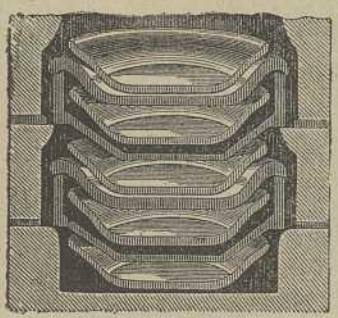


FIG. 243.—Cápsulas para la cochura de objetos de porcelana.

Las cápsulas ó cajas en que se depositan los objetos que se trata de cocer son vasos circulares de arcilla refractaria, y están hechas de manera que puedan apilarse ó colocarse una sobre otra, sirviendo la superior de tapa á la inferior inmediata, como indica la fig. 243. Como se comprende, la altura y demás dimensiones de semejantes cápsulas varían con arreglo á las de los objetos mismos que han de contener, y para casos especiales hay que preparar cápsulas á propósito. Los objetos grandes, como, por ejemplo, el jarrón de la fig. 233, reclaman para su cochura todo género de precauciones, porque bajo la influencia de calor tan intenso, su masa se ablanda hasta cierto punto, y si se dejaran simplemente apoyados en su base, se deformarían en virtud de su propio peso. Por esto se encierran en cajas de construcción especial, sosteniendo sus diferentes partes por medio de delgadas, pero sólidas varillas de arcilla refractaria, cuya disposición y distribución reclaman mucha experiencia y el mayor cuidado. También es preciso tomar precauciones análogas con objetos más pequeños, pero de formas complicadas.

El espacio superior del horno, en el que, como se comprende, reina la tem-

peratura más baja, sirve para la cochura parcial ó preliminar de los objetos, para la de las cajas ó cápsulas ya referidas, así como para la calcinación del feldespato y operaciones análogas. Durante la cochura preliminar, á la que se someten los objetos antes de darles el baño de vidriado, su masa pierde próximamente un octavo de su peso y no se contrae de un modo sensible; pero en la cochura definitiva, que se verifica después en la parte inferior del horno á temperatura muy elevada, la masa que forma los objetos se contrae considerablemente; el vidriado se funde, la pasta fundamental se ablanda á consecuencia de la fusión parcial del feldespato, y adquiere, por lo mismo, la semitransparencia ó la translucidez que caracteriza á la porcelana. La regulación del fuego durante la cochura es de la mayor importancia y reclama mucha vigilancia y práctica de parte de los encargados, á fin de que las llamas envuelvan uniformemente la carga del horno, calentándola por igual, pues de otra suerte la masa de los objetos se contraería desigualmente y éstos resultarían más ó menos deformados. Aunque las cápsulas resguardan los objetos contra el polvo ó ceniza del combustible arrastrado por el tiro, así como del contacto directo de las llamas, no pueden impedir completamente la penetración de los gases de combustión, cuya naturaleza química ejerce cierta influencia sobre los objetos pintados.

Según las condiciones y proporciones de los diferentes componentes de la masa kaolínica, la calidad de la porcelana resultante de la cochura varía muchísimo. Si todas las materias se emplean en estado de perfecta pureza, la porcelana resulta enteramente blanca; pero basta una porción muy pequeña de óxido de hierro para producir un color amarillento. El grado mayor ó menor de translucidez depende de la proporción entre el kaolín y el feldespato; la porcelana más rica en kaolín es la llamada *biscuit*, que constituye una masa muy refractaria, de grano fino y compacto á lo sumo, que no recibe vidriado y se emplea más especialmente en la producción de figuras ó estatuas pequeñas. Son célebres las obras del género que produce la fábrica de Meissen; y se estiman también, aunque no tanto, los productos ingleses del género, que se venden bajo el nombre de porcelana de Paros ó de Carrara, por recordar su masa los mármoles más finos griegos é italianos; la porcelana de Paros ocupa, por su naturaleza, un lugar intermedio entre el verdadero *biscuit* y la loza de piedra más fina.

Después de vaciado el horno, los productos de la cochura no se presentan todos en iguales condiciones; muchos de ellos ofrecen defectos de mayor ó menor consideración, debidos, ora á la contracción desigual de la masa, que produce deformaciones, ora á la fusión desigual del vidriado, de donde resultan manchas ó lunares. Es preciso, pues, someter los géneros á una clasificación, separando los objetos perfectos de los defectuosos; estos últimos, según el grado de los desperfectos, se dividen á su vez en utilizables é inservibles, ó de desecho. Los objetos de primera calidad deben ostentar una forma y una blancura

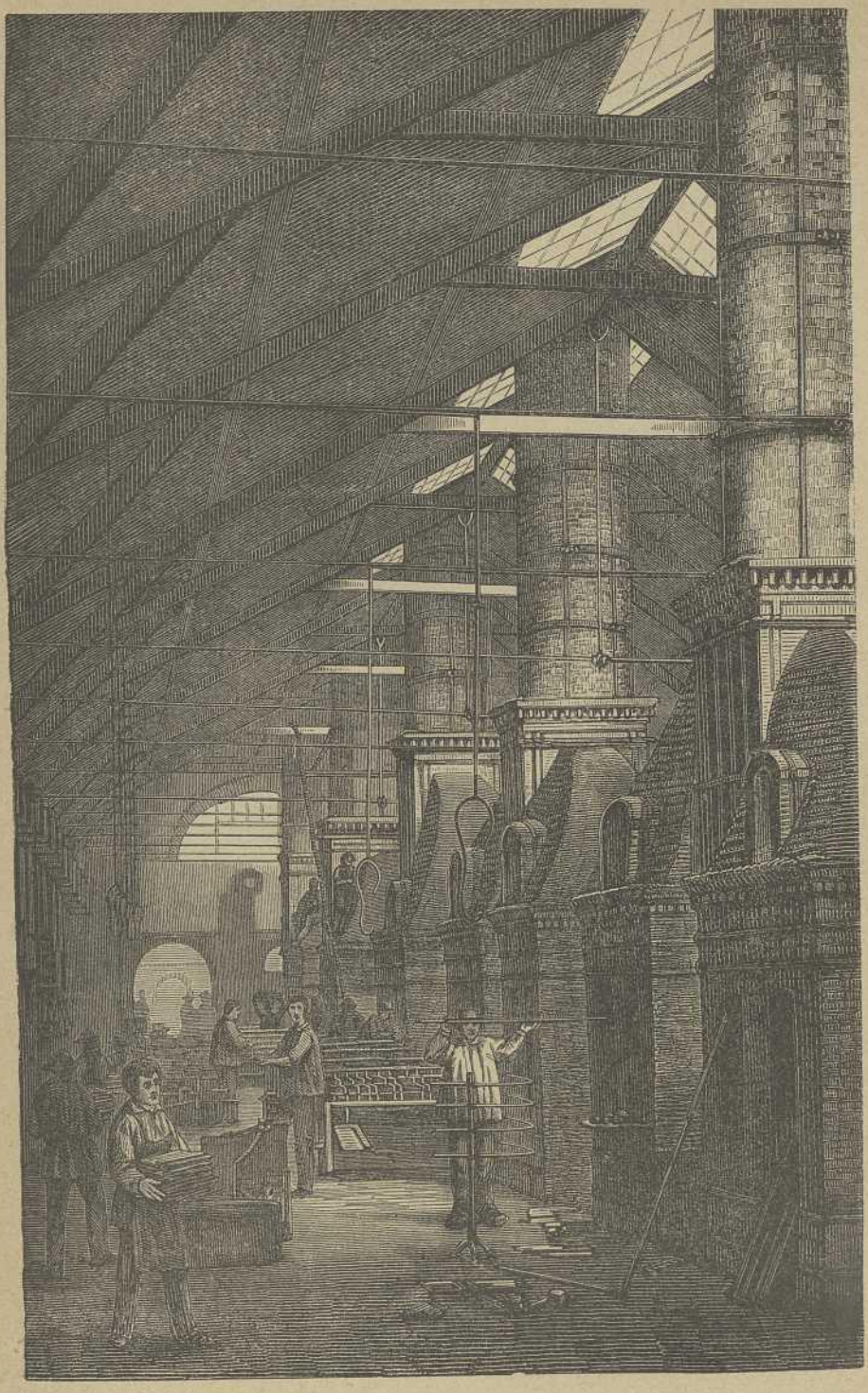
perfectas (hablamos aquí únicamente de los no pintados); su masa no debe presentar la menor grieta y su vidriado ha de estar enteramente libre de manchas ó ampollas; á la segunda categoría corresponden los objetos con ligeros defectos en el vidriado, que se pueden disimular por medio de la pintura, mientras que los objetos de desecho son, naturalmente, aquellos que presentan grietas, manchas ó deformaciones irremediables.

FABRICACIÓN DE BOTONES DE PORCELANA

El centro de gravedad, digámoslo así, de la fabricación de la porcelana, como de la cerámica en general, está en la producción de vasos y vajillas de todas clases, así como de objetos plásticos artísticos, como figuras, grupos, etc. Pero además de esta aplicación fundamental, la masa kaolínica, tan hermosa y fácil de formar, que constituye la porcelana, se utiliza también en determinadas industrias, como sustituto del mármol, del marfil y de otras materias, cuya elaboración tiene que verificarse á mano, es decir, que no son aplicables á la formación en masa de los objetos correspondientes por medio del moldeado. Desde este punto de vista, una de las aplicaciones más singulares de la porcelana es la que consiste en la fabricación de botones, que reemplazan á los hechos con madreperla, marfil, hueso, metal y otras materias semejantes. La formación de los botones de porcelana con una masa plástica evita todas las operaciones más ó menos complicadas del torneado, taladrado, pulimentado, etc., que son indispensables con otras materias, puesto que se verifica sencillamente por presión, y ofrece además la inmensa ventaja de producir á un tiempo, y en cierto modo de un solo golpe, gran número de botones, que de otro modo habrían de formarse aisladamente, es decir, uno por uno; de esto resulta, naturalmente, una economía muy notable en tiempo y mano de obra, y, por ende, la gran baratura del producto.

La fabricación de los botones de porcelana se inició y llevó á la mayor perfección en Briare, pequeña población industrial de Francia (departamento del Loira), donde hace mucho tiempo se venían fabricando botones esmaltados; después se ha desarrollado en algunos otros puntos, especialmente en Freiburg, (Baden) y en Viena. Las materias primeras que en ella se emplean son en esencia las mismas que en la fabricación de los vasos y demás objetos de porcelana, y la preparación de la masa ó mezcla no difiere tampoco esencialmente de la que hemos descrito más arriba; sin embargo, en la fabricación de botones no se emplea en forma de pasta propiamente dicha, sino en la de un polvo casi seco.

Entre las cuatro columnas de una prensa hidráulica se coloca una sólida plancha de acero ó bronce, en la que se hallan grabadas 400, 500 ó más depre-



Hornos para la fabricación de botones de porcelana.

siones correspondientes á la forma que han de tener los botones en cuestión. El operario toma un puñado de la masa de porcelana pulverulenta, y la reparte sobre la plancha de modo que rellene todas las depresiones, y después de quitar con un rasero el polvo sobrante, hace funcionar la prensa; la plancha superior de ésta, que baja entonces, lleva en su cara inferior pequeñas eminencias que corresponden exactamente á las depresiones de la plancha matriz, de modo que, al juntarse las dos planchas, la masa pulverulenta resulta comprimida tan fuertemente, que los botones así formados adquieren la consistencia suficiente para ser sacados de la prensa sin deshacerse. Empero, antes de sacarlos, se someten á una segunda presión bajo una plancha provista de pequeños grupos de agujas que producen los agujeros ó taladros correspondientes, perforando de un golpe todos los botones; si en lugar de agujeros los botones están destinados á recibir una anilla ó corchete metálicos, se emplea una plancha que sólo produce en la parte posterior del botón la depresión necesaria para sujetar la anilla con soldadura.

Preparados así los botones, se vacía la plancha matriz, cubriéndola con una hoja de papel, sujeta en un marco, é invirtiéndola, de modo que los botones caen suavemente sobre el papel, y pueden someterse desde luego á la cochura. Esta se verifica en hornos de mufla, que se levantan en número de seis ó más en una nave de la fábrica, como indica nuestra lámina XVIII, y se mantienen continuamente (salvo las reparaciones) á la elevada temperatura necesaria; de modo que, en el momento de sacar de la mufla una plancha cubierta de botones cocidos, se vacía y se coloca sobre ella una hoja de papel cubierta de botones crudos. Merced al calor de la plancha, el papel se consume al instante, dejando los botones dispuestos en series ordenadas, tal como salieron de la prensa; entonces la plancha se introduce nuevamente en la mufla, durando la cochura de seis á diez minutos, según el tamaño de los botones. En una fábrica bien montada, y para no dar lugar á un desperdicio de combustible, el número y la marcha de las prensas hidráulicas deben regirse con arreglo al número de muflas en actividad, á fin de que las cochuras sucesivas puedan verificarse sin detención. Los botones de ciertas clases están acabados al salir del horno, y pueden desde luego ser sorteados y sujetos á los cartones para entregarlos al comercio; otros se pintan ó doran, ó tienen que recibir corchetas, y se someten, por tanto, después de la cochura, á nuevas operaciones.

La pintura de los botones se reduce, por regla general, á uno ó más círculos de color ó dorados, ó bien á un dibujo escocés de líneas coloreadas que se cruzan en ángulo recto. Este último se verifica sencillamente por impresión; pero los adornos circulares se producen con el pincel, cuya punta, mojada en el color, se aplica momentáneamente á la superficie del botón, mientras que, sujeto mediante agujitas que atraviesan dos de sus agujeros, se le imprime por medio de un mecanismo una rotación muy rápida. El operario ó la operaria

encargada de este trabajo (pues es de los que hacen perfectamente las mujeres, y suele confiarse á ellas), tiene delante de sí un aparato sobre el cual caben centenares de botones, que giran todos á la vez y pueden ser pintados en muy corto espacio de tiempo.

El fijar las anillas ó corchetes es una operación más complicada, pues supone la depresión necesaria en la masa del botón, un grano de soldadura del tamaño correspondiente, un pequeño disco de metal destinado á cubrir la unión, y la corcheta misma que atraviesa el disco. Pero, como se comprende, mucho se adelanta con la ayuda de máquinas: las depresiones de los botones se producen en la prensa, como dijimos anteriormente, mientras que los discos se sacan á máquina de chapa de latón, y las corchetas se hacen de alambre, con una rapidez increíble. Sin embargo, aún no se ha conseguido inventar una máquina capaz de unir las corchetas con los discos, y este trabajo lo verifican en Briare y sus alrededores los pastores y otras personas cuyas ocupaciones ordinarias les dejan libres la mitad del tiempo sus manos y su atención. La soldadura misma se hace también á mano, aunque con útiles que la facilitan mucho, y, por último, todos los botones se someten á una prueba para que pueda garantizarse su solidez, antes de ser cosidos sobre los cartones y entregados al comercio. Este cosido da también empleo, en los distritos referidos, á buen número de mujeres pobres.

PINTURA SOBRE PORCELANA

Después de su cochura, la porcelana sale del horno en forma de una masa blanca, semitransparente, con una superficie lustrosa ó mate, según que haya recibido un baño de vidriado ó que carezca de él. Pero en muchos casos la porcelana está destinada á que se la decore con pinturas, y esto puede tener lugar de dos maneras. Si los colores que se desea emplear son capaces de resistir la elevada temperatura de la cochura definitiva, se puede pintar debajo del vidriado, es decir, sobre la superficie de los objetos secados al aire, en cuyo caso sólo se necesita someterlos á una cochura; pero son pocos los colores que se prestan á semejante procedimiento, limitándose al azul, el verde y el negro; además, la masa secada absorbe seguidamente la pintura, de modo que, como ya dijimos al hablar de la mayólica, el artista necesita tener una mano muy segura, porque los defectos ó equivocaciones no se pueden corregir. Por estas razones la pintura debajo del vidriado se limita, por regla general, á los adornos más sencillos, aplicándose más especialmente á la vajilla de porcelana ordinaria, para la que es el procedimiento más á propósito, toda vez que las pinturas resultan protegidas por el vidriado que las recubre.

La pintura sobre el vidriado, que es el segundo procedimiento á que nos referimos más arriba, permite el empleo de muchos y diversos colores, así como

un trabajo bastante más fácil y agradable, toda vez que la masa, ya vidriada, no absorbe el color mientras se pinta, y por consiguiente, el artista puede tomarse tiempo y corregir ó hacer las variaciones que estime necesarias. Por esto el procedimiento es aplicable á la producción de adornos de diversos colores y de verdaderos cuadros; pero las pinturas no tienen la duración de las que se hacen debajo del vidriado, porque, al contrario que éstas, en lugar de estar cubiertas por un vidrio transparente que las protege, se destacan en un pequeño relieve, formando una capa relativamente blanda, y reclaman una cochura repetida, á fin de que los colores se fundan y combinen con el vidriado. Las pinturas sobre porcelana, que se componen de cierta variedad de colores, necesitan siempre sufrir repetidas veces la elevada temperatura del horno, y sólo pueden acabarse en gradación, siendo precisamente sus partes más delicadas, como, por ejemplo, las que ostentan suaves matices de carne y otros análogos, las que reclaman el mayor número de cochuras.

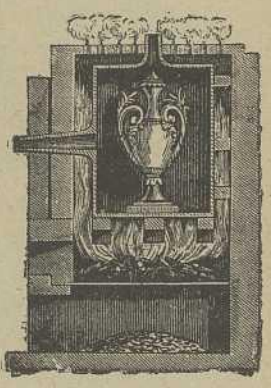


Fig. 244.—Fijación de la pintura sobre porcelana en la mufla.

En la pintura sobre porcelana, lo mismo que en la del vidrio, se usan pigmentos ó colores minerales, es decir, óxidos metálicos; pero los que se emplean con la porcelana pueden tener más cuerpo que los usados en la pintura del vidrio, porque no necesitan ser transparentes. Se distinguen colores cuya fijación definitiva sobre la porcelana, ó fusión con el vidriado, reclama la temperatura más elevada del horno; otros que sólo necesitan medio fuego, como se dice, y, por último, otros, aún más fusibles, que se fijan en muflas á la incandescencia roja.

Las materias colorantes más usuales son: la llamada púrpura de oro (mezcla ó combinación de oro metálico finamente dividido y óxido de estaño, que se obtiene por precipitación), para todos los colores desde el rosa hasta el carmín y el violeta; el óxido de hierro para otros matices del rojo, así como para el azul, pardo, amarillo y violeta; el óxido de antimonio con vidrio de plomo para el amarillo pajizo; el óxido de cobalto para el azul; el de cobre para el verde; el de cromo para el amarillo; el de titano para este color, y además para el rojo y el verde; y los óxidos de hierro, manganeso, cobalto é iridio para el negro. Estas materias, en forma de polvo impalpable, es decir, sumamente fino, se diluyen con aceite de alhucema y se aplican con el pincel. Pero no en todos los casos puede emplearse directamente el óxido metálico para obtener el efecto colorante deseado, sino que frecuentemente hay que fundirlo primero con un fundente, produciendo un vidrio, cuyo polvo es el que se diluye y aplica. Como fundentes se emplean diversas materias, tales como vidrios plomíferos, bórax, etcétera, y para el dorado el nitrato básico de bismuto.

Los colores más refractarios son los que se emplean en la pintura debajo del vidriado, y su fijación por medio del fuego se lleva al par que la cochura definitiva de los objetos pintados. en el horno de porcelana ordinario. Pero para fijar las pinturas sobre el vidriado, en las que se emplean colores más fusibles, se usan muflas, es decir, vasijas especiales refractarias, cerradas por todos lados, en las que se colocan los objetos: se hallan sostenidas en medio de un horno,



FIG 245.—Mesa de porcelana de Meissen, pintada por Schnorr.

de modo que las llamas del combustible las calienten por igual, como indica la figura 244. Semejantes muflas varían de dimensiones y forma, según el objeto que están destinadas á contener, y se hacen de arcilla refractaria *(chamotte)*; están provistas de tubos para la salida de los gases que se forman en virtud de la fusión de los colores, tubos que traspasan las paredes del horno y desembocan al exterior, á fin de que no puedan penetrar por ellos en la mufla los gases de combustión que se desarrollan en el hogar.

El hecho de que la mayor parte de los colores empleados en la pintura

sobre porcelana presentan después de la cochura un aspecto enteramente distinto del que ofrecen al tiempo de aplicarlos con el pincel, supone mucha práctica de parte del artista, que tiene que conocer á fondo los diversos efectos que han de resultar del empleo de los colores simples y sus combinaciones. Por esta razón, y también en vista de la lentitud de la operación, toda vez que ciertos colores tienen que fijarse al fuego antes de poder aplicar otros, así como porque, por consideraciones técnicas, las dimensiones de las pinturas son necesariamente muy reducidas, comparadas con las que se producen al óleo sobre lienzos ó en la pintura al fresco; por estos motivos, decimos, es bastante corto el número de artistas de primer orden que se dedican á pintar sobre porcelana. Sin embargo, las célebres fábricas de Meissen y Sèvres cuentan con algunos, como Schnorr de Carolsfeld, á quien se deben, entre otras obras maestras, las pinturas del hermoso jarrón que reproducimos en la fig. 233, y las de una soberbia mesa de porcelana (fig. 245) que causó la admiración del público en general, en la Exposición parisiense de 1867; y Fontenoy, autor del jarrón de Sèvres que representa la fig. 234.



FIG. 246.—Plato de Meissen, con el dibujo dicho «de la cebolla».

El dorado de la porcelana se verifica con oro metálico verdadero, que se precipita de su disolución en agua regia, por medio de ácido oxálico, obteniéndose de esta manera en forma de un polvo sumamente fino, que se mezcla con un fundente como el nitrato básico de bismuto, y se aplica sobre la porcelana con un pincel. También se emplea el oro procedente del batido, ó sean los panes inaprovechables que, como dijimos en otro lugar, se reducen á polvo moliéndolos con miel. Pero el oro metálico sale del fuego sin brillo, y hay que pulimentarlo después sobre la porcelana, por medio del bruñidor. Esto se puede evitar por el procedimiento aplicado primero en Meissen y basado en el empleo de una disolución de sulfuro de oro ú oro fulminante, en bálsamo de azufre (1 de azufre y 6 de aceite de linaza), pues los objetos dorados de esta manera salen del horno con un hermoso brillo. Sin embargo, el dorado que tanto se admira en los productos antiguos de la fábrica de Meissen, no se obtuvo de este modo, sino empleando el oro metálico en cantidad relativamente grande.

Los artistas antiguos chinos y japoneses eran maestros en el arte de pintar sobre porcelana; pero los modernos no han sabido sostener la reputación de sus antepasados, pues las pinturas no son hoy, ni con mucho, tan hermosas como las que se produjeron hace siglos. En China y el Japón se practican procedimientos que nuestros artistas no conocen, ó sólo emplean en casos especiales; entre ellos mencionaremos el esmaltado, ó sea la pintura con pastas fundentes de color, muy espesas, que se destacan en relieve sobre el vidriado, y en especial el esmaltado en mosaico, con campos separados por finas tiritas de latón sujetas sobre la porcelana por medio de una soldadura; luego viene el grabado de la masa de porcelana antes del vidriado, su adorno con barniz de laca, y otros varios que producen efectos muy bonitos.

Entre los dibujos y muestras chinos y japoneses imitados por los primeros fabricantes de porcelana europeos, debemos mencionar dos que siempre hallaron mucha aceptación entre el público y siguen produciéndose hoy lo mismo que hace cien años. Uno, el que se produce exclusivamente en Inglaterra, es el conocido con el nombre de *willow pattern* (diseño ó muestra del sauce) por aparecer un gran sauce llorón en medio de un paisaje japonés, con río, puentes, casitas, figuras, etc., todos pintados en azul sobre fondo blanco; el segundo, que reproducimos en la fig. 246, y se produce sólo en Meissen, es el célebre diseño llamado de la cebolla *(Zwiebelmuster)* también pintado en azul sobre fondo blanco, y, como su congénere inglés, debajo del vidriado. Por estrafalarios que parezcan semejantes dibujos, su rareza y el bonito efecto que en su conjunto producen, explican la aceptación extraordinaria que han encontrado; pues no sólo, como ya dijimos, se siguen fabricando vajillas con dichos dibujos, exactamente iguales á los que se hacían á fines del siglo pasado, sino que, tanto el género inglés como el sajón, se encuentran en todas partes del mundo, imitándose también en loza para los que no pueden permitirse el lujo de comer sobre porcelana.





CAL, CEMENTO, YESO, BARITA

Y

ESTRONCIANA

Abundancia y distribución de la cal en la Naturaleza.—El carbonato de cal y sus aplicaciones.—Calcinación en hornos y preparación del mortero.—Cal hidráulica y cemento.—Su fabricación y aplicaciones.—El yeso: su preparación y aplicaciones.—Barita y estroncíana.

Es la cal una de las materias minerales que más abundan en la Naturaleza; pues si bien en la composición general de la costra terrestre no desempeña un papel tan importante como la sílice, siempre representa, en una forma ó en otra, una parte muy considerable de la misma. Muchos de los minerales más comunes cuentan la cal entre sus componentes esenciales, y en otros muchos se halla en cantidad subordinada, como componente secundario; pero en

forma de carbonato constituye en muchas partes del globo depósitos macizos de una extensión y potencia tales como no los forma ninguna otra materia aislada, sin exceptuar la sílice y la alúmina. Las rocas calizas que se presentan en ciertas regiones cubriendo superficies enormes y con un espesor de miles de metros, ora desapareciendo á nuestra vista en las profundidades de la costra terrestre, ora alzándose en moles gigantescas y confundiéndose con las nubes, no se componen, en esencia, sino de cal y de ácido carbónico.

La piedra caliza común, el mármol, el espato calizo, la aragonita y la creta, no se diferencian, desde el punto de vista de su composición química, pues no son más que manifestaciones ó formas diversas del carbonato de cal. Pero el óxido de calcio, ó sea la cal, se presenta además en la Naturaleza combinado con ácido sulfúrico, en forma de anhidrita, y con dicho ácido y agua formando el yeso, que también constituye depósitos potentes en determinadas regiones; mientras que, en combinación con ácido fosfórico, la cal se presenta á veces en grandes masas en forma de apatita y fosforita, mineral este último que tanto abunda en nuestra provincia de Cáceres.

Todas estas combinaciones naturales de la cal se disuelven, aunque muy lentamente, en agua, bajo determinadas condiciones; y como quiera que, aparte de los enormes depósitos ya referidos, la cal es un componente secundario de muchísimas rocas, se encuentra necesariamente en diversas proporciones, y combinada con uno ú otro de dichos ácidos, en todas la tierras vegetales, las cuales, como saben nuestros lectores, resultan de la descomposición y desintegración superficiales de las rocas. Disuelta en estas tierras por las aguas llovedizas, la cal forma parte de los jugos nutritivos de las plantas, mediante las que se incorpora al reino animal, constituyendo en cierto modo su base y sostén, toda vez que forma la parte principal del esqueleto humano, como del de todos los demás vertebrados, en cuyos huesos se halla combinada con ácido fosfórico. De aquí la importancia de la cal como abono de muchas tierras de labor que sólo la contienen en cantidad mínima.

Por otra parte, mucha de la cal disuelta por las aguas llovedizas, que se infiltran en los terrenos, va á parar á los ríos, y por su medio al océano, en cuyas aguas se encuentra principalmente combinada con ácido sulfúrico. Pero no permanece mucho tiempo disuelta en dichas aguas, pues merced á la actividad vital de millones de millones de organismos marinos, especialmente de los animales de órdenes inferiores, como los moluscos, equinodermos, pólipos (corales) y foraminíferos, la cal resulta eliminada en su mayor parte, pasando de continuo á formar la infinidad de esqueletos rudimentarios y de conchas y caparazones sólidos, que sirven de fortaleza ó protección á los cuerpos blandos de dichos animales. En efecto, todas las conchas marinas, con su infinita variedad de formas, los esqueletos de los asteroideos y los caparazones de equinoideos y crustáceos, lo mismo que el esqueleto ó polípero de los antozoos ó cora-

les, que podemos estudiar á simple vista, y luego las diminutas y delicadas conchitas de los foraminíferos, cuyas formas, tan preciosas como variadas, nos revela el microscopio, todos se componen esencialmente de cal, extraída de las aguas del mar y asimilada por sus animales respectivos, y merced á un proceso orgánico que aún no se ha podido explicar de un modo satisfactorio.

Pero si este hecho, por sí solo, es capaz de excitar la sorpresa de nuestros lectores, ¡cuál no será su asombro cuando añadamos, apoyados en las investigaciones más recientes de los geólogos, que á él se debe, en esencia, la formación de los enormes depósitos de piedra caliza que, como dijimos más arriba, miden en diferentes partes miles y miles de kilómetros cuadrados de extensión superficial, y constituyen elevadísimas cadenas de montañas! Algunos de dichos depósitos calizos han sido formados principalmente por multitud de conchas de moluscos acumulados en el fondo del mar ó sobre las playas durante las edades y trituradas por las olas, ó la presión de depósitos sucesivos; otros deben su origen á los bancos de coral ó á la acumulación de restos de equinodermos; pero á juzgar por las revelaciones de la petrografía microscópica y los hechos sacados á luz por la exploración científica del fondo del Océano (véase tomo III de esta obra, pág. 585), las calizas macizas más potentes, como las de los Alpes y del Jura, así como los enormes estratos de creta en Francia é Inglaterra, se componen esencialmente de restos de foraminíferos. Esto es evidente, á simple vista, respecto de esos inmensos depósitos de caliza numulítica, que se extienden desde los Pirineos por la Europa meridional, el Cáucaso, el Asia Menor, el Himalaya, Sumatra y Borneo, hasta las Filipinas, pues los *numulitos*, que son los gigantes entre los foraminíferos, alcanzan á veces el tamaño de un duro; en cambio los organismos de este orden, cuyas conchas forman la base de la creta y otras rocas, sólo se pueden percibir con ayuda de un microscopio de gran aumento. Con los restos de semejantes seres diminutos se halla construída la mayor parte de la ciudad de París, pues la caliza miliolídea de la cuenca parisiense, que es una piedra de construcción inmejorable, se compone de conchas de foraminíferos microscópicos de la familia de los *miliolídeos*.

Hemos dicho que las rocas calizas, el mármol, el espato calizo, etc., contienen su cal en combinación con ácido carbónico y es seguro que este dióxido de carbono, como hoy se llama más correctamente, aprisionado en todas las calizas de la costra terrestre, representa una cantidad de carbono muy superior á la que contienen los reinos animal y vegetal, más la de toda la turba, lignito y la hulla que se hallan escondidas en la tierra, y aun la que supone el ácido carbónico de la atmósfera, aun cuando atribuyamos á ésta un espesor de cien kilómetros. Pues si todo el carbono de la atmósfera se precipitara de repente en forma de carbón, la capa que formaría en la superficie total del globo apenas tendría un milímetro de espesor; y si todos los animales que viven actualmente

sobre la tierra, en las aguas y en el aire, así como todas las plantas, se aniquisen, repartiéndose por igual sobre el globo el carbono que contienen, tampoco resultaría una capa de más de un milímetro de grueso, puesto que, según Liebig, una hectárea de terreno, aunque esté cubierta de arbolado ó de hierba, no produce más de 2.000 kilogramos de carbón al año, lo que equivale á una capa igual de $\frac{7}{25}$ de milímetro sobre toda la superficie terrestre. En cuanto al carbono contenido en la tierra en forma de carbones fósiles, aun cuando representara el doble del de los organismos vivientes, sólo daría una capa de dos milímetros; de modo que, en suma, el espesor total del carbón que hemos supuesto cubriendo el globo, no pasaría de cuatro milímetros, ni excedería su peso de treinta y tantos billones de quintales métricos. En cambio, considerando que cada quintal de carbonato de cal contiene la octava parte de su peso de carbono puro, se comprenderá bastaría cubrir toda la tierra con una capa de 2,5 centímetros de caliza para tener reunido en ella tanto carbono como el que existe en los reinos animal y vegetal, y en la atmósfera; y cualquiera que se halle instruído respecto de la composición de los minerales y las rocas, reconocerá que la cantidad de carbono que resulta de nuestro cálculo representa no más que una fracción ínfima de la que realmente existe en la tierra.

APLICACIONES DE LA CAL

Es natural suponer, dadas las múltiples necesidades del hombre, que una materia tan abundante y de propiedades físicas y químicas tan útiles como la cal, se utilice de diversas maneras; y, en efecto, son muchísimos los usos á que se aplica en una ú otra forma. Muchas calizas comunes se emplean desde tiempo inmemorial como piedras de construcción, tal como salen de las canteras, ó bien labradas, y no necesitamos recordar, sobre todo después de lo referido en el tomo III de esta obra, el papel importante que desde la antigüedad han venido desempeñando los mármoles en la escultura y la arquitectura. También recordarán nuestros lectores que la caliza litográfica y la creta son materias muy apreciadas por grabadores y dibujantes. Por otra parte, la calcita ó espato calizo, cristalizado y transparente, sobre todo la variedad llamada espato de Islandia, cuya doble refracción de la luz es muy marcada, es de gran utilidad para el físico en determinadas investigaciones ópticas. En las industrias químicas el carbonato de cal halla su aplicación principal en la fabricación del carbonato de sosa, como veremos más adelante, y además para la eliminación del ácido sulfúrico en la fabricación de la glucosa ó dextrosa (azúcar de uva), empleándose también en la producción de los ácidos tártrico, cítrico, butírico y otros. Asimismo el sulfato de cal, ó sea el yeso, halla empleo en su estado natural.

Pero en vista de ciertas aplicaciones, ambas materias naturales, esto es, el carbonato y el sulfato de cal, ó, lo que es lo mismo, la caliza y el yeso, se someten á un tratamiento especial, en cuya virtud se modifica su composición química: en una palabra, se calcinan; la caliza, para privarla de su ácido carbónico y convertirla en óxido de calcio, ó cal viva; el yeso, para eliminar el agua que contiene químicamente combinada, y cuya cantidad equivale al 21 por 100. La caliza y el yeso calcinados tienen propiedades especiales, que aumentan notablemente su utilidad. Ninguna de las demás tierras, químicamente hablando, es susceptible de tantas aplicaciones como la cal viva ú óxido de calcio: como componente principal del mortero ó mezcla, es una materia indispensable para las construcciones formadas con obra de piedra ó ladrillo; en la agricultura se emplea para abonar las tierras, sirviendo de alimento para las plantas; la industria química lo necesita para la producción de cloruro de cal, clorato de potasio y amoniaco; en lugar de la creta, se usa también en la fabricación de los ácidos tártrico, cítrico, acético y oxálico; el tintorero lo emplea en la preparación del azul de añil con sulfato de hierro, y el curtidor para pelar y desengrasar las pieles. En la fabricación del gas del alumbrado se encarga la cal viva de eliminar el ácido carbónico que disminuye el poder luminoso de dicho gas, y en la del azúcar de remolacha promueve la clarificación del jugo exprimido; y si además de las aplicaciones ya mencionadas recordamos las grandes cantidades de cal que se emplean en los establecimientos metalúrgicos para formar escorias y facilitar la fusión de las menas, así como en la fabricación del vidrio, habremos mencionado los usos principales, pero estamos lejos de haber agotado la lista de los servicios que nos presta la cal. Los del yeso, en cambio, con ser importantes, no son tan variados; pero nos ocuparemos de ellos más adelante, después de tratar de la producción do la cal viva, del mortero y del cemento.

CALCINACIÓN DE LA CALIZA

El carbonato de cal se presenta con frecuencia en la Naturaleza en la forma apropiada para la calcinación á que, como dijimos más arriba, es preciso someterlo en vista de determinadas aplicaciones técnicas. Todas las formaciones geológicas contienen depósitos calizos, desde las rocas arcaicas con sus mármoles blancos, que se consideran como productos del metamorfismo, hasta las calizas compactas del sistema jurásico y los menos consistentes de los terrenos terciarios. Y basta con estas indicaciones, puesto que nos hemos ocupado ya de las rocas útiles en el tomo III de esta obra.

Pueden someterse á la calcinación las calizas más diversas, para probar las cuales basta mojarlas con un ácido mineral fuerte, como el muriático ó clorhídrico. La efervescencia producida demuestra la presencia del ácido carbónico,

que en este caso resulta desalojado de su combinación con la cal, merced á la acción del ácido más fuerte; se produce muriato de cal, ó, mejor dicho, cloruro de calcio y agua, mientras que el ácido carbónico se esparce por el aire. En semejante caso, la cal ú óxido de calcio, no se pone en libertad, sino que cambia solamente de compañero; pero en la calcinación de la caliza, y merced á la acción enérgica del calor, se verifica una simple separación de los dos componentes, sin que dicho óxido tenga ocasión para combinarse con otra materia. En este caso enviuda, digámoslo así, la cal, pierde su ácido carbónico y se queda sola, con propiedades muy distintas de las que tenía la caliza antes de calcinar; se convierte en lo que llamamos «cal viva», una materia corrosiva, dispuesta á reunirse ó combinarse nuevamente, ora sea con ácido carbónico, ora con sílice, y que se contenta por el pronto con el agua; y en esta disposición estriba la eficacia y el valor de la cal en el mortero, ó, como vulgarmente se dice, la mezcla empleada en las construcciones.

Para expulsar el ácido carbónico de la caliza ó carbonato de cal, es necesario que la calcinación tenga lugar en condiciones que permitan el escape libre de dicho gas. Si la piedra se calienta en tubos cerrados, acaba por entrar en fusión, y después de enfriada la masa ostenta una estructura cristalina; de lo que se deduce que ciertos mármoles arcaicos se han producido por metamorfosis de calizas compactas ordinarias, mediante la influencia de una temperatura elevada, combinada con una fuerte presión desde el exterior, que impidió el desprendimiento del ácido carbónico. Es verdad que al caldear la caliza en un tubo cerrado, se desprende parte del ácido carbónico, pero nada más que la cantidad que pueda acumularse dentro del tubo, hasta producir cierta tensión que impide que la descomposición del carbonato siga su curso; semejantes tensiones pueden haberse producido fácilmente en el interior de la tierra, en el caso referido de la formación de aquellos mármoles. Una vez expulsado todo el ácido carbónico, el óxido de calcio puro que queda, ó sea la cal viva, no sufre alteración alguna, por fuerte que sea el calor á que se someta, porque es infusible; de aquí su empleo en la formación de crisoles especiales, destinados á la fusión del platino y otros metales refractarios. La cal viva es de propiedades esencialmente básicas, en las que estriba su utilidad técnica, como tendremos ocasión de exponer más adelante.

La calcinación de las calizas se verifica en montones ó caleras al aire libre, como la de las piritas en las teleras, ó bien en hornos fijos, de construcción especial. El primer procedimiento, ó sea la quema en montones, sólo se adopta para cubrir necesidades pasajeras y cuando el carbón ó la leña menudos se pueden adquirir á bajo precio. El montón se levanta generalmente inmediato á la cantera, apilando la piedra sobre una serie de canales radicales dispuesta sobre el terreno con losas ó ladrillos. El combustible se distribuye en los canales y entre las piedras del montón, cuya superficie externa se cubre con una capa

de arcilla ó barro; el fuego se prende por las bocas de los canales, y la calcinación dura de tres á cinco días.

Los hornos empleados en la calcinación de la caliza varían de construcción, según que la operación sea periódica ó continua. Los hornos periódicos (que también llamamos «caleras»), es decir, en los que hay que suspender la calcinación mientras se descargan y vuelven á cargar, reciben la forma de anchos hornos de cuba, de corta elevación, y de sección circular ú oval, en cuya parte inferior se reserva un hogar, formando una bóveda irregular con gruesas piedras calizas, sobre la que se echa la carga hasta llenar por completo la cuba. El fuego se enciende en el hueco del hogar; primero, con támaras ó leña menuda, á fin de secar y calentar gradualmente toda la carga, para que las piedras no salten luego y se reduzcan á polvo, y después se sostiene con un combustible más fuerte (leña ó carbón mineral) hasta que las piedras superiores de la carga llegan á la incandescencia blanca. Esto se consigue, por regla general, al cabo de treinta y seis á cuarenta y ocho horas, durante cuyo tiempo el contenido del horno pierde la sexta parte, próximamente, de su primitivo volumen, en virtud de la expulsión del ácido carbónico, el cual escapa por el tragante ó parte superior del horno, donde, y merced á los gases de la combustión, se producen llamas como en los altos hornos. La calcinación ofrece la ventaja de evitar las descargas y cargas repetidas, y, por consiguiente, el enfriamiento periódico del horno, y supone, por lo tanto, una economía notable de combustible, siendo el procedimiento más racional y conveniente, siempre que se trate de la producción regular de grandes cantidades de cal viva. La construcción de los hornos continuos varía, según que se carguen con capas alternas de caliza y combustible, ó que la carga se componga de piedra solamente, que en su descenso entra en contacto con las llamas procedentes de hogares distribuídos en torno del horno. No nos detendremos á considerar los primeros, porque se emplean poco, en vista de que los segundos permiten un aprovechamiento mucho mejor del combustible.

La fig. 247 representa, en sección vertical, un horno continuo del último de los sistemas nombrados, tal como se emplea todavía en muchas partes, aunque no es de los más modernos: la cuba circular y ligeramente cónica, está formada por las paredes *dd* y *ee*, entre las que queda un espacio que se rellena con cenizas· esta disposición es muy conveniente, porque deja cierto juego para la dilatación de las paredes, y porque facilita las reparaciones que se hacen necesarias en la camisa interior. En torno de los muros referidos suele levantarse uno más inclinado, *A A*, que presta desde luego mayor solidez á la construcción, pero que no tiene realmente otro objeto que el de crear diferentes espacios, *H*, *F*, etc., para secar y almacenar el combustible y la caliza, así como para poner á cubierto á los operarios. Los hogares, *h*, se encuentran, en número de tres ó cinco, distribuídos alrededor de la cuba, á unos cuatro metros sobre su piso *B*, ó sea á la altura indicada en el grabado por la letra *C;* las llamas del combustible

penetran en el interior de la cuba por aberturas *(b, l)* reservadas en sus paredes, y debajo de cada hogar se encuentra un cenicero, *i*, que comunica con el espacio *E*. Al iniciarse una campaña en semejante horno, se rellena la cuba con leña hasta el nivel de los hogares *(C)*, y se deja arder sola, con el único objeto de caldear bien el horno, antes de empezar la calcinación, promoviendo así el tiro ulterior. Caldeado el horno, se llena la parte inferior de la cuba, hasta *D*, con caliza ya calcinada, ó sea cal viva en trozos ó terrones grandes, se enciende fuego de carbón mineral en los hogares, y se carga el horno con caliza cruda hasta el tragante; cuando la parte inferior de la carga se halla candente, se retira la cal viva, antes referida, por la abertura *a*; de modo que, á medida que prosigue la calcinación, va bajando gradualmente la carga, retirándose al inferior el producto y echando por el tragante la cantidad correspondiente de caliza cruda. La cuba tiene una elevación de 10 á 12 metros. Como se comprende, pues, la calcinación en semejante aparato puede continuar sin interrupción todo el tiempo que se quiera, mientras no se produzcan desperfectos de consideración en la cuba ó en los hogares.

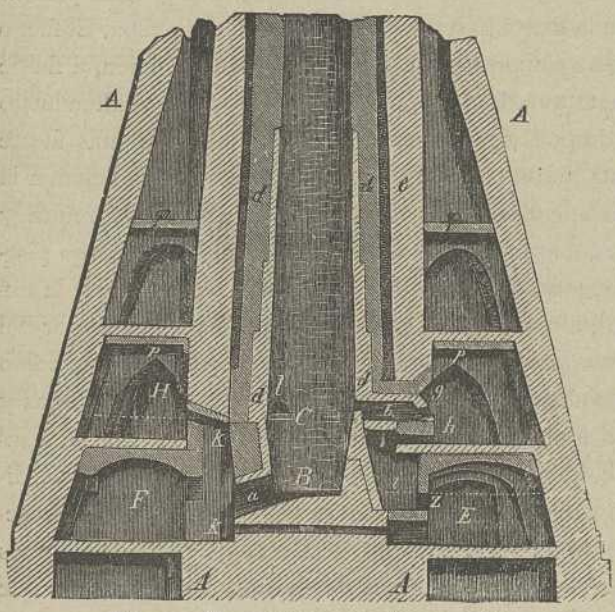


FIG. 247 —Horno continuo para calcinar la caliza.

Pero en los últimos años se han modificado y perfeccionado notablemente los hornos continuos destinados á la calcinación de la caliza, aplicando á este procedimiento los principios introducidos en la cochura de los ladrillos, que expusimos en un capítulo anterior. Se producen actualmente enormes cantidades de cal viva en hornos anulares y de canal, análogos á los descritos al tratar de ladrillos, y en los cuales, merced al calentamiento previo del aire y de la carga, resulta una gran economía de combustible y un producto mucho más uniforme. También se recomiendan mucho los hornos de diversa construcción (principalmente de la clase de los de cuba), basada en el empleo de combustible gasiforme, y entre los que merecen nombrarse los de *Steinmann*, *Nehse*, *Ponsard* y *Swan*.

Hemos dicho que para la producción de la cal viva se pueden emplear calizas muy diversas; pero como no todas tienen la misma composición química, ó,

mejor dicho, como contienen con frecuencia materias extrañas que por sí, ó en virtud de su mezcla con el óxido de calcio, resultan en el horno más ó menos fusibles, es evidente que puede variar bastante en calidad el producto de la calcinación. El carbonato de cal puro da una cal viva que, después de apagada y mezclada con agua, forma una papilla grasa. Pero la caliza contiene muchas veces carbonato de magnesia, aproximándose más ó menos, por su composición, á la dolomia, una roca compuesta de los carbonatos de cal y de magnesia en proporciones equivalentes. Semejante caliza, cuando contiene del 20 al 25 por 100 de carbonato magnésico, es inútil para la producción de la cal viva, pues la que se obtiene por su calcinación carece de las buenas propiedades del producto puro, resultando demasiado magra, como se dice. Un contenido de sílice en la caliza es también muy perjudicial, porque el silicato de cal que se forma entonces, se convierte en el horno en un vidrio fusible, que tiende á producir la aglomeración de toda la carga, dando un producto que luego no se deshace con agua.

Para muchas aplicaciones técnicas se necesita emplear la cal viva en forma de una papilla ó lechada más ó menos líquida, á cuyo efecto se apaga, como suele decirse, y se mezcla con agua. Al salir del horno, la cal viva está completamente libre de ácido carbónico y de agua; pero tiene respecto de esta última una gran afinidad, en virtud de la cual forma con ella una combinación química que llamamos hidrato de cal ó hidróxido de calcio; al asimilarse el agua de combinación, la cal aumenta en volumen, se hincha ó crece, como se dice. Para apagar la cal viva no se debe sumergir en agua, sino rociarla gradualmente con ella; cien partes de cal viva se asimilan unas 32 de agua, durante cuya combinación la masa se calienta de un modo considerable, reduciéndose los terrones á un polvo fino y enteramente seco, el que se mezcla entonces con el agua necesaria para producirse la pasta líquida ó papilla, tal como se emplea en hacer el mortero ó mezcla.

MORTEROS Ó ARGAMASAS

El mortero ó argamasa que se emplea por lo común para unir las piedras ó los ladrillos en las construcciones, así como para el revestimiento exterior, jaharro ó enfoscado de la obra de mampostería, y que vulgarmente se llama «mezcla», se prepara con cal viva apagada y mezclada con agua, y arena limpia, amalgamadas entre sí lo más intimamente posible.

Aun cuando una papilla de cal apagada de buena calidad, al secarse bajo una presión moderada, resulta bastante dura, no basta la cal por sí sola para hacer las veces del mortero; es necesario la presencia de la arena, tanto para aumentar las superficies de contacto de la cal, promoviendo su adhesión á las piedras ó los ladrillos que el mortero está destinado á unir, como para hacer

éste más poroso y facilitar, por lo tanto, que penetre en su masa del ácido carbónico preciso para su endurecimiento. Al principio sólo se produce la consolidación consiguiente á la evaporación de la humedad y la presión de las piedras de la obra, quedando por el pronto el mortero en estado más ó menos blando y desmoronadizo; su endurecimiento, propiamente dicho, se efectúa con mucha más lentitud, y es un proceso químico, cuyo progreso depende de la cantidad de ácido carbónico que pueda penetrar en la masa en un tiempo determinado; vuelve á formarse carbonato de cal, es decir, la misma materia cuya calcinación produjo antes la cal viva, desalojando gradualmente el ácido carbónico el agua con que se combinó químicamente la cal al tiempo de apagarse. De aquí la humedad que se desprende de las paredes de casas recien construídas y habitadas: no procede dicha humedad, como vulgarmente se cree, del agua que se mezcla mecánicamente con la cal y la arena para formar el mortero, la cual se evapora pronto durante la construcción misma, sino del agua químicamente combinada del hidróxido de cal y expulsada por el ácido carbónico que la sustituye; esta expulsión es tanto más activa, y por consiguiente la humedad tanto mayor, al principio, cuanto mayor sea el número de personas que ocupen la casa, pues el hombre espira de continuo ácido carbónico, y merced á esta circunstancia el proceso químico en cuestión, en el seno del mortero, procede más rápidamente que si solo se tratase de aire puro.

Sin embargo, las habitaciones húmedas son muy perjudiciales para la salud de los inquilinos, y en vez de dejar que éstos contribuyan sin saberlo y con la exposición consiguiente á la consolidación de sus viviendas, es decir, del mortero de las paredes que les rodean, es muy preferible activar, por modo artificial, la sustitución del agua de combinación por el ácido carbónico, y de hecho sucede esto hoy en todos los países más adelantados. Terminada la construcción de una casa y colocadas las puertas y ventanas, pero antes del empapelado y decorado de las habitaciones ó piezas, se coloca en cada una de éstas un gran brasero ó una pequeña estufa llena de carbón vegetal ó de cok encendido, pero sin comunicación con chimenea alguna, y se cierra entonces la casa lo más completamente posible; la atmósfera interior se carga con el ácido carbónico resultante de la combustión incompleta de dichas materias, se ventila de cuando en cuando, creando corrientes, para alejar el aire saturado de humedad, y de este modo la expulsión del agua de combinación del mortero se verifica en tantos días como años necesitaría por la vía natural.

Empero el endurecimiento definitivo del mortero supone, en muchos casos, otro factor, otra afinidad química, cuya acción es muchísimo más lenta que la del proceso ya descrito: nos referimos á la afinidad entre la cal y la sílice de los granos de arena, merced á la cual se forma en la superficie de éstos una delgada capa de silicato de cal, que los une con fuerza unos con otros, contribuyendo poderosamente á que el mortero se convierta, andando el tiempo, en

una masa de la consistencia y dureza de la arenisca. Se aduce á veces la gran solidez de las vetustas obras romanas y árabes, en prueba de que antiguamente se sabía preparar el mortero mejor que hoy, pero esto es un error: la dureza mayor de un mortero antiguo, comparada con la de uno moderno, se debe sencillamente á que los dos procesos químicos referidos, esto es, la formación del carbonato y del silicato de cal, se han efectuado en aquél más completamente que en éste, porque han tenido mucho más tiempo para consumarse. De lo dicho, pues, se desprende claramente la utilidad de la arena que se añade á la cal para formar el mortero, y que la proporción de arena debe graduarse de modo que los granos resulten envueltos por una delgada lechada de cal, que los bañe todos completamente, sirviendo de medio de unión entre ellos, á fin de que resulte una masa tan sólida como la piedra misma. En las obras, ésta toma la forma de los huecos ó intersticios que quedan entre las piedras ó los ladrillos, rellenándolos perfectamente, y uniendo entre sí las diferentes piezas; y si el mortero se ha preparado convenientemente, la solidez de la obra misma debe equivaler al término medio entre la del cuarzo (arena) y la de la combinación acarbonatada y silícea en que, con el tiempo, se convierte la cal.

Sin embargo, la formación en el mortero del silicato de cal, de que acabamos de hablar, no es una regla sin excepción, y depende, al parecer, de circunstancias especiales; pues el análisis químico de morteros de diferentes tiempos ha revelado el hecho de que á veces dicho silicato se ha formado en morteros recientes, mientras que falta casi por completo en otros muy antiguos. De esto se sigue que la función de la arena en el mortero no consiste únicamente en proporcionar la materia para semejante combinación química, sino también en que es de naturaleza física, como dijimos en el principio. Réstanos sólo añadir que, por regla general, se mezclan con cada metro cúbico de pasta de cal apagada de la mejor calidad, de tres á cuatro metros cúbicos de arena pura, mientras que sólo se toman de un metro á metro y cuarto de arena por metro cúbico de pasta de cal, si ésta es magra ó de calidad inferior, es decir, si contiene arcilla y magnesia.

CAL HIDRÁULICA Y CEMENTO

Existen en la Naturaleza calizas margosas, margas simples y margas dolomíticas; es decir, rocas que se componen de carbonato de cal en cantidad predominante, y de arcilla ó carbonato de magnesia, las cuales, después de calcinadas y mezcladas con agua y arena, tienen la propiedad de endurecerse más ó menos rápidamente bajo el agua; propiedad que les ha valido la denominación de *cales hidráulicas*, y que es de tanta importancia para las construcciones que que se ejecutan debajo del agua.

Pero se puede convertir una cal cualquiera en cal hidráulica mediante la

añadidura de las materias adecuadas y convenientemente preparadas, y el producto se llama entonces *cemento*. Ciertas regiones volcánicas ó de origen volcánico, como los alrededores de Nápoles, la isla griega de Santorin, y otras comarcas de Alemania y Hungría, ofrecen semejantes materias, preparadas ya por la Naturaleza, en forma de tufas traquíticas y pumíticas (de piedra pómez), terrosas, que basta mezclar con una cal ordinaria, apagada, para lograr la propiedad consabida; y, en efecto, se utilizan desde antiguo con tal objeto la *puzzolana*, de Nápoles, la llamada *tierra de Santorin*, y el *trass*, del Eifel. Los cimentos correspondientes se llaman naturales, en contraposición á los artificiales, que hoy son objeto de una fabricación en grande, la cual comprende la preparación conveniente, no sólo de la cal, sino también de los demás componentes.

«Existe, dice Vitruvio,—el célebre ingeniero militar romano de los tiempos de César y Augusto,—una especie de polvo que produce efectos notables; se encuentra en la región de Bajae y cerca de las poblaciones en torno del Vesubio. Mezclado con cal, este polvo no sólo contribuye á la solidez de los edificios, sino, lo que es más singular, consolida también las construcciones en el agua; los diques hechos con él en el mar se consolidan tan rápidamente y son tan resistentes, que desafían el poder de las olas.» Este polvo, ó *pulvis Puteolanus*, como le llamaba Vitruvio, es un producto volcánico que se encuentra todavía en la región de Nápoles, especialmente en Puzzuoli, de donde procede el nombre de *puzzuolane* que le dan los italianos; y, como en tiempos de los antiguos romanos, se mezcla hoy con cal y se emplea en las construcciones hidráulicas. Tanto por los escritos de Vitruvio como por los de Plinio, conocemos los materiales que empleaban los romanos en sus construcciones, así como sus modos de prepararlos, que revelan conocimientos no escasos; y á éstos se debe el hecho de que, en el siglo III de nuestra Era, supieran aprovechar la tufa del Eifel, en la Prusia Rhenana, que desde últimos del siglo XVII, y bajo el nombre de *trass*, se ha vuelto á utilizar de la misma manera que la puzzolana, para formar un cemento natural. Pero los romanos nunca indagaron la verdadera causa del endurecimiento de sus cementos, y hasta la segunda mitad del siglo pasado se hallaba la causa envuelta en el misterio.

El año 1756 dióse principio á la reedificación del faro de Eddystone, en la bahía de Plymouth (Inglaterra), que acababa de destruir un incendio, y el ingeniero *Smeaton* tuvo ocasión, con tal motivo, de examinar detenidamente varias calizas, cuya propiedad hidráulica, después de calcinadas, era conocida, llegando á la conclusión de que la causa de dicha propiedad residía en la arcilla que contenían aquellas calizas. Varios químicos se ocuparon después del asunto, y en 1813 *Collet Descostils* descubrió en la cal hidráulica de Senonches (Francia) una cantidad relativamente grande de una sustancia, al parecer silícea, á la que atribuyó á su vez la causa en cuestión. En 1818 el ingeniero *Vicat* se propuso averiguar si no se podría producir artificialmente una cal hidráulica como

la de Senonches; y aunque no procedió científicamente, como hoy se haría, analizando primero este producto natural y obrando luego por síntesis, sino que se limitó á la vía puramente empírica, tuvo la fortuna de mezclar carbonato de cal puro (creta) con arcilla en tan buenas proporciones, que después de calcinada la mezcla, resultó un producto hidráulico superior aún á la cal de Senonches. Seguidamente se montaron en París varias fábricas para la producción de la cal hidráulica artificial; pero Vicat, pensando que debieran hallarse en la Naturaleza productos análogos, tuvo la paciencia de recorrer toda Francia durante doce años, en cuyo tiempo descubrió más de 900 depósitos de cales hidráulicas, careciendo de ellas tan sólo seis ó siete departamentos ó provincias. Hasta entonces, Francia había sido tributaria de Italia y la región del Eifel para las materias á propósito para hacer cemento; pero desde los descubrimientos de Vicat cesaron de pronto importaciones tan costosas, y bajo la dirección de este ingeniero se ejecutó una serie de obras hidráulicas importantes: canales, puertos, puentes, viaductos, etc. La economía que resultó para el Erario se contaba por millones, pues según Arago, las construcciones hidráulicas costaban cerca de la mitad menos que cuando había que importar el trass y la puzzolana; calculándose que, hasta el año 1845, Francia se había ahorrado más de 69 millones de francos. Era, por tanto, justísimo que, en recompensa de tan señalado y patriótico servicio, el Parlamento francés concediera á Vicat, como lo hizo en 1845, una pensión vitalicia de 6.000 francos anuales.

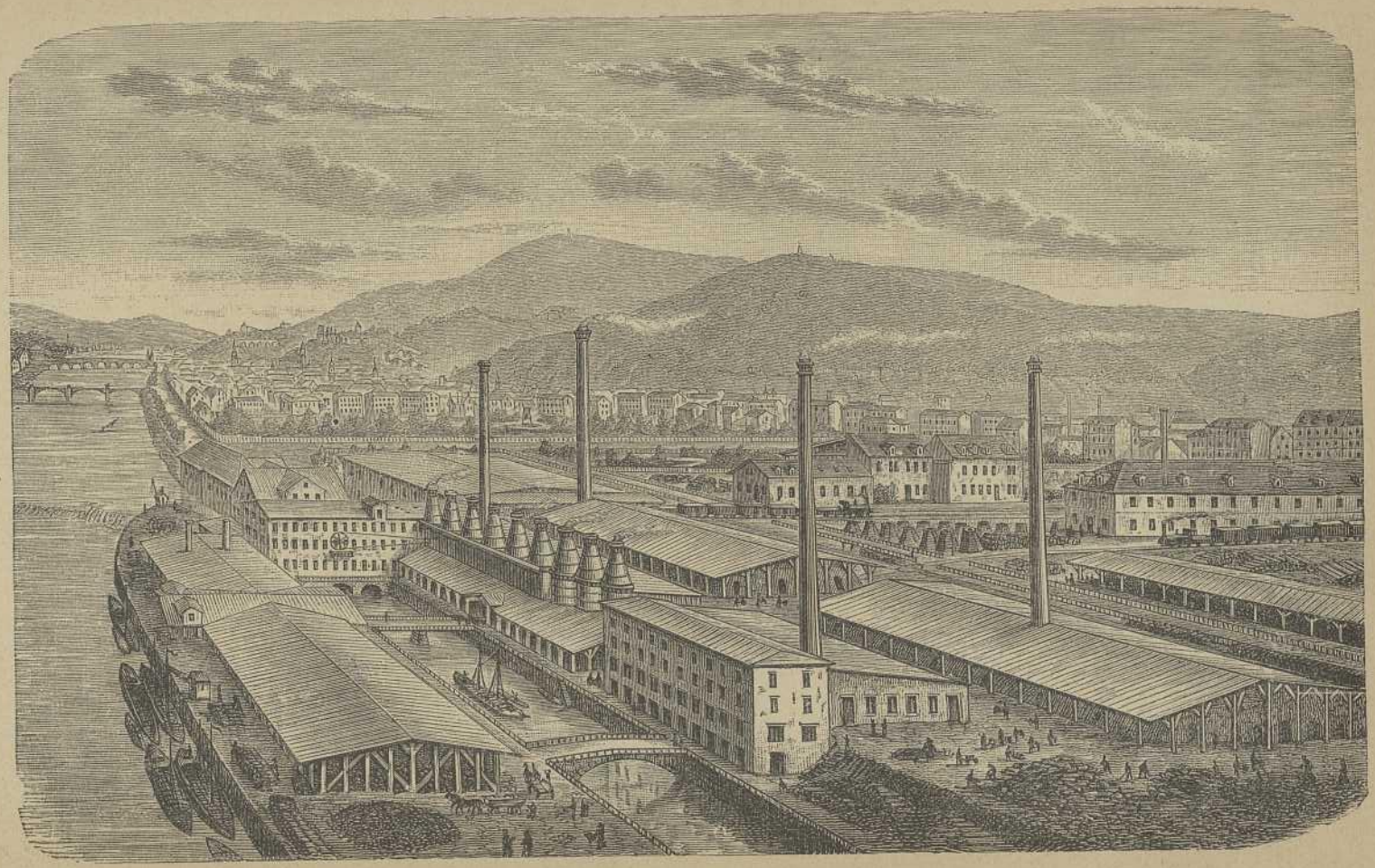
Mas si Vicat resolvió de tan brillante modo la cuestión práctica de las cales hidráulicas, la resolución de la cuestión científica, esto es, la causa de su propiedad especial, se debe al profesor *Fuchs*, de Munich. Es verdad que en 1822 Berthier había indicado la importancia de la sílice en las cales hidráulicas; pero en dos escritos publicados en 1832, que exponen todos los resultandos y considerandos del problema en vista de prolijas investigaciones propias, Fuchs demuestra claramente que la causa del endurecimiento de la cal hidráulica reside: primero, en una modificación de la sílice insoluble de la arcilla, promovida por la calcinación, y merced á la cual dicha materia se vuelve soluble; y segundo, en su combinación química con la cal libre y cierta cantidad de agua, con las que forma silicatos hidratados. Las investigaciones posteriores de Rivot, Michaelis, Winckler, Kapp y otros químicos han modificado algo las consecuencias sacadas por Fuchs, de modo que hoy debemos decir que la causa del endurecimiento de las cales hidráulicas y los cementos debajo del agua se debe á la asimilación química de este líquido por la masa, de la que resulta un silicato hidratado de alúmina y cal, ó, como diría el químico moderno, un hidrosilicato de aluminio y calcio; la presencia de pequeñas cantidades de álcali (potasa y sosa) parece facilitar la formación de este silicato doble.

Entretanto, el inglés *Parker* había sacado, en 1796, un privilegio de invención para la fabricación de un cemento artificial con las llamadas *septarias*, ó

sean concreciones calizo-arcilloso-ferruginosas que se encuentran diseminadas en el inmenso depósito de arcilla de la cuenca de Londres. El producto, al que se dió el nombre de *cemento romano*, en recuerdo de los cementos antiguos, era entonces superior á todas las cales hidráulicas conocidas, y halló gran aceptación en toda Europa, habiéndose empleado en la construcción de muchas y muy importantes obras hidráulicas, como el túnel debajo del Támesis, los «Docks» de Londres, etc. Las concreciones calcáreas se hallaron pronto en otras partes del país, y no tardaron en producirse diversos cementos, más ó menos parecidos al llamado romano. En Francia, y después del feliz ensayo de Vicat, se desarrolló la fabricación de un cemento compuesto de creta de la cuenca de París, pedernal pulverizado y arcilla; pero pronto dejó en la sombra á este cemento francés un producto, también artificial, que en 1824 empezó á fabricar *Aspdin* en Leeds (Inglaterra), bajo la denominación de *Portland cement* (cemento Portland), nombre que le valió su color, que recuerda el de la célebre piedra de construcción de Portland. Desde entonces, é imitando á los ingleses, que pronto llevaron la fabricación del cemento Portland á la mayor perfección en diferentes puntos de su país donde se encontraron materiales á propósito, los alemanes, franceses y suizos han desarrollado dicha industria en sus respectivos países, produciendo actualmente cementos artificiales tan buenos como los ingleses; y dicho se está que la fabricación tiene lugar también en grande en los Estados Unidos.

Para dar á nuestros lectores una idea de la importancia de una industria que, por desgracia, es completamente desconocida en España, aunque por cierto no faltan aquí los materiales, diremos únicamente que en las obras de canalización de la ribera meridional del Támesis, al Este de Londres, que se ejecutaron en los años 1859 á 1865, se emplearon la friolera de 361.600 toneladas de cemento Portland; y que en Alemania, donde existen actualmente unas cuarenta fábricas de dicho cemento, su producción se eleva á unos tres millones de barriles al año, ó sean (á razón de 170 kilogramos por barril) unos 500 millones de kilogramos; sin hablar de las grandes cantidades de cales hidráulicas que allí, lo mismo que en Francia, Inglaterra, Suiza y Austria, se entregan anualmente á los mercados. Nuestra lámina XIX ofrece la vista general de una de las principales fábricas de cemento Portland, ó sea la de Schifferdecken é hijos, en Heidelberg, á orillas del Neckar. En honor de la verdad, y por más que no hemos progresado aún en España hasta la fabricación del cemento, debemos añadir que la preparación dela cal hidráulica en nuestro país se ha desarrollado mucho en los últimos años, siendo los principales puntos de producción Novelda (Alicante) y Zumaya (Guipuzcoa).

La calcinación de las calizas hidráulicas naturales se verifica en hornos continuos de diferentes sistemas, iguales ó parecidos á los que hoy se emplean para la de las calizas comunes. La experiencia ha demostrado que las margas cuyo contenido en arcilla se eleva á 22 ó 25 por 100, son las que se calcinan más



Fábrica de cemento Portland, de Schifferdecker, en Heidelberg (Baden).

fácilmente, dando el mejor producto. Margas que contienen menos del 20 por 100 de arcilla tienen que calcinarse lentamente, y no demasiado, á fin de que la cal y la sílice no se combinen durante la operación, sino que quede más bien en la masa un poco de ácido carbónico; en cambio, las margas que contienen el 30 por 100 ó más de arcilla, deben calcinarse rápidamente y á una temperatura más elevada. El modo de calcinar, y por consiguiente el sistema de horno y el combustible que conviene emplear, dependen, pues, del contenido de la materia bruta en arcilla, que es preciso determinar de antemano por medio del análisis químico. Pero también se utilizan hoy ciertas dolomias y margas dolomíticas, desde que se observó que también la magnesia tiene propiedades hidráulicas. Sin embargo, en su calcinación hay que proceder con precaución, manteniendo la temperatura del horno al grado relativamente bajo que basta para descomponer el carbonato de magnesia; pues si se eleva el calor hasta el punto necesario para expulsar el ácido carbónico del carbonato de cal, el producto que se obtiene carece de dicha propiedad hidráulica.

Como quiera que la composición de las calizas arcillosas ó margas varía muchísimo, es evidente que debe variar también mucho la composición, y, por tanto, la calidad de las cales hidráulicas que resultan de su calcinación. Por esto, y porque los mejores productos del género responden, con cortas diferencias, á una combinación típica de sus diversos componentes, se hace preciso, en la mayoría de los casos, someter las calizas arcillosas á una preparación mecánica, ó bien á una mezcla previa, con el fin de aproximarlas lo mejor posible á dicha combinación. Pero por la misma razón, si en vez de modificar la composción de las margas naturales mediante dicha preparación, se procede desde luego, sobre la base del análisis químico, á mezclar los diversos componentes en proporciones determinadas, es evidente que se obtendrá un producto de composición constante, y por ende de calidad superior. De aquí la fabricación de los cementos artificiales conocidos genéricamente con el nombre de *cemento Portland*, que se aplica hoy tanto á los productos alemanes, franceses y suizos como á los ingleses.

Para que tengan nuestros lectores una idea de la composición de semejantes cementos, reproducimos á continuación los resultados del análisis de dos de los mejores; el uno inglés (I) y el otro alemán (II); composición que sirve de norma para su fabricación, es decir, con arreglo á la cual se mezclan las materias brutas.

	I	II	
Cal (óxido de calcio)	59,06	62,81	por 100
Sílice	24,07	23,22	—
Alúmina	6,92	5,27	—
Oxido de hierro	3,41	2,00	—
Magnesia	0,82	1,14	—
Potasa y sosa	1,60	1,27	—
Sulfato de cal	2,85	1,30	—
Arena	1,47	2,54	—

Las materias primeras, ó brutas, para la fabricación del cemento Portland son la caliza y la arcilla, pudiendo emplearse cualquier caliza cuya composición química, cualitativa como cuantitativa, sea determinada ó constante, y cuya naturaleza física (dureza, compacidad, etc.), permite su arranque y elaboración en condiciones económicas. Esta última condición es de importancia, porque la calidad del cemento depende en gran manera de la mezcla íntima de sus componentes, y, por consiguiente, es preciso reducir la caliza á finísimo polvo. En cuanto á la arcilla, conviene que contenga poca ó ninguna sílice libre en forma de arena, y que su contenido en alúmina no sea excesivo, porque entonces resulta demasiado refractaria. Como se desprende de los análisis referidos, son beneficiosas para la fabricación del cemento las pequeñas cantidades de hierro, magnesia y álcali que contienen las arcillas.

La preparación mecánica de las materias brutas es de la mayor importancia en la fabricación del cemento Portland, pues de la finura del polvo y de la intimidad de la mezcla depende en gran parte el éxito de la misma. Los quebrantadores, trituradores, molinos y desintegradores de diversos sistemas desempeñan sucesivamente un papel importante en la pulverización de la caliza, que, en último término, se reduce casi al estado de harina fina; entran también en juego, especialmente para limpiar la arcilla de mezclas extrañas, tambores clasificadores y aparatos de levigación; y para la mezcla íntima de la caliza y la arcilla pulverizadas y purificadas, en las proporciones necesarias, se emplean cilindros rotatorios de madera ó palastro, provistos de paletas metálicas dispuestas en forma de hélice. Con la mezcla obtenida de este modo se forman ladrillos en una máquina, y éstos se secan al aire libre ó en locales construídos al efecto, y en los que se aprovecha el calor de los hornos de calcinación ó de otra fuente cualquiera existente en el establecimiento.

La calcinación de los ladrillos secados se verifica todavía, por regla general, en hornos de cuba de marcha periódica, porque los hornos anulares y de canal de sistema continuo, ensayados hasta la fecha, no responden tan bien, en la mayoría de los casos, á las exigencias especiales de la operación. En efecto: la calcinación, tratándose del cemento, es más complicada que la de la caliza sola, común ó hidráulica, porque es preciso regular la temperatura de modo á expulsar primero el ácido carbónico, y luego promover la combinación de la cal con el silicato de alúmina, hierro y álcali; fases de la operación que reclaman precauciones especiales. Sin embargo, y reconocidas las inmensas ventajas económicas de los hornos continuos, se sigue trabajando en su perfeccionamiento, en vista de las necesidades de los fabricantes de cemento, y es seguro que con el tiempo acabarán por sustituir los hornos periódicos. Los que parecen destinados á triunfar, y que de hecho se emplean en algunos establecimientos, son: el horno anular prolongado, de *Lipowtiz*, con 16 cámaras, en el cual el tiro se promueve y regula por medio de un ventilador; el horno de canal, de *Bock;* el de

cuba de marcha continua, inventado por *Buehrer*, y, por último, el horno continuo de *Mendheim*, para combustible gasiforme.

Terminada la calcinación, los ladrillos de cimento, merced á la elevada temperatura que han sufrido, se hallan aglomerados entre sí, y su masa es de extraordinaria dureza. Es necesario, por lo tanto, quebrantarlos en la máquina de Blake, triturar los trozos entre poderosos cilindros, y luego acabar la pulverización en molinos harineros. El cemento, reducido así á polvo fino, se envasa para los mercados en barriles de madera, que contienen cada uno 170 kilogramos, ó bien en sacos, de los que tres equivalen á un barril. El cemento Portland

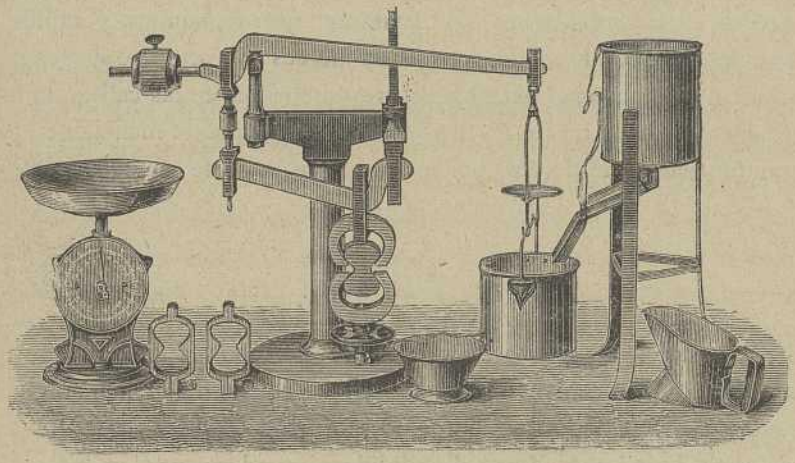


Fig. 248.—Aparato para probar el cemento.

se emplea por sí solo ó mezclado con más ó menos arena, según la obra de que se trata, pues su solidez y resistencia disminuyen en proporción de la arena que se le agrega. En muchos casos es necesario determinar exactamente la resistencia del cemento ó de su mezcla con arena, á cuyo fin se emplean aparatos especiales, uno de los que reproducimos en la fig. 248, con todos sus accesorios. Para hacer la prueba se pesan en una pequeña balanza 250 gramos de cemento y 750 de arena, por ejemplo, que se mezclan entre sí, y luego con cien gramos de agua; la pasta se oprime bien en moldes de hierro, cuyo hueco interior tiene próximamente la forma de un 8 (véase la figura), y después de consolidada la mezcla, se saca la pieza del molde, se seca al aire durante veinticuatro horas, y se sumerge en agua hasta que adquiera su mayor grado de dureza. Entonces se coloca entre las garras ó ganchos del aparato, como indica nuestro grabado, y en el cubo metálico que constituye el platillo de la balanza diferencial se deja caer un chorro continuo de perdigones, hasta producir la rotura de la pieza de prueba. El peso de los perdigones empleados, multiplicado por 10, da la resistencia absoluta del cemento por centímetro cuadrado.

El rápido endurecimiento y la gran resistencia de cales hidráulicas y cementos los hacen muy á propósito para la fabricación de piedras artificiales, mosaicos, tubos para la conducción de aguas, construcción de alcantarillas, ecetera.; y gran parte de aquellos productos hidráulicos se invierte actualmente en esta industria. Fabrícanse de una parte los mármoles artificiales y mosaicos más variados, mediante la mezcla adecuada de pedacitos de piedras de diferentes colores con el cemento, mientras que de otra, y con sólo esta materia y la arena fina, se moldea toda suerte de piezas decorativas para los edificios, como cornisas, guardapolvos, balcones, que resultan casi tan sólidos como los de piedra, y desde luego mucho más baratos. También la construcción de las alcantarillas en las poblaciones sale bastante más económica y rápida desde que se emplea en ella los tubos hechos en moldes con cemento y grava fina ó arena basta; pues abiertas las zanjas correspondientes en las calles, no hay más que ir bajando dichos tubos, en trozos cortos y fácilmente manejables, y unirlos á continuación uno de otro por medio de un poco de cemento.

EL YESO

Este mineral es un sulfato hidratado de cal, con 21 por 100 de agua de cristalización ó químicamente combinada, y se encuentra en la naturaleza, ora en grandes masas ó depósitos compactos, formando á veces verdaderos montes, ora en forma de bolsas y filones distribuídos irregularmente en las rocas calizas, areniscas, esquistos, etc. En la región del Harz y en la cuenca de París el yeso se presenta tan compacto, que puede emplearse como piedra de construcción, y muchas de las casas viejas de la capital francesa están hechas con este material. También se encuentra el yeso disuelto en mínimas cantidades en casi todas las aguas, si bien para disolver una parte de él se necesitan 500 partes de agua á la temperatura ordinaria, y resulta todavía menos soluble en agua caliente.

Las variedades más puras de yeso son enteramente blancas, y aparecen á veces en forma de hermosos cristales diáfanos y de dimensiones bastante grandes; pero los agregados compactos son más frecuentes, y su polvo, en estado natural encuentra aplicación en la fabricación de colores y en la del papel, sirviendo en este caso para dar más peso á las pastas. Las variedades menos puras se presentan frecuentemente con vetas de diversos colores, imitando á ciertos mármoles, razón por la cual, y en vista de su fácil elaboración, se labran con ellas pequeños objetos de arte. Una variedad muy pura del yeso compacto es el alabastro, que se labra más fácilmente que el mármol, dada su blandura, empleándose también frecuentemente en hacer diversos objetos artísticos.

Además del yeso común ó sulfato hidratado de cal, se presenta en la Natu-

raleza el sulfato anhidro, es decir, sin agua de combinación, que se llama, por lo mismo, *anhidrita*, y se encuentra más especialmente formando capas entre los grandes depósitos de sal gema de Alemania, y también en pequeñas cantidades acompañando al yeso común. Pero éste también puede obtenerse en estado anhidro, bastando al efecto calentarlo hasta la temperatura de 200 grados para expulsar su agua de combinación; el producto obtenido de este modo tiende, lo mismo que la cal viva, á asimilarse nuevamente el agua perdida, hasta volver á transformarse en sulfato hidratado; durante semejante asimilación el yeso calcinado aumenta de volumen, se hincha y adquiere solidez; de modo que si antes se pulveriza finamente, al mezclarlo con agua la pasta acaba por cuajarse, constituyendo una masa homogénea y sólida. En esta propiedad se fundan la mayoría de las aplicaciones de que el yeso es susceptible, desde el guarnecido ó tendido de las paredes interiores de las casas, hasta su moldeamiento para formar obras decorativas y reproducir objetos plásticos de arte.

Para expulsar el agua del yeso se calienta ó calcina en hornos semejantes á las caleras, ó bien en otros parecidos á los de cocer pan, y en los que las piedras se introducen extendidas sobre planchas de hierro. El agua de combinación se vaporiza en su mayor parte á una temperatura algo menor de los 200 grados, mientras que el resto sólo se deja expulsar á la incandescencia; mas como está probado que el yeso calcinado resulta de mejor calidad cuando conserva un poco de su agua de combinación, no conviene pasar el fuego, como se dice, y sí regular la temperatura del horno con el mayor cuidado, si se quiere obtener un buen producto. Por esta razón se prefiere en algunas partes calcinar el yeso de noche, porque así se puede observar mejor la marcha de la operación, evitando toda incandescencia de la masa, que se revela mucho más claramente en la oscuridad que no de día. El yeso requemado, es decir, calcinado demasiado, pierde por el pronto su capacidad de combinarse químicamente con el agua, si bien recobra gradualmente dicha propiedad con el tiempo, aunque nunca resulta tan útil como el yeso calcinado en regla. Aunque la anhidrita natural tiende, mediante la asimilación gradual de cierta cantidad de agua, á transformarse en yeso común, no tiene, después de calcinado, las propiedades útiles de éste.

Calcinados los trozos de yeso, se quebrantan y reducen á polvo, empleando al efecto molinos de diversas clases. Sin embargo, para los trabajos mas delicados del estatuario se prefiere escoger las piedras de yeso más puras, y pulverizarlas antes de calcinarlas, calentándose entonces el polvo en calderas ó sobre planchas de hierro, removiéndolo bien todo el tiempo; este procedimiento lo practican muchas veces los escultores mismos en el tiempo y en la medida que necesitan el yeso, y empleando comunmente, como primera materia, el alabastro pulverizado. La causa del endurecimiento del yeso calcinado al mezclarse con la debida cantidad de agua, no estriba solamente en la combinación químí-

ca del agua, sino también en que se produce una disolución saturada de yeso, de la que se van formando diminutos cristales de dicho sulfato entre las partículas de la masa ya cuajada, que resultan así unidas más firmemente.

El amasado del yeso calcinado y pulverizado con agua reclama ciertas precauciones, según la clase de obra á que se destine la masa. Todos nuestros lectores habrán observado, sin duda, cómo los albañiles amasan el yeso ordinario para revestir las paredes de las casas, y la operación es por cierto bastante sencilla, si bien hay que graduar convenientemente las cantidades y emplear la masa prontamente, porque se endurece con bastante rapidez. Tratándose de obras más finas, como el moldeamiento de piezas decorativas ó de escultura, se emplea el yeso tamizado y agua muy limpia ó clara, amasándolo en vasijas que se untan primero con aceite, á fin de que el yeso no se adhiera á sus paredes, y teniendo cuidado de que la pasta resulte lo más homogénea posible y libre de burbujas de aire. En lugar de agua pura se puede emplear una disolución de cola muy diluída, ó bien leche agria y otros líquidos análogos, prestando con ellos al yeso un color especial, mayor dureza, cierta translucidez y otras propiedades. El grado de consistencia que conviene dar á la pasta ó papilla difiere según el uso á que se destina: para la reproducción exacta, en todos sus detalles, de figuras é impresiones, hay que emplear una papilla líquida, que por lo mismo que cuaja más despacio, tiene lugar para llenar las depresiones más finas del molde ú objeto; mientras que tratándose de trabajos más macizos y menos delicados, puede emplearse una pasta más consistente, que cuaja más pronto.

Como la pasta líquida ó papilla de yeso se comporta en cierto modo como una masa metálica fundida, la preparación de los moldes que se emplean para moldearlo se verifica de modos análogos que los seguidos en las fundiciones de metales y sus aleaciones. Los modelos se hacen con cera y se revisten con capas sucesivas de yeso hasta obtener el grueso necesario; la cera se derrite entonces mediante la aplicación del calor, y deja vaciado el molde de yeso de una pieza. Claro está que, tratándose de un objeto plástico de bulto, como una figura ó estatua, que constituye una pieza moldeada por todos lados, se obtiene un molde hueco, que habría de romperse después de reproducido en él el original; esto no ofrece inconveniente si sólo se quiere reproducir el modelo una vez; mas para que el molde pueda utilizarse repetidas veces, se divide por medio de una sierra fina en diferentes trozos, que se unen provisionalmente con una lechada de yeso al tiempo de hacer una reproducción. Cuando el modelo sobre el que se forma el molde deba quedar entero, y podría sufrir algún desperfecto con el empleo de la sierra, se divide el molde en los trozos necesarios al tiempo de cuajar el yeso por medio de un hilo fino y fuerte, con que se corta la masa, lativamente blanda, lo mismo que el jabón con un alambre.

El moldeado mismo del yeso, ó sea la formación de figuras ú objetos decorativos, supone moldes que puedan separarse fácilmente de la obra, y, por con-

siguiente, si son también de yeso, es preciso untarlos bien con aceite antes de la operación. No hay para qué decir que en ésta, es decir, al tiempo de verter en el molde la papilla de yeso, deben observarse todas las precauciones para la salida del aire que se adoptan en el moldeamiento de los metales. La papilla no debe estar demasiado consistente, á fin de que se adapte bien á todos los detalles del molde; y cuando empieza á cuajarse se invierte este último, vaciando la mayor parte de la pasta y dejando sólo la capa consolidada que ha de constituir el objeto. Tratándose de obras muy grandes, pero que no conviene moldear en trozos separados, y cuyos moldes son difíciles de manejar, volviéndolos de modo que la papilla rellene bien todas las cavidades, se apela á la fuerza centrífuga, fijando el molde sobre un disco giratorio; el movimiento rápido de rotación obliga á la papilla de yeso á penetrar en todas las depresiones y sinuosidades, consiguiéndose así el objeto deseado.

Para privar á los objetos de yeso de ese tono seco ó crudo que les presta tanta frialdad de aspecto, comparados con los del mármol más suave y transparente, se pueden empapar en ácido esteárico fundido, ó en parafina. Sin embargo, este procedimiento sólo es aplicable á los objetos pequeños. En cambio, los que se hallan ó han de hallarse expuestos á las influencias perjudiciales de la atmósfera, se pueden endurecer sumergiéndolos en una disolución de cola, alumbre ó bórax. En este principio se basa la preparación de la escayola, ó sea un estuco que se hace amasando yeso fino con agua de cola, en la que se diluye el pigmento necesario para producir el color que se desea tenga el revestimiento, al que también se puede dar el aspecto abigarrado de un mármol. Semejante estuco, después de tendido sobre la pared y endurecido, se bruñe y abrillanta frotándolo con piedra pómez, y después con aceite de linaza, esencia de trementina y cera blanca.

El moldeado de figuras de yeso constituye un ramo de la industria que ha alcanzado en Italia un desarrollo notable, desde donde se exporta á todas partes del mundo un sinnúmero de reproducciones de obras de arte antiguas y modernas. Aunque la regla tiene sus excepciones, cabe decir, en términos generales, que en semejantes productos de la industria el yeso tiene para la humanidad un gran valor estético, pues es el único medio de multiplicar, digámoslo así, las obras artísticas y objetos análogos, cuya descripción ó representación gráfica nunca dan de ellas una idea completa. Sin el yeso, el estudio del arte antiguo sería por todo extremo laborioso, pues para establecer las comparaciones indispensables y que hoy se hacen tan fácilmente, en vista de buenas reproducciones de los originales, sería necesario emprender largos viajes, recorriendo infinidad de monumentos y Museos.

El empleo del yeso calcinado como material plástico es muy antiguo, pues Herodoto refiere que en su tiempo (484 á 424 antes de nuestra Era) era costumbre en Etiopía secar los cadáveres al sol y revestirlos entonces con yeso, á

fin de sacar su imagen, que se pintaba con colores. Vitruvio menciona el estuco de yeso, y Plinio apunta la relación que existe entre el yeso y la cal. Pero más tarde parece que no se hizo uso del yeso como material plástico, lo que indicaría que los romanos, ó nunca se sirvieron de él en tal sentido, ó que sus sucesores dejaron caer el arte en completo olvido. Se cree al menos que, salvo el empleo del yeso por los árabes en la decoración interior de sus edificios, nuestro arte de moldear objetos de yeso nació á principios del siglo XIV en Italia, perfeccionándose por los escultores y arquitectos del XV. Debemos mencionar, por último, que el yeso calcinado encuentra aplicación frecuente en la cirugía para formar vendas rígidas en torno de los miembros fracturados.

BARITA Y ESTRONCIANA

Estas materias, que se relacionan químicamente con la cal, son también óxidos de elementos metálicos, esto es, del bario y del estroncio, y se presentan en la Naturaleza, ora combinadas con ácido carbónico, pero más frecuente y abundantemente en combinación con ácido sulfúrico. El carbonato del bario constituye un mineral llamado *witherita*, y el del estroncio es la llamada *estroncianita*, ambos de mucha importancia para la fabricación de los preparados de sus metales respectivos, por ser mucho más fáciles de tratar químicamente que los sulfatos naturales correspondientes; éstos constituyen la llamada *barita* ó espato pesado, mineral bastante común en filones y que se presenta á veces en gran cantidad, y la *celestina*, ó sulfato de estroncio, que se encuentra con frecuencia con el azufre nativo y el yeso.

Las sales de barita se emplean hace tiempo en la pirotécnica; el cloruro y el nitrato coloran las llamas de un hermoso verde. La barita natural ó espato pesado finamente pulverizado, se emplea, en lugar del yeso, para dar mayor cuerpo y peso á las pastas de papel; se utiliza además en la fabricación de ciertos vidrios y lozas, y en la de colores se añade á ciertos pigmentos para hacerlos más claros. Pero se obtiene un blanco mucho más puro y hermoso preparando artificialmente el sulfato de bario, es decir, precipitándolo de sus disoluciones, y en esta forma constituye el llamado por los franceses *blanc fixe* (blanco permanente), que es hoy objeto de una fabricación en grande, especialmente en Inglaterra, único país en donde, hasta la fecha, se ha encontrado la *witherita* ó carbonato de bario en abundancia; pues como ya indicamos, los preparados de este metal, y, por tanto, el sulfato artificial, se fabrican mucho más fácilmente con dicho mineral que con barita. Nos ocuparemos más detenidamente del sulfato de bario al tratar más adelante del albayalde. Otra sal de bario que halla hoy un empleo extenso es el acetato, que se usa, en lugar del acetato de plomo, en la preparación de la sal correspondiente de alúmina, tan importante

para la tintorería. El cloruro de bario se emplea á veces como medio para evitar la incrustación de las calderas de vapor, ó sea el depósito en sus paredes del carbonato de cal. Por último, la barita (óxido de bario) tiende actualmente á disputar el campo, cuando no á sustituir, al óxido de plomo en la fabricación de ciertos vidrios, pues no sólo se incorpora fácilmente á la masa de éstos, prestándola, lo mismo que el óxido de plomo, un elevado grado de refracción, sino que semejantes vidrios baríticos resultan mucho más duros, y, por tanto, están menos expuestos á desperfectos que los plomíferos.

Las combinaciones del estroncio se emplean también en la pirotécnica, pues prestan á las llamas un precioso color rojo; pero en tiempos recientes han encontrado una aplicación más extensa, de la que tendremos ocasión de hablar en el tomo V de esta obra, en el capítulo que dedicamos á la fabricación del azúcar.

Los metales bario y estroncio, que se obtienen por la reducción de sus respectivos óxidos, no son á propósito para usos técnicos, por ser demasiado blandos é inconstantes; pertenecen al mismo grupo químico que el calcio, y, como éste, arden en el aire con mucho brillo. El bario es blanco como la plata, mientras que el estroncio tiene un color amarillo de latón.



ALCALIS, ALUMBRE, NITRO, ETC.

Los álcalis en la Naturaleza.—Apuntes históricos.—El carbonato de potasa y su producción.—El alumbre: su fabricación y aplicaciones.—El carbonato de sosa y el ácido clorhídrico: su fabricación y empleo.—El nitro y su producción.—Fabricación del ácido nítrico, y producción del cloro.

ENTRE los pocos cuerpos simples ó elementos cuyas infinitas combinaciones constituyen esa no menos infinita variedad de materias inorgánicas y orgánicas que en conjunto llamamos Naturaleza, los metales alcalinos merecen desde luego atención preferente en un libro como éste, por ser las bases de productos industriales cuya importancia no se puede ponderar bastante. Nos referimos más especialmente al potasio y al sodio, pues los demás metales alcalinos que llamamos litio, rubidio y cesio son elementos raros, cuyo interés es de orden puramente científico,

si bien algunas sales de litio se emplean hoy en medicina, y tienen, por lo tanto, un valor práctico.

Los metales alcalinos tienen propiedades bastante singulares, pues aunque ostentan un brillo eminentemente metálico, al punto que podrían confundirse á primera vista con la plata, son, á la temperatura ordinaria, de la consistencia de la cera, pudiendo cortarse tan fácilmente como ésta, y se funden á una temperatura muy baja, que, en el caso del potasio y del sodio, no se eleva á los 100 grados. Además, y con la excepción del rubidio, son más ligeros que el agua, flotando sobre su superficie; y merced á la facilidad con que se combinan con oxígeno, descomponen dicho líquido á la temperatura ordinaria y con el desprendimiento consiguiente de hidrógeno.

Es evidente que semejantes metales, de naturaleza tan inestable que es preciso conservarlos sumergidos en petróleo para preservarlos de la oxidación, no pueden existir en la Naturaleza en estado nativo ó regulino, y sí sólo en forma de óxidos y sales. Los óxidos, ó sean los álcalis propiamente dichos,—potasa, sosa, litio, etc.,—son componentes de muchas rocas ó minerales, en los que se hallan combinados principalmente con la sílice. La descomposición natural de semejantes minerales da lugar á la formación de los carbonatos de los álcalis, que, merced á su gran solubilidad, resultan extraídos por las aguas y difundidos por todas partes, teniendo ocasiones múltiples de formar, con diferentes ácidos, las sales más diversas. El reino vegetal consume una cantidad considerable de álcalis, que aparecen en las plantas combinados con diferentes ácidos vegetales: en la uva, por ejemplo, hallamos uno, el tartrato doble de potasa, y en el limón un citrato de potasa ó de sosa; á veces parte del álcali que contiene la planta tiene la forma de un nitrato, es decir, que se halla combinado con ácido nítrico; pero si reducimos las plantas á ceniza y sometemos ésta á una lixiviación, siempre obtenemos el álcali en forma de carbonato, porque el fuego destruye los ácidos vegetales, que sustituye rápidamente en la combinación con los óxidos alcalinos el ácido carbónico, producto de la combustión.

Allí donde la sosa entra en contacto con cloro, con los vapores del ácido clorhídrico ó con aguas que contienen este ácido, se forma cloruro de sodio, ó sea la sal común. Mas como semejante contacto se verifica rara vez en la Naturaleza, no podemos formarnos un concepto claro y preciso acerca del modo cómo se produjeron las enormes cantidades de sal que se encuentran disueltas en los marès ó almacenadas en la costra terrestre en forma de sal gema. Por el pronto tenemos que contentarnos con el hecho de la existencia de sustancia tan importante en masas inagotables, y con saber que, mientras las aguas de los mares actuales son disoluciones muy diluídas de sal, los depósitos de sal gema deben su origen á la evaporación de las aguas de mares que existían en épocas geológicas anteriores, como tuvimos ocasión de explicar en el tomo III de esta obra.

Pero los metales alcalinos ó sus óxidos no se encuentran en el reino mineral combinados tan sólo con sílice y con cloro, sino que se presentan en forma de nitratos, constituyendo el nitro ó salitre natural, y de sulfatos, el de potasa en las sales de Stassfurt y el alumbre, y el de sosa en el mineral llamado *glauberita*. El sodio se encuentra también en forma de borato y yodato, y también en combinación con fluor y aluminio en la kriolita. Aunque todos estos productos naturales son de importancia para la industria, algunos lo son en grado superlativo, en vista de la abundancia con que se encuentran; tales son la sal común, el carbonato sódico y el nitro.

Respecto de la historia antigua de la potasa y la sosa, es bien poco lo que se puede referir. Los griegos empleaban en el aseo de su persona y el lavado de su ropa una materia que llamaban *nitron*, y no debió ser otra cosa sino el carbonato de sosa natural, procedente de los lagos sódicos del África. Aunque parezca inverosímil lo que generalmente se cuenta acerca de la invención del vidrio, se deduce al menos de semejante cuento que el *nitron* era un artículo de comercio, y que se conocía su utilidad como componente del vidrio, si bien en la fabricación de éste las materias más comunes en la antigüedad fueron las cenizas de plantas y la arena. Tanto los griegos como los romanos parecen haber sabido extraer una lejía alcalina de las cenizas; pero la preparación del jabón con semejante lejía y sebo se atribuye á los germanos ó los galos. La sal que se obtiene por la evaporación de la lejía de cenizas, y consiste en carbonato de potasa ó de sosa, debe haber sido conocida hace mucho tiempo, pues se menciona en los escritos del siglo XIII; más tarde constituyó un artículo de comercio bajo el nombre de *Pottasche* (potasa), voz alemana que significa «ceniza de olla», porque, en vista de la facilidad con que absorbe la humedad y se descompone, dicha sal se trasportaba y vendía en ollas *(pots)* tapadas. Pero se tardó mucho tiempo en descubrir que la lixiviación de las cenizas puede producir dos sales distintas, según que aquéllas resulten de la combustión de plantas terrestres propiamente dichas, ó de plantas marinas y de las costas. Ambas sales se emplearon durante siglos en la fabricación del vidrio, tal como la ocasión las presentaba, y de hecho las dos se parecen mucho, salvo que el carbonato de potasa absorbe la humedad del aire y se deshace pronto, mientras que el carbonato de sosa se reseca cada vez más. Sólo á principios del siglo XVIII notáronse las diferencias químicas que distinguen dichas sales, y en 1758 el químico *Marggraf*, de Berlín, estudió más á fondo las particularidades de la sosa, descubriendo además que forma parte de la sal común, así como de la sal de Glauber.

CARBONATO DE POTASA

Esta sal se extraía antes exclusivamente de las cenizas obtenidas por la quema de plantas terrestres. Como en semejantes cenizas deben encontrarse todas las sustancias minerales que la planta ha extraído del suelo, es evidente que el análisis químico de una ceniza habrá de revelar la presencia de toda una serie de materias; pues además de los álcalis, la tierra vegetal contiene sales de cal, magnesia, alúmina, hierro, etc., que las plantas se asimilan en estado disuelto y en mayor ó menor cantidad; en la ceniza de muchas plantas se han encontrado pequeñas porciones de materias tan extrañas como el manganeso y el cobre. En el organismo vegetal se encuentran asociados con dichas bases los ácidos silíceo, carbónico, fosfórico, sulfúrico, clorhídrico y nítrico, los cuales, excepción hecha del último, cuyas sales no resisten la acción del fuego, aparecen también en las cenizas. Las plantas de un mismo género ó una misma especie suelen contener semejantes materias minerales en proporciones bastante constantes, que sólo varían en las diferentes edades de la planta, en las estaciones del año ó en terrenos de condiciones especiales.

Tratando las cenizas de las plantas con agua, se pueden separar, hasta cierto punto, los componentes alcalinos de los térreos menos solubles; el carbonato de potasa, que constituye la parte principal de aquéllos, se disuelve por completo, y se obtiene en estado más ó menos impuro cuando se evapora la disolución. Este procedimiento tan sencillo se practica hace tiempo en grande en diferentes comarcas de América, Rusia, Iliria, Hungría y otros países donde la leña tiene escaso valor, ora por la escasez de la población, ora por las dificultades del transporte; de modo que, después de aprovechar en diferentes usos los troncos de los árboles, sus astas ó ramas se pudrirían. De aquí una industria, comparable á la del carbonero, que consiste en recoger dichas ramas, amontonarlas, dejarlas secar y luego quemarlas para obtener sus cenizas. Sin embargo, la producción del carbonato de potasa en dichos países ha disminuido considerablemente en los últimos tiempos, y es probable que cesará un día por completo, en vista de la necesidad, cada vez más apremiante, de preservar las selvas.

Las personas que se dedican á producir las cenizas referidas extraen ellas mismas el carbonato de potasa en bruto por modos primitivos, ó bien las venden á los fabricantes que practican la lixiviación en escala mayor y con medios más adecuados. Esta operación, así como la purificación y calcinación del producto, constituyen procedimientos harto sencillos: las cenizas procedentes directamente de las selvas, así como las que resultan de la combustión de la leña en hogares diversos, y que se recogen al efecto, se acaban de pulverizar y se echan en grandes tinas con fondo perforado, sobre el que se extiende una capa de

paja. Las tinas están dispuestas en serie, de modo que el agua empleada en la lixiviación pasa sucesivamente de una á otra hasta saturarse por completo con la sal; mientras que echándose siempre la ceniza fresca en la tina inferior, y mudándola después de la primera lixiviación á la superior inmediata, y así con las tinas sucesivas, lo acaba de apurar el agua fresca que entra en la última, ó más elevada. En la lixiviación sólo se emplea el agua fría, porque en ella las materias extrañas que contiene la ceniza son menos solubles que el carbonato de potasa. Los residuos de la operación, consistentes en carbonato y fosfato de cal, arcilla y arena, se utilizan como abono para las tierras de labor.

Mediante la evaporación de la lejía resultante de la lixiviación, y que debe verificarse agitando de continuo el líquido, se obtiene el carbonato de potasa sólido en forma de bolas ó terrones redondeados, que contienen todavía un 12 por 100 de agua; si no se toma la precaución de agitar la lejía durante su evaporación, la sal forma una masa sólida, que se adhiere tan firmemente al fondo de la caldera, que es preciso emplear el martillo y el cincel para desprenderla; en este caso no contienen más del 6 por 100 de agua. En ambos casos el producto tiene un color pardusco, debido á la presencia de materias orgánicas, para destruir las cuales, así como para expulsar el agua referida, se calienta ó calcina el carbonato bruto en hornos de reverbero, revolviéndolo bien todo el tiempo, hasta que haya perdido su color oscuro. La cantidad del producto que se obtiene varía mucho, según las plantas de que proceden las cenizas: mil kilogramos de madera de abeto apenas dan medio kilogramo de carbonato de potasa; igual cantidad de madera de álamo blanco produce unos tres cuartos de kilogramo, y con madera de encina se obtiene kilogramo y medio de dicha sal; las plantas herbáceas son mucho más productivas, pues mil kilogramos de la ortiga común dan hasta 25 de carbonato de potasa; la arveja silvestre da más de 27, y la palomilla *(Fumaria officinalis)* hasta 79 kilogramos por 1.000.

El afino del carbonato de potasa obtenido por los procedimientos que acabamos de describir, es decir, su transformación en una sal muy pura, se verifica sencillamente tratándolo con un poco de agua, que lo disuelve, dejando como residuo las sales extrañas menos solubles, aunque siempre retienen éstas alguna cantidad de la de potasio; hasta la separación del carbonato de sosa, que siempre contiene el de potasa procedente de las cenizas vegetales, no se puede efectuar más facil ni más completamente sino en virtud de la diferente solubilidad de ambas sales. Pero para la mayoría de los usos á que se aplica el carbonato de potasa no es necesario que sea absolutamente puro; el fabricante de jabón por ejemplo, se contenta con un producto menos puro, y por lo mismo más barato; y lo propio sucede en la fabricación del vidrio, si bien para ciertas clases muy finas de esta materia es preciso emplear un carbonato de primera calidad. Tratándose de obtener éste en estado químicamente puro, para los usos del farmacéutico y del análisis, se caldea sencillamente el tártaro (tartrato de po-

tasa), cuyo ácido tártrico se convierte, por la acción del calor, en ácido carbónico; mas por regla general se emplean otros procedimientos basados en la conversión del cloruro de potasio, ó del hidróxido del mismo (potasa cáustica).

Pero no son solas las selvas y las estepas las que proporcionan materiales para la producción del carbonato de potasa, sino que también los viñedos y las plantaciones de remolacha suministran un contingente no despreciable; aunque bajo la condición precisa de que se les restituya la potasa en forma de abonos, puesto que la vid y la remolacha reclaman un terreno rico en dicho óxido alcalino.

Para la fabricación del carbonato de que tratamos, la vid suministra el orujo y las heces del vino, materias que se secan, calcinan y lixivian después de extraer de ellas otras sustancias útiles. En la fabricación del azúcar de remolacha se obtiene como producto secundario un jarabe, la melaza, que contiene diferentes sales, y que se deja fermentar primero, á fin de obtener alcohol por destilación; el residuo de esta operación contiene, entre otros, la potasa, y se utiliza para la producción de la misma, aunque con bien escasa ventaja, dadas las complicaciones del procedimiento; pues es preciso lixiviar, evaporar, calcinar, etc., repetidas veces hasta separar el sulfato y el cloruro de potasio de las sales extrañas, y convertirlos en carbonato. Este producto, procedente de los residuos de la melaza, contiene un poquito de fosfato de potasa, por cuya razón no se puede emplear en la fabricación de los vidrios ópticos, porque se vuelven más ó menos turbios. Según un procedimiento nuevo, ideado por *Vincent*, en Francia, los residuos de que hablamos se someten á una destilación seca en retortas de hierro, obteniéndose como productos útiles amoniaco, trimethylamin, alcohol metílico, gas del alumbrado y un residuo carbonizado cuya lixiviación es fácil. Puede juzgarse de la utilidad que rinde este procedimiento, sabiendo que una fábrica de Couvrières obtiene diariamente, por su medio, 100 kilogramos de alcohol metílico, 1.600 de sulfato de amoniaco y 180 de sales de trimethylamin. Sin embargo, desde la adopción del procedimiento de la *ósmosis* para extraer el azúcar de la melaza, el consumo de este producto en la fabricación de alcohol y la producción del carbonato de potasa ha disminuído mucho, al menos en Alemania.

Es un hecho interesante, y que demuestra cómo la industria moderna aprovecha hasta las materias al parecer más insignificantes, el de que se obtienen cantidades considerables de carbonato de potasa del sudor de las ovejas, que se adhiere á la lana y se disuelve durante el lavado de ésta. Las aguas correspondientes se evaporan en grandes hornos de reverbero, de construcción especial, y seguidamente se calcina el residuo; los gases inflamables que se desprenden durante la operación se utilizan en el calentamiento de los mismos hornos ó en el alumbrado de la misma fábrica. Si las aguas procedentes del lavado de las lanas que se consumen anualmente en Europa (lanas cuyo peso no baja

de 480.000.000 de kilogramos), se evaporasen de la manera indicada, se obtendrían todos los años más de *cincuenta y tres millones de kilogramos* de carbonato potásico, contenidos originalmente en el sudor del ganado ovejuno.

En todos los casos referidos el carbonato de potasa se obtiene indirectamente, y hasta el año 1860 se creía que éste era y seguiría siendo el único medio, puesto que todas las tentativas de extraer la potasa directamente del reino mineral, por ejemplo, del feldespato, habían fracasado, económicamente hablando. Pero en aquel año, como ya referimos en el tomo III de esta obra, se resolvió el problema de producir sales potásicas baratas, aprovechando las sales carnalíticas de las salinas de Stassfurt, que se presentan allí en masas enormes y no se agotarán seguramente en muchos siglos.

Durante el proceso natural de la evaporación de las aguas de un mar que existía en aquella región en otras épocas geológicas, la sal común ó cloruro de sodio se cristalizó y depositó primero, siguiéndole otras sales más solubles que se depositaron sobre ella, entre las que se distingue por su abundancia la llamada *carnalita*, ó sea un compuesto de cloruro de potasio, cloruro de magnesio y agua. Esta carnalita es hoy una fuente principal para la producción del carbonato de potasa y otras sales potásicas, y su aprovechamiento dió en Alemania un nuevo y poderoso impulso á la industria, el comercio y la agricultura. Millones de quintales de sales potásicas se extraen anualmente de los inmensos depósitos de Stassfurt para el abono de los campos, y numerosas é importantes fábricas, de las que representa nuestra fig. 249 la que primero se montó en Leopoldshall, en dicho distrito minero, elaboran el cloruro de potasio, convirtiéndolo en carbonato potásico y en nitro. La transformación del cloruro en carbonato se verifica esencialmente de la misma manera que la de la sal común en carbonato sódico (de que nos ocuparemos con alguna detención más adelante), salvo que la temperatura de los hornos dichos de sulfato se mantiene algo más baja. La primera materia se convierte, por medio del ácido sulfúrico, en sulfato de potasa; éste se transforma, caldeándolo con carbonato de cal y carbón, en sulfuro de calcio y carbonato de potasa, cuyo último se extrae de la masa fundida por lixiviación con agua.

Desde el descubrimiento de la carnalita en Stassfurt se ha buscado con afán en otras salinas, encontrándose, empero, tan sólo en la de Kaluscha, al pie de los Cárpatos, en Galitzia; aquí se presenta el cloruro potásico, tanto en las capas superiores y secas, como disuelto en las aguas de las minas. En las célebres salinas de Wieliczka no sólo se buscó en vano la carnalita, sino que, al hacerlo, en las partes superiores de los depósitos, dióse lugar á la inundación de las minas y á la necesidad de establecer en permanencia poderosas máquinas de desagüe, como dijimos en el tomo III.

El carbonato de potasa del comercio forma una masa más ó menos compacta ó desmoronadiza, que absorbe con avidez la humedad de la atmósfera,

deshaciéndose pronto; es blanco en su estado más puro, pero presenta á veces un color azulado, debido á un pequeño contenido en manganato de potasa, ó bien un tinte rojizo, que se debe al óxido de hierro. Dicha sal tiene una reacción alcalina en grado superlativo, y se disuelve fácilmente en agua.

Aunque el dióxido de carbono es un ácido flojo, constituye en muchos casos un obstáculo cuando se trata de combinar la potasa con otras materias de propiedades ácidas aún más débiles. Ciertos jabones, por ejemplo, son combinaciones de potasa con ácidos grasos; semejantes ácidos se forman en virtud

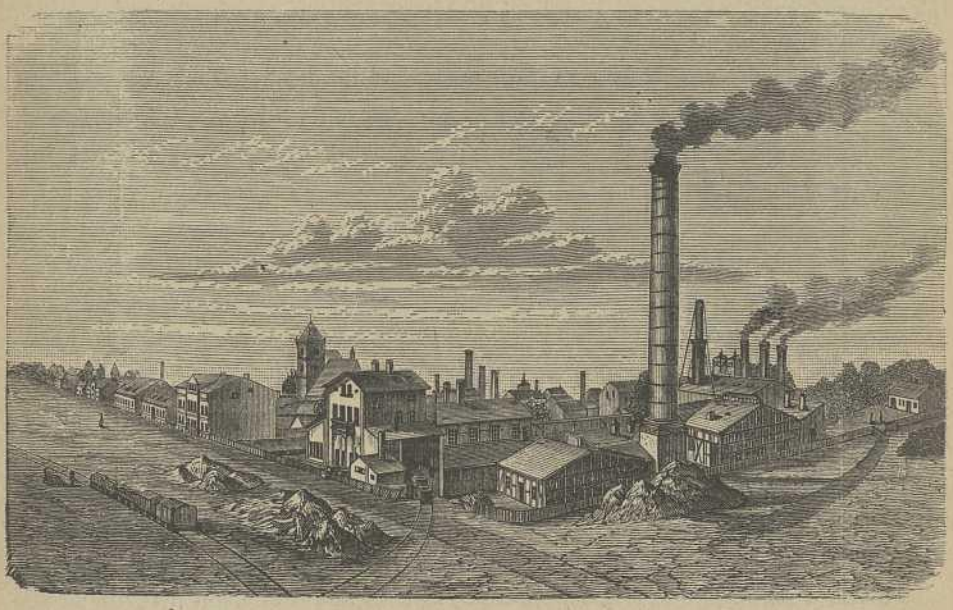


FIG 249.—Fábrica primitiva de sales potásicas en Leopoldshall.

de la acción de una base tan fuerte como la potasa sobre el sebo, el aceite, etc.; pero en presencia del ácido carbónico resultan impotentes para entrar en combinación con ella. Si, por tanto, se trata de una saponificación, ó sea elaboración de jabón con grasas y potasa, no se puede emplear ésta en forma de carbonato, sino que es preciso separar ó expulsar primero el ácido carbónico, y obtener potasa pura ó cáustica. Esto se verifica fácilmente cociendo una lejía concentrada de carbonato potásico con cal viva; el ácido carbónico abandona la potasa para asociarse á la cal, con la que forma una combinación prácticamente insoluble; en cambio la potasa se combina químicamente con cierta cantidad de agua, y de aquí los nombres hidrato de potasa é hidróxido de potasio que se dan á la potasa cáustica.

Esta sustancia se puede obtener en estado sólido, evaporando su disolución, y entonces aparece en forma de una masa blanca, fusible, que se entre-

ga al comercio, ora como polvo, ora en terrones duros é irregulares, ora en forma de barritas cilíndricas, que se usan con frecuencia en cirugía. Absorbe el agua con avidez, no se separa de su agua en combinación aun cuando se funde, mientras que, expuesto á la atmósfera, absorbe la humedad y al mismo tiempo el ácido carbónico, deshaciéndose y convirtiéndose poco á poco en carbonato. Si á través de una disolución de potasa se hace pasar ácido carbónico hasta saturarla, no se obtiene el carbonato potásico ordinario, sino una sal que contiene doble cantidad de dicho ácido por la misma de potasa, y es el llamado bicarbonato potásico, que forma cristales blancos. La sosa se comporta de la misma manera, como tendremos ocasión de explicar más adelante.

EL ALUMBRE

Esta es otra sal, conocida y utilizada hace mucho tiempo, en la que la potasa desempeña un papel importante, entrando en su composición en forma de sulfato. El nombre *alumbre*, del latín *alumen*, indica que, además de la potasa, la sal en cuestión contiene otra materia; y, en efecto, el alumbre común consiste en una combinación del sulfato de potasa con sulfato de alúmina y agua; es, pues, una sal doble, que puede clasificarse lo mismo entre las sales alumínicas que entre las potásicas. Pero ni la alúmina ni la potasa son absolutamente necesarias para constituir una sal que tenga las propiedades características de los alumbres: en lugar del sulfato de potasa puede combinarse lo mismo con el de alúmina el sulfato de amoniaco, constituyendo una sal doble, que también se cristaliza en las mismas formas octaédricas que el alumbre potásico (figuras 250 y 251), contiene la misma cantidad de agua de cristalización y tiene las mismas proporciones equivalentes; además, los sulfatos de sodio, cesio, rubidio y talio también pueden sustituir al sulfato potásico en el alumbre. Por otra parte, la alúmina se deja sustituir por los óxidos de hierro, manganeso y cromo, y semejantes sustituciones sólo se manifiestan exteriormente en los diferentes colores de los productos; hecho que constituye uno de los ejemplos más interesantes del isomorfismo. Pero volvamos al alumbre ordinario, ó sea la sal doble de sulfato de potasa y sulfato de alúmina, que es el que se entiende, por lo general, cuando se habla de alumbre á secas, sin otro calificativo.

Plinio habla ya del *alumen* en su *Historia Natural*; pero se deduce de su descripción que aplicaba dicho nombre á dos sales distintas: el sulfato de hierro, que llama *alumen nigrum*, y tal vez nuestro alumbre, que califica de *alumen album*. Tampoco las denominaciones empleadas por Dioscórides y otros autores antiguos deben considerarse como aplicadas estrictamente á la sal que hoy llamamos alumbre. Esto no obsta para que los antiguos hayan conocido el alumbre, si no en estado puro, al menos mezclado con otras sales; pues el modo

de usarlo, que refieren dichos autores, en la tintorería, corresponde por entero á la práctica actual. Geber, el químico árabe que hemos citado ya en otra parte de este libro, habló del alumbre á mediados del siglo VIII, en términos que no dejan duda acerca de su naturaleza, y refirió la manera de producirlo. A principios del siglo XIII se practicaba la extracción del alumbre en Smirna (Asia Menor), en Italia, especialmente en la región napolitana y la isla de Sicilia, y en el siglo XV tomó desarrollo en Tolfa, en los Estados Pontificios. Pero el arte de extraer dicha sal tuvo su origen en Oriente. En la segunda mitad del siglo XV, Basilio Valentino llamó la atención de los alemanes sobre ciertas comarcas de su país que le parecían á propósito para la producción del alumbre, por encontrarse esta sal en algunas aguas; y poco tiempo después se inició la extracción en el principado de Luneburgo, cerca de Reichenbach (Sajonia) y otros puntos.

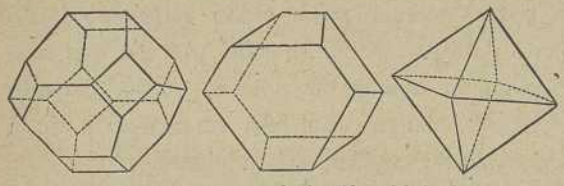


FIG. 250.—Formas cristalográficas del alumbre.

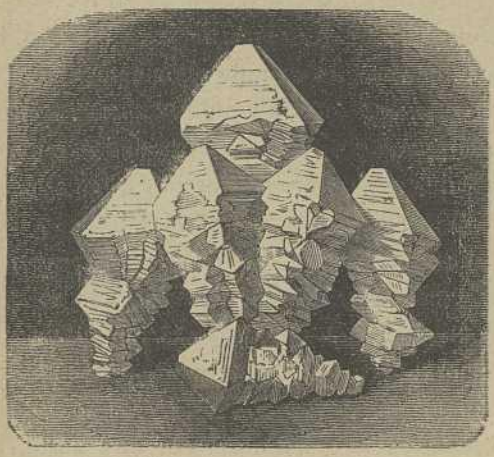


FIG. 251.—Agregado de cristales de alumbre.

Antiguamente, lo mismo que en la actualidad, el alumbre se empleaba y se emplea con preferencia en la tintorería y en el curtido de pieles; además desempeñaba antes un papel importante en medicina. El alumbre potásico natural (*alunita* y *kalinita*) se presenta principalmente en regiones volcánicas, como las de Sicilia, Puzzuoli, Tolfa, el Archipiélago griego, diferentes puntos de Hungría, el Auvergne (Francia), Mazarrón (Murcia), etc., y es un producto de las exhalaciones subterráneas; allí donde los vapores de ácido sulfuroso y de hidrógeno sulfurado atraviesan las lavas y traquitas, siempre se forma alumbre potásico, ó al menos la alunita, ó piedra de alumbre, cuya composición se aproxima mucho á la de aquél. Según se refiere, el origen de la extracción del alumbre en Civita-Vecchia se debe á que un tal Juan de Castro, que en el siglo XV había estado en el Asia Menor á comerciar con colores y telas, observó, á su regreso, en la región de Tolfa, una planta (*Ilex aquifolium*) que crecía en abundancia y era también muy común en las regiones alumbríferas del Asia Menor; de aquí dedujo que la tierra de la comarca italiana sería igual á la de aquellas regiones asiáticas, y, por lo tanto, debía ser á propósito para la extracción de la mencionada sal. Los resultados de un ensayo confirmaron plenamente tal suposición,

y desde entonces Italia pudo hacer frente á su propio consumo de alumbre, dejando de ser tributaria á los moros y á Turquía, como lo era antes. El Papa Pío II trató de monopolizar la producción del alumbre gravando y dificultando su importación desde otros países.

EXTRACCIÓN DEL ALUMBRE

Ésta tiene lugar, en la mayoría de los casos, exponiendo á las influencias atmosféricas las rocas ó tierras que contienen alumbre natural, ó en las que puede formarse por descomposición ó mediante la añadidura de alguno de sus componentes, y luego sometiendo la masa á la lixiviación, evaporando después la disolución para obtener la sal por cristalización.

Las rocas que se prestan más especialmente á dicha extracción, son las pizarras aluníferas, por lo general ricas en materias bituminosas y pirita de hierro, y la piedra de alumbre ó alunita, un mineral que se compone próximamente de 30 por 100 de alúmina, 10 de potasio, 35 de ácido sulfúrico y de agua, y que, en condiciones favorables, se puede convertir casi completamente en alumbre. Por regla general, se consideran como menas de alumbre todos los minerales naturales que contienen alúmina y pirita de hierro, y cuya descomposición da lugar á la formación del componente principal del alumbre, ó sea el sulfato de alúmina. Para producir la sal doble es preciso agregar á semejantes menas la cantidad correspondiente de sulfato potásico.

Ciertas piedras de alumbre como, por ejemplo, la de Tolfa, que contienen tanto potasa y alúmina como ácido sulfúrico, pudiendo considerarse como combinaciones de alumbre con alúmina hidratada, no necesitan exponerse á una descomposición prolija, sino que basta calentarlas para expulsar el agua de la alúmina. De este modo pierde ésta su fuerza atractiva, digámoslo así, sobre el alumbre, volviéndose insoluble, mientras que esta sal se deja extraer por medio del agua. El calentamiento ó la calcinación de semejantes alunitas se verifica en montones ó en hornos parecidos á los que se usan para calcinar la caliza. La lixiviación con agua, la evaporación y la cristalización, etc., se practican de una manera análoga á la que se emplea en la extracción del carbonato de potasa, y como tendremos ocasión de explicar detalladamente al hablar, más adelante, del carbonato sódico.

En cambio, resulta más complicada la preparación y extracción del alumbre con los materiales naturales comprendidos bajo el nombre colectivo de menas aluníferas, y que comprenden las pizarras que mencionamos más arriba, y la tierra de alumbre. Semejantes rocas ó tierras se componen esencialmente de silicato de alúmina mezclado con piritas; y lo primero que hay que hacer es promover la descomposición de estas últimas de modo que el azufre se oxide,

convirtiéndose en ácido sulfúrico, el cual se combina con la alúmina. Esta transformación tiene lugar al aire libre y á la temperatura ordinaria, en rocas ó tierras desmoronadizas ó porosas, en cuya masa las partículas de pirita se hallan más ó menos expuestas á la acción atmosférica; pero tratándose de rocas compactas es preciso calentarlas ó caldearlas, á fin de promover su desintegración. Semejantes rocas (las pizarras bituminosas antes referidas) se rompen, y las piedras se amontonan sobre un piso impermeable, formado con arcilla, reser-

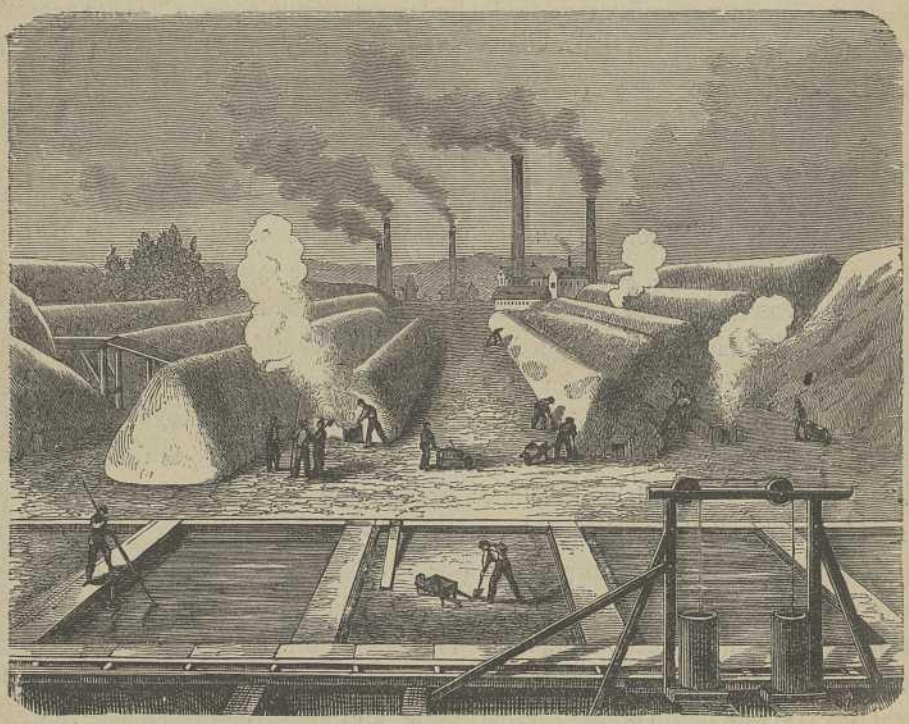


FIG. 252.—Calcinación de pizarras aluníferas y extracción del alumbre en Glasgow.

vando, al formar el montón, los canales necesarios para sostener el fuego, ó bien apilando los trozos mayores de pizarra en torno de un fuego de carbón, y cuando se hallan caldeados y arden por sí, en virtud del bitumen que contienen, amontonando sobre ellos más pizarra, formando á modo de una carbonera, que sigue ardiendo por sí sola. En uno y otro caso las materias bituminosas se consumen, y las piritas se oxidan.

La forma y las dimensiones de los montones varían mucho: las cuatro fábricas de alumbre de Mazarrón, en la provincia de Murcia, que juntas producen anualmente de 300 á 500 toneladas de dicha sal, son ejemplo de una extracción en escala relativamente pequeña; mientras que en los dos grandes establecimientos del género de Hurlet y Campsie, en Glasgow (Escocia), los montones

que se forman para la calcinación (fig. 252) cubren un espacio de cinco hectáreas, poco más ó menos; tienen cada uno de 40 á 60 metros de longitud, 7 de ancho y 5 de alto, conteniendo hasta 26.000 toneladas de mena. La marcha de la operación se lleva y regula de la misma manera que en las carboneras ordinarias, y cuando se halla terminada, los montones se cubren ó revisten con una capa de los residuos de la lixiviación. Generalmente hablando, un montón de las dimensiones referidas necesita de cinco á doce meses para su calcinación.

La lixiviación de las materias calcinadas se verifica en depósitos de mampostería (fig. 252), provistos de un fondo falso en forma de un enrejado de latones, sobre el cual se extienden aquéllas en una capa de unos 50 centímetros de espesor; en la operación se emplean sucesivamente lejías cada vez más diluídas,

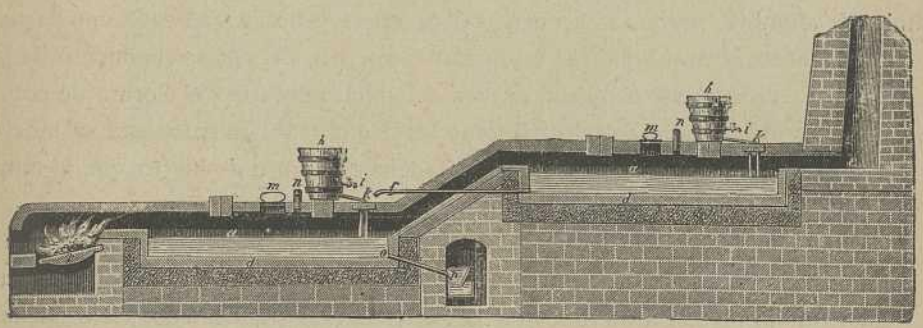


FIG. 253.—Horno para la evaporación de la disolución alunífera.

procedentes de lixiviaciones anteriores, apurando, por último, la masa con agua pura. Obtenida de esta suerte una lejía bastante rica en sales, se deja reposar hasta que se clarifique, y luego se procede á su evaporación en calderas de hierro ó en grandes hornos de reverbero. La fig. 253 representa, en sección vertical, uno de estos hornos: la lejía pasa desde los cubos *h h* al interior del aparato, extendiéndose en los laboratorios, *a a*, donde queda sometida al calor de los gases de combustión que pasan desde el hogar *r* á la chimenea *e;* las aberturas grandes *m m*, que se mantienen cerradas durante la evaporación, sirven para penetrar en el horno y limpiarlo, mientras que por medio de los orificios *n n* se observa la marcha de la operación; por el tubo *f* se conduce la lejía, previamente calentada, en el laboratorio superior, al inferior, y por el conducto *o p*, se da salida á la lejía concentrada ó saturada.

Además de una cantidad relativamente pequeña (por regla general) de alumbre ya formado, la lejía bruta contiene sulfato de alúmina y sulfato de hierro, como componentes predominantes, y cantidades más ó menos reducidas de sulfatos de sosa, potasa, magnesia y manganeso, así como de los cloruros potásico, sódico, alumínico, etc. Merced á la asimilación del oxígeno del aire, el sulfato de hierro se convierte durante la evaporación en una combinación rojiza

insoluble que se precipita; allí donde se trata de producir la caparrosa verde al par del alumbre (cosa que siempre sucede cuando las lejías contienen más sulfato de hierro que de aluminio), se evita la formación de aquel precipitado rojo, echando en la lejía pedazos de hierro metálico. Cuando la lejía se halla suficientemente concentrada, se le añade la cantidad de sulfato potásico necesaria para combinarse con el de alúmina y formar alumbre; tratándose de la producción de alumbre amoniacal, claro está que, en lugar del sulfato potásico, se emplea el de amoniaco. Durante la evaporación, gran parte de las sales extrañas menos solubles se precipita y retira del horno; el resto acaba por depositarse fuera del horno en el recipiente en que la lejía concentrada se mezcla con el sulfato alcalino. Éste se agrega en forma de una disolución, también concentrada y caliente, de modo que al juntarse ambas lejías empiezan en el acto á formarse los cristales de alumbre, porque esta nueva sal es menos soluble que cada uno de sus componentes por sí. Cuando el fabricante prescinde del aprovechamiento de la caparrosa verde, puede emplear, en vez del sulfato potásico, el cloruro de potasio, que es más barato; en tal caso tiene lugar una reacción entre esta sustancia y el sulfato de hierro, produciéndose en la lejía el cloruro de hierro, que es muy soluble, y el sulfato de potasa, que se combina con el de alúmina.

En el recipiente referido, y al tiempo de añadir á la lejía concentrada que se ha sacado del horno, la disolución potásica, debe revolverse ó agitarse continuamente la mezcla á fin de evitar la formación de grandes cristales de alumbre, que encerrarían mucha de la lejía madre, impura. Se trata, pues, de obtener el alumbre en cristales diminutos (harina de alumbre) tanto por la razón referida como porque en tal estado es mucho más fácil limpiar la sal, mediante un lavado, de la disolución ferruginosa que queda adherida á ella; un alumbre ferruginoso es inútil para la mayoría de los usos, sobre todo para la tintorería y el estampado de telas. En su consecuencia, nunca se fabrica el alumbre sódico, porque siendo tan soluble no forma diminutos cristales, ó «harina,» como se dice, sino que, siguiendo la evaporación, da costras que no se pueden lavar. En cambio, es indiferente si un alumbre contiene potasa ó amoniaco, y no es raro que contenga ambos; por ejemplo, cuando, al par de las materias potásicas brutas, se tratan aguas amoniacales procedentes de las fábricas de gas del alumbrado ú orinas podridas.

La harina de alumbre se limpia de la lejía madre y ferruginosa que queda adherida á los cristalitos, echando sobre ella cubos de agua fría y clara (figura 254), y entonces se echa en una caldera y se disuelve por medio del vapor de agua, dejando reposar la disolución concentrada. Mas aún no se forman cristales grandes y transparentes, sino que, á medida que el líquido se evapora, la sal se deposita sobre las paredes de la caldera en forma de una masa blanca y compacta, y es preciso volver á lavar y disolverla antes de poder obtener los cristales característicos (fig. 251), que tanto se aprecian en el comercio. Los

alumbres preferidos en la industria son el romano y el que procede de Munkacs, en Hungría; se extraen de materias muy puras y están casi absolutamente libres de hierro; es verdad que el alumbre romano tiene un matiz un poco rojizo, á consecuencia de un poquito de óxido de hierro; pero al disolver la sal en agua, ésta se deposita sobre el fondo de la vasija, y entonces la disolución se halla libre de hierro.

Entre las muchas aplicaciones industriales del alumbre, las principales, como, por ejemplo, su empleo como mordiente en la tintorería y la estampación



FIG. 254.—Lavado y cristalización del alumbre.

de telas, para encolar el papel, en el curtido de pieles y en la fabricación de colores de laca, se mencionan detenidamente en los capítulos correspondientes de esta obra; y resulta, como verán nuestros lectores, que en la mayoría de los casos la alúmina de la sal en cuestión es su único componente eficaz. Este hecho ha motivado en los últimos años la sustitución del alumbre por el sulfato de alúmina puro y simple, y con notable ventaja, puesto que por el mismo precio se adquiere próximamente una cuarta parte más de alúmina. Este óxido se obtiene en el estado de mayor pureza en las fábricas que elaboran la kriolita (véase la fabricación del carbonato de sosa en el presente capítulo); se echa en ácido sulfúrico caliente, se filtra la disolución y se evapora hasta la saturación, esto es, hasta que el líquido se vuelve espeso; entonces se vierte éste en cajas de plomo, obteniendo de este modo planchas blancas y semitransparentes de sulfato alumínico, que constituyen el artículo de comercio. Tanto el alumbre como

el sulfato de alúmina se fabrican hoy en grande escala con arcilla pura; éste se caldea con moderación y luego se muele finamente y calienta en vasijas de plomo con ácido sulfúrico; después de enfriada la masa, se lixivia con agua, que deja sin disolver la sílice de la arcilla, mientras que disuelve el sulfato de alúmina que se obtiene en estado sólido por evaporación. También se puede producir el alumbre con ventaja empleando como primera materia la bauxita, mineral que se utiliza también en la preparación del clorido de aluminio, como dijimos en un capítulo anterior.

CARBONATO DE SOSA

En algunas regiones del globo esta sal se presenta naturalmente en cantidades bastante considerables, ora disuelta, con sal común y sulfato sódico, en las aguas de muchos lagos sin salida, de las que se extrae por evaporación, ora en el terreno de estepas, cubiertas en otras épocas geológicas por semejantes aguas, y del que se obtiene por lixiviación. El carbonato de sosa procedente de dichas aguas y tierras se llama *trona*, y se extrae en el Bajo Egipto y otras partes del Africa septentrional, en la India, el Estado de Nevada (Estados Unidos), en varios puntos de la América meridional, Hungría, etc. Otra fuente natural, más común y más abundante, del carbonato sódico, y que en otros tiempos era la principal, lo constituyen las cenizas de ciertas plantas marinas, tanto las que crecen en el agua (algas), como las que florecen en las costas. De aquí podría deducirse que el carbonato de sosa es una sal análoga, por su naturaleza química, al de potasa; y, en efecto, se le parece, no sólo en el color, la solubilidad y sus reacciones con otras sales, bases y ácidos, sino que su propia base alcalina, la sosa, que se obtiene en forma de sosa cáustica ó hidróxido de sodio, calentando la disolución del carbonato con cal viva, coincide en muchas particularidades con la potasa cáustica.

El mar, pues, es el origen del carbonato sódico natural, y las plantas que crecen en ella ó en sus playas son los colectores que separan la sal de su disolución tan diluída, concentrándola en su organismo. Verdad es que no nos proporcionan el carbonato sódico puro, sino mezclado con mucha potasa, sales calizas, etc. El producto de este género más rico en dicho carbonato, ó sea la *barrilla*, se obtiene en varios puntos de las costas de Málaga, Cartagena y Alicante por la incineración de la planta llamada *Salsola sativa ó vermiculata* (figura 255, *a*), que se siembra en extensos campos ó playas separados del mar por diques, pero que se inundan periódicamente, abriendo compuertas dispuestas al efecto. Las plantas desarrolladas se siegan y secan, y después de separar y recoger la simiente, se queman en hoyos excavados en la tierra; los residuos que se acumulan en el fondo de estos hoyos, ó sea la ceniza con las sales, forman

terrones duros semiescorificados, que en tal estado se entregan al comercio con el nombre de barrilla.

De idéntica manera, es decir, por mera incineración, se aprovechan en otros países diferentes plantas silvestres. En el Mediodía de Francia, cerca de Narbonne, se obtiene por incineración de la *Salicornia annua* (fig. 255, *b*) el llamado *salicor,* un producto que contiene próximamente 15 por 100 de carbonato de sosa, y en otras comarcas de dicho país se queman diversas plantas, produciendo la llamada *blanquette*, que contiene más sal común que carbonato sódico, y que se emplea más especialmente en la fabricación del jabón. En la costa de Normandía se obtiene el llamado *varech* por incineración de las algas marinas previamente secadas, y en Escocia, Irlanda, las islas Orkney y otros puntos, donde también se queman las algas, el producto, ó sean las cenizas sódicas, se llama *Kelp;* en la isla de Jersey, por ejemplo, la cosecha de las algas marinas tenía antes la misma importancia que la de la uva en otros países.

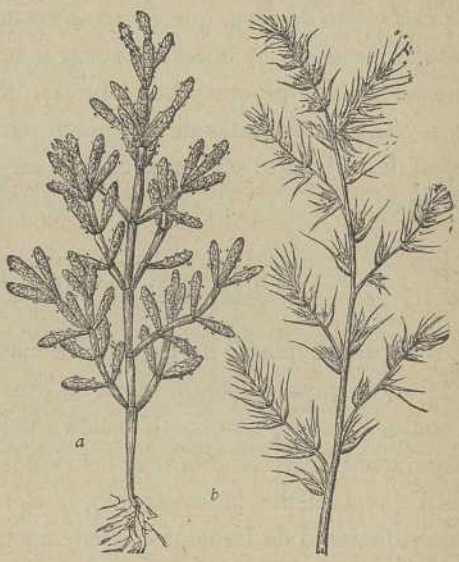


FIG. 255.—Plantas sódicas.

Pero todas estas industrias *playeras*, si vale el adjetivo, carecen hoy de importancia, y allí donde se practican todavía tienen por objeto la extracción del yodo. Casi todo el carbonato de sosa que se produce actualmente y se consume en cantidad tan enorme en las industrias químicas, es un producto artificial que resulta del tratamiento adecuado de la sal común ó cloruro de sodio. Su fabricación tuvo origen en Francia, siendo, como tantos otros progresos, consecuencia de la necesidad. Cuando en tiempos de la Revolución cesó la importación del carbonato sódico del extranjero, como la producción nacional era de todo punto insuficiente, los fabricantes y químicos se dedicaron con afán á inventar procedimientos para convertir la sal común en dicho carbonato. A primera vista semejante transformación parece la cosa más sencilla del mundo, pues podría creerse que basta calentar el cloruro sódico con carbonato de cal para obtener carbonato de sosa y cloruro cálcico, que es muy soluble; pero resulta que el ácido carbónico es demasiado flojo para desalojar el cloro de la sal común, y aun cuando no fuera así, sería imposible separar el carbonato de sosa del cloruro de cal, porque al agregar agua á la mezcla, dichas combinaciones se transforman al instante en sal común y carbonato cálcico. De aquí la necesidad de apelar á medios indirectos, y entre los varios métodos ideados en aquel época, ninguno dió resultados tan satisfactorios como el

de *Leblanc,* que en Francia se adoptó desde luego y todavía sigue en práctica, por más que apenas transcurre un año sin que se proponga otro procedimiento; únicamente el llamado «al amoniaco,» perfeccionado por el belga *Solvay,* es mucho más sencillo que el de Leblanc, y está destinado á sustituirle, al menos en parte. El desarrollo del método de Leblanc se debe principalmente á los ingleses; pues merced á la energía del químico Muspratt y la cesación, en 1823, del estanco de la sal en Inglaterra, se operó, mediante dicho método, una verdadera revolución en la industria de que hablamos, al punto de que la tonelada de carbonato de sosa, que en 1814 costaba 60 libras esterlinas (unas 1.500 pesetas), se vendía á 15 libras en 1824, y actualmente vale menos de cuatro (ó sea menos de 100 pesetas). Las fábricas inglesas consumen por año nada menos que 700.000 toneladas de sal común para producir una cantidad próximamente igual de carbonato sódico calcinado, cuyo valor se eleva á unos 75.000.000 de pesetas.

FABRICACIÓN DEL CARBONATO DE SOSA Y DEL ÁCIDO CLORHÍDRICO

El procedimiento de Leblanc se funda en el empleo de una combinación sódica, de cuya descomposición en presencia de carbonato de cal resulte carbonato de sosa y una combinación cálcica insoluble, de la que dicha sal pueda separarse por lixiviación. Por las razones expuestas más arriba no se puede utilizar directamente la sal común, ó cloruro sódico, y la primera operación del procedimiento de Leblanc consiste en transformar esta sal en sulfato de sosa, que llena las condiciones del problema. Semejante conversión supone el empleo de gran cantidad de ácido sulfúrico (cuya fabricación, por razones económicas, va al par, en los grandes establecimientos, con la del carbonato sódico), y da lugar á la formación de gran cantidad de un producto secundario importante, el ácido clorhídrico. La segunda parte del procedimiento consiste en la conversión del sulfato de sosa en carbonato, operación á la que siguen la lixiviación de este producto, su calcinación y cristalización.

La transformación de la sal comun en sulfato de sosa se verificaba antes exclusivamente en hornos de reverbero de construcción especial, representada en sección vertical en la fig. 256. Semejante horno se divide, en su interior, en dos espacios: el señalado con *B* constituye, en unión con el hogar *A,* un horno de reverbero ordinario; pero á continuación del mismo se halla el segundo espacio, *E,* ocupado en parte por un gran recipiente ó caldera aplanada de hierro, forrado con plomo, que se calienta haciendo pasar debajo de él, por el conducto *d d,* los gases de combustión procedentes del hogar *A* y que, en el espacio *B,* circulan sobre la plaza. La pared que separa los dos espacios, *B* y *E,* está provista de una compuerta, *e,* que sólo se abre en cierta parte de la operación; el espacio *B* está revestido con ladrillos refractarios á la acción del fuego y de

los ácidos, y el horno tiene generalmente de cuatro á cinco metros de largo, por metro y medio ó dos metros de ancho. La sal común se echa en el recipiente *E* por la puerta *h*, y después de cerrar ésta herméticamente, se vierte sobre la carga, por medio de los embudos *n n*, la cantidad necesaria de ácido sulfúrico; la descomposición de la sal empieza seguidamente, activándose en virtud del calor del horno, y se desprenden vapores de ácido clorhídrico, que encuentran salida por el tubo de loza *g g*, pasando por esta vía á una serie de grandes botijos (hechos también de loza de piedra), que se hallan llenos hasta la mitad ó las dos terceras partes con agua, conteniendo cada uno de 100 á 150 litros de la misma; el número de estos botijos de condensación es, por lo general, de 30

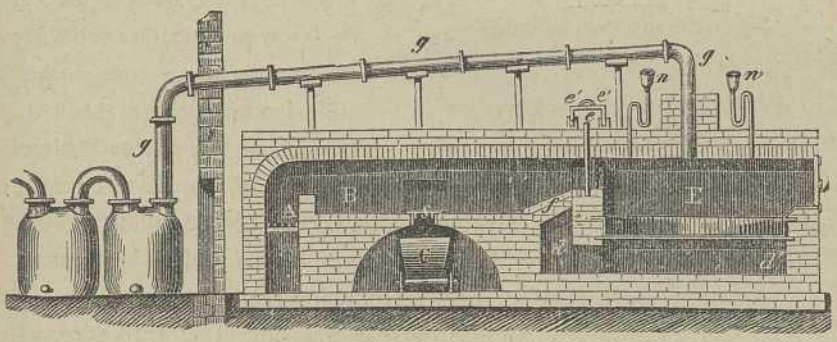


FIG. 256.—Horno para transformar la sal común en sulfato sódico.

á 40. El ácido clorhídrico que se obtiene en esta parte de la operación es el más puro, porque no sufre contacto con los gases de combustión del hogar.

Como en el recipiente *E* se echan partes próximamente iguales de sal y ácido sulfúrico, la mezcla es al principio líquida; mas por la evaporación de agua y ácido no tarda la masa en tomar una consistencia pastosa, y es llegado el momento de someterla á una temperatura más elevada. Al efecto se abren entonces las puertas laterales del horno, se levanta la compuerta divisoria, *e*, y se traslada la masa desde *E* al laboratorio *B* del horno donde, y mientras en *E* se trata una nueva carga de sal con ácido sulfúrico, se somete aquélla á la acción directa del fuego; en esta segunda parte de la operación se completa la descomposición y se desprende todavía bastante ácido clorhídrico, hasta que, por último, la masa se aglomera y seca, constituyendo el producto deseado, ó sea el sulfato de sosa calcinado ó anhidro, es decir, libre de agua. Entonces se levanta la compuerta *s* en la plaza del horno y el sulfato se echa por ella en el vagoncito *C*, situado debajo. Los vapores clorhídricos procedentes del laboratorio *B* pasan á otra serie de botijos que no se ve en nuestro grabado, y en la que la condensación es más difícil en virtud de los gases de la combustión que acompañan al ácido. Por último, los gases no condensados en los botijos referi-

dos pasan por otros aparatos condensadores, escapando el resto por una elevada chimenea que determina el tiro en todos los aparatos de la fábrica.

Esta descomposición de la sal común por medio del ácido sulfúrico se verifica hoy en hornos de mufla, que consienten una absorción mucho más completa de los vapores clorhídricos. Un horno semejante se compone también de dos partes, como el de reverbero antes descrito; pero con la diferencia de que el espacio *E* está constituído por una caldera de hierro fundido de forma especial (fig. 257), cuya mitad inferior tiene 2,75 metros de diámetro y medio metro de hondo en el centro, cubriéndola una tapa convexa algo más ligera, y provista de un tubo para la salida del gas clorhídrico; mientras que el espacio *B* es una gran mufla formada con ladrillos resistentes á la acción del fuego y de los ácidos, que tiene unos nueve metros de largo por 2,7 de ancho. Después de tratada la sal común con ácido sulfúrico en la caldera, se traslada á la mufla, en la que se caldea la masa hasta el rojo. El producto, ó sea el sulfato bruto, contiene, por término medio, 96 por 100 de sulfato de sosa puro, consistiendo el resto en sulfato de cal, óxido de hierro y otras impurezas.

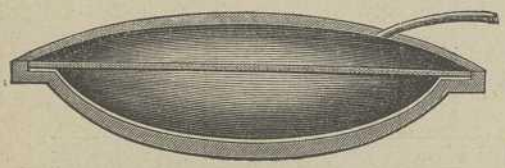


FIG. 257.—Caldera para la producción de sulfato sódico.

Con arreglo á un procedimiento, introducido recientemente por *Hargreaves* y *Robinson*, se obtiene el sulfato de sosa tratando el cloruro sódico (sal común) á la incandescencia roja, con ácido sulfuroso gasiforme, un volumen igual de vapor de agua y cierta cantidad de aire; la marcha de la operación es continua y sólo se necesita emplear combustible al principio, puesto que el calor desarrollado por las reacciones químicas basta luego para sostener la temperatura á la altura precisa.

El ácido clorhídrico que resulta de la conversión de la sal común en sulfato de sosa es un producto muy útil, pero sobremanera molesto para el fabricante; pues como el gas clorhídrico es altamente perjudicial para la vegetación, y también, aunque en grado menor, para la salud, es preciso procurar su condensación hasta lo posible, sin reparar en gastos, y sólo la instalación de los aparatos necesarios supone, en las grandes fábricas, un capital de mucha consideración. Al principio, los fabricantes ingleses creyeron que bastaría difundir el gas sobrante en la atmósfera á grandes elevaciones, y se construyeron al efecto chimeneas verdaderamente colosales; la que levantó Muspratt tiene 128 metros de altura, y la de la fábrica de Tennant, en Glasgow, 133 (igual precisamente á la elevación de la cúpula de San Pedro en Roma), con un diámetro de 12,6 metros á la base, y 3,6 en la parte superior; pero resultó que el gas en cuestión se difunde con lentitud en el aire, y hubo necesidad de apelar á otro recurso. El que mejor responde al objeto y se ha adoptado generalmente, consiste en conducir los vapores clorhídricos que no quedan absorbidos por el agua de

los botijos condensadores antes referidos, al pie de elevadas torres (se construyen hasta de 38 metros de altura), llenas de cok, y condensarlas durante su ascenso á través de semejante columna porosa, por medio de agua que, en forma de lluvia, se distribuye sobre el cok en la parte superior de la torre y baja bañando toda la masa. Dadas las enormes cantidades de ácido clorhídrico que resultan del tratamiento de la sal común arriba descrito, el precio de semejante artículo de comercio llegó á ser tan ínfimo, que no compensaba los gastos de su condensación, y muchos fabricantes de carbonato de sosa se vieron precisados á aprovecharlo en parte en la producción de hipoclorito de cal, clorido de cinc, bicarbonato de sosa y otras sustancias; pero desde que se inició la competencia entre el nuevo procedimiento dicho «al amoniaco» ó de Solvay, y el antiguo de Leblanc, y á medida que se ha ido abandonando este último, el precio del ácido clorhídrico ha subido considerablemente, al menos en el continente (es decir, fuera de Inglaterra), de modo que se ha restablecido el equilibrio normal.

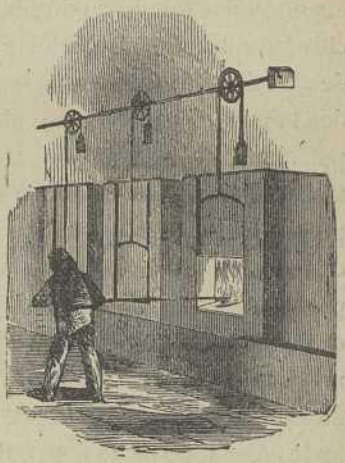


Fig. 258.—Horno para la fabricación del carbonato de sosa.

Volviendo ahora á la fabricación del carbonato sódico por el método de Leblanc, el sulfato de sosa, de cuya producción nos ocupamos antes, se deja enfriar, se pulveriza y se mezcla íntimamente con una cantidad igual por peso, de carbonato de cal, en forma de piedra caliza, creta ó mineral análogo, mas la mitad de su peso de hulla menuda. La mezcla se caldea en un horno de reverbero de construcción especial, que tiene por lo común de seis á siete metros de largo por dos ó tres de ancho, y varias compuertas laterales (fig. 258) por las cuales los operarios revuelven continuamente la masa con pesados espetones y rastros. Una vez caldeado el horno, las cargas se suceden día y noche hasta que el aparato necesita reparaciones; la cantidad de masa tratada en cada carga depende de las dimensiones del horno, así como de la naturaleza de la materia caliza que se emplea; un horno de las dimensiones referidas puede cargarse de una vez con 700 á 1.200 kilogramos de material, cuyo tratamiento supone un trabajo de cuatro horas; pero en algunas fábricas se emplean hornos mucho más pequeños, que reciben sólo 150 kilogramos de material á la vez, y se vuelven á cargar cada hora. La acción del fuego sobre la masa produce primero su fusión superficial, y entonces se vuelve con palas y se cierra el horno, elevando la temperatura hasta que toda la carga adquiera una consistencia pastosa y empiezan á salir de su interior burbujas que, al reventar, producen llamitas azules debidas á la combustión del gas óxido de carbono. Esto tiene lugar á una temperatura de unos 1.000°, esto es, á la de fusión de la plata.

Al mismo tiempo empieza el trabajo de revolver la masa, con el objeto de promover las reacciones químicas; poco á poco van desapareciendo las llamitas azules, que en un principio son muy numerosas y vivas, y se termina la operación antes de que se hayan apagado por completo, porque esto es ventajoso para el rendimiento. La masa pastosa y candente se retira del horno, haciéndola caer en cajones de hierro, en los que se enfría formando como una piedra homogénea y negra.

Para evitar el penoso trabajo que supone el tratamiento en los hornos referidos, así como para poner coto á las exigencias, á veces muy exageradas, de los operarios que lo verifican, se emplean hace años en Inglaterra hornos de cilindro rotatorio, parecidos á los usados en el pudelaje mecánico del hierro, y de que dimos cuenta en un capítulo anterior. Dichos aparatos han dado resultados tan satisfactorios, que ninguna fábrica importante de carbonato de sosa, por el método de Leblanc, carece de ellos. Es verdad que su instalación es bastante costosa, pues un horno con el motor corespondiente vale cerca de 50.000 pesetas, pero ofrecen grandes ventajas: un horno rotativo consume 25 por 100 de combustible menos que el número correspondiente de hornos ordinarios, y su producto es de mejor calidad que el de éstos; amén de que, verificándose mecánicamente la revolución y mezcla de la carga, el fabricante se ve libre de las reclamaciones de los trabajadores. Mientras que en Inglaterra se tratan cada día en un horno reverbero común de los pequeños, de 24 á 27 cargas de sulfato, equivalentes á un total de 36 á 40 quintales métricos, un horno rotativo de las dimensiones más reducidas se traga 150 quintales de sulfato en el mismo espacio de tiempo. Semejantes hornos, pues, sólo se utilizan en la fabricación en grande, esto es, en establecimientos que convierten diariamente en carbonato sódico 300 quintales métricos por lo menos de sulfato, porque siempre conviene contar con dos hornos, á fin de evitar las paralizaciones consiguientes á tener uno sólo, cuando éste necesita reparaciones; y la vigilancia de varios hornos de este género no cuesta más que la de uno. Fuera de Inglaterra son contadas las fábricas que pudieran alimentar dos hornos rotativos, lo que supone una producción anual de 60.000 quintales métricos de carbonato calcinado, y para la gran mayoría, un solo horno del género sería demasiado; pero en dicho país las condiciones de la industria de que tratamos son muy distintas, y existe una fábrica con nada menos que diez hornos rotativos que producen más de 400.000 quintales métricos de carbonato de sosa calcinada; cantidad próximamente igual á la producción anual de todas las fábricas de Alemania juntas.

Cada horno rotativo necesita una máquina de vapor, aun cuando existen en la fábrica varios hornos del género, porque sólo de esta manera puede regularse como corresponde la rotación del cilindro al tiempo de cargar y descargarlo; en cambio un solo motor, de poder suficiente, basta para los cilindros trituradores del sulfato y los elevadores de todos los hornos; estos últimos suelen

combinarse de manera que las cargas se eleven por una sola vía férrea á la altura necesaria para que los vagoncitos puedan vaciarse directamente en los diferentes hornos, mediante las tolvas correspondientes. Se echa primero la creta ó caliza, con dos terceras partes de la hulla necesaria, en grandes terrones ó pedazos, los cuales, merced á la temperatura elevada del horno y su propia humedad, se reducen pronto á polvo, evitándose así los gastos de molerlas previamente. Se pone en rotación el cilindro del horno, y se mantiene el movimiento hasta que parte de la caliza se halla calcinada, es decir, convertida en cal viva; esta operación dura, por regla general, una hora, durante la cual un operario sentado delante del extremo posterior del cilindro observa con cuidado, mediante una pequeña abertura reservada al efecto, lo que pasa al interior, á fin de parar la máquina en el momento en que conviene que cese la reacción, pues de esto depende en gran manera el éxito. Entonces se echa al horno la carga de sulfato de sosa con el resto del carbón, y al cabo de hora y media la masa se halla fundida. La formación previa de cierta cantidad de cal viva tiene por objeto facilitar la lixiviación del producto fundido, que resulta de consistencia pétrea y dura; en contacto con agua, la cal viva que contiene se apaga, aumentando su volumen, y quebranta y ahueca la masa. Al principio el horno gira muy lentamente, completando tan sólo una revolución en veinte minutos; pero luego se va aumentando la velocidad hasta cinco ó seis revoluciones por minuto.

Respecto de las reacciones químicas que, bajo la influencia del calor, se verifican en la mezcla de sulfato sódico, carbonato calizo y carbón, no es tan fácil precisar su naturaleza como á primera vista podría creerse; y á pesar de los muchos ensayos encaminados á resolver la cuestión, el proceso no se ha explicado aún del todo satisfactoriamente. Un simple cambio de ácidos, de modo que el sulfato sódico y el carbonato calizo se transformen en carbonato de sosa y sulfato de cal, es en teoría posible hasta cierto punto, y algunos químicos creen que, en efecto, parte del carbonato sódico se forma de esta manera directa; pero de hecho el proceso químico consiste principalmente en las reacciones siguientes: el carbon candente se asimila con avidez todo el oxígeno del sulfato de sosa, reduciendo esta sal al estado de sulfuro de sodio; éste reacciona en el acto con el carbonato de cal, de modo que se forma de un lado carbonato sódico y de otro sulfuro de calcio. Mas como este sulfuro simple es algo soluble en agua, de modo que, al lixiviar el producto, parte de él se disolvería con el carbonato de sosa, se emplea en la carga del horno un exceso de caliza, es decir, algo más de lo estrictamente necesario con arreglo al cálculo químico, dando así lugar á la formación de una combinación doble, ó sea la de sulfuro de calcio con cal (un oxisulfido de calcio, como dice el químico moderno), sustancia insoluble en agua, tanto caliente como fria. Según las investigaciones más recientes, dicha sustancia no es en realidad una combinación química

doble, sino una mezcla de sulfuro de calcio con óxido del mismo elemento,

El carbonato de sosa en bruto que resulta de la operación que acabamos de describir, constituye una masa compacta, á manera de escoria, que, á los fines de su elaboración ulterior, es preciso triturar. Merced á una parte de carbón que no se consumió en el horno, ostenta un color negruzco ó gris, y según el estado de pureza de las primeras materias empleadas, las proporciones de la mezcla y la duración de la fusión contiene diversas sustancias, en cantidad muy variable. El tratamiento en el horno puede pecar lo mismo por excesivo que por insuficiente, y el fundidor tiene que ser hombre experimentado y prudente. El contenido en sosa, que en gran parte asume la forma de carbonato, pero también en parte la de sosa cáustica ú óxido de sodio simple, compone por lo común de 30 á 45 por 100 de la masa total, y otro tanto representa el sulfuro cálcico; al lado de estos componentes principales se encuentran pequeñas cantidades de sal común (cloruro de sodio), sulfato de sosa, óxido de calcio (cal viva), sulfuro de hierro, sales térreas insolubles, etc. A pesar de semejantes impurezas, la masa cruda puede emplearse en tal estado en algunas industrias, como la fabricación del jabón y la del vidrio común; pero hoy ya se encuentra rara vez en el comercio, porque el público es cada vez más exigente respecto de la pureza de los productos; de modo que todas las fábricas entregan carbonato de sosa purificado, es decir, calcinado ó cristalizado.

Por lixiviación de dicha masa cruda con agua caliente se separan las partes solubles y útiles de las impurezas insolubles. Los métodos que se siguen para ello son diversos: se puede echar el producto, reducido á pedacitos, en los depósitos de agua, promoviendo su desintegración y la disolución consiguiente por medio de agitadores, y luego trasegar la lejía; ó bien se expone primero la masa cruda algún tiempo á la acción de la atmósfera, á fin de que la sosa cáustica que contiene, lo mismo que la cal, se asimilen el ácido carbónico del aire, lo que produce un desmoronamiento de las partes más duras.

De cualquier modo es preciso que la lixiviación apure la masa lo más completamente posible, con el empleo de una cantidad mínima de agua, y por estas razones se hace pasar la lejía por diferentes cajones de filtración dispuestos en serie, de modo que se vaya concentrando cada vez más y pueda evaporarse con ventaja al dejar el último cajón. El aparato que más comúnmente se emplea al efecto consiste en una serie de grandes recipientes ó depósitos de hierro escalonados (fig. 259), que se alimentan con agua caliente, y cuya temperatura se mantiene por medio de vapor de agua; en cada recipiente se hallan suspendidas series de cajas de palastro, con paredes perforadas, en las que se echa el carbonato crudo triturado, y para la debida circulación de la lejía, cada recipiente está provisto de sifones que elevan el líquido más concentrado del fondo, vertiéndolo en la parte superior del recipiente inferior inmediato. Suponiendo que la operación se halla en plena marcha, encontraremos la lejía en

todos los recipientes, con diferente grado de saturación, la más diluída en el recipiente superior, único que recibe el agua pura, y la más concentrada en el inferior de la serie; al paso que de tal modo circula la lejía, las cajas que contienen el carbonato crudo recorren el camino inverso; es decir, que cada cuatro á cinco horas, las de cada serie se trasladan al recipiente superior inmediato, ó á la división correspondiente del mismo, de modo que, habiéndose quitado la primera serie del recipiente de arriba, resulta en el de abajo una división libre, en la que se suspenden cajas llenas de material fresco. Los residuos contenidos en la serie de cajas quitada del aparato se tiran, á menos que, con arreglo á un nuevo sistema, se quieran aprovechar en la producción del azufre, como explicaremos al tratar de esta materia.

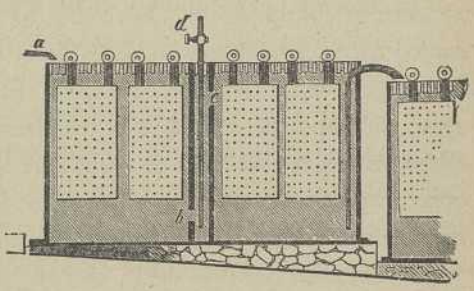


FIG. 259.
Aparato para la lixiviación del carbonato de sosa crudo.

La lejía saturada procedente del aparato de lixiviación se somete á la evaporación. Según el método antiguo, ésta tiene lugar en grandes calderas aplanadas de hierro, que se calientan desde abajo, mientras que modernamente se prefiere calentar el líquido desde arriba. Con arreglo á este método, la caldera ó depósito rectangular se halla situado al interior de un horno de reverbero, constituyendo su laboratorio ó plaza, de modo que las llamas y gases del hogar, guiados ú obligados por una bóveda rebajada, van lamiendo la superficie de la lejía, lo cual da margen á una ebullición muy activa y una evaporación rápida. En algunas fábricas, las calderas de evaporación están combinadas con los hornos de fusión de tal suerte, que el calor sobrante de esta operación se aprovecha para aquélla, sin necesidad de otro hogar. Otra ventaja del nuevo método consiste en que, como el fondo de la caldera apenas se calienta, no se produce sobre él la costra dura de sal, cuya formación tanto trabajo cuesta impedir, según el método antiguo; al contrario, el carbonato de sosa se precipita en forma de pequeños cristales aislados, que se depositan tranquilamente sobre el fondo, y que se sacan cómodamente de cuando en cuando por medio de una herramienta especial. Al tiempo de sacar la sal, esto es, cada ocho horas por regla general, se introduce una nueva porción de lejía, de modo que la evaporación puede continuar durante semanas enteras. Desde el comienzo de la cristalización hasta un momento determinado se precipita carbonato de sosa casi puro, que se retira y separa como producto superior; la sal que se precipita después resulta cada vez menos pura, á medida que en la lejía madre se van concentrando las diversas impurezas, y al cabo de cada operación se aparta la sal impura última depositada para disolverla de nuevo y purificarla.

El carbonato útil resultante de la evaporación se deja escurrir y se lava

también rápidamente rociándola con un poco de agua fría, á fin de alejar la lejía que aún queda adherida á los cristales; ó bien, y esto resulta más ventajoso, se promueve la separación en un aparato centrífugo. Con el objeto, no sólo de secar el carbonato de sosa, sino también de expulsar su agua de cristalización, se somete á una especie de calcinación, que por regla general se verifica en un horno de reverbero. La temperatura no debe elevarse hasta el punto de que el carbonato se funda, y se considera como la más apropiada la correspondiente al punto de fusión del plomo. Durante la operación es preciso remover de continuo la carga, y una vez expulsada el agua químicamente combinada, la sal aparece en forma de un polvo bastante blanco, que constituye el carbonato sódico *calcinado* del comercio. Además de perder su agua, dicha sal gana también en calidad, pues merced á la influencia del aire que atraviesa el horno, así como del vapor de agua que se desprende y del ácido carbónico procedente del fuego, se oxida el sulfuro de sodio que todavía contiene el producto, convirtiéndose en parte en sulfato y en parte en carbonato de sosa, mientras que el contenido en sosa cáustica también se transforma en carbonato. Esta sal calcinada y más ó menos pura (es decir, con el 3 al 25 por 100 de sales extrañas), constituye el producto principal de la fabricación de que tratamos, pues es la clase de carbonato de sosa que más se emplea en las industrias; antes de entregarla al comercio se muele y tamiza.

Pero también se consume una cantidad no despreciable de carbonato de sosa *cristalizada*, que se produce disolviendo la sal calcinada en el mínimum posible de agua caliente, clarificando la lejía y dejando cristalizar, ó bien se evita la calcinación, dejando durante algún tiempo expuesto al aire el carbonato obtenido por la primera evaporación, á fin de dar lugar á que la parte de lejía que queda adherida á él se sature con ácido carbónico. Disuelta, pues, esta sal ó el carbonato calcinado en agua caliente, la disolución se deja reposar algunos días para que se depositen las impurezas, y entonces se evapora hasta la saturación y se traslada á recipientes de hierro poco profundos, que se llenan hasta el borde, colocando después transversalmente sobre sus bordes numerosas varas de hierro; estas varas, cuya cara inferior se halla bañada por la disolución salina, sirven de punto de apoyo para los cristales, que van creciendo de arriba abajo, alcanzando á veces una longitud de 25 á 30 centímetros. Al cabo de nueve á diez días, según la temperatura atmosférica, todo el carbonato de sosa contenido en la disolución se ha cristalizado, mientras que las impurezas quedan disueltas. Los cristales constituyen el producto que hoy se vende en las tiendas más diversas y que se consume generalmente en las casas y por las lavanderas, por ser la única clase del carbonato en cuestión que suele venderse al por menor. Esto reconoce por causa que el producto cristalizado cuesta cerca de la mitad del calcinado; mas sería un error suponer que aquél es más barato que éste, pues el carbonato cristalizado, á pesar de estar perfectamente

seco, contiene más de la mitad de su peso de agua químicamente combinada (el 63 por 100). Por exposición al aire, los cristales de dicha sal, al principio diáfanos, se enturbian y pierden parte de su agua de cristalización, hasta que por fin se desmoronan, quedando reducidos á un polvo blanco, que sólo contiene la mitad del agua de origen.

Para determinados usos, como, por ejemplo, en la fabricación del vidrio blanco de primera calidad, el carbonato de sosa ordinario no es bastante puro, y tiene que someterse á un afino; operación que se reduce á una repetición de la elaboración anterior. Si se somete el carbonato cristalizado de buena calidad á la acción del fuego, expulsando su agua de combinación, se obtiene, como es consiguiente, un carbonato calcinado superior. También se obtienen carbonatos excelentes tomando el primer producto de la evaporación general (aquellos cristalitos más puros que mencionamos más arriba) y calcinándolo, ó bien disolviéndolo y cristalizándolo nuevamente.

Las disoluciones madres que quedan después de los procedimientos de evaporación y cristalización, contienen, además de las materias extrañas, sosa bastante para que tenga cuenta seguir elaborándolas. Se mezclan semejantes líquidos con carbón menudo y serrín, hasta que la masa pastosa resultante pueda amasarse en forma de bolas, que se secan y calcinan, obteniendo de este modo un carbonato sódico de calidad inferior.

De la misma manera que el carbonato de potasa se transforma en potasa cáustica por medio de la cal viva, puede convertirse el sódico en sosa cáustica ó hidróxido de sodio, que se aplica industrialmente en las fabricas de jabón, los establecimientos de blanqueo, la preparación de diversos productos químicos, etc. Se vende en el comercio en estado de lejía muy concentrada, ó en forma de una masa sólida y blanca, y en general puede decirse que se hace de él mayor consumo que de la potasa cáustica.

Un material que se presta muy bien á la fabricación del carbonato sódico y sosa cáustica puros, y que se emplea con tal objeto de algún tiempo á esta parte, es el mineral *kryolita*, que hasta hoy sólo se ha encontrado cerca de Ivitut, en la bahía de Arksut, al Sur de Groenlandia; se descubrió por Schumacher en 1795, y se llamó *kryolita* (piedra de hielo) por su semejanza con el hielo. Abildgaard halló que este mineral se componía de ácido fluorhídrico, alúmina y un álcali, que creyó era potasa, pero Klaproth demostró que es en realidad sosa; y los análisis posteriores de Vauquelin, Berzelius y Deville establecieron definitivamente su verdadera naturaleza, resultando que es una combinación de fluorido de sodio con sesquifluorido de aluminio. Pero transcurrió cerca de medio siglo antes de que la ciencia mostrase la gran importancia industrial de la kryolita, pues sólo en 1849 descubrió Thomsen, de Copenhague, que dicho mineral se descompone con facilidad mediante la cal y sus sales, tanto por la vía seca como por la húmeda; y en esta reacción estriba toda la indus-

tria kryolítica. En 1845 se llevó á Dinamarca la primera partida considerable, ó sean 56 toneladas del mineral en cuestión, y desde entonces se han sacado de Groenlandia más de 300.000 toneladas métricas del mismo; con arreglo á los contratos actuales, América recibe anualmente 6.000 toneladas, y Europa 4 000; en los Estados Unidos se utiliza desde 1865, y en nuestro continente lo emplean cuatro fábricas. En el procedimiento de que es objeto, la cal, que, como recordarán nuestros lectores, consiste en calcio y oxígeno, descompone tanto el fluorido de sodio como el sesquifluorido de aluminio; parte del oxígeno de la cal pasa al sodio, formando la sosa ú óxido sódico, mientras que el calcio correspondiente se combina con el fluor; al propio tiempo otra parte de calcio se asimila el fluor del fluorido de aluminio, formando también fluorido cálcico, mientras que el oxígeno procedente de esta segunda parte de cal se une con el aluminio para formar alúmina. Como la kryolita no contiene hierro, se obtiene, mediante una cal no ferruginosa, una alúmina también libre de dicho metal, lo cual es de importancia para la fabricación del sulfato de alúmina y del alumbre. Al mismo tiempo se obtiene una lejía de sosa, que se convierte en una de carbonato sódico, saturándola con ácido carbónico.

Para descomponer la kryolita por la vía seca, se la caldea hasta el rojo con creta (carbonato de cal), evitando toda fusión de la masa, operación que da lugar á la formación de un compuesto de alúmina con sosa (aluminato sódico) y fluorido de calcio. La masa caldeada se lixivia con agua, disolviéndose el aluminato sódico y quedando sin disolver el fluorido cálcico; entonces se hace pasar á través de la disolución la cantidad necesaria de ácido carbónico, que se produce por la combustión de cok, y resulta una lejía de carbonato de sosa y un precipitado de alúmina hidratada, que se deposita en el fondo de la vasija. El fluorido de calcio, que antes se miraba como un producto inútil, se aprovecha hoy en la fabricación del vidrio.

Mas á pesar de las excelentes calidades de la kryolita, su producción, necesariamente limitada, y la gran distancia á que se encuentra la Groenlandia, impiden su aplicación más general á la fabricación del carbonato de sosa, y es probable que se aprovechara más bien en la de alúmina y del aluminio, especialmente en vista del incremento que va tomando la producción de dicho carbonato por el nuevo procedimiento llamado *al amoniaco*, á que hemos aludido ya repetidas veces, y que han adoptado muchas fábricas belgas y alemanas.

Hace mucho tiempo que se venía tratando de inventar un método para convertir directamente la sal común (cloruro sódico) en carbonato de sosa, sin necesidad de transformarla primero en sulfato, y se han hecho muchísimos ensayos infructuosos en tal sentido. Es verdad que el procedimiento al amoniaco, único que hasta la fecha ha resuelto el gran problema, no es de origen tan reciente como en general se cree, pues en 1838 los ingleses *Harrison Dyar* y *John Hemming* sacaron un privilegio de invención referente al mismo, y desde el

principio los industriales concibieron las mayores esperanzas. Pero su aplicación tropezó entonces con una dificultad insuperable por el pronto, toda vez que no se hallaba desarrollada la fabricación del amoniaco, y, por lo tanto, no se podía obtener en cantidad y barato; además, la parte mecánica del procedimiento dejaba todavía que desear, y Anthon contribuyó á desvirtuarlo, en cuanto á la parte química, demostrando que una parte considerable de la sal quedaba sin descomponer. Sin embargo, y gracias á las investigaciones de *Türk*, *Schlössing*, *Marguerite*, *de Sourdeval*, *Young*, *Honigmann*, *Gerstenhofer*, y, por último, *Solvay*, de Bruselas, á quien se atribuye comunmente el invento, el procedimiento «al amoniaco» se perfeccionó tanto, que al fin pudo ponerse en práctica. En Bélgica y en Alemania se halla ya en vía de sustituir al método de Leblanc, si bien éste no está llamado á desaparecer por completo, porque no podemos prescindir del ácido clorhídrico que se produce por su medio; en cambio, los fabricantes ingleses que trabajan con los hornos rotativos ya descritos, y cuyas instalaciones representan un capital tan enorme, no parecen dispuestos á abandonar el método de Leblanc.

El procedimiento «al amoniaco», también llamado de *Solvay*, se funda en el hecho de que una disolución concentrada de cloruro sódico (sal común) se descompone bajo la acción del bicarbonato de amoniaco, combinada con una presión de dos atmósferas próximamente, de manera que se forman bicarbonato de sosa y muriato amoniacal, de los que el primero se precipita, mientras que el segundo permanece disuelto. El bicarbonato, separado de la disolución, se caldea para expulsar la mitad de su ácido carbónico, con lo cual queda convertido en carbonato de sosa simple. En cuanto al muriato amoniacal, ó cloruro de amonio, se descompone por medio de cal, de manera que el amoniaco queda en libertad, y sólo hay que saturarlo con ácido carbónico para poder emplearlo de nuevo en la descomposición ó conversión de una nueva partida de sal común. Este procedimiento, pues, representa una circulación continua, en la que el amoniaco se vuelve á recuperar y utilizar, y el único producto secundario es el cloruro cálcico (hipoclorito) que resulta de la descomposición del muriato de amoniaco por la cal. El producto principal, ó sea el carbonato de sosa, se distingue por su gran pureza, pues sólo tiene, por regla general, de uno á dos por 100 de materias extrañas.

Nos hemos ocupado con algún detenimiento de la fabricación del carbonato de sosa, porque se relaciona íntima y esencialmente con la del ácido clorhídrico, el sulfato sódico, el hipoclorito de cal y otros productos importantes, y constituye en cierto modo el núcleo de la industria química. La fabricación del vidrio y del jabón depende directamente de la producción en masa de carbonato sódico barato, y no necesitamos encarecer la inmensa importancia de semejantes industrias, tanto para la ciencia como la vida doméstica. Por otra parte, movíanos también el deseo de despertar en nuestros lectores el interés

por una industria que, dada la abundancia de sal en España y sus aguas marinas, y la facilidad de producirla en masa, no menos que la de los elementos necesarios para fabricar ácido sulfúrico y amoniaco, debiera ser, como lo ha sido para Inglaterra, una de las grandes fuentes de prosperidad nacional.

El *bicarbonato de sosa* es otro producto con el cual estamos todos más ó menos familiarizados, ora porque con su empleo hemos mejorado nuestra digestión ó echado á perder el estómago, ora por el papel tan importante que desempeña dicha sal en la producción de bebidas gaseosas. El agua de Seltz artificial no es más que agua pura, en la que se ha disuelto algún bicarbonato sódico. Este se distingue del carbonato simple sencillamente en que contiene una proporción doble de ácido carbónico, y aquél puede convertirse con facilidad en bicarbonato con sólo exponer sus cristales algún tiempo en una atmósfera de dióxido de carbono. Se construyen al efecto cámaras de mampostería, en las que se deposita el carbonato cristalizado y se desarrolla el ácido carbónico necesario; la sal humedecida se extiende sobre lienzos sujetos por bastidores, y al absorber el ácido carbónico suelta las nueve décimas partes de su agua de cristalización; este líquido se recoge y aprovecha, porque contiene un poco del carbonato disuelto. Basta un sencillo ensayo químico para notar cuándo el proceso toca á su término; y aparte de dichas cámaras, sólo se necesita un generador del gas ácido carbónico, que se desarrolla fácilmente vertiendo ácido clorhídrico diluído sobre pedazos de piedra caliza.

NITRO

Prosiguiendo nuestras indagaciones acerca de la potasa y la sosa, tenemos que pararnos á contemplar una fábrica ante cuya grandiosidad quedan reducidos á la nada todos los establecimientos técnicos del mundo: nos referimos á la fabricación del nitro, la formación del ácido nítrico y los nitratos alcalinos, que practica sin intermisión la madre Naturaleza. Los talleres de esta fábrica comprenden casi toda la superficie de nuestro globo, hallándose distribuídos en dos pisos: el suelo terrestre y la atmósfera.

Sabido es que el aire se compone de dos elementos gasiformes, el nitrógeno ó ázoe, y el oxígeno, los mismos que constituyen uno de nuestros ácidos más fuertes, el nítrico; la única diferencia consiste en que en el aire dichos elementos se hallan sólo mezclados, mientras que en el ácido nítrico están combinados químicamente. Trataremos más adelante de las propiedades de dicho ácido y de la manera cómo se produce industrialmente; lo que nos interesa por el pronto es su formación en la Naturaleza. Es un hecho averiguado que una reunión química de los elementos nitrógeno y oxígeno se verifica con regularidad en la atmósfera, si bien en escala tan reducida, que es preciso la mirada penetrante

de la ciencia para percibirla. Sin embargo, merced á la continuidad del proceso y la inmensidad del campo en que se desarrolla, la producción natural de ácido nítrico es tan enorme, que responde por completo á las prodigiosas exigencias del caso.

Cuando se someten á la evaporacion grandes cantidades de agua llovediza, ó de la que resulta de la fusión de la nieve, puede demostrarse con toda claridad la presencia en ellas del ácido nítrico; empero no aparece en estado libre, sino combinado, por regla general, con amoniaco. La lluvia de las tormentas es la más rica en ácido nítrico, y abunda también, relativamente hablando, en la lluvia que cae después de una sequía prolongada. Si pues las aguas llovedizas arrastran en su caída semejante ácido, es preciso que su formación tenga lugar en la atmósfera; no puede proceder de nuestro suelo, porque nunca se presenta en éste, ni puede presentarse, en estado libre. La fuerza que reune ó combina en el mar atmosférico los átomos de oxígeno y de nitrógeno para formar ácido nítrico, es la electricidad: esto lo ha demostrado Darvy de un modo evidente; pues al producir dentro de una campana de vidrio, llena de aire ordinario, una serie de descargas eléctricas, parte de una disolución de potasa cáustica, químicamente pura, que había colocado bajo la campana, se convirtió en disolución de nitro, ó sea nitrato potásico, una combinación de la potasa con ácido nítrico.

Es distinto lo que sucede con el amoniaco, esa combinación volátil de naturaleza alcalina, que consiste en un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno, y que conocen, sin duda, nuestros lectores en su disolución acuosa. Es verdad que con el ácido nítrico de que hablamos en el párrafo anterior, baja también amoniaco de la atmósfera; pero éste procede siempre de las regiones inferiores, pues nuestro olfato nos demuestra claramente en excusados, cuadras y campos recién estercolados, que durante la putrefacción de materias orgánicas animales se desprende gran cantidad de amoniaco (combinado con ácido carbónico), esparciéndose en el aire, con gran pesar del agricultor inteligente, que pierde con dicha sustancia un abono precioso.

Mas he aquí el inmenso beneficio de la formación aérea, digámoslo así, del ácido nítrico: recoge el amoniaco en regiones donde no tiene utilidad alguna para transportarlo allí donde puede servir; es decir, que dicho ácido obra á la vez como purificador del aire y fertilizador del suelo. El nitrógeno, que se encuentra en las semillas de la plantas en mayor cantidad que en sus demás partes, y contribuye en los alimentos á la formación de combinaciones azoadas animales, se halla, pues, en circulación continua, apareciendo alternativamente en forma de amoniaco y de ácido nítrico, de igual modo á lo que sucede con el carbono, cuyas combinaciones orgánicas tienen su origen en el ácido carbónico, y al descomponerse vuelven á producirlo. No es, por lo tanto, inverosímil que la acción tan benéfica que ejerce sobre la vegetación la lluvia de una tormenta, se deba principalmente á la abundancia relativa de ácido nítrico

y amoniaco que ésta contiene. Por lo demás, es también posible que por oxidación, ó sea asimilación de oxígeno, se verifique en el aire una transformación directa del amoniaco en ácido nítrico, acompañada de la formación de agua. Por otra parte, semejante transformación, que es fácil demostrar por la vía experimental, desempeña acaso el papel principal en la formación del ácido nítrico que tiene lugar en el suelo; de modo que la mayor parte, cuando no la totalidad de dicho ácido procedente de esta fuente, ha sido una vez amoniaco, que se ha convertido en ácido nítrico por asimilación de la cantidad correspondiente de oxígeno.

La formación del nitro ó salitre en el suelo no es tan general como la de su ácido en la atmósfera, sino que se verifica sólo en localidades donde se reunen las condiciones favorables. Tales son: la presencia de sustancias azoadas en putrefacción, de las que las más ricas en nitrógeno son los excrementos del hombre y de animales; la existencia de álcalis ó tierras alcalinas; la penetración fácil del aire, y, por lo tanto, la porosidad de los materiales referidos; cierto grado de humedad; calor, y, por último, un fundamento conveniente como el humus. De esto se deduce que cada terreno cultivado ó feraz se halla más ó menos bien dispuesto para la formación del nitro, toda vez que las condiciones referidas se hallan hasta cierto punto reunidas en él. En los estercoleros, las cuadras y sitios análogos, las condiciones son mucho más favorables, y, por consiguiente, la fermentación y la formación del nitro se verifican más rápidamente.

En muchos países cálidos se forma y acumula en la tierra superficial una cantidad considerable de nitro, cuya presencia suele manifiestarse en forma de eflorescencias de la sal después de las lluvias. En tales regiones la producción del nitro se verifica sencillamente lixiviando la tierra con agua y luego evaporando la disolución obtenida. Hungría, España, Egipto, Persia, y ante todo las Indias orientales, tan cálidas y húmedas, se hallan en el caso referido; en Bengala, por ejemplo, donde la naturaleza tropical crea y destruye los organismos con una energía de la que apenas podemos formarnos una idea adecuada, el suelo es tan rico en nitro, que los manantiales tienen su sabor salino particular, constituyendo semejantes aguas por sí solas un abono excelente para los sembrados de cereales. Las Indias orientales fueron, por lo mismo, durante cierto tiempo, la fuente que abastecía de nitro á casi toda Europa. En los países menos favorecidos por la Naturaleza en el sentido consabido, especialmente los del Norte de nuestro continente, se producía antes bastante nitro por modo semiartificial, mediante las llamadas plantaciones de nitro; es decir, formando montones con sustancias azoadas en descomposición, mezcladas con tierra, escombros, cenizas de leña, etc., humedeciéndolos de continuo con estiércol líquido y orina, y lixiviando la masa al cabo de algunos años. A esto se reducía lo artificial del procedimiento, pues la formación misma del nitro lo verificaba

la Naturaleza, de la misma manera que en las regiones cálidas antes referidas. En Francia, durante la Revolución, el Gobierno apeló á un medio bastante original para obtener el nitro que necesitaba para la fabricación de la pólvora; numerosos empleados vigilaban periódicamente todos los corrales, cuadras, estercoleros, etc., y cuando la tierra que constituía su asiento se encontraba bastante rica en nitro, se excavaba, se lixiviaba y volvía á dejar en su sitio; de este modo refiérese que se obtenían anualmente unos dos millones de kilogramos de dicha sal.

Pero la producción del nitro en esta forma ha cesado ya casi por completo en Europa, salvo en lo que era Polonia, y en Suecia, donde los labradores se dedican desde hace mucho tiempo á las «plantaciones» referidas. En lugar de éstas, encontramos en otros países establecimientos para el afino del nitro crudo de la India, y para la conversión del nitro sódico de Chile en el nitro ordinario cuya base es la potasa. Esta última industria, unida á la explotación en masa de la potasa (carnalita) de Stassfurt, que, como ya dijimos, se convierte en gran parte en nitro, han limitado en tiempos recientes la importación del producto indio; y con semejantes evoluciones ha salido ganando la agricultura, por cuanto ya no se le priva, como antes sucedía, de un abono de que tanto necesita, sino que además, y dada la producción mayor de la sal que nos ocupa, lo encuentra á mano y más barato que otras veces.

Para que la formación del nitro sea posible, es menester que exista una base, en la acepción química de la palabra, con la cual pueda combinarse el ácido nítrico al tiempo de producirse. Por esto en las llamadas «plantaciones» se agregaba á los montones en fermentación la mayor cantidad posible de sustancias potásicas, y también cal, á fin de que, á falta de nitro propiamente dicho, pudiera formarse al menos nitrato cálcico. En los suelos en que la formación del nitro procede por vía natural, tampoco existe únicamente la potasa, sino también cal, magnesia y sosa, que se combinan todas con el ácido nítrico. Pues bien; para convertir en nitro potásico todas estas sales, que resultan disueltas en la lejía obtenida por lixiviación de las tierras, es necesario agregar á ésta una disolución de carbonato de potasa, mientras siga produciéndose, por su medio, un precipitado. Por la reacción de los elementos en juego, el carbonato potásico y el nitrato cálcico se transforman en nitrato de potasa (nitro) y carbonato de cal, cuyo último se deposita en forma de un polvo blanco insoluble; lo propio sucede con el nitrato de magnesia, salvo que, como es sabido, se forma al lado del nitro carbonato de magnesia, que es también un polvo prácticamente insoluble en agua: por último, el nitrato sódico, cuya cantidad siempre es reducida, se transforma asimismo, en presencia del carbonato potásico, en nitro y carbonato de sosa. Semejante tratamiento de la lejía de origen con carbonato de potasa, puede evitarse agregando á la tierra nitrosa, antes de lixiviarla, una cantidad suficiente de ceniza de leña; ésta suministra la potasa que

contiene, la cual opera la transformación referida de los nitratos sobre el filtro mismo, esto es, durante la lixiviación.

La cal tiene sobre todo el poder de combinarse químicamente con el nitrógeno y el oxígeno para formar un nitro cálcico; y en la India se extrae este producto, no sólo de la tierra vegetal, sino también de ciertas cuevas en la roca caliza. En Bélgica sucede algo parecido, pues se encuentran allí tres cadenitas de cerros compuestas de una caliza coralífera sumamente porosa, que por sí ya contiene nitro, pero que manifiesta más especialmente su fuerza combinadora cuando se pulveriza y mezcla con estiércol y materias vegetales en descomposición; este mineral, pues, presta muy buenos servicios á la agricultura belga, si bien no parece que su abundancia haya dado lugar al desarrollo de ninguna industria especial para la producción ó extracción del nitro.

Para que la lejía que se obtiene por lixiviación de tierras nitrosas naturales ó artificiales merezca la pena de evaporarse, es preciso que contenga, cuando menos, del 10 al 14 por 100 de nitro; entonces se somete á la cocción en calderas de hierro. Pero su evaporación no tiene sólo por efecto la producción del nitro en cristales, sino que al mismo tiempo se purifica esta sal por la eliminación de los cloruros de sodio y potasio presentes en la lejía. La sal común, y también el cloruro potásico en grado algo menos pronunciado, no se disuelven en mayor cantidad en agua hirviendo que en agua fría, mientras que el nitro, que necesita para su disolución siete y media veces su propio peso de agua de cero grados, se disuelve ya en las dos quintas partes de dicho peso de agua hirviendo. Por consiguiente, al enfriarse una disolución saturada y caliente de nitro y sal común, la mayor parte del nitro se separa, cristalizándose, mientras que casi toda la sal queda disuelta; y por la repetición de la operación se tiene en la mano el poder llevar la purificación hasta el extremo que se quiere. Empero, por regla general, los productores propiamente dichos, ó extractores, se limitan á la producción de nitro en bruto ó crudo, dejando su purificación á las fábricas que se dedican á semejantes operaciones.

La purificación ó el afino del nitro tiene que llevarse hasta su límite extremo cuando se trata de preparar dicha sal para la fabricación de la pólvora, porque el resto más insignificante de los cloruros de sodio ó de potasio basta para dar una pólvora que atrae la humedad. En otros tiempos, los fabricantes de esta materia explosiva no confiaban á ningun extraño el afino del nitro que empleaban, sino que lo purificaban en sus propios establecimientos; es decir, que la operación de que hablamos constituía una parte integrante de la fabricación de la pólvora; pero hoy ya el nitro de primera calidad del comercio, es tan puro, que aquellos fabricantes pueden emplearlo tal como lo compran. El nitro potásico se emplea además en la pirotécnica, en medicina y mezclado con sal común para la salazón de las carnes.

El afino del nitro se funda, como indicamos más arriba, en los diferentes

grados de solubilidad de dicha sal y de los cloruros referidos. La disolución casi enteramente libre de cloruro sódico (sal común) se cuece nuevamente con cierta cantidad de cola, que le priva de color, eliminando las materias orgánicas parduscas que contiene; se forma en la superficie bastante espuma, que hay que ir quitando con cuidado. Después de dejar reposar el líquido á la temperatura de 90° para que se clarifique, durante lo cual también se deposita un poco de sal común, se traslada con las precauciones debidas á las vasijas de cristalización. En éstas, y para que no se separe ninguna sal común y se formen tan sólo cristales de nitro, se agrega á la disolución saturada cierta cantidad de agua fría; se agita continuamente á fin de obtener el nitro en cristales diminutos, ó sea en forma de harina, como se dice técnicamente, y cuando, al cabo de algunas horas, no se forman ya más cristales, dicha harina se saca y somete á un lavado. Se verifica éste en artesas de construcción especial (figura 260), provistas lateralmente y junto al fondo de agujeros, que se cierran con tapones de corcho; dichas artesas se llenan con el nitro afinado, que se rocía con una disolución saturada de la misma sal, y se deja reposar durante un par de horas, sacando entonces los tapones referidos y dejando salir el líquido. La disolución saturada empleada no puede disolver el nitro, pero arrastra consigo la parte de la lejía madre que quedaba adherida á los cristales y que contiene la sal común. Semejante lavado se repite más ó menos veces, según los casos, y en la última no se rocía el nitro con una disolución del mismo, sino con un poco de agua pura y fría.

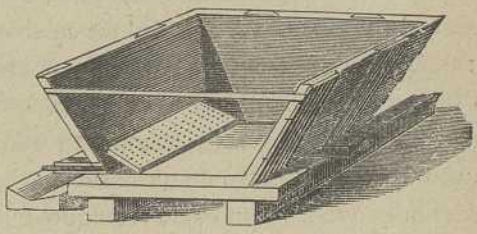


FIG. 260.—Artesa para lavar el nitro.

Después se deja escurrir el nitro lavado durante algunos días en las mismas artesas, y se le da, por último, la forma en que ha de entregarse al comercio. Al efecto, se seca sobre planchas de metal, revolviéndolo bien constantemente á fin de que no se aglomere, y obteniéndolo de este modo en forma de un polvo basto; ó bien se funde á la temperatura más baja posible y moldea en forma de panes, en la que si el nitro resulta más cómodo de transportar, no se presta tan bien á todos los usos. En el comercio al por menor se vende el nitro, por lo general, en cristales relativamente grandes, que se obtienen disolviendo la harina de nitro en agua caliente hasta la saturación, y dejando entonces enfriar el líquido.

Respecto de la constitución química del nitro propiamente dicho, sólo diremos que se compone de 46,60 por 100 de potasa y 53,40 de ácido nítrico, sin agua de cristalización alguna; la poca humedad que se observa en los grandes cristales de nitro es extraña á su masa, habiendo sido encerrada mecánicamente entre las partes prismáticas de los agregados cristalinos al tiempo de formarse éstos.

NITRO SÓDICO Y SU TRANSFORMACIÓN EN NITRO POTÁSICO

Ciertas regiones de la América meridional son teatro de un fenómeno tan sorprendente como problemático; pues careciendo actualmente, al parecer, de todas las condiciones para la formación del nitro ó salitre, su suelo encierra cantidades enormes de nitrato de sosa. El territorio estrecho que comprende la parte meridional del Perú y la septentrional de Chile, limitado al Este por los Andes y al Oeste por el Pacífico, y que abraza la provincia de Tarapaca, constituye una altillanura de 1.000 á 1.200 metros de elevación sobre el mar, que se halla convertida en un desierto, pues nunca cae sobre ella lluvia bastante para sostener la menor vegetación. En cambio el suelo, en una extensión de más de 150 kilómetros, contiene una riqueza incalculable en nitro sódico (el nitro de Chile, del comercio), que se presenta en diferentes puntos de muy diversos modos. En muchas partes se manifiesta á la superficie en forma de eflorescencias, que ofrecen el aspecto de nieve sucia, ó bien se encuentra formando masa en depresiones que parecen como estanques ó pequeños lagos desecados, cuya superficie cubre, mezclado con sal común, en un espesor de cinco á ocho centímetros. Otras masas sólidas de nitro sódico se presentan en cuevas y hendeduras de la roca, excavándose lo mismo que la piedra en las canteras; mientras que, por otro lado, se encuentran los cristales aislados del nitro en cuestión constituyendo extensos depósitos, y que se explotan como los depósitos de grava, á un metro bajo la superficie del terreno.

La región más rica en nitro sódico es la extensa pampa de Tamarugal, cuya abundancia en dicha sal es tan enorme, que toda Europa podría abastecerse de ella por espacio de muchísimos años. En el territorio vecino, y también desierto, de Atacama, se presentan asimismo depósitos de nitro sódico, cuya importancia es acaso tan grande como los de Tamarugal. En diferentes puntos se ofrecen, en lugar del nitro sódico, depósitos de sal común, la cual constituye también la impureza principal del nitro de Chile, el cual encierra otras materias extrañas en cantidades menores, á saber: el óxido de hierro, el yodo en forma de yodato de sosa, el sulfato y el carbonato de sosa, el cloruro de cal, el borato cálcico, etc. El contenido de la masa general en nitro sódico varía, pues, considerablemente, ó sea, entre 20 y 85 por 100; de modo que para muchos usos es preciso purificar el producto natural, disolviéndolo y dejando cristalizarse el nitro.

Es difícil formar un concepto preciso del proceso natural á que se debe la existencia de tan singulares depósitos de nitro sódico; pero la presencia de la sal común, unida al hecho de que, tanto en las capas nitrosas como en las del terreno inmediatamente inferior, se han encontrado conchas marinas recientes,

indican que el mar desempeñó un papel esencial en su formación. Ochsenius atribuye una parte importante en semejante proceso al transporte por los vientos, y depósito consiguiente sobre la tierra firme, de guano en polvo, rico en nitrógeno y pobre en fósforo, procedente de las islas vecinas á aquella costa. Pero sea de ello lo que fuere, lo cierto es que los países de que hablamos poseen en sus depósitos de nitro y sus islas de guano dos tesoros naturales, que han contribuído no poco en Europa al fomento del comercio, la industria y la agricultura. Hace mucho tiempo que su existencia era conocida; pero los primeros ensayos que se hicieron en Inglaterra y los Estados Unidos para aprovechar el nitro de Chile no dieron resultados, y los primeros cargamentos que por el año 1820 se trajeron á los puertos ingleses no hallaron compradores, y se echaron al mar para no tener que pagar los derechos de aduana. Sin embargo, no se tardó mucho en aprender á apreciar el nuevo producto, y pasado el año de 1830 se inició una importación regular de él, que fué creciendo de año en año, á tal punto, que en 1859 Inglaterra sola consumió 40.000 toneladas métricas de nitro sódico, y en los últimos tiempos la exportación desde el Perú ha alcanzado la cifra de 300.000 toneladas anuales, por valor de más de 100 millones de pesetas.

Y, sin embargo, no son leves las dificultades con que se tropieza para la explotación y extracción del producto natural. Es verdad que los depósitos del nitro sódico se encuentran á distancias relativamente cortas del mar (de 15 á 25 kilómetros); pero la costa elevada, abrupta, arenosa, llena de hendeduras y barrancos profundos, y coronada además por una cadena de montañas, es tan impracticable, que no es posible, al menos según las ideas de los peruanos y chilenos, establecer carreteras; de modo que el nitro tiene que transportarse en sacos por medio de mulos y por tortuosos senderos desde los puntos de arranque á los puertos de Iquique y Concepción, viaje que tarda nada menos de tres días. En ambos caminos se encuentran establecimientos para el tratamiento preliminar de la materia bruta, llamada *caliche*, que se lixivia con agua caliente, evaporándose después la disolución hasta la sequedad; pero en aquellas regiones desiertas apenas se encuentra el agua precisa para semejante operación, y lo que es la potable, tiene que traerse en los buques desde otros puntos de la costa; mientras que el combustible necesario para la lixiviación es hulla inglesa, que, después de descargada en los puertos, tiene que llevarse á lomo á las fábricas referidas. En tales condiciones, se comprende fácilmente que el transporte del producto desde las salinas á los puertos cueste tanto como su flete desde éstos á Europa.

A pesar de esto, el nitro de Chile resulta mucho más barato que el nitro potásico; de modo que los agricultores europeos pueden emplearlo con ventaja para el abono de sus tierras. Por otra parte, aquel producto—que suele llamarse nitro cúbico, aunque cristaliza en romboedros,—es de gran valor para los fabri

cantes de productos químicos, especialmente para la producción del ácido nítrico, y para la fabricación del sulfúrico, aunque á estos fines, como se comprende, es preciso extraer primero las sales de cloro que contiene. Para la fabricación del ácido nítrico, el nitro sódico es aún más ventajoso que el potásico, pues 85 partes por peso del primero contienen tanto ácido como 101 partes del segundo. En cambio no es aplicable el nitro sódico á la fabricación de la pólvora, porque, aun libre de sal común y otras materias extrañas, se vuelve húmedo al aire; la pólvora que con él se haga se quema con demasiada lentitud, de modo que en este sentido dicha sal sólo tiene alguna importancia para la pirotécnica, tratándose de fuegos lentos ó de efectos especiales de color, pues el nitro sódico presta á las llamas un color amarillo anaranjado.

Pero el nitro sódico se puede transformar directamente en nitro potásico, operación que se practica hoy en gran escala. Con arreglo al método primero ideado, se disuelven aparte en la menor cantidad posible de agua caliente, porciones determinadas de nitro sódico y carbonato de potasa purificada, y se mezclan entonces las dos disoluciones; el ácido nítrico se combina con la potasa, mientras que el carbónico pasa á la sosa, y las dos sales se separan mediante un procedimiento de cristalización convenientemente dirigido. Con cien partes por peso de nitro sódico puro y 81 de carbonato de potasa, también libre de materias extrañas, se obtienen 118,5 partes de nitro potásico, y 62,5 de carbonato de sosa. Empero la transformación de que hablamos se verifica mucho más ventajosamente empleando el cloruro de potasio en lugar del carbonato de potasa, método que se sigue hoy casi exclusivamente desde que se explota la carnalita en Stassfurt; pues no sólo en esta localidad se han establecido grandes fábricas para la conversión del nitro de Chile, sino que desde ella se exportan grandes cantidades de cloruro potásico para Inglaterra con el mismo objeto. La descomposición de ambas materias da por productos nitro potásico y cloruro de sodio (sal común), que se pueden separar con bastante facilidad por la vía de la cristalización. El nitro potásico obtenido de esta manera se llama en el comercio nitro convertido.

ÁCIDO NÍTRICO

El aire y la tierra son, como hemos visto, los padres del nitro; la tierra suministra el elemento sólido, estable, la base, mientras que la atmósfera proporciona el elemento volátil, el ácido, y un ácido, en verdad, tan enérgico, que su presencia no se sospecharía siquiera en el nitro de sabor débilmente salino y refrescante. La separación del ácido de la base se puede lograr de diversos modos, pero no por el de la destilación seca, que se practica, por ejemplo, para separar el ácido sulfúrico de la caparrosa verde; pues por semejante procedimiento el ácido nítrico se descompone. Aun bajo la influencia de un calor mode-

rado, el nitro se desprende de parte de su oxígeno, es decir, que su ácido nítrico se convierte en ácido nitroso, y la sal, por consiguiente, se transforma en nitrito, de nitrato que era; elevándose la temperatura se marcha también el resto de oxígeno en compañía del nitrógeno, dejando la potasa en forma cáustica. Pero el ácido del nitro se puede separar sin descomponerlo, si se ofrece al álcali otro ácido más fuerte con el que pueda constituir una sal; y es evidente que los antiguos químicos árabes estaban en este secreto, pues sus escritos demuestran que conocían el ácido nítrico; es más, este conocimiento parece que se remonta á los antiguos egipcios, pues el ropaje de sus momias ostenta á veces dibujos negros, hechos con una tinta de plata; de modo que es permitido inferir que los egipcios conocían la piedra infernal, ó nitrato de plata, y, en su consecuencia el ácido nítrico. En los escritos de los alquimistas aparece dicho ácido bajo diferentes nombres, de los que el de *aqua fortis* (agua fuerte) se ha conservado hasta nuestros días.

La preparación ó fabricación del ácido nítrico es, pues, una operación sencilla, y se parece tanto á la del ácido clorhídrico con sal común, por ejemplo, que puede verificarse en los mismos aparatos. El procedimiento que se practicaba antes en tiempos modernos, y probablemente el que se seguía en la antigüedad, consistía en caldear en retortas una mezcla de nitro y caparrosa verde (sulfato de hierro), condensando los vapores ácidos en botijos enfriados; el residuo consistía en una mezcla de hierro y sulfato de potasa. La fabricación actual sigue en esencia el mismo sistema, pero en otra forma: hoy se descompone el nitro por medio de ácido sulfúrico, obteniéndose así el ácido nítrico á una temperatura mucho más baja. La diferencia, pues, consiste en el fondo únicamente en que necesitamos nosotros, para la producción del ácido nítrico, dos vasijas distintas, mientras que nuestros antepasados lo arreglaban todo con una sola olla; pues por el caldeo de la caparrosa verde se obtiene también ácido sulfúrico, y si esto sucede en presencia del nitro, dicho ácido no se vaporiza, sino que se combina acto continuo con la base de dicha sal, libertando el ácido nítrico.

Para obtener pequeñas cantidades de este ácido se puede calentar el nitro con el ácido sulfúrico en retortas de vidrio dispuestas en un baño de arena, y condensar los vapores también en vasijas de vidrio de forma apropiada y convenientemente enfriadas. Este procedimiento se sigue todavía en algunas fábricas, salvo que se emplean gran número de retortas de las mayores dimensiones posibles, es decir, capaces cada una de contener hasta 25 kilogramos de nitro. A fin de poder calentar muchas de estas retortas con un solo hogar, se emplea un horno llamado de galera, en cuyo interior se halla dispuesto en dos series, cierto número de calderas de hierro fundido, destinadas á recibir el cuerpo de las retortas de vidrio, debidamente protegido mediante una capa de arena. Los cuellos de las retortas se extienden al exterior, á través de orificios reservados en las paredes laterales del horno, y en ellos enchufan herméticamente los cuellos ó tubos

de las vasijas de condensación, que se mantienen frescas por medio de un chorro continuo de agua fría.

Pero no es posible evitar que estalle de vez en cuando alguna de dichas retortas, y por esto se emplean más comunmente vasijas de arcilla cocida ó de hierro fundido, en forma de retorta ó de cilindro, como indica la fig. 261, *A*. El hierro resulta mucho menos atacado ó corroído por los ácidos de lo que pudiera creerse, al menos en la parte de las vasijas que se halla en contacto con las materias primeras; la parte superior de las paredes, que sólo se halla en contacto con los vapores ácidos, y que por lo mismo se corroería muy pronto, recibe un revestimiento preservativo de arcilla. El aparato de condensación se compone de dos ó tres botijos de vidrio ó loza de piedra, *DF*, provistos de tubos de unión, *E*, que se hallan sumergidos en un depósito lleno de agua fría; no es necesario que estos botijos contengan agua, pues los vapores del ácido nítrico procedentes de la retorta se hallan ya mezclados con la cantidad suficiente de vapor de agua para que de su condensación resulte desde luego el ácido líquido. Los tubos de unión *E* pasan sólo desde un cuello á otro, sin penetrar en el ácido formado dentro de los botijos, á fin de que no se produzcan presiones perjudiciales. A veces se prescinde del depósito de agua enfriador, contentándose con el enfriamiento que produce el aire; pero en este caso se aumenta el número de botijos unidos en serie, que debe ser tal, que el último permanezca siempre frío durante la operación. Los vapores no condensados en esta última vasija pueden dejarse escapar al aire mediante una elevada chimenea.

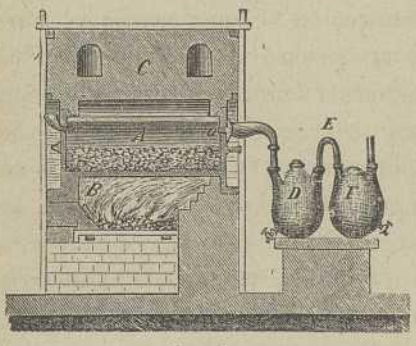


FIG 261.
Aparato para la fabricación del ácido nítrico.

Según que se desee obtener ácido nítrico concentrado ó diluído, se emplea en su fabricación un ácido sulfúrico más ó menos fuerte; en cuanto á la sal que sirve de primera materia, siempre es preferible el nitro sódico para la fabricación en grande, mientras que en pequeño, es decir, cuando la cuestión económica no es de importancia, el nitro potásico tiene sus ventajas, porque esta sal se puede purificar por cristalización con más facilidad que el nitro sódico, y, por consiguiente ,se puede obtener con ella un ácido casi químicamente puro. Con arreglo al cálculo químico, una parte por peso de ácido sulfúrico concentrado, y dos partes de nitro potásico, bastan para que se formen el sulfato de potasa y el ácido nítrico; pero, por regla general, se toma el doble de ácido sulfúrico, porque así el desprendimiento del nítrico resulta más completo y el producto más incoloro. Con el empleo del nitro sódico, el residuo obtenido es el bisulfato de sosa, una masa sólida, blanca, de reacción señaladamente ácida, que se deshace pronto bajo la influencia de la humedad y encuentra aplicación en la tin-

torería. Cuando no se toma doble cantidad de ácido sulfúrico, esto es, cuando se procede con arreglo al cálculo químico, sólo se obtiene la mitad del ácido nítrico á una temperatura moderada, siendo preciso elevar el calor hasta cerca de la incandescencia para que se desprenda la otra mitad; en este caso, empero, el ácido nítrico no resulta incoloro, sino pardo rojizo, porque se halla en parte descompuesto, es decir, convertido en ácido nitroso. Esta mezcla de los ácidos nítrico y nitroso se llama comunmente ácido nítrico humeante, porque, expuesto al aire, despide vapores de color pardo rojizo y de olor picante; su propiedad oxidante y disolvente es más intensa que la del ácido nítrico puro, y por esta razón, y en vista de determinados usos, se fabrica de propósito.

En cuanto al procedimiento mismo de fabricación, se echa primero el nitro en la retorta cilíndrica del aparato (fig. 261 *A*), se cierran herméticamente las puertas ó tapas de ambos extremos, se introduce el ácido sulfúrico mediante un embudo de plomo dispuesto al efecto en el extremo anterior del cilindro, y se enciende lumbre en el hogar *B*. Al principio, y sobre todo con el empleo del nitro sódico, la mezcla se agita fuertemente en la retorta, pero no tarda en sosegarse, y á medida que se desprende el ácido nítrico en forma de vapor, la masa se vuelve cada vez más espesa, hasta que la descomposición se halla consumada. Entretanto, los vapores de ácido nítrico salen de la retorta por el tubo *a*, y pasan á los botijos *D F*, etc., en los que se condensan; cuando no se oye gotear el ácido en estas vasijas, es señal de que la operación ha terminado, es decir, que se ha descompuesto todo el nitro en la retorta. Entonces se apaga la lumbre, se deja enfriar el horno durante veinticuatro horas, y se saca luego la masa de sulfato que queda como residuo en el cilindro y el ácido nítrico acumulado en los botijos; en los dos primeros de éstos se encuentra un ácido bastante concentrado, pero en los sucesivos el producto resulta cada vez más diluído ó flojo, de modo que es preciso concentrarlo por operaciones posteriores, introduciéndolo en los primeros botijos de la serie, ó sea en los más próximos á la retorta.

El ácido, tal como procede de las fábricas, es bastante puro para muchos usos industriales; pero para ciertas operaciones técnicas, así como para los laboratorios químicos y farmacéuticos, es preciso rectificarlo, pues nunca carece por completo de ácido clorhídrico y cloro, procedentes de la sal común, la compañera inseparable del nitro. El cloro se elimina fácil y radicalmente por medio de una disolución de nitrato de plata, precipitándose cloruro de este metal; mas aunque la plata no se pierde, se prefiere hoy un procedimiento de separación basado en el diferente grado de volatilidad de los dos gases.

Durante mucho tiempo, creyeron los químicos que el ácido nítrico sólo podía existir con cierta proporción de agua, porque siempre que se trataba de eliminar ésta, el ácido se resolvía en sus elementos. Pero se ha logrado al fin descomponer el nitrato de plata por medio de cloro gasiforme, de tal modo,

que se produzcan cloruro de plata, oxígeno y ácido nítrico anhidro, esto es, libre de agua, el cual se puede recoger en forma de cristalitos diáfanos, en un tubo de vidric debidamente enfriado con hielo. Semejante ácido nítrico anhidro, lo mismo que su congénere sulfúrico, no ofrece más que un interés teórico, pues sólo se puede conservar en un tubo herméticamente cerrado y á una temperatura baja. Pero aún en estado hidratado, el ácido nítrico se descompone con facilidad, y su acción química estriba en gran parte en esta circunstancia, ó sea en el desprendimiento de oxígeno. El ácido nítrico anhidro se compone de dos átomos de nitrógeno y cinco de oxígeno *(N_2O_5)*; el ácido nitroso contiene dos átomos de nitrógeno por tres de oxígeno *(N_2O_3)*, y existen otras dos combinaciones de dichos elementos, en las que la proporción de oxígeno es aún menor, esto es, el óxido de nitrógeno *(NO)* y el protóxido del mismo *(NO_2)*. El ácido nítrico, al desprenderse de su oxígeno, se convierte fácilmente en semejantes productos; de modo que, por más que sea un ácido muy fuerte, no merece el calificativo de constante. Mas por lo mismo que tiende á despedir parte de su oxígeno, constituye uno de los medios oxidantes más enérgicos, tanto para las materias metálicas como para las no metálicas: el plomo, el cinc, el cobre, etc., se disuelven rápidamente en ácido nítrico, pues descomponiéndose parte de éste se desprenden vapores de ácido nítrico, mientras que el oxígeno libertado se combina con el metal, formando un óxido que se disuelve en el ácido sobrante, constituyendo con él el correspondiente nitrato.

Las diversas aplicaciones técnicas del ácido nítrico para la disolución, el mordido, el bruñido de los metales son, en general, bastante conocidas; pero su número parece insignificante comparado con el de los casos en que tanto la química industrial como la experimental utilizan dicho ácido para producir los efectos y transformaciones más diversos y singulares con materias orgánicas. Sería por demás difícil y prolijo enumerar y clasificar los casos de que hablamos, pero diremos, sin embargo, que en la mayoría de ellos la acción del ácido en cuestión es una oxidante, es decir, que parte de su oxígeno se combina con otra sustancia, escapando la parte correspondiente de ácido nitroso, mientras que en otros casos también entra el nitrógeno á formar parte de la nueva combinación. A veces la oxidación se manifiesta de un modo muy enérgico, como, por ejemplo, cuando la esencia de trementina entra en contacto con ácido nitroso concentrado, en cuyo caso se enciende al momento y arde con una llama muy viva. Muchos cuerpos orgánicos, como la piel, las plumas, el corcho, la madera, se vuelven amarillos bajo la acción del ácido nítrico, á consecuencia de la formación de ácido picrínico; el añil se convierte casi completamente en esta materia colorante amarilla, para cuya producción industrial servía antes de base; pero el procedimiento se ha abandonado desde que se descubrió en el alquitrán de las fábricas de gas del alumbrado una primera materia tan á propósito y mucho más barata que el añil: basta, en efecto, mezclar el ácido

carbólico ó fénico (que se extrae de dicho alquitrán) con ácido nítrico, y sostener la reacción cociendo el líquido, para obtener el ácido picrínico en forma cristalizada.

Entre las numerosas materias que se componen únicamente de carbono, hidrógeno y oxígeno, son contadas las que, en frío ó en caliente, no se oxidan por medio del ácido nítrico, de tal suerte, que se convierten en sustancias distintas por completo; transformación que naturalmente va siempre á la par con la descomposición de dicho ácido y el desprendimiento consiguiente de vapores nitrosos pardo-rojizos. Por cocimiento prolongado con ácido nítrico se pueden transformar en ácido oxálico el serrín, el almidón, el azúcar, etc. Una descomposición interesante tiene lugar en los casos en que el ácido nítrico se reduce á ácido subnítrico (N_2 O_4), que se combina con la materia tratada para formar otro producto, ó, mejor dicho, ocupa el puesto del hidrógeno de la misma. Semejantes productos reciben el nombre genérico de cuerpos nitrosos, siendo uno de los más conocidos el algodón pólvora; basta poner en remojo, durante corto tiempo, el algodón en una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico y lavarlo después con agua para que quede convertido en el conocido sustituto de la pólvora, sin variar notablemente de aspecto; sólo demuestran el cambio que ha sufrido, su peso, que resulta dos terceras partes mayor que antes, y la propiedad adquirida de arder como la pólvora. De un modo análogo se obtiene con glicerina la nitroglicerina, con el azúcar de maná, la nitromanita, una materia cristalizada que explota por percusión, y con el benzol, el nitrobenzol, que sirve de base para la preparación de la anilina, con la que se producen los hermosos colores tan conocidos.

El *agua regia* es sencillamente una mezcla de ácido nítrico con ácido clorhídrico, que se emplea como medio oxidante y disolvente cuando sus dos componentes resultarían, por sí solos, demasiado flojos. Por ejemplo, el oro y el platino son insolubles en ácido nítrico y ácido clorhídrico, empleados aisladamente; mientras que la combinación de estos ácidos disuelve el rey de los metales, por cuya razón se le dió el nombre de agua regia. En realidad, el ácido nítrico desempeña en este caso el papel de una sustancia oxidante; el oro sólo se disuelve en el cloro que se desprende del ácido clorhídrico; lo que sucede en el agua regia es un proceso continuo de separación y combinación: del ácido nítrico se desprende poco á poco el oxígeno, que se combina con la cantidad correspondiente del hidrógeno del ácido clorhídrico para formar agua, mientras que el cloro libertado de tal suerte, se combina en seguida con el oro, formando un cloruro fácilmente soluble. Tan luego, pues, como se agota uno de los dos ácidos que componen el agua regia, pierde ésta su eficacia.

ÁCIDO CLORHÍDRICO Y CLORO

En el curso de este libro hemos mencionado tantas veces estas dos sustancias, que creemos del caso dedicarles en este lugar algunas consideraciones.

El ácido clorhídrico nunca se presenta en la naturaleza; á pesar de que podemos obtenerlo por destilación de la sal común con ácido sulfúrico, de la misma manera que el ácido nítrico del salitre, no se encuentra ya formado en dicha sal, como, por ejemplo, el ácido sulfúrico en el sulfato de potasa, ni tampoco en los cloruros naturales de plomo, plata, etc., que son combinaciones análogas al cloruro de sodio. Todos estos compuestos no son, como ya dijimos en otro lugar, sales propiamente dichas, es decir, combinaciones de bases y ácidos, sino que el cloro se halla en ellos sencillamente combinado con los elementos metálicos; son en realidad combinaciones químicas de primer orden, como los óxidos, y merced á su naturaleza, parecida á la de la sal, se denominan sales haloideas. La materia que se halla combinada en la sal común con el sodio, en la plata córnea con la plata, en la cotunita y la fosgenitacon el plomo, es el *cloro*, un elemento gasiforme de color amarillo-verdoso y de olor y sabor asfixiantes. El yodo, el fluor y el bromo son otros elementos parecidos al cloro, no sólo por su acción química, sino también por muchas de sus propiedades físicas, y constituyen con él la clase de los haloides. Nos ocuparemos de ellos más adelante, al tratar de la fotografía, limitándonose ahora al cloro.

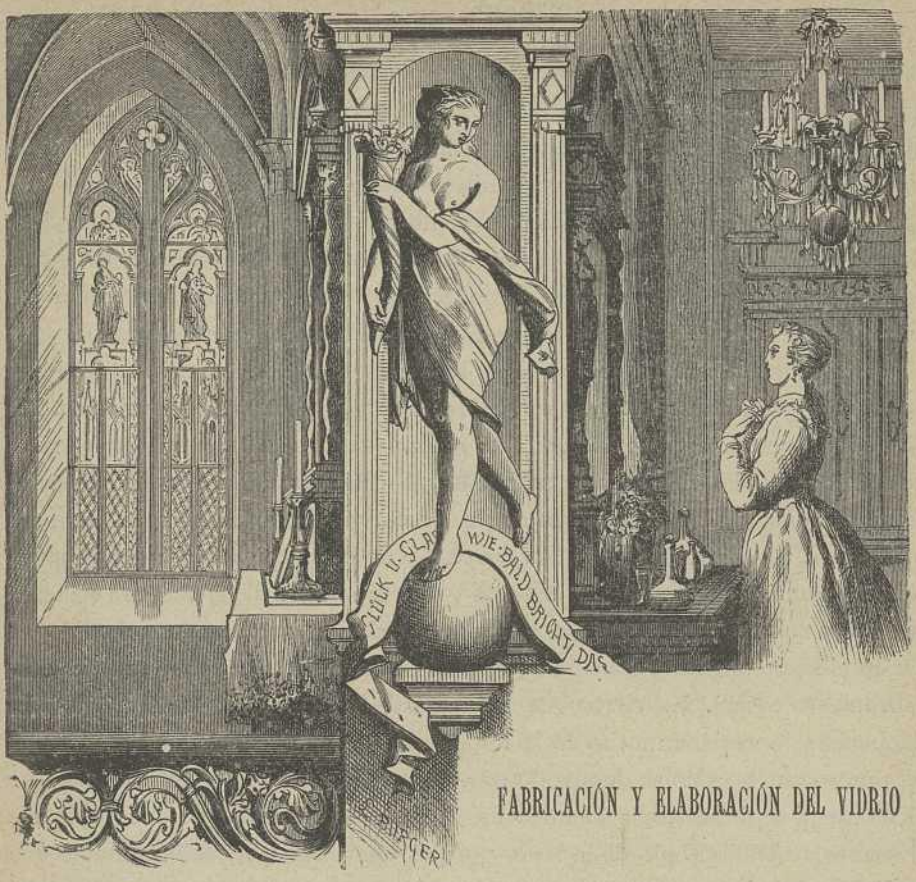
Este elemento se combina con el oxígeno en diferentes proporciones para constituir ácidos; pero como la afinidad entre dichos dos gases es floja, semejantes combinaciones se descomponen fácilmente, y son, por lo mismo, medios oxidantes muy enérgicos, más aún que el ácido nítrico. De uno de ellos, ó sea del ácido clórico, tendremos ocasión de hablar al ocuparnos de los diferentes medios inventados para producir el fuego.

La combinación del cloro con hidrógeno es mucho más permanente ó constante, y tiene también las propiedades de un ácido, razón por la cual se le llama ácido clorhídrico, el cual no se puede producir tratando la sal común con ácido sulfúrico anhidro, porque ninguno de los dos contiene el hidrógeno necesario para combinarse con el cloro que se desprende ó separa del sodio. En cambio, en presencia de agua, siempre resulta descompuesta una molécula de ésta por cada molécula de sal; el oxígeno del agua se reune con el sodio, formando sosa, que se combina con el ácido sulfúrico, mientras que el hidrógeno constituye, en unión con el cloro, el ácido gasiforme, que se condensa ó disuelve en agua para producir el ácido clorhídrico ó muriático comunmente empleado.

Cuando disolvemos un metal ó un óxido,—por ejemplo, el cinc ó la cal,—en ácido clorhídrico, obtenemos, con arreglo al concepto químico anticuado,

pero que prevalece todavía en nuestro país, muriato de cinc ó muriato de cal; pero si evaporamos las disoluciones correspondientes hasta la sequedad, sólo obtendremos los compuestos simples que llamamos cloruro de cinc y cloruro de calcio; faltan el oxígeno y el hidrógeno, que se han escapado en forma de vapor de agua. De aquí que en la mayoría de los casos el tratamiento con ácido clorhídrico es igual á uno con cloro libre. Pero para algunos usos, en especial tratándose del procedimiento tan importante del blanqueo, es preciso libertar el cloro, es decir, producir cloro gasiforme, y esto se verifica descomponiendo el ácido clorhídrico, ó sea privándolo de su hidrógeno. El medio que se emplea al efecto es el oxígeno, que se combina con el hidrógeno de dicho ácido para formar agua; y para obtener oxígeno en cantidad del modo más económico, se usa la pirolusita, un mineral bastante abundante, que consiste en superóxido de manganeso. Este mineral se introduce en el aparato generador con ácido clorhídrico—ó, lo que es lo mismo, con sal común y ácido sulfúrico, en cuyo caso el ácido clorhídrico se va formando durante la operación—y se calienta la vasija; el cloro gasiforme que se desprende se conduce mediante un tubo al sitio donde ha de utilizarse, mientras que en el generador queda como residuo una disolución de cloruro de manganeso, que contiene la mitad del cloro del ácido muriático, pero que antes se miraba como un producto inútil. Empero, merced á un procedimiento nuevo, ideado por *Weldon*, se puede operar repetidamente con la misma porción de pirolusita, convirtiendo el cloruro de manganeso en cuestión en superóxido; la disolución de dicho cloruro se satura con cal, y á través de la mezcla se hace pasar aire hasta producir una masa negra, que puede emplearse lo mismo que la pirolusita fresca.

El cloro, como saben nuestros lectores, es un medio blanqueador enérgico, y también se emplea como desinfectante, así como para producir varios preparados químicos, como el hipoclorito de cal y el cloral hidratado. En algunos casos se blanquea directamente con el gas, cual sucede, por ejemplo, con los trapos en la fabricación del papel; pero para que el cloro pueda transportarse cómodamente, sin necesidad de generarlo cada vez ó en cada sitio que se necesite, es necesario combinarlo con cal, á cuyo efecto basta conducirlo desde el generador á una cámara cerrada, en la que la cal húmeda se halla extendida sobre tejidos de mimbre. En cuanto al empleo del hipoclorito de cal en el blanqueo, remitimos á nuestros lectores al tomo siguiente de esta obra.



FABRICACIÓN Y ELABORACIÓN DEL VIDRIO

Importancia del vidrio.—Historia de su invención.—La industria vidriera de los antiguos egipcios, fenicios, griegos y romanos,—Los vidrios venecianos y el desarrollo de la industria en los pueblos modernos.—Naturaleza y propiedades del vidrio.—Su fabricación.—Elaboración del vidrio: soplado y moldeado de vasos, vidrios planos, etc.; fabricación de espejos, tubos, perlas de vidrio, vidrio templado, etc.; pulimento tallado y adorno de los objetos de vidrio.—Esmaltes y mosaicos de vidrio.—Pintura sobre vidrio.—Vidrio de agua.

DADAS las condiciones de nuestra cultura actual, sería difícil, por no decir imposible, formar un concepto, siquiera aproximado, del rumbo que hubiera seguido el desarrollo de los pueblos civilizados sin la invención del vidrio. No sólo careceríamos, bajo tal supuesto, de una materia indispensable para multitud de objetos de utilidad y de recreo, sino que—y esto sería lo más grave—nos veríamos totalmente privados de un inmenso tesoro de conocimientos científicos, artísticos y técnicos, cuya adquisición nunca hubiera sido posible sin la ayuda del vidrio. Consideren nuestros lectores cuán distintas habrían de resultar las condiciones de la vida, especialmente en los países de clima más ó menos desapacible, si las ventanas de nuestras casas carecieran de

cristales, de esas vidrieras claras y transparentes que resguardan nuestras habitaciones contra las inclemencias del tiempo, sin privarnos de la hermosa luz que tanto alegra y tanto contribuye á nuestro bienestar, así moral como material. Por otra parte, ¿qué sería de nuestra industria, de nuestra prosperidad, sin esos miles de vasos y utensilios diversos de vidrio, que empleamos con fines tan múltiples y variados? Y, por último, cuando consideramos cuánto deben las ciencias naturales—la química, la física, la astronomía, etc.—á la existencia del vidrio, preciso es reconocer que, sin esta materia de valor tan inapreciable, nuestro desarrollo intelectual estaría á un nivel muy inferior.

Atendida la gran antigüedad de la industria del vidrio, no es extraño que carezcamos de noticias seguras acerca de su origen y desarrollo primitivo. Plinio refiere que una nave cargada de *nitrum*—con cuyo nombre suponemos que designaba el carbonato de sosa natural—fué lanzada por una tempestad sobre la costa de Galilea, cerca de la desembocadura del río Belus; que sus tripulantes, deseando cocer algunos víveres y no encontrando en aquella playa piedra alguna, colocaron sobre la arena varios trozos de dicha sal para sostener la caldera sobre la lumbre; que, después de comer, quedaron sorprendidos al ver en el suelo un vidrio transparente, y que supieron utilizar después este descubrimiento casual. Es cierto que la arena de las márgenes del mencionado riachuelo se apreciaba mucho en la antigüedad para la fabricación del vidrio, á tal punto, que no sólo se desarrolló esta industria en aquella comarca, sino que dicha arena se llevaba, con idéntico fin, á países lejanos. Mas no debe tomarse el cuento de Plinio al pie de la letra; porque, aparte de que es improbable que no hubiera piedras en la región referida, dada la proximidad tan inmediata del monte Carmelo, el calor que puede generarse con una pequeña lumbre al aire libre, es á todas luces insuficiente para producir una vitrificación. Sin embargo, es verosímil que los primeros vidrios que se produjeron fueron resultado de la casualidad, y también parece probable que el lugar de origen estuviera en las costas orientales del Mediterráneo, puesto que los pueblos de estas regiones, egipcios, fenicios, etc., practicaban de muy antiguo ciertas industrias, en especial la alfarería y la metalurgia, que, dado el calor intenso que suponían la cochura y la fusión, debieron conducir necesariamente á inventar el vidrio, sobre todo cuando se considera que los materiales precisos, ó sean la arena y el carbonato de sosa, son productos naturales, abundantes en dichos países.

Según los escritores de la antigüedad clásica, Egipto fué durante mucho tiempo el asiento principal de la fabricación del vidrio, citándose las ciudades de Tebas y Alejandría como importantes centros de la expresada industria; y de ello dan prueba multitud de objetos de todas clases que se han encontrado en los antiguos sepulcros, y muy especialmente artículos de adorno, de vidrio opaco y de color, predominando el azul y diferentes matices de verde, y no escaseando tampoco el amarillo, rojo, pardo, negro y blanco. A juzgar por los

jeroglíficos que se encuentran grabados en muchos escarabajos y perlas de vidrio, y representan los nombres de determinados monarcas, semejantes objetos debieron fabricarse por lo menos 1600 años antes de nuestra Era; y confirman también la gran antigüedad que se atribuye á la industria vidriera en Egipto, los textos jeroglíficos que acompañan á las figuras de sopladores de vidrio que se ven en las cámaras sepulcrales de Beni-Hasán. Nuestras figuras 262 y 263 ofrecen ejemplos de dichos antiguos dibujos, si bien arrojan poca luz sobre el modo de practicar el arte en cuestión; con arreglo á nuestra técni-

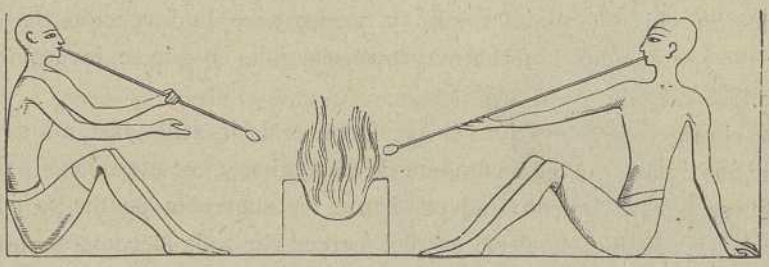


FIG. 262.—Sopladores de vidrio egipcios.

ca moderna, no se comprende cómo los sopladores de la fig. 263 se ingeniaban para formar el gran vaso que se levanta entre ellos.

Andando el tiempo, parece que los fenicios, que primero se ocuparon en comerciar con los productos egipcios, se dedicaron también á fabricar vidrio, pues las ciudades de Tiro y Sidón llegaron á ser centros tan célebres de la industria vidriera como las poblaciones egipcias antes nombradas. Los restos que

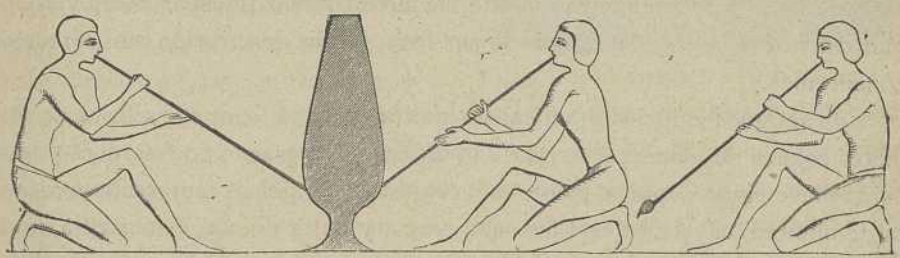


FIG. 263.—Sopladores de vidrio egipcios.

se conservan de los vidrios de Sidón revelan una gran maestría en el arte, tanto respecto de la forma como de la coloración; en el Museo Británico, de Londres, se encuentran varios fragmentos de semejantes vidrios, en los que se halla estampado el nombre del artista ó fabricante; mencionaremos entre ellos un asa de vidrio azul, transparente, que lleva en un lado la inscripción griega ΑΡΤΑΣ ΣΕΙΔΩ (*artas seido*), y en el opuesto la latina ARTAS SIDON; también se encuentran en dicha colección de vidrios sidónicos un pedazo de un vaso azul, revestido interiormente con esmalte blanco.

Los objetos de vidrio más antiguos son casi exclusivamente artículos de adorno ó decorativos, y parece que se tardó bastante en aplicar el vidrio á usos prácticos, si bien una vez iniciada esta tendencia utilitaria, el desarrollo fué notable, pues llegaron á hacerse en Egipto objetos de dimensiones bastante grandes; Herodoto nos habla de columnas enteras de esmeralda que se hallaban en el templo de Herakles, en Tiro, y es probable que la materia así denominada fuera una masa de vidrio verde. Es evidente que mientras sólo supieron los antiguos moldear y prensar el vidrio, la aplicación de esta materia debió quedar bastante limitada; sólo cuando cayeron en la cuenta de soplarlo tomó la industria vidriera nuevo rumbo y vuelo; pero la invención del arte de soplar es seguramente de fecha muy posterior á la en que se inventó el vidrio mismo.

Sea el origen de este último el que fuere, es decir, atribúyase á los egipcios, los fenicios ú otro pueblo cualquiera de las regiones mediterráneas orientales, ó abóguese por su invento independiente en diferentes puntos (lo cual nada ofrece de improbable), lo cierto es que, merced sin duda al comercio tan activo que se hacía en tiempos muy antiguos con los objetos de vidrio, el arte de fabricarlos no tardó mucho en propagarse. Los hebreos llegaron á practicarlo, lo mismo que los persas y los griegos; y Plinio celebra mucho el hermoso vidrio que se producía en la India, empleando el cristal de roca pulverizado, refiriendo además que los indios sabían imitar en vidrio las piedras preciosas. En las ruinas de Nínive se han encontrado también fragmentos de objetos de vidrio que, aunque no tan antiguos como los vidrios egipcios, debieron quedar sepultados bajo tierra mil cien años antes de nuestra Era; y Layard halló allí un pequeño vaso, de unos diez centímetros de alto, hecho de vidrio transparente y verdoso, que ostenta en relieve la figura de un león, y una inscripción en caracteres cuneiformes.

Los antiguos egipcios practicaban también el arte de reunir vidrios de diferentes colores de manera á formar una especie de mosaico; un fragmento de un bajo-relieve egipcio que se conserva en el Museo Británico, representa una cabeza de hombre, cuya cara está formada con una pasta de vidrio amarillo, mientras que el cabello es de otro vidrio de color azul, adornado como con anillos blancos, azules y amarillos y coronado con una toca de vidrio azul y verde, destacándose el conjunto sobre un fondo rojo.

En cuanto á la industria vidriera de los antiguos griegos, son contados los productos que se conservan de ella; y aunque es verosímil que un pueblo tan artístico rayara á bastante altura en sus producciones de vidrio, no parece que cultivara este arte con tanto afán y éxito como el de la cerámica. El nombre griego del vidrio, *hialos*, es de origen cóptico, é indica la vía por la cual los griegos tuvieron originariamente conocimiento de él; la expresión más antigua *lithos chyte*, ó «piedra fundida,» se aplicó sin duda, no al vidrio incoloro

y diáfano, sino á las pastas opacas más ó menos parecidas por su color al jaspe, al ágata, etc. En algunos puntos de Grecia se han encontrado en corto número antiguos vasos de vidrio, de gran hermosura, entre ellos un ánfora preciosa que se halló en 1852 en el lugar del antiguo Pentikapaeon, á orillas del Bósforo Quimérico. Pero son mucho más numerosas las obras romanas del género que se han conservado, algunas de singular mérito artístico, como, por ejemplo, el célebre vaso llamado de Portland (fig. 264), que se encontró á mediados del siglo XVII en las imediaciones de Roma, y forma parte de la colección de vidrios antiguos del Museo Británico; está hecho de vidrio azul, ricamente adornado con preciosos relieves en blanco. La perfección de la técnica vidriera romana se debe en particular al desarrollo notable que había alcanzado el arte en Egipto; las fábricas de Alejandría surtían á gran parte de Italia con sus productos; sus obras mejores se llevaban á Roma, y más tarde se establecieron en esta ciudad artistas alejandrinos, poniendo en práctica los procedimientos más acreditados en su patria.



FIG. 264.
Célebre vaso de vidrio romano, llamado de Portland.

Sin embargo, hacía ya mucho tiempo que los romanos conocían los objetos de vidrio, pues no sólo eran muy activas las relaciones comerciales entre los italianos y los fenicios y egipcios, sino que los etruscos, tan adelantados en las artes industriales, también habían alcanzado gran maestría en la del vidrio, hasta el punto de que ya practicaban la técnica llamada de *millefiori*, cuyo renacimiento se debe á los venecianos en el siglo XVI. En el Mediodía de Italia se desarrolló también muy pronto la industria vidriera; los objetos de vidrio hallados en las excavaciones de Pompeya demuestran que á principios de nuestra Era había hecho allí dicho arte progresos muy notables, mientras que Surrentinum (Sorento) era célebre por sus vasos de vidrio tallados y cincelados á manera de camafeos. En todos estos vidrios del Sur de Italia se evidencia la influencia del arte griego; mientras que la egipcia, ó, mejor dicho, de Alejandría, á que aludimos más arriba, se manifestó de un modo directo, principalmente desde el año 26 de nuestra Era, cuando, bajo el emperador Tiberio, tuvieron los egipcios que enviar á Roma, como tributo, gran cantidad de objetos de vidrio.

La primera fábrica del género se montó en Roma en tiempos de Nerón, pero sólo producía vasos de beber, de calidad inferior. Los vasos de vidrio fino eran entonces tan raros y caros, que por dos hermosos ejemplares pagó dicho Emperador un día cerca de 4.000 pesetas. Pero en el año 210 de nuestra Era existían en Roma tantos industriales vidrieros, que Alejandro Severo juzgó necesario, por razones sanitarias, asignarles un barrio apartado de la ciudad, en el monte Celio; pues ya el vidrio se había puesto allí de moda á tal punto, que se empleaban grandes cantidades de él para formar los pavimentos de los edificios, así como para la decoración de sus paredes. También es un hecho que los romanos ponían lo que llamamos cristales en sus ventanas, pues se han encontrado algunos en las ruinas de Pompeya; semejantes cristales ó vidrios planos parecen haberse moldeado vertiendo el vidrio fundido en moldes del tamaño deseado, pues sus bordes no están cortados, sino redondeados, como de haber sido fundidos. Refiérese que en tiempo de Tiberio se descubrió la manera de hacer el vidrio flexible y maleable, y que el Emperador mandó decapitar al inventor, á fin de evitar que se divulgase un secreto que, en su sentir, había de traer como consecuencia inmediata la depreciación del oro y la plata. Esto es, sin duda, una fábula, pero demuestra al menos el interés que despertaba la industria vidriera; y cuando examinamos los vasos de vidrio desenterrados en nuestros días en diferentes puntos colonizados antes por los romanos, especialmente en las comarcas del Bajo Rhin, no sólo llama mucho nuestra atención la hermosura y lo acabado de sus formas, sino que el perito en el arte se maravilla ante la maestría que revelan respecto del tratamiento técnico y la variedad de los procedimientos empleados, sobre todo cuando, como es el caso, se encuentra con objetos cuya fabricación le parece casi imposible, aun con los medios perfeccionados de que hoy disponemos. Pero á partir del siglo III la industria vidriera romana fué decayendo rápidamente, y si bien siguió empleándose el vidrio, cesó por completo su elaboración artística.

En cuanto á los pueblos bárbaros de entonces, se han encontrado objetos de vidrio en los antiguos sepulcros germánicos y eslavos, pero tienen escasa importancia desde el punto de vista histórico, pues no se puede determinar si se deben á la industria de dichos pueblos, ó si éstos los adquirieron por vía de cambio ó comercio. Las formas de algunos de dichos objetos parecen abonar la primera suposición, en cuyo caso resultaría que los eslavos practicaban la industria vidriera mucho antes que los germanos, puesto que en los sepulcros de aquéllos se han encontrado anillos de vidrio en compañía de utensilios de piedra, mientras que los germanos parecen haber adelantado bastante en el arte de los metales antes de conocer el vidrio. Por lo demás, los mitos y cantos heroicos del Norte de Europa hablan repetidamente de esta materia, y el vidrio estaba también asociado á las tradiciones y costumbres de los pueblos celtas; se encuentran con frecuencia en sus antiguos sepulcros, vasos, pulseras, cuentas y

otros objetos de vidrio; pero en general, la industria vidriera siguió siendo una planta exótica, que no hallaba en las frías tierras del Norte condiciones á propósito para su desarrollo.

Se han analizado muchos vidrios antiguos de diversas procedencias y clases; y aunque, dada esta diversidad, era lógico suponer que su composición química variaría bastante, el hecho es que, por el contrario, se componen casi todas de las mismas materias. La base alcalina de dichos vidrios es la sosa, procedente del carbonato natural de Egipto, ó sea el *nitrum* de los antiguos; en algunos casos se ha encontrado una pequeña proporción de potasa, lo que indica que ciertos vidrios antiguos se hicieron con sosa ó barrilla obtenida por la incineración de plantas marinas. También demuestra el análisis químico que los antiguos añadían la pirolusita ú óxido de manganeso á las pastas de vidrio, y es probable que á este mineral se refiera Plinio al hablar de *magnes lapis*, como componente del vidrio, y no al hierro magnético, como algunos suponen. La cal, que también constituye un componente esencial de muchos vidrios modernos, se empleaba, en parte en forma de conchas marinas, en parte acaso como mármol, pues es probable que sea éste la materia á que Plinio dió el nombre de *lapis alabandicus*. Además del río Belo, antes mencionado, el Volturno era célebre entre los antiguos fabricantes de vidrio, en vista de la arena tan buena que les proporcionaba: lo mismo que se celebran actualmente, para idéntico objeto, las arenas de Fontainebleau, en Francia, y Niselstein, cerca de Aquisgrán. Como el carbonato de sosa egipcio contiene una proporción bastante considerable de sal común, no se podía obtener un vidrio puro con sólo una fusión, y, en efecto, Plinio refiere que para purificar la masa precisaba fundirla dos veces.

En la patria primitiva de la industria vidriera, esto es, en las regiones limítrofes de África y Asia, la fabricación del vidrio siguió practicándose al parecer durante la Edad Media, pues se conservan allí algunos vasos de dicha materia que datan del siglo X, y otros, que fueron traídos á Europa por nuestros cruzados, figuran en algunos Museos europeos. En la célebre *Grüne Gewölbe* (bóveda verde), de Dresde, así como en el tesoro de la catedral de San Esteban, en Viena, en el Museo Británico, y en París, se conservan varios ejemplares de dichos vidrios orientales, que se distinguen por el hermoso matiz de su pasta y sus adornos hechos con esmaltes de vivos colores. En Bizancio se fabricaban antiguamente pequeños cubos de vidrio de diversos colores para los mosaicos de que hablaremos más adelante, y tanto Damasco como Esmirna eran célebres por sus vidrios.

Según Plinio, los romanos propagaron la industria vidriera á España y la Galia (Francia), desde donde se introdujo pronto en Inglaterra; mientras que su implantación en otras partes de Europa trae su origen de los griegos y bizantinos. Al principio, es decir, durante los primeros siglos de la Edad Media, sólo parece

haberse practicado en los monasterios; pero á medida que se desarrollaron las ciudades y fueron formándose los gremios industriales, apareció también el de los vidrieros. La industria tomó sin duda nuevo impulso cuando empezó á generalizarse, al menos entre las personas pudientes, la costumbre de cerrar con vidrieras las ventanas de su casas; pero este uso sólo se introdujo paulatinamente, pues suponía cierta baratura del material en cuestión y los conocimientos necesarios para formar vidrios planos de cierta delgadez.

Es verdad que, como dijimos más arriba, se han encontrado semejantes cristales para ventanas en las ruinas de Pompeya; á mediados del siglo V se colocaron grandes vidrieras en la iglesia de Santa Sofía, en Constantinopla, y en el año 674 se pusieron también en la iglesia y el monasterio de Weremouth, cerca de Durham (Inglaterra); pero semejantes vidrieras resultaban tan costosas, que se miraban entonces como objetos de un lujo excesivo. Aún en el siglo XVI solían guardarse poco menos que como oro en paño, como se dice, pues cuando el duque de Northumberland dejaba su castillo de Aluwick para hacer un viaje, siempre mandaba quitar las vidrieras de las ventanas, á fin de que durante su ausencia no estuvieran expuestas á la intemperie. Las vidrieras primitivas no se componían de grandes cristales como los nuestros, sino de pedacitos de vidrio de diversos colores, que se reunían á manera de mosaico, formando dibujos geométricos; sólo poco á poco fuese adquiriendo la habilidad de producir vidrios planos, de mayores dimensiones, con lo cual, y la mayor baratura del material, la industria fué desarrollándose cada vez más. Los diversos objetos de vidrio que mencionan los poetas de la Edad Media eran espejos, piedras de adorno artificiales, anillos y toda suerte de vasos. Aun después de haberse desarrollado considerablemente la industria vidriera en Venecia, se llevaban á esta metrópoli, como artículos de comercio, varios productos de vidrio, en especial espejos, desde el Norte de Europa, en particular desde Alemania y Flandes; lo que demuestra que la industria vidriera en estos países no recibió su primer impulso de Venecia, sino que se había desarrollado independientemente.

Pero en la poderosa ciudad de las lagunas, en la célebre Esposa del Adriático, dicha industria adquirió una importancia y ejerció una influencia nunca vistas en otras partes. Merced á sus relaciones comerciales con el Oriente, que tanto contribuyeron á su prosperidad, Venecia se había asimilado, digámoslo así, entre otras artes griegas y sarracenas, la de la fabricación del vidrio, y en la isla de Murano se producían ya mosaicos en el siglo IX; pero el período del florecimiento de la industria vidriera veneciana data desde la conquista de Constantinopla, en el año 1204, por *Enrico Dándolo*, que trasladó á la residencia de los Dux todos los medios ó elementos de prosperidad que ofrecía Bizancio. Durante mucho tiempo predominó en la industria vidriera veneciana la influencia bizantina, que siguió manifestándose, en los mosaicos más especialmente,

entrado el siglo XIV; pero desde esta época todo el arte italiano emprendió nuevos derroteros, y en medio de esa irresistible evolución del Renacimiento, era natural que ejerciera poderosísima influencia aquella rica y floreciente metrópoli del Adriático, tan estrechamente relacionada con todo el mundo civilizado. Acudían de todas partes á la brillante ciudad pintores, escultores, arquitectos, fundidores de bronce y toda suerte de artesanos, en busca de instrucción ó de trabajo remunerativo; pero una de las artes que más contribuían á la fama de Venecia era el de la elaboración del vidrio, que se había desarrollado allí de un modo especial, y cuyos productos constituían preciosos artículos de comercio, que se llevaban á todas partes. La historia de este ramo de la industria veneciana es tan interesante, que creemos del caso entrar en algunos pormenores acerca de ella.

En cumplimiento de una resolución del gran Consejo de Venecia, todos los hornos de vidrio que se hallaban establecidos en el obispado de Rialto fueron trasladados en el año 1291 á la isla de Murano,—*ut ars tam nobilis semper stet et permaneat in loco Muriani* (para que un arte tan noble siempre esté y permanezca en Murano),—como explica un decreto del Senado fechado en 1383. Por entonces ya alcanzaba la industria vidriera en Venecia un desarrollo notable, pues contaba una existencia de tres siglos, por lo menos, refiriéndose un documento del año 1091 á un tal Petrus Flavius como *phiolarius*, ó fabricante de frascos de vidrio. Los *phioleri de Muran* gozaban de privilegios considerables, y todas las actas que á éstos se refieren, así como la de constitución del gremio, se conservan en aquel Museo (fig. 265). Según estas actas, los miembros del gremio se dividían en cuatro clases: los sopladores de vidrio, los fabricantes de espejos y cristales para ventanas (vidrios planos), los que hacían cuentas ó perlas de vidrio, y, finalmente, los sopladores que producían, mediante el soplete, con pastas de vidrio de color, varillas y esmaltes, toda suerte de objetos artísticos. Cada una de estas clases tenía su reglamento especial, y todo el gremio se hallaba bajo la dirección del llamado *comparto*, una comisión de cinco miembros elegidos entre los patronos ó propietarios de las fábricas, la cual, á su vez, estaba sometida á un miembro del Consejo de los Diez; dicha comisión se renovaba anualmente, teniendo lugar la elección por todos los maestros, al principio el día de San Marcial, y más tarde en el aniversario de San Nicolás, protector de los fabricantes de vidrio.

El jefe ó presidente del *comparto* llevaba el título de *gastaldo;* nombraba dos *soprastini* ó inspectores, que tenían el derecho de penetrar á cualquiera hora en cualquiera fábrica, para cerciorarse acerca del exacto cumplimiento de todas las prescripciones. Los intereses del gremio se ventilaban en reuniones generales, convocadas por el *gastaldo* dos veces cada año, y á las que tenían que asistir todos los patronos y maestros. El *comparto* decidía, en vista de los trabajos que se le sometían, si el operario á quien se debían era acreedor á ser nom-

brado maestro; y podía usar de su derecho limitando el número de maestros ó aumentándolo, según las exigencias de la fabricación. En Murano ningún extraño podía dedicarse á la industria vidriera; una ley del año 1489 confirma este derecho, incapacitando además á todo participante en una fábrica de Murano para hacerse extranjero, es decir, cambiar su carta de naturaleza. Los patronos



FIG. 265.—Museo de la industria vidriera en la isla de Murano.

ó fabricantes tenían que ser naturales muraneses ó venecianos, considerándose estos últimos en segundo término, pues sólo eran admitidos en el gremio de vidrieros cuando faltaba el número correspondiente de muraneses elegibles. El gremio cuidaba de sus miembros, á cuyo efecto tenía su caja general de socorro, á la que contribuía cada patrón con una cuota anual, proporcionada á la importancia de su establecimiento, y cada maestro con el sueldo correspondiente á dos jornales. Después de pertenecer al gremio diez años, todo patrono que, sin culpa propia, caía en desgracia, tenía derecho á una pensión de 70

ducados anuales, todo maestro á una de 40, y así sucesivamente. También sostenía el gremio escuelas mediante una cuota especial que pagaban todos sus miembros.

La isla de Murano tenía un código propio, y no era permitido á ningún esbirro de la República veneciana, ni siquiera á su jefe el *missier grande*, pisar su territorio; los muraneses sólo se dejaban prender por su propia policía y entregar directamente á la autoridad superior. Aquellos fabricantes de vidrio tenían también motivos para ser orgullosos: sus hijas podían casarse con patricios venecianos, y los hijos de semejantes matrimonios heredaban el rango y los derechos de los padres; el muranés era elegible para los altos empleos de la República, y gozaba del privilegio especial de poder llevar la insignia llamada *casa do coltelli*, una vaina con dos espadas. La isla tenía su libro de oro, en el cual, desde 1602, eran inscritos los nombres de todos los naturales muraneses y de sus descendientes; hacía acuñar en la casa de moneda de Venecia monedas de oro y plata propias; en una palabra, era una comunidad altamente privilegiada ese antiguo gremio de vidrieros, que también ponía el empeño más decidido en conservar el secreto de sus procedimientos, y toda tentativa de divulgarlo se castigaba con las penas más severas. Los que en tal sentido le hacían traición y buscaban seguridad en la fuga, eran citados y emplazados para volver, encarcelándose, entretanto, á sus parientes; y cuando semejante medida no producía el efecto deseado, la República apelaba á medios supremos y enviaba sus agentes en persecución de los fugitivos, con orden de matarlos. Mas á pesar de todo, los procedimientos especiales de los vidrieros venecianos se propagaron á otros países, especialmente á la región de los montes Fichtel, al noreste de Baviera, donde la iniciativa de la fabricación de pastas de color y perlas de vidrio se atribuye á venecianos que iban allí en busca de ciertos minerales.

El arte de producir vidrios de color en forma de piedras preciosas artificiales y esmaltes parece haberse practicado en Murano y Venecia en una época relativamente remota. Refiérese que los datos de Marco Polo dieron motivo á que los vidrieros Briani y Domenico Miotti empezaran á imitar en vidrio granates, ágatas y otras piedras; que estos productos artificiales se vendieron en Bassora (Mesopotamia) á elevados precios, y que, en vista de esto, Miotti se dedicó á la fabricación en gran escala de los mismos, bajo el nombre genérico de *margaritas*, que por ahí significaba lo mismo perlas que piedras preciosas. Si es verdad que por entonces, es decir, á fines del siglo XIII, se hacían semejantes imitaciones, es más que probable que el arte de colorear pastas de vidrio alcanzara durante los siglos XI y XII una perfección notable. Pero sea de su origen lo que fuere, es evidente que el arte de fabricar piedras preciosas artificiales acabó por dar lugar á grandes abusos, puesto que en 1445 el Senado veneciano promulgó un decreto castigando con 1.000 ducados de multa

y dos años de prisión al que vendiese piedras preciosas falsas por verdaderas.

Martino da Canale, un cronista veneciano, refiere que en 23 de Julio del año 1268, y con motivo de la elevación al trono de Lorenzo Tiépolo, se erigió un monumento triunfal hecho con vidrio de Murano. Los frascos de vidrio se citan en escritos del año 1279, y diez años más tarde vino á Venecia una comisión especial, con el objeto de encargar una gran linterna para el faro del puerto de Ancona. También data de antiguo en Venecia el arte de hacer vidrios planos para ventanas, pues se conserva un rescripto del año 1308, permitiendo la fabricación de semejantes cristales, hasta el valor de 100 *lire*, para el monasterio de Assisi.

La preferencia que daba la arquitectura eclesiástica á las vidrieras de color, favoreció y fomentó notablemente la industria del vidrio, y en el segundo decenio del siglo XIV alcanzó *Giovanni* de Murano gran celebridad, en vista de los preciosos vidrios de color que producía para las ventanas de las iglesias. También lograron mucha celebridad en este sentido los dos *Beroviero*, Angelo y su hijo Martino, á quienes la República concedió, como favor especial, el permiso de aceptar las invitaciones de los señores de Ferrara, Milán y Florencia, y hasta de marcharse á Constantinopla, para estudiar los productos artísticos de las regiones respectivas; en el siglo XVII se distinguieron los hermanos *Luna*, que gozaron de igual privilegio que los anteriores y de la amistad particular de Cosme II de Toscana, así como *Bertelini* y *Briati*; y, por último, en el siglo XVIII alcanzó legítima fama la familia *Miotti*, á la que debemos la invención de la venturina artificial.

En Murano no se hicieron espejos antes del año 1308, y algún tiempo después, en 1317, se inventó allí un vidrio especial para el objeto. Es, pues, un error atribuir á los venecianos la invención de los espejos de vidrio; como dijimos más arriba, mucho antes de la fecha mencionada, ya hablaban los trovadores de espejos, los cuales se enviaban desde Alemania y Flandes á la ciudad del Adriático; y recordaremos, además, que los antiguos romanos se servían de espejos de obsidiana, esto es, un vidrio volcánico negro, y es muy posible que este producto natural les diera la idea de hacer espejos con vidrio ennegrecido. Pero no se trata aquí de éstos, sino de espejos de vidrio con un revestimiento metálico, que suponen un pulimento esmerado y el empleo de la amalgama de estaño; y es el hecho que semejantes espejos se produjeron en Alemania antes que en Venecia.

Pero si, como demuestran estos apuntes, eran ya célebres los vidrios venecianos en la Edad Media, los siglos XVI y XVII señalan la época de florecimiento de la industria de Murano, aquel período del Renacimiento en el que todas las artes recibieron nuevo y vigoroso impulso. Merced á una práctica secular, aquellos vidrieros dominaban entonces sus materiales, y gracias al sentido artístico de la época, no les faltaban ocasiones para lucir sus habilidades,

pues las personas de educación buscaban los productos muraneses para el adorno de sus habitaciones. «Las obras maravillosas de los vidrieros de Murano, dice Salviati, indujeron á tentación hasta á los bárbaros mismos, que acudían desde lejos con su oro en pepitas, sus colmillos de elefante, sus pieles y especias, á comprar la arena veneciana que la laboriosidad y el genio habían convertido en objetos preciosos. Las imitaciones de perlas, mármoles, calcedonia y venturina, los vidrios de color para las ventanas de las iglesias, los esmaltes para los mosaicos, los espejos, candelabros, arañas y vasos profusamente adornados con flores y follaje de vidrio, que todavía se encuentran en muchos edificios monumentales, ó se conservan como preciosidades en nuestros Museos y colecciones particulares, se deben á los inteligentes y laboriosos vidrieros de aquella época.» Entonces Murano, que hoy apenas reune 5.000 habitantes, tenía 30.000, y más de 40 fábricas destinadas á los diversos ramos de la industria vidriera; los Reyes y príncipes visitaban sus talleres, y se refiere que tan complacido salió de ellos Enrique III de Francia, que confirió títulos de nobleza á todos los maestros muraneses. Era aquel el tiempo en que la República veneciana percibía de Murano una renta anual de ocho millones de ducados.

Pero la industria vidriera decayó cuando empezó á empañarse el brillo de la República. A fines del siglo pasado el gusto general ya no era, ni con mucho, tan artístico como en siglos anteriores, siendo de todo punto insuficiente para el sostén de una industria esencialmente de lujo; y hay que tener en cuenta, además, que entretanto otros países se habían esforzado en la producción de vidrios, para hacerse independientes de Venecia, encaminando más especialmente sus miras á conocer los secretos y procedimientos muraneses. Así, por ejemplo, en Bohemia, Estiria y Carintia dióse lugar á la inmigración de vidrieros venecianos. Además de Alemania y Flandes, Francia había hecho notables progresos en la fabricación de espejos, y todas estas circunstancias contribuyeron á la decadencia de la industria de Murano. Sólo una rama de la misma se mantiene todavía lozana, y es la fabricación de cuentas de vidrio y abalorios que actualmente, como hace siglos, se producen por millones de kilogramos, diseminándose por todo el orbe.

Todo lo demás cayó en el más completo olvido, á tal punto, que cuando en 1859 se trató de restaurar los mosaicos de la iglesia de San Marcos, en Venecia, las fábricas, todavía existentes de Murano, eran incapaces de surtir los esmaltes necesarios. Entonces el doctor Salviati, que citamos más arriba, concibió la idea de hacer renacer el arte antiguo; y aunque de profesión letrado, poseía los conocimientos químicos y arqueológicos suficientes, así como el entusiasmo y la actividad necesarios para realizar su patriótico pensamiento. Empezó por las pastas esmaltadas que se empleaban antes en los grandes mosaicos, y cuando logró producirlas en todos los colores y matices diversos, se dedicó á las demás ramas de la industria vidriera que florecieron otras veces en

Murano, ocupándose primero de la fabricación de objetos de uso doméstico, cuya venta podía considerarse como más segura. Creada de nuevo la industria sobre esta base económicamente firme, Salviati profundizó sus investigaciones anticuarias, y merced á su inteligencia y actividad, y mediante la fundación de una escuela de dibujo, talleres de modelar y un Museo especial (fig. 265), logró en breve tiempo producir objetos de vidrio casi tan hermosos y de formas tan airosas como los antiguos (fig. 266).



FIG. 266.—Vidrios venecianos reproducidos por Salviati, según modelos antiguos.

Al contemplar formas tan raras y adornos en cierto modo tan estrambóticos, que el soplo del vidriero produce al parecer por mera casualidad, ó por ensalmo, nuestro gusto, acostumbrado á géneros de orden tan distinto y hallándose como fuera de su elemento natural, ve en ellas algo de «barroco» ó de churrigueresco que, por el pronto, no le agrada. Pero semejante extrañeza no debe atribuirse irreflexivamente á que el estilo de los antiguos vidrios venecianos carezca realmente de hermosura, sino más bien al hecho de que, andando el tiempo, nuestros fabricantes han llegado á hacer caso omiso de ciertas propiedades muy importantes del vidrio, á tratar tan precioso material de un modo exclusivo ó incompleto, restringiendo indebidamente el campo de sus aplicaciones artísticas. Mas oigamos lo que dice el mismo Salviati sobre el particular:

«Lo que caracteriza los vidrios bohémicos, franceses, ingleses, belgas, etc., es su gran transparencia y brillo; no parece sino que su único objeto es el de imitar el cristal de roca; y de aquí que, para hacer resaltar todavía más las hermosas propiedades de semejantes vidrios, se tallan y pulimentan hasta el extremo de que las variaciones en la forma de los objetos y sus adornos se deben exclusivamente á este tratamiento mecánico. Es cierto que de este modo puede producirse un efecto encantador; mas este efecto se consigue contra la verdadera naturaleza del vidrio, pues quedan sin aprovechar precisamente las propiedades más íntimas del vidrio y que constituyen en cierto modo su esencia, esto es, su ligereza y su plasticidad. Los vidrios venecianos, en cambio, ponen de relieve estas propiedades esenciales: su ligereza es el resultado de procedimientos técnicos muy distintos de los que se emplean en otras partes desde la segunda mitad del siglo pasado, para prestar al vidrio el peso, la refrangibilidad, la transparencia y el brillo, propiedades que son el patrimonio exclusivo del cristal de roca. La ductilidad del vidrio, después de ablandado por el calor, permite toda la riqueza y variedad de formas y colores que quieran darle el arte y la fantasía del vidriero. Como se quiso proceder contra naturaleza haciendo del vidrio un seudo-cristal, dándole masa y frialdad á fin de ensalzar su transparencia y brillo, se le ha privado de sus encantos. Los antiguos vidrieros de Murano poseían dos requisitos esenciales para elevar su industria al rango de un arte, y hacer de su arte una industria: de un lado, el material plástico, á cuyo perfeccionamiento ha contribuído una experiencia secular, y de otro, un delicado sentido artístico, un instinto especial que parece propio de esta tierra y de estos hombres; pues este sentido artístico no ha desaparecido con la decadencia del arte, sino que á él debe atribuirse el renacimiento tan rápido de este último.»

Aun cuando las reflexiones que acabamos de reproducir responden á un punto de vista un tanto exclusivo, y adolecen, por lo mismo, de cierta exageración, contienen, sin embargo, algo de verdad y digno de notarse. Las producciones de Salviati, de las que reproducimos algunas en la fig. 266, estaban representadas en la Exposición londonense de 1862, y causaron la sorpresa y admiración que era de esperar. Después figuraron en las Exposiciones de París y Viena, y todo el que haya tenido ocasión de verlas debe estar agradecido á Salviati por haber sacado del olvido una rama del arte que era de las principales de la época del Renacimiento.

Durante el siglo XV y épocas siguientes, el arte de Murano influyó de una manera notable sobre la industria vidriera alemana, traduciéndose dicha influencia más especialmente en Bohemia, país entonces el más industrial y próspero de Alemania, y que mantenía estrechas relaciones comerciales con Italia. Sin embargo, sería injusto exagerar el influjo italiano hasta el punto de atribuirle todos los progresos en el arte de que tratamos, pues en muchos conceptos los

países del Norte se mostraron independientes, instruyendo más bien que recibiendo enseñanza.

En Alemania se desarrolló la industria vidriera durante la Edad Media, y floreció desde el siglo XIV en adelante. Las preciosas vidrieras de color que se encuentran todavía bien conservadas en muchas ciudades, demuestran la perfección alcanzada en la coloración de pastas de vidrio; pero al par que la piedad motivaba semejante decoración de iglesias y monasterios, el vidrio hallaba también empleo para usos domésticos. En documentos del siglo XIII se citan repetidamente, entre los industriales de Viena, los vidrieros y fabricantes de espejos; los objetos de vidrio más ordinarios se producían, á lo que parece, en la comarca llamada «Selva de Viena», y á mediados del siglo XV se había generalizado bastante en Austria el uso de cristales en las ventanas. A principios de dicho siglo ya se imitaban en Viena los vidrios venecianos. En Francfort sobre el Main, Augsburgo y otros puntos de Alemania, lo mismo que en Flandes, se usaban comúnmente vasos de vidrio para beber desde el primer tercio del siglo XIV. Aunque bajo la influencia del estilo gótico y aun durante el Renacimiento, los vasos de vidrio alemanes nunca lograron la gran variedad que los venecianos, los hubo de formas muy características, que se conservaron durante los siglos posteriores y que recibieron todos nombres especiales, alusivos, ora al uso particular á que se destinaban, ora á su misma forma. Semejantes vasos clásicos, digámoslo así, se conservan aún como recuerdos de familia en muchas casas alemanas, y se encuentran también en los Museos del país y extranjeros, pudiendo formarse nuestros lectores una idea de ellos en vista de la figura 267.



FIG. 267.—Antiguos vasos de vidrio alemanes.

En tiempos del Renacimiento propagóse el decorado de los vasos de vidrio con esmaltes y dorados, arte que los venecianos habían adoptado de los árabes y bizantinos; también se perfeccionaron las artes de tallar y grabar el vidrio,

y se conservan todavía vasos de aquella época que ostentan delicados grabados hechos con el diamante. Para los objetos destinados á recibir esmaltes se empleaba generalmente un vidrio de color verde ó verdoso, mientras que el vidrio incoloro, semejante al cristal, se reservaba más especialmente para hacer espejos. Las pinturas al encausto, con esmaltes, de los vasos de vidrio alemanes, representan los objetos más diversos, pero sobre todo escudos de armas (véase la fig. 267), y muchos reproducen en letras de adorno inscripciones conmemorativas, refranes, etc. No es fácil precisar en todos los casos los puntos donde semejantes vasos se fabricaban; pero la fuente principal fué, durante mucho tiempo, la región bávara de los montes Fichtel, en donde, según es fama, la industria vidriera se introdujo originariamente por venecianos que acudieron al país en busca de oro. Entre los vasos conservados que ostentan fechas precisas, los más antiguos datan de 1540 á 1550; la pintura á que nos referimos siguió practicándose en siglos posteriores, pero decayó notablemente en la segunda mitad del siglo pasado.

Pero además de estas producciones de estilo esencialmente alemán, se conservan de aquella época vidrios de las formas más elegantes, que son evidentemente imitaciones de los productos de Murano, llamando también la atención por sus adornos en relieve formados al soplete con varillas ó hilos de vidrio de diversos colores, ó bien fundidos en la masa á manera de los *millefiori* venecianos. Estos productos han dado margen á la sospecha de que no pocos de los vasos del género que se conservan y consideran como venecianos, sean en realidad de origen alemán. Pero andando el tiempo prevalecieron en su fabricación tendencias que pugnaban abiertamente con el buen gusto de antes, y es lástima que los fabricantes modernos sigan reproduciendo semejantes muestras de decadencia, cayendo en el error, tan común en nuestros días, de que *lo antiguo* es equivalente de *lo hermoso.*

Los objetos de vidrio alemanes, llamados genéricamente *bohémicos*, constituyen una clase por sí, cuyas particularidades estriban en diferentes modos especiales de tallar y grabar el vidrio. La producción en la superficie de los vasos de multitud de facetas labradas—una manera de adornar que halló gran aceptación—suponía necesariamente un vidrio de bastante espesor, y esta circunstancia influyó mucho en la forma de los vidrios bohémicos. En oposición á los vasos venecianos y los demás alemanes, los bohémicos se hicieron más pesados; y mientras aquéllos debían sus efectos artísticos á lo fantástico, á lo elegante de sus formas, la ligereza de adornos producidos al soplete, la combinación de pastas de diversos colores y la pintura con esmaltes, los vidrieros de Bohemia renunciaron á estos medios, esforzándose principalmente en producir brillantes efectos por reflexión y refracción de luz, á imitación de los del cristal de roca. Como es consiguiente, ponían el mayor empeño en producir un vidrio diáfano é incoloro, al que no se prestaba tanta importancia en otras partes.

Esta industria especial se arraigó muy temprano en la selvática Bohemia; la región de Steinschönau, que es todavía el centro principal de los vidrieros, tenía ya una fábrica en el año 1442, establecida por un tal Peter Berka; y poco tiempo después se montaron otras en Falkenau, Kreibitz, etc. Activos comerciantes se ocuparon preferentemente en la exportación de los diversos productos que, por su novedad y baratura, hicieron á los vidrios venecianos competencia. La naturaleza misma de los expresados productos dió pronto lugar á la correspondiente división de los trabajos de fabricación: los vidrios fundidos de primer intento en hornos especiales, se labraban y acababan con la muela ó piedra de amolar, y los trabajadores reconocieron la ventaja de dedicarse cada uno á determinados artículos. En las vertientes de los montes Gigantes y del Iser se arraigó la fabricación de piedras preciosas artificiales; las pastas de color, las imitaciones del coral, la bisutería de vidrio, botones, etc., que todavía se producen en la región de Turnau y Gablonz, se fabricaban allí en la segunda mitad del siglo XVII. La talla, y muy en especial el grabado de los objetos de vidrio, se mantuvo principalmente en la comarca de origen, siendo Haida el centro de semejante industria. Merced á los talladores de cristal de roca, que Rodolfo II empleaba en su corte, la talla correspondiente del vidrio recibió un impulso notable, perfeccionándose los procedimientos. Para que nuestros lectores se formen una idea de los productos de este género, reproducimos en la figura 268 un vaso de vidrio de Bohemia, tallado y grabado, correspondiente á principios del siglo XVIII. Desde entonces el desarrollo de la industria vidriera bohémica ha seguido en auge, si bien, y acentuándose cada vez más la producción en masa, llegó á desatenderse lamentablemente la parte artística. Sin embargo, se ven á veces objetos ordinarios de vidrio de Bohemia que no carecen de mérito en este sentido, y merced á la influencia del Museo austriaco de artes é industrias, existen hoy fabricantes, como Lobmeyr (del que habremos de ocuparnos más adelante), cuyas producciones artísticas rivalizan ventajosamente con las mejores de nuestra época de progreso.

Merced á su estilo particular, el vidrio de Bohemia ejerció una influencia notable sobre la industria vidriera de otros países. En Flandes se establecieron fábricas de vidrio en el primer tercio del siglo XV, y en 1760 unos vidrieros de la Selva Negra introdujeron allí el nuevo procedimiento de producir vidrios planos por medio de grandes cilindros soplados. Pero, generalmente hablando, se había mostrado allí en tiempos anteriores una preferencia señalada por el estilo veneciano; los vidrieros flamencos imitaban con gran destreza los vidrios de Murano, y no cabe duda de que muchos de los vasos antiguos que los aficionados consideran como venecianos, proceden realmente de los talleres de los Países Bajos. Bruselas y Amberes eran los principales centros de aquella industria vidriera, cuyo florecimiento se debe en gran manera á la prosperidad general y al sentido, tan arraigado en dichos países, de la comodidad doméstica.

Las pinturas de aquellos tiempos reproducen con frecuencia los vasos artísticos y ordinarios que allí se fabricaban y usaban comúnmente. Pero así como los flamencos supieron imitar los productos venecianos, no tardaron tampoco en asimilarse, digámoslo así, los procedimientos técnicos de los vidrieros de Bohemia. Los espejos de Flandes gozaban ya de gran celebridad, tanto por su pasta como por su pulimento y revestimiento; de modo que los artistas tan capaces que los producían no hallarían dificultad en tallar y grabar el vidrio según el estilo bohémico; de hecho fueron más atrevidos que los bohemios, pues aplicaron el grabado á los vidrios delgados hechos al soplete á la manera veneciana.



FIG. 268.—Vaso de vidrio de Bohemia de principios del siglo XVIII.

Si nos propusiéramos hacer la historia de la industria vidriera de Inglaterra y Francia, tendríamos que apuntar datos análogos á los anteriores; pues tanto en estos países como en otros europeos, y próximamente en las mismas épocas, el desarrollo de dicha industria ha pasado por las mismas fases, que tuvieron su origen en Venecia y Alemania. Debemos referir, sin embargo, que en el siglo XVII la fabricación de espejos tomó un impulso muy notable en Francia merced á Lucas de Nehou, que perfeccionó el procedimiento de fundir grandes planchas de vidrio, industria que fomentó muy especialmente Colbert. Existen todavía en Francia muchas fábricas de vidrio, en particular las de botellas, cuya fundación data de varios siglos; mencionaremos, por ejemplo, el célebre establecimiento del vizconde de Leempool, en Quinquengronne (Aisne), que se fundó en 1290.

En España nunca tuvo gran importancia, que sepamos, la industria vidriera, y á estas fechas, según datos oficiales que tenemos á la vista, sólo existen en todo nuestro país diez fabricas de vidrio con 67 crisoles. Antiguamente tomó algún incremento en Cataluña y la Alcarria la producción de vidrios ordinarios; pero sólo en el real sitio de San Ildefonso, y bajo los auspicios de Felipe V y Fernando VI, llegaron á ejecutarse trabajos de alguna consideración. Según Pons, el origen de la fábrica de vidrio de la Granja se remonta al año 1728, cuando un catalán, llamado *Ventura Sit*, obtuvo licencia para establecer allí un horno, dándose á fabricar pequeñas piezas de vidrio y planos ordinarios. Interesándose en 1736 por este industrial, la reina mandó construir una fábrica, en la cual, y con operarios traídos de la Alcarria y Cataluña, Sit siguió trabajando por cuenta de S. M.; y algún tiempo después el Rey le mandó que hiciese pruebas de vidrios planos para azogar. Como dieran buenos resultados estos ensayos, se desarrolló por el pronto en la Granja la fabricación de espejos, á cuyo efecto, y habiéndose quemado el edificio primitivo, se construyó una fábrica espaciosa, dotándola con los hornos y las mesas de bronce necesarios para fundir grandes planchas de vidrio; en ella se llegaron á hacer espejos hasta de 3,50 metros de alto por 2 de ancho. Más tarde, y merced á la iniciativa de don José de Carvajal, ministro de Fernando VI, se hizo venir de Francia á Dionisio Sisvert y sus hijos, muy diestros en las elaboraciones á soplo con la caña, y habiéndose montado el edificio correspondiente, dióse principio á la fabricación de todo género de vasos y otros objetos de vidrio. En esta fábrica de labrados, como se llamaba, las piezas se tallaban y grababan. Posteriormente se montaron en San Ildefonso, siempre por cuenta de la Hacienda, las dos fábricas dichas «de entrefinos», la primera, bajo la dirección del maestro Eder de Noruega, y la segunda (en 1771), bajo la de Segismundo Brun, de Hannover, que se dedicaron más especialmente, con arreglo á nuevos procedimientos alemanes, á la producción por soplo de grandes vidrios planos para ventanas, puertas, cuadros, etc. Nuestros trastornos políticos pusieron término á esta industria del Estado, que no ha vuelto á establecerse.

El arte vidriero de Bohemia operó un cambio esencial en la composición del vidrio mismo. En los otros puntos de fabricación, lo mismo que en Venecia, se venía produciendo principalmente el vidrio de sosa, ora con el carbonato sódico natural, ora con la ceniza sodífera de plantas de las playas marítimas; pero en Bohemia se vieron obligados los fabricantes á emplear la ceniza de las leñas de sus selvas, y creían que era lo mismo, pues no sabían que las plantas terrestres contienen potasa en lugar de sosa, puesto que no se estableció la distinción entre ambos álcalis hasta el año 1757. Pero esta confusión tan perdonable dió lugar, sin que se sospechara siquiera, al empleo de un componente del vidrio mejor que la sosa, y á esta circunstancia, combinada con la gran pureza de las sustancias minerales que se hallaban en Bohemia, se debe el hecho de

que el vidrio bohémico resultó superior al de los demás países, alcanzando pronto una celebridad que ha conservado hasta nuestros días.

Sin embargo, los árboles de las selvas que proporcionaban la potasa no podían crecer en la medida que iba extendiéndose la fabricación del vidrio; fué escaseando la leña en diferentes partes, y el precio de la potasa siguió aumentando hasta el año 1861, cuando se comenzaron á aprovechar las sales potásicas de las minas de Stassfurt, de que hemos hablado en otros capítulos, y que vinieron también á favorecer la industria vidriera. El elevado precio de la potasa obligó á muchos fabricantes de vidrio en Francia á valerse nuevamente de la sosa, que ya se producía allí, según el procedimiento de Leblanc, con la sal común, como referimos en otro lugar; también se emplea frecuentemente en forma de sulfato. La misma causa, ó, hablando con más exactitud, la carencia de leña, dió lugar en Inglaterra á la fabricación del vidrio de plomo: precisaba emplear en los hornos la hulla, y como con este combustible, y merced al hollín, el vidrio resultaba siempre impuro, y como al taparse los crisoles para evitar este inconveniente, el vidrio no se podía fundir, hubo de buscarse un fundente eficaz, que se halló precisamente en el óxido de plomo. Pero con este medio no sólo se resolvió el problema en cuestión, sino que, inesperadamente, se produjo un vidrio que, si bien más blando que el conocido hasta entonces, poseía en alto grado las estimadas propiedades de la transparencia y el brillo. Posteriormente, el análisis de algunos vidrios antiguos ha venido á demostrar que los romanos producían ya vidrio de plomo antes de nuestra Era; de modo que tenemos aquí otro ejemplo de cómo los inventos se olvidan con el tiempo y vuelven á hacerse independientemente.

Hoy ya, y merced á la aplicación del combustible gasiforme, se emplean en los hornos de vidrio, no sólo la hulla, sino también el lignito y la turba. De un modo especial, que explicaremos más adelante, dichos combustibles fósiles y sólidos se convierten en gases inflamables, los cuales, en unión con el aire necesario, se introducen en los hornos, donde su combustión, exenta de humo y polvo, produce un calor intenso, que se puede aumentar ó disminuir fácilmente.

NATURALEZA Y PROPIEDADES DEL VIDRIO

Para que nuestros lectores se formen una idea exacta de la naturaleza del vidrio, es preciso que les hablemos primero de la sílice, una materia que hemos mencionado repetidamente en este libro, pues en todos los casos, es decir, tratándose de la clase de vidrio que se quiera, es este cuerpo siempre el producto de la combinación de aquella materia con determinadas sustancias básicas.

La sílice, ó ácido silíceo, es muy común en la Naturaleza; se encuentra en casi todas las rocas, constituyendo la parte principal de muchas de ellas; de

modo que es seguramente la materia que más ha contribuído á la formación de la costra terrestre, y tal vez de la tierra en su totalidad. El mineral que llamamos cuarzo, y que en su forma más pura constituye el cristal de roca, en preciosos y diáfanos prismas hexagonales, coronados por pirámides también de seis lados, no es más que sílice. La arena y la piedra llamada arenisca se componen de multitud de granitos de cuarzo, libres ó unidos entre sí mediante una masa arcillosa, ferruginosa, calcárea, etc. Los matices amarillentos, rojizos ó parduscos proceden de estas sustancias extrañas, pues el cuarzo puro es enteramente blanco, ó, mejor dicho, incoloro. No nos detendremos á hablar de otras rocas en que se presenta la sílice, pues de ellas hemos tratado ya en el tomo III de esta obra; sólo añadiremos que ha adquirido cierta importancia para la fabricación del vidrio la llamada común, aunque erróneamente, tierra de infusorios, que se compone de las envolturas silíceas y microscópicas de las algas dichas *diatomáceas* ó *bacillariáceas*, y se encuentra á veces formando extensos depósitos en diferentes partes del globo.

Aunque exteriormente tenga la sílice cierto parecido con la alúmina, la magnesia, la glucina, etc., difiere en esencia de estas tierras por su naturaleza química. Verdad que es también un óxido, esto es, una combinación de oxígeno con un elemento especial; pero no es, como aquellas materias, de naturaleza básica, sino que tiene el carácter de un ácido. El elemento aludido, que contiene la sílice en unión con el oxígeno, es el islicio, que se puede separar de él por métodos reductivos enteramente análogos á los que tuvimos ocasión de considerar al tratar del aluminio; se obtiene, bien en estado cristalizado formando laminitas de color gris negruzco, que recuerdan el grafito, bien en estado amorfo y forma de un polvo pardo oscuro. El silicio no se presenta libre en la Naturaleza, y entre las pocas combinaciones que forma con otros elementos, la sílice es, no precisamente la única, pero sí la más importante que se prepara, digámoslo así, en el gran laboratorio natural; pues salvo ésta, sólo merece mención el fluorido de silicio, por formar parte de una piedra preciosa estimada, ó sea el topacio. En la siderurgia tiene el silicio alguna importancia, en vista de que puede combinarse con el hierro, prestando al acero determinadas propiedades, como ya dijimos en un capítulo anterior. El químico sabe de otros elementos con los que el silício entra en combinación; pero semejantes compuestos tienen un interés puramente científico, de modo que podemos hacer caso omiso de ellos.

Empero tan reducido como es el número de las combinaciones del silicio, tan grande, en cambio, es el de las materias (álcalis, tierras y óxidos metálicos) que se combinan con su ácido, ó sea con la sílice. Los compuestos resultantes, que genéricamente se llaman silicatos, tienen la mayor importancia científica é industrial, porque se encuentran en la Naturaleza en la mayor variedad y abundancia; porque entran como componentes en gran número de minerales y cons-

tituyen la base de muchas rocas, influyendo por lo mismo, ora favorable, ora desfavorablemente, en la explotación y elaboración de las primeras materias inorgánicas; y también porque, por vía artificial, pueden obtenerse algunos que se caracterizan por sus propiedades útiles y agradables. Otra materia natural que, bajo varios conceptos, se parece mucho á la sílice, es el ácido bórico, que también tiene la propiedad de formar con las mismas bases, combinaciones de naturaleza vítrea. Por esto se emplea para los mismos fines que la sílice, si bien su rareza relativamente grande y su elevado precio sólo consienten que se apliquen á la producción de objetos especiales, como vidrios ópticos, piedras preciosas artificiales, etc.

Los silicatos naturales constituyen sales simples, como, por ejemplo, el silicato de alúmina, componente principal de la arcilla y el kaolín, de que hablamos al tratar de la cerámica; ó bien son combinaciones dobles ó múltiples, á veces de constitución muy complicada, en cuyas formas se encuentran en muchos minerales, como, por ejemplo, los feldespatos, la hornblenda, la augita, los granates y las micas.

Pues bien; lo que llamamos *vidrio* no es más que un silicato, por más que su composición química no responda á ninguna fórmula fija, sino que puede variar considerablemente. La sílice, los álcalis, las tierras alcalinas y los óxidos metálicos constituyen sus componentes principales; mas aunque la afinidad química entre estas materias es grande y variada, para que formen masas de propiedades vítreas es preciso que su mezcla tenga lugar dentro de ciertos límites proporcionales. Un vidrio verdadero sólo se produce cuando puede formarse una combinación doble de silicato alcalino con un silicato térreo; de modo que, sentado este principio fundamental, podemos, desde el punto de vista químico, clasificar los diferentes vidrios que comúnmente se fabrican, en determinados grupos.

El primero de estos grupos comprende los vidrios *potasio-cálcicos*, es decir, aquéllos en que el silicato de potasa se halla en combinación con el de cal, y cuyo representante principal es el vidrio de Bohemia. Al segundo grupo pertenecen los vidrios en que la potasa está sustituída por la sosa, y se llaman, por lo mismo, *sodio-cálcicos;* entre ellos mencionaremos el vidrio francés, el inglés llamado *crown-glas*, así como el que forma los cristales de nuestras ventanas; mientras que el vidrio de espejos es una clase intermedia entre el primero y el segundo grupo. Otro grupo lo forman los vidrios *potasio-plomizos*, los cristales blandos que comprenden el *flint-glas* y el *stras*—nombres, sea dicho de paso, cuya significación aparecerá más adelante.—Por último, constituyen un grupo especial los vidrios *alumínico-cálcico-alcalinos*, que contienen, por regla general, como bases, además de la alúmina, la cal y los álcalis, el peróxido y el protóxido de hierro en bastante cantidad, y que, á consecuencia de la coloración producida por estos óxidos, sólo pueden emplearse en la fabricación de artícu-

los baratos, pero que requieren solidez. El vidrio típico de esta clase es el de las botellas ordinarias que se emplean para conservar los vinos, la cerveza, etc.

La analogía que existe entre la composición de muchos minerales y rocas y la de determinados vidrios, ora sea que coincidan las proporciones de sus diversos componentes, ó porque semejante coincidencia ó igualdad pueda producirse fácilmente mediante la descomposición de una ú otra sustancia fundamental; tal analogía, decimos, ha conducido al empleo directo de semejantes minerales en la fabricación del vidrio. Así, por ejemplo, se convierten en vidrio el basalto, la nefelina, la fonolita, la obsidiana, la lava volcánica ordinaria y hasta el granito, y en Pittsburgo (Estados Unidos) se fabrica con la kriolita de Groenlandia un producto vítreo de excelentes calidades, que lleva el nombre de *hot cast-porcelain*, esto es, porcelana moldeada en caliente.

Cuando se funde bastante cantidad de un álcali con sílice, se obtiene una pasta que absorbe la humedad atmosférica y acaba por deshacerse, formando una masa blanda, gelatinosa, ó bien, si el álcali no se halla en exceso, se disuelve fácilmente, después de pulverizado, en agua caliente. En su primera forma, dicha pasta constituye la llamada *humedad silícea*, que se produce hace tiempo en los laboratorios químicos, con el fin de obtener sílice pura de una manera cómoda; en la otra forma referida, aquella pasta es el llamado *vidrio de agua*, que se fabrica en grande en los últimos tiempos, y es susceptible de muchas aplicaciones técnicas, puesto que se puede pintar con él la madera, la piedra y otras materias, dándoles de este modo un revestimiento vítreo, duro y resistente á las influencias atmosféricas. Volveremos más adelante sobre este particular.

Si á una de las disoluciones acuosas de silicato que acabamos de mencionar se agrega un ácido flojo, por ejemplo, el ácido carbónico, éste se combina con el álcali, y la sílice se precipita; lo que demuestra que la sílice es un ácido muy débil, al menos en disoluciones acuosas. Empero, bajo la influencia del calor, las afinidades químicas de los referidos ácidos se manifiestan de distinto modo, pues cuando se funde carbonato de potasa, por ejemplo, con cuarzo en polvo, la efervescencia súbita que se produce indica claramente que el ácido carbónico resulta expulsado por el silíceo, y, en efecto, se encuentra después en el crisol un silicato potásico.

Como el vidrio no puede considerarse como una sal de constitución química bien definida, y como, por otra parte, es preciso admitir que la unión de sus diversos componentes puede verificarse sobre la base de la atracción química, la única solución que cabe consiste en que la sílice es capaz de combinarse en proporciones muy diversas con los álcalis y las tierras alcalinas (pero especialmente con los primeros) y que el vidrio es una *mezcla* de varias de estas combinaciones. Semejante explicación se halla también corroborada por la circunstancia de que la masa del vidrio no es enteramente incapaz de cristalizarse, sino que, al contrario, su estado amorfo se debe únicamente á las condicio-

nes bajo las cuales se funde, trabaja y deja enfriar. Si un vaso de vidrio se expone largo tiempo á la incandescencia roja, haciéndole sufrir, por ejemplo, una cochura en un horno de alfarero, rodeándolo con yeso ó polvo de ladrillo, á fin de evitar que se deshaga bajo el calor, después de enfriado en el horno resulta su masa opaca, parecida á la porcelana, sin que haya ganado ó perdido algo; y es que en tales condiciones sus partículas han tenido lugar de agruparse en finos agregados cristalinos que impiden completamente que pase la luz.

Como quiera que un silicato conteniendo mucho álcali resulta soluble en agua, siendo capaz hasta de deshacerse bajo la influencia de la humedad atmosférica, es evidente que para obtener un vidrio duradero no debe escatimarse la proporción de sílice; pero la experiencia enseña que con sólo la sílice y los álcalis (potasa ó sosa) no se logran vidrios buenos y duraderos, sino que es preciso agregarles, por lo menos, otra sustancia capaz de formar un silicato. El vidrio es, pues, cuando menos, un silicato doble, como indica la composición de los tres primeros grupos referidos más arriba. Además se necesitan otras materias para prestar al vidrio propiedades especiales, como dureza, brillo, color, etc.; de modo que el fabricante tiene que disponer de muchas materias primeras, empleándolas con arreglo á las pastas que desea producir.

La cal constituye una sustancia excelente para la producción de vidrio duro, y se agrega en estado calcinado, ó bien en forma de creta, en cuyo último caso el ácido carbónico resulta expulsado por la sílice. El silicato de cal es de por sí más bien de naturaleza pétrea que vítrea y casi infusible; pero en unión con silicato potásico presta al mismo dureza y durabilidad, sin disminuir su transparencia, y el vidrio cristalino de Bohemia debe sus excelentes cualidades principalmente á su contenido en cal. Sin embargo, se sabe que una cantidad excesiva de esta materia enturbia el vidrio.

Si en la industria pudiera prescindirse de la cuestión económica, no se emplearía en la fabricación del vidrio más álcali que la potasa; mas como éste resulta en muchos casos demasiado caro, se sustituye en totalidad ó en parte con la sosa, que es mucho más barata. Los cristales de nuestras vidrieras y todos los artículos más comunes están hechos con vidrio sódico, el cual es más fusible y blando que el vidrio potásico, y cuando tiene algún espesor ostenta una coloración azulada ó verdosa.

Otra primera materia importante es el óxido de plomo, que se empleó primero en Inglaterra como fundente, y, en efecto, hace que el vidrio sea tanto más fusible cuanto mayor es la proporción en que se emplea. Los vidrios plomíferos, aunque más blandos, y por consiguiente menos duraderos, que las demás clases, son susceptibles de un hermoso pulimento, y poseen en alto grado las propiedades del brillo y la transparencia incolora. Merced á su gran poder refrangible, el vidrio de plomo (*flint-glas* de los ingleses) es de mucha importancia para los instrumentos ópticos, especialmente para la fabricación de las lentes acromáti-

cas de que hablamos en el tomo II de esta obra. Las mismas calidades le hacen también muy á propósito para la industria de las piedras preciosas artificiales, en cuyo caso recibe hasta el 50 por 100 de óxido de plomo, dándose á semejantes pastas el nombre de *stras*.

En los últimos tiempos, la barita ó espato pesado, que antes no se acertaba á emplear convenientemente, á pesar de encontrarse en abundancia en muchas localidades, se ha introducido con gran ventaja en la fabricación del vidrio. No solamente sustituye por completo á la cal, sino que, además de las buenas propiedades de ésta, tiene la no menos apreciable de prestar á los vidrios un poder refrangible considerable, pudiendo sustituir, por lo mismo, y hasta cierto grado, al óxido de plomo.

Menos precisos que los anteriores son algunos otros componentes del vidrio, que se añaden con fines especiales. Entre ellos mencionaremos el ácido bórico, en forma de bórax (borato de sosa); la estroncianita, el espato fluor, la kriolita; el fosfato de cal en forma de harina de huesos ó de guano; el óxido de cinc, el de bismuto; la piedra pómez, la fonolita y otros silicatos naturales, fácilmente fusibles y ricos en álcalis; la magnesia, la alúmina en forma de arcilla, etc. Una porción mínima de alúmina suele entrar en la masa de vidrio en fusión, procedente de las paredes de los crisoles; pero esto no se mira como cosa favorable, puesto que el silicato alumínico hace más refractario al vidrio. En cambio, los óxidos metálicos contenidos naturalmente en las materias brutas promueven la fusibilidad del vidrio; mas como siempre prestan á éste cierta coloración, su presencia se ve con desagrado cuando se trata de producir vidrios incoloros. El hierro, que siempre se encuentra más ó menos en las materias primeras en forma de protóxido, es de las sustancias colorantes que mayores inconvenientes ocasiona; según su proporción, presta al vidrio matices más claros ó más oscuros de verde, como los que ostentan las botellas de vino ordinarias.

Para combatir este óxido de hierro, se agregan al vidrio en fusión sustancias especiales, como nitro, arsénico, y más particularmente el superóxido de manganeso en forma del mineral llamado pirolusita. La acción de estas materias se explicaba antes mediante la suposición de que prestaban oxígeno al protóxido de hierro, convirtiéndolo en peróxido; y como éste presta al vidrio un color amarillo, mientras que el óxido simple de manganeso tiende á darle un color violado, se creía que estos dos colores se anulaban mutuamente. El nitro y el arsénico ejercen una acción exclusivamente oxidante; mas ésta sólo corresponde al superóxido de manganeso en grado limitado, pues en lugar de la pirolusita puede emplearse, para la descoloración del vidrio verde, el óxido de níquel, que no se desprende de ningún oxígeno y presta al vidrio un color rojizo. La coloración producida por el óxido de manganeso tampoco es un violado puro, sino algo rojizo y más bien complementaria del verde que no del amarillo. Por

dichas razones parece evidente que la descoloración del vidrio verdoso por medio de la pirolusita es un fenómeno de orden más bien físico que químico; y la utilidad ó eficacia de ciertos medios descolorantes estriba, por lo tanto, en el hecho de prestar al vidrio una coloración complementaria del matiz verdoso de la masa, y que, por esto mismo, anula su efecto. Por lo demás, no faltan ocasiones, en la fabricación del vidrio, de emplear medios que le priven de su color por oxidación ó desprendimiento de oxígeno, sobre todo cuando la masa resulta de color gris ó pardusco, merced á la presencia de pequeñas partículas de carbón; entonces se añade nitro ó ácido arsenioso, empleándose también al efecto el aire, que se obliga á pasar á través del vidrio en fusión. En vista de su efecto, los medios descolorantes referidos, y en especial la pirolusita, se llaman *jabones de vidrieros*.

Por último, la forma química en que se emplean los álcalis en la producción del vidrio determina el uso de otras materias secundarias. Por razones económicas no se emplean álcalis puros, sino sales alcalinas, dejando á la sílice el trabajo de descomponerlas y apoderarse del álcali. Empero, en ciertos casos, dicha descomposición ó separación se verifica difícilmente, y de aquí el uso de medios para promoverla ó facilitarla, empleándose generalmente el carbonato de cal (creta) ó el carbón. Como estas materias toman ellas mismas parte en el cambio químico, promueven la descomposición de las sales y la formación de silicatos; la creta se emplea cuando se trata de la sal común (cloruro sódico), mientras que cuando la sal alcalina es un sulfato, se usa el carbón, el cual sólo debe agregarse en la proporción precisa para que se oxide á expensas del ácido sulfúrico y se desprenda en forma de ácido carbónico, mientras que aquél escapa en la de ácido sulfuroso; un exceso de carbón prestaría al vidrio un color amarillo, pardo ó negruzco. Esta es la razón de por qué en hornos que humean ó que se calientan con turba, lignito ó hulla, no se puede obtener un vidrio perfectamente incoloro, á menos de emplear crisoles cerrados.

Tales son, pues, las primeras materias empleadas en la fabricación del vidrio; pero en determinados casos se agregan todavía otras sustancias, ora con el objeto de colorear la masa, ora para hacerla opaca ó semitransparente, ora para aumentar su refrangibilidad, ora, en fin, para favorecer el proceso químico. A cada caso corresponden determinadas prescripciones; mas como sería imposible reunir aquí el sinnúmero de recetas diversas que se siguen en las fábricas para producir las diferentes clases de vidrio, hemos de limitarnos á las que mejor idea dan de la composición de los vidrios más característicos.

VIDRIO BLANCO DE BOHEMIA

PARA OBJETOS HUECOS

Arena blanca	100	kgs.
Potasa	60	»
Cal	10	»
	170	»

VIDRIO PLANO DE BOHEMIA

Arena blanca	100	kgs.
Potasa	42	»
Piedra caliza	17,5	»
	159,5	»

VIDRIO DE ESPEJOS

Cuarzo	100	kgs.
Potasa purificada	66,75	»
Mármol	3,33	»
Nitro	6,66	»
Arsénico	1,66	»
Pirolusita	0,2	»
Esmaltín	0,05	»
	178,65	»

CRISTAL POTÁSICO

Arena de cuarzo	100	kgs.
Potasa	50	»
Arsénico (ácido arsenioso blanco)	0,25	»
Cal apagada	15	»
	165,25	»

CROWN-GLAS INGLÉS

Arena blanca	100	kgs.
Sosa purificada	41,66	»
Carbonato de cal	22,5	»
Arsénico	1,66	»
	165,22	»

FLINT-GLAS INGLÉS

Arena	100	kgs.
Oxido rojo de plomo	60	»
Potasa	20	»
	180	»

VIDRIO COMÚN DE BOTELLAS

Sílice	61	%
Alcali	3,2	»
Cal	22,3	»
Alúmina y óxido de hierro	12,3	»
Protóxido de manganeso	1,2	»
	100	

Hemos visto, por lo que antecede, que es difícil evitar las coloraciones casuales del vidrio y obtenerlo perfectamente incoloro; y, en efecto, es mucho más fácil prestar al vidrio un color determinado, empleando para ello óxidos metálicos, que también se combinan con la sílice para formar silicatos, así como algunas otras materias colorantes. En esencia, estas sustancias son las mismas que se usan en la pintura sobre porcelana, y sus efectos con el vidrio son también análogos: la púrpura de oro (compuesta de oro y estaño), el protóxido de cobre y el protóxido de hierro, sirven para producir colores rojos; el óxido de cobalto produce el azul; con los óxidos de antimonio, plomo, hierro y urano, el carbón y diferentes preparados de la plata, se obtienen matices amarillos; los óxidos de cobre y cromo, dan el verde; los de hierro y urano, el negro; el protóxido de manganeso, azul y violeta, etc. Mediante la mezcla de diferentes materias colorantes se pueden producir los matices más diversos, y á veces se obtienen también colores distintos con la misma materia, según la manera de emplearla. Ciertos vidrios que parecen negros se colorean con sustancias que producen el verde, el azul ó el pardo, empleándose en proporciones relativamente grandes, con lo cual estos colores resultan tan oscuros, que parecen negros. Por esto, muchos vidrios de color, por ejemplo, cristales planos para vidrieras, no están coloreados en toda su masa, sino sólo superficialmente, es decir, que tienen una base de vidrio blanco revestida con una capa de vidrio de color más ó menos delgada.

Para producir esta clase de vidrio, el soplador tiene delante de sí dos crisoles: el uno, con una masa fundida de vidrio blanco, y el otro, con vidrio del

color deseado; introduce la extremidad de su caña primero en la masa blanca ó incolora y luego en la colorada, graduando la cantidad de ésta con arreglo al matiz que quiere producir; al soplar obtiene un vidrio doble, puesto que la ampolla resulta incolora al interior y coloreada exteriormente. El efecto de semejantes vidrios es el mismo que si toda la masa participara de la coloración, salvo que los puntos más delgados aparecen con el mismo tono que los más gruesos, lo que no sucedería si el color estuviera difundido en la masa; además de esta ventaja, la capa coloreada se puede quitar de donde se quiera mediante la piedra de moler; circunstancia de gran importancia tratándose del adorno de los objetos, puesto que hace posible la producción de dibujos claros sobre fondo coloreado, ó viceversa.

Para preservar la vista contra los efectos deslumbradores de los rayos solares, se emplean anteojos provistos de vidrios planos (ó lentes, según el caso) de condición especial: son perfectamente transparentes, pero de un color indeterminado, bastante oscuro, que no colorea la luz que les atraviesa, pero que la debilita. Tales son los vidrios dichos *ahumados*, que se obtienen agregando á la masa en fusión dos sustancias que por sí producirían colores complementarios; por ejemplo, el protóxido de cobre (rojo) y el protóxido de hierro (verde), pero que unidos no dan lugar á que uno de estos colores se manifieste.

Los vidrios de color más hermosos se emplean en imitar de las piedras preciosas, y para enaltecer en lo posible su refrangibilidad y su brillo se preparan con pastas especiales, que llevan el nombre de *strass*. Semejante pasta es un vidrio potásico que tiene gran cantidad de óxido de plomo y cierta porción de ácido bórico. El contenido en plomo es todavía mayor que en el *flint-glas* usado para instrumentos de óptica, y por lo mismo es poca la dureza del *strass*. El color se da por medio de los óxidos metálicos ya referidos.

Además de los vidrios transparentes, se producen algunas clases más ó menos opacas, como los vidrios dichos de alabastro, ópalo, de leche, de marfil y los esmaltes. La opacidad del vidrio de alabastro se produce por medio de un exceso de polvo de cuarzo, ó por el del fosfato calizo; el aspecto del ópalo se obtiene agregando al vidrio óxido de estaño; los vidrios de leche y marfil resultan de añadir ceniza de huesos ó guano, y las diferencias que en ellos se notan estriban sencillamente en las proporciones de las materias empleadas.

Pueden incorporarse á la masa del vidrio casi todas las materias capaces de combinarse con la sílice. Los nuevos metales descubiertos por medio del análisis espectral, han sido estudiados respecto de sus aplicaciones en la fabricación del vidrio, resultando que el vidrio de talio, producido primero por *Lamy*, es un material excelente para objetos ópticos; lo mismo puede decirse respecto al vidrio de didimo, fabricado por *Werther* en Koenigsberg; y, por último, añadiremos que se espera obtener notables ventajas con el empleo

sistemático del óxido de bismuto y la barita en la preparación del vidrio.

Pasando ahora á las propiedades del vidrio obtenido por la fusión de las primeras materias ya referidas, diremos, en primer lugar, que, como de ordinario no es cristalino, el vidrio tampoco se deja hender con arreglo á planos cristalográficos, ó, como dice el minerálogo, no tiene crucero. En pedazos gruesos el vidrio es quebradizo, mientras que en láminas delgadas, hilos, etc., resulta muy elástico. En general, constituye un cuerpo transparente, duro, más ó menos quebradizo, que, ablandándose y fundiéndose bajo la influencia del calor, conserva, sin embargo, la coherencia ó consistencia suficiente para dejarse estirar en forma de hilos, pudiéndose también verter en moldes. Además, el vidrio se distingue por su hermoso brillo. Todas sus propiedades dependen más ó menos de su composición química; pero también se dejan modificar considerablemente por tratamiento físico, en especial según el modo de enfriamiento, que influye mucho sobre la dureza y la solidez del vidrio. En los últimos tiempos, y mediante un método determinado de enfriamiento, se ha logrado producir el llamado *vidrio templado*, del que nos ocuparemos más adelante.

El peso específico del vidrio varía entre 2,4 y 5,6, y aún más, siendo mayor en las clases que contienen mucho óxido de plomo; la dureza disminuye en la medida que aumenta la proporción de esta sustancia, y los vidrios ligeros, cálcicos, son los más duros, si bien nunca tanto como el cristal de roca. El vidrio es un conductor muy malo de la electricidad, por cuya razón se presta tan bien á la electrización por frotamiento. Su refrangibilidad varía mucho, pues mientras que el exponente del vidrio común es de 1,5, el del vidrio de plomo *(flint glas)* excede de 1,66, y el del *strass* es todavía superior. En la fabricación de semejantes vidrios muy refrangibles, ha alcanzado gran celebridad el Instituto óptico de Merz, en Munich, que produce una clase de vidrio de un grado de dispersión tal, que en los aparatos espectroscópicos un prisma único produce el efecto que antes sólo se lograba mediante la combinación de cuatro prismas. Ningún vidrio es completamente inatacable, pues aparte de que se disuelve en ácido fluorhídrico, los cristales deslustrados en las ventanas de nuestras cocinas, cuadras, etc., demuestran que el vidrio no resiste á la influencia prolongada de los vapores ácidos y alcalinos. Hasta el agua puede obrar como disolvente del vidrio en determinados casos: un vaso ordinario para beber puede durar toda la vida de un hombre sin mostrar la señal más leve de descomposición; pero si se reduce á polvo, y, después de pesado éste, se le echa en mucha agua, dejándolo así algún tiempo al calor, y entonces se filtra, seca y vuelve á pesar, resulta una disminución de peso que revela la acción disolvente del agua.

FABRICACIÓN DEL VIDRIO

Armados de los conocimientos expuestos en los párrafos precedentes acerca de la composición y las propiedades del vidrio, penetremos ahora en una fábrica y veamos un poco más de cerca cómo se funde tan útil material, y cómo se elaboran con él los diferentes objetos que tantas veces hemos visto y usado.

Una fábrica de vidrio constituye un taller espacioso, elevado y cubierto, cuyo piso se halla enlosado; en medio de él se levanta una gran chimenea, en dos lados de la cual se hallan los hornos destinados á la fusión del vidrio. Pero además de éstos, el taller contiene otros varios, que, en su mayor parte, se disponen de manera que comuniquen uno con otro, á fin de aprovechar mejor el calor. Los unos se necesitan para la preparación de la masa del vidrio; otros se emplean en calentar previamente los grandes crisoles de fusión, mientras que otros están destinados á extender el vidrio plano para cristales de vidrieras ó espejos ordinarios, y al enfriamiento lento de los objetos ya elaborados. El horno de fusión es el principal, y se construye cuidadosamente con ladrillos refractarios, dándole una forma circular ó elíptica. Es preciso, para semejante horno, emplear materiales de buena calidad, pues no sólo tiene que sufrir de continuo el calor correspondiente á la incandescencia blanca, sino que los vapores alcalinos y de cloruros que se producen bajo la influencia de esta temperatura elevada, tienden á corroer y destruir sus paredes interiores. Por esto un horno de fusión bien construído dura raras veces más de dieciocho meses, si se emplea siempre en producir vidrio duro.



FIG. 269.—Antiguo horno de vidrio.

Estos hornos de vidrio han sufrido, en el curso del tiempo, considerables transformaciones, debidas principalmente al empleo de nuevos combustibles. La figura 269 representa uno de los más antiguos conocidos, y es copia de un grabado del *Tratado del Vidriero* de Kunkel, publicado en Nurenberg el año 1785. Los hornos que hoy se emplean son de construcción muy distinta; pero no sólo se diferencian considerablemente de semejante modelo antiguo, sino también unos de otros, pues según la naturaleza del combustible y los diversos grados de temperatura que necesitan las diferentes clases de vidrio, varían las condiciones de que depende la construcción del hogar. En unos se colocan los crisoles en círculo en torno de un hogar central, ó bien inmedia-

tamente sobre un hogar circular, y en otros en dos series ó filas paralelas, que las llamas van lamiendo. A la parte superior de cada crisol corresponde una abertura reservada en la pared del horno, por la que el trabajador puede alcanzar con sus herramientas la masa de vidrio en fusión. Forma la cubierta del horno una cúpula rebajada, y los gases calientes encuentran salida en parte por una abertura en el centro de la misma, que se halla en comunicación con la chimenea principal, ó bien por varias chimeneas secundarias, correspondientes cada una á un crisol, como indican las figuras 270 y 271; en parte, dichos gases pasan fuera del horno de fusión por conductos laterales, aprovechándose para calentar los demás hornos del establecimiento. En la fig. 270, que representa en sección vertical un horno de vidrio de la clase de que hablamos, y cuya vista exterior reproduce la figura 271, *a* señala el hogar; *bb* los conductos para los gases, que comunican con las chimeneas *TT* y los canales laterales descendentes; *CC* señalan las aberturas de trabajo, y *SS* los crisoles, que se introducen en el horno por las puertas *FF*, indicadas en el grabado por un sombreado distinto; por último, *R* es el cenicero, en el que se calienta el aire antes de penetrar en el hogar á través de la rejilla.

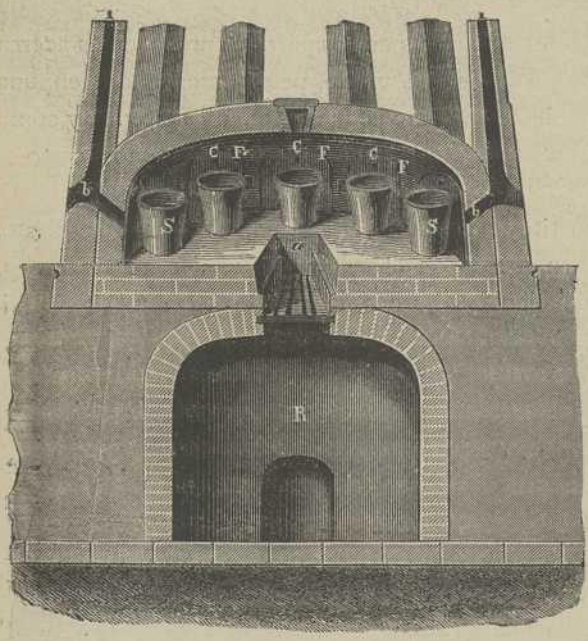


FIG. 270.—Sección vertical de un horno moderno para la fusión del vidrio.

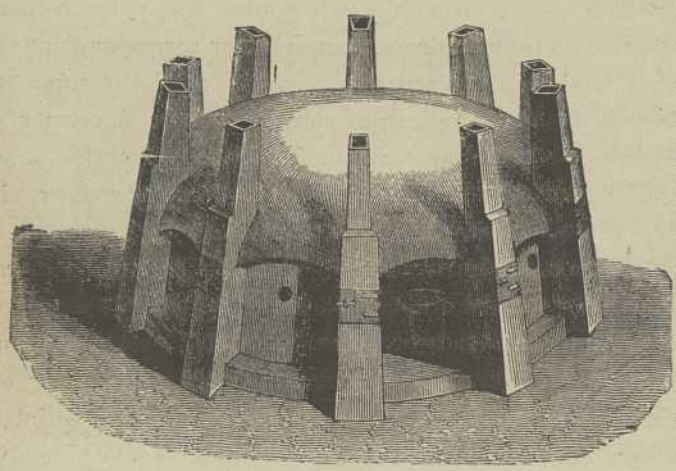


FIG. 271.—Vista exterior del horno moderno de vidrio.

La cuestión del horno de fusión es de la mayor importancia para la fabrica-

ción del vidrio, pues además de las consideraciones relativas al mayor ahorro posible de combustible, á la producción de la menor cantidad posible de humo, al logro del mayor efecto calorífico, á la durabilidad., etc., es preciso tener en cuenta numerosas medidas que hay que tomar para evitar ó combatir las irregularidades que pueden ocurrir durante el trabajo. Uno de los accidentes más temidos es la rotura de un crisol y el esparcimiento dentro del horno de su contenido, que con facilidad pudiera obstruir completamente la rejilla del hogar; esto último se evita dando al piso del laboratorio del horno una ligera inclinación desde el centro hacia la periferia, y reservando en la pared del horno unos pequeños piqueros que comunican con los puntos más bajos de la plaza y se cierran con tapones de arcilla.

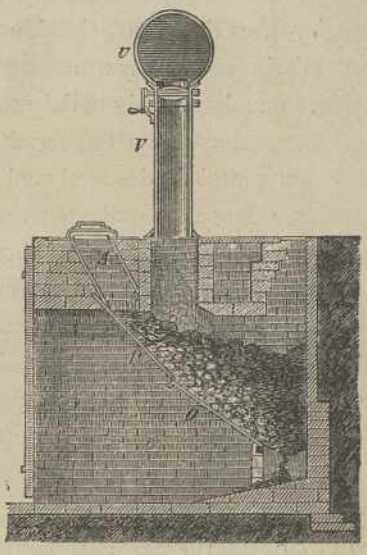


FIG. 272
Generador del horno de vidrio de Siemens.

Pero el progreso más considerable que tenemos que registrar en la construcción de los hornos de vidrio, es el que se debe á la adopción del combustible gasiforme, que ha sustituído ya por completo á la leña en países donde ésta se gastaba antes únicamente, pero que hoy se ven en la necesidad de conservar sus selvas. La construcción de los hornos que de tal manera se calientan, varía con arreglo á los diferentes sistemas introducidos por varios inventores; pero uno de los hornos que mejor responde al objeto y obtuvo la medalla de oro en la Exposición parisiense de 1867, es el de Siemens, cuyas dos partes principales reproducen en sección las figuras 272 y 273, representando la primera el generador y la segunda el horno propiamente dicho, con los regeneradores. El generador, como indica su nombre, sirve para la producción del gas mediante la combustión de leña, hulla, turba, etc., que se introduce por el conducto *A* sobre la rejilla inclinada *O*, donde se enciende y arde en virtud del aire

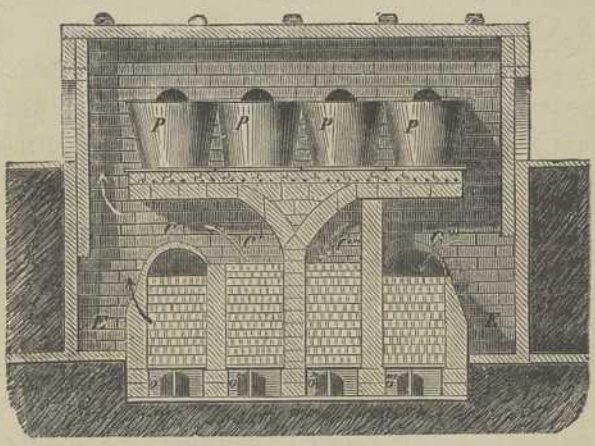


FIG. 273.—Horno de vidrio de Siemens, con regeneradores.

que sube. Como aquí se trata de la generación, no del mayor calor posible, sino, al contrario, de un gas que ha de aprovecharse en otra parte del aparato, se mantiene siempre sobre la rejilla una capa, ó, mejor dicho, una masa espesa de combustible sólido, á fin de que la combustión resulte incompleta en las partes superiores, es decir, que el ácido carbónico formado por la combustión de la capa inferior se convierta más arriba en óxido de carbono, que es un gas inflamable, lo cual se consigue del modo más completo regulando la entrada del aire, y el gas combustible así generado sube en el tubo *V*, acumulándose en el conducto horizontal *U*, desde el cual pasa al horno propiamente dicho, que puede levantarse inmediato al generador, ó hallarse más ó menos distante de él.

Como se ve por la fig. 273, este horno, en su parte superior, no difiere esencialmente de un horno de vidrio ordinario; en cambio, su parte inferior tiene una disposición especial. Aquí se hallan los llamados *regeneradores* *C*, *C'*, *C''*, *C'''*, cámaras rellenas con una obra de ladrillos refractarios, sobrepuestos de modo á formar multitud de pequeños canales, y destinadas á almacenar, digámoslo así, el calor de los gases que pasan á la chimenea, y á aumentar el efecto calórico del horno. Al efecto, este sistema de cámaras se halla dividido en dos partes, separadas entre sí, pero que pueden ponerse en comunicación directa con el laboratorio del horno y con la chimenea. Suponiendo que se trata de poner el horno en marcha y que los regeneradores están fríos, se enciende en el laboratorio el gas procedente del generador, y se obliga á los gases resultantes de esta combustión á pasar por una de las divisiones del sistema regenerador antes de salir por la chimenea; de este modo la obra de ladrillos se va calentando poco á poco hasta la incandescencia. Entonces se varían las comunicaciones: los gases calientes se hacen pasar desde el laboratorio á través de la segunda división, todavía fría, del regenerador, y de aquí á la chimenea, mientras que en la división ya calentada se introduce el gas combustible tal como procede del generador, es decir, antes de encenderlo; la obra de ladrillo le comunica al paso el calor almacenado, de modo que su efecto calorífico en el laboratorio del horno resulta bastante superior al que se obtiene por su inflamación directa. Cuando la primera división del regenerador se ha enfriado, se vuelven á cambiar las comunicaciones, haciendo pasar por aquélla los gases calientes del laboratorio, mientras se introduce el gas combustible del generador en la segunda división, que se ha ido calentando en tanto que la primera se enfriaba.

La economía de combustible que se consigue con semejantes hornos varía entre el 30 y el 50 por 100; y cuando se considera que para la generación del gas pueden aprovecharse combustibles sólidos de calidad inferior, y hasta inútiles para otros usos, y que el combustible gasiforme que penetra en el horno se halla libre de impurezas, se comprende fácilmente la gran aceptación que halló el sistema entre los fabricantes de vidrio. Naturalmente, desde su primera aparición hasta el presente, ha sufrido notables modificaciones y perfeccionamientos,

y entre éstos debemos mencionar los hornos dichos «de tina», periódicos y continuos, construídos también por Siemens, que tienen cierta analogía con los hornos de reverbero que emplea el metalurgo, fundiéndose en ellos el vidrio sobre la misma plaza del horno, convertida en una especie de tina de material refractario. Al principio sólo se lograba en semejantes hornos una fusión preparatoria, teniendo que verificar la purificación ó afino del vidrio bruto en crisoles; pero las mejoras introducidas en el aparato permiten ya la producción directa y continua de un vidrio puro, sin los inconvenientes que trae consigo el empleo de crisoles.

Nuestros lectores pueden formarse idea de un horno de tina dispuesto para una fusión continua, figurándose un horno de reverbero, algo prolongado, y dividido por dos tabiques transversales en tres espacios, de los que el primero constituye el laboratorio de fusión, el segundo el de afino ó purificación, mientras que el tercero forma el laboratorio dicho de trabajo, de donde los operarios sacan el vidrio á medida que lo necesitan para la elaboración de objetos. Los tres espacios referidos constituyen en conjunto lo que el inventor llama la *tina*, debajo de la cual se desarrolla el sistema de regeneradores antes descrito, pues semejantes hornos sólo se construyen para el combustible gasiforme. La mezcla de las primeras materias, destinada á formar el vidrio, se introduce por un extremo del horno en la primera división de la tina, donde se funde de primer intento, al calor de las llamas del gas que penetra por aberturas laterales. El vidrio fundido, pero impuro, pasa entonces por conductos reservados en la base del primer tabique divisor á la segunda división de la tina, en la que se completa la fusión y se afina la masa hasta que resulta perfectamente homogénea. Por último, por un canal en la base del segundo tabique pasa el vidrio puro al laboratorio de trabajo, ó sea el tercer espacio de la tina, desde donde, y por aberturas en las paredes del horno, se puede sacar cuando se necesita.

Para asegurar la mayor pureza del vidrio que se saca de la tina, flotan en su masa líquida anillos de arcilla refractaria, cuyos bordes superiores sobresalen un poco. Esta disposición descansa en la propiedad del vidrio de ser más denso en estado fundido que en el sólido, por cuya razón cualquier parte de la masa no por completo fundida sobrenada á la superficie, mientras el vidrio puro y específicamente más pesado, va al fondo. Se comprende, pues, que los anillos referidos mantienen á raya cualquiera impureza, llenándose desde abajo de vidrio puro, el cual se saca sólo de su interior. Por la misma razón los conductos que ponen en comunicación los diferentes espacios de la tina se hallan reservados en la base de los tabiques divisorios, pues allí se encuentra siempre el vidrio mejor fundido. En una modificación reciente del horno de tina, Siemens ha prescindido de la segunda división de ésta, ó sea el laboratorio de afino, promoviendo la purificación del vidrio dentro del laboratorio de fusión, únicamente por medio de gran número de anillos flotantes. También ha

modificado la forma de los empleados en el laboratorio de trabajo, dándoles la de una navecilla (fig. 274), que flota también sobre la masa general del vidrio fundido. La división *R* recibe el vidrio directamente de la tina, y casi libre de impurezas, por pequeños agujeros, *r*, en su pared posterior; en *R* sufre el vidrio un nuevo afino, merced al calor del horno, y aumentando su densidad va al fondo, penetrando á través del tabique divisor *s* por el conducto *a*, en el espacio cubierto *A*, desde el cual lo sacan los operarios.

Sin embargo, por razones diversas, á cuyo pormenor no podemos descender, muchos fabricantes de vidrio siguen empleando crisoles, de suerte que es preciso que hablemos un poco de estos útiles. Compónense, como el lector comprenderá, de una arcilla ó masa arcillosa muy refractaria, y se preparan, por regla general, en las mismas fábricas de vidrio; su moldeado, secado y cochura

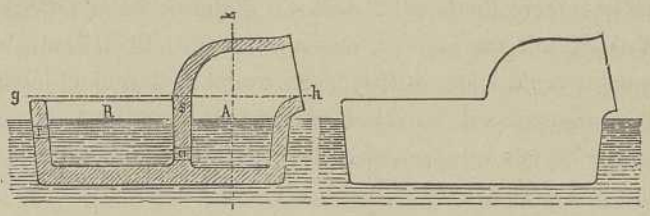
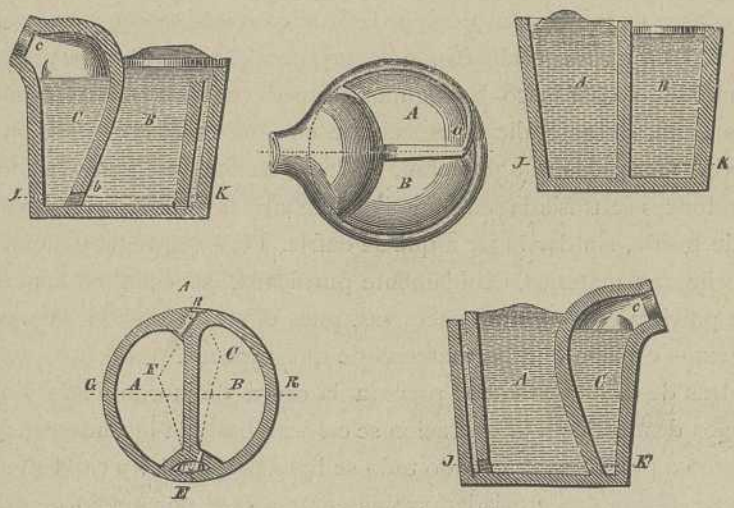


FIG. 274.—Navecilla de Siemens.

tienen que verificarse con el mayor cuidado, pues cada crisol que se abre ó rompe durante el funcionamiento del horno, da margen á interrupciones desagradables y á pérdidas. Después de elegida una arcilla conveniente, y sometida á una preparación mecánica, se mezcla con cierta proporción de *chamotte*, esto es, restos de crisoles cocidos y usados, reducidos á polvo, y se seca, mueley tamiza el conjunto; para formar los crisoles con este producto homogéneo se amasa con el agua necesaria, y los crisoles formados se dejan secar mucho tiempo al aire antes de cocerlos, pues así resultan mejores y más resistentes que si se secaran artificialmente y se cocieran en seguida. Un crisol ordinario, que tiene generalmente una forma más ó menos cónica, es capaz de contener ocho quintales métricos (800 kilogramos) de vidrio; se hacen también más pequeños para determinados usos, mientras que en otros casos reciben una capacidad de 1.500 y hasta más de 2.000 kilogramos; se comprende, pues, cuán sólidos deben ser y cuántas precauciones supone su formación para que puedan resistir, á la incandescencia blanca, la presión que representan los pesos referidos. Los crisoles empleados en hornos que se calientan directamente con la hulla se cubren con una cúpula ó media naranja de la misma masa refractaria, provista de una nariz ó tubo que enchufa en la abertura de la pared del horno por donde se saca el vidrio.

Se obtienen muy buenos resultados con los crisoles llamados continuos,

inventados por Siemens sobre el principio de su horno de tina, que describimos más arriba. Las figuras 275 á 279 representan uno de estos nuevos crisoles, visto desde arriba, en tres secciones verticales distintas y en una sección horizontal; desprendiéndose claramente de ellas que el crisol se halla dividido en tres espacios, *A*, *B* y *C*, de los que *A* sirve para fundir el vidrio de primer intento, *B* para afinar la masa fundida, y *C* para recibir el vidrio puro empleado en la fabricación de objetos, y que se saca por la boca *c*. Los tres espacios se hallan en comunicación uno con otro, de manera que la masa fundida en *A*, que se acumula sobre el fondo, sube por el estrecho conducto *a* para verterse en el espacio *B*. Este, en el cual tiene lugar el afino, merced al que las impurezas se



FIGS. 275 á 279.—Crisol continuo de Siemens.

acumulan en la parte superior de la carga, se halla en comunicación directa con *C* mediante una abertura, *b*, que se encuentra inmediata al fondo, donde se reune el vidrio más puro, y por tanto más denso. La presión que obliga á las masas fluidas á pasar de una división á otra, está determinada por la diferente altura de dichas masas en las diversas divisiones, como indican los grabados. Las llamas del horno alcanzan el crisol de tal modo, que su parte inferior se calienta menos que la superior, y de esta suerte el vidrio pasa desde *B* á *C*, no sólo purificado, sino también algo enfriado, como corresponde para la elaboración ulterior.

En los crisoles, cualquiera que sea su clase, se funde la mezcla de materias primeras que componen el vidrio, después de someterlas á la debida preparación, que en ocasiones resulta bastante complicada. Los trozos de cuarzo se caldean y enfrían repentinamente en agua para hacerlos desmoronadizos y poder molerlos con mayor facilidad, en cuya operación se emplean molinos especiales. El polvo de cuarzo, ó bien la arena del mar, cuando ésta se emplea

se lava repetidamente, tratándose de la fabricación de vidrio blanco, á fin de separar las impurezas, sobre todo el óxido de hierro que con frecuencia contiene. Las materias empleadas han de ser tanto más limpias, cuanto más puro sea el vidrio que se quiere producir; si se emplearan dichas materias en su estado natural, rara vez se obtendría sino un vidrio verde de mala calidad. Y no basta, para semejante limpieza, un lavado con agua; es menester además apelar al fuego; se caldea, pues, la masa, expulsando primero la humedad que, de evaporarse en el horno de fusión, produciría un enfriamiento perjudicial, además de causar una fuerte efervescencia en los crisoles; y entonces, elevando la temperatura hasta el rojo, se carbonizan y destruyen las impurezas orgánicas que siempre contienen las primeras materias referidas. Si estas sustancias orgánicas quedasen en la masa, al tiempo de fundir ésta no se consumirían tan fácilmente como en un fuego abierto, é incorporándose al vidrio le prestarían un color amarillento ó pardusco. En algunos casos es ventajoso elevar gradualmente la temperatura, durante dicha especie de calcinación preparatoria, hasta que las materias mezcladas se aglomeran, es decir, hasta que empieza á formarse el vidrio; entonces se traslada en seguida la pasta, por grandes cucharadas, á los crisoles de fusión, sin dar lugar á que se enfríe. Pero, por regla general, la mezcla de primeras materias, debidamente purificada, se echa en los crisoles en forma de polvo y en porciones sucesivas, pues el vidrio fundido siempre ocupa mucho menos espacio que las materias de que procede.

Mientras de dicha manera se prepara la carga del horno de fusión, los crisoles vacíos destinados á la operación se caldean hasta la incandescencia blanca en un horno á propósito, y cuando todo se halla preparado, y candente también el horno de fusión, se trasladan rápidamente á éste por medio de carritos de hierro. Una vez colocados los crisoles, se tapan con obra todas las puertas del horno, salvo las aberturas necesarias para introducir la carga, y se procede á echar ésta en los crisoles por porciones de dos quintales métricos á la vez, esperando, para echar una segunda porción, á que la primera se haya fundido, lo que tarda algunas horas. Cuando los crisoles están cargados por completo, se tapan todas las aberturas del horno, salvo las pequeñas dichas de trabajo, y se eleva la temperatura hasta el grado necesario, cuidando desde este momento de sostenerla á igual altura.

No toda la carga de los crisoles se convierte en vidrio; parte de ella escapa en forma de gases, mientras que ciertas materias que no se pueden combinar con la masa, flotan sobre ésta, formando una especie de espuma, que se quita continuamente por medio de cazos de hierro. Se produce mucha de dicha espuma cuando se emplea el álcali en forma de ceniza, porque ésta contiene bastantes impurezas que no se funden. Para poder apreciar cómo adelanta la operación, se saca de cuando en cuando una muestra del vidrio, que se somete á un ensayo químico, y cuando se halla consumada la combinación de la sílice

con las bases, se procede al afino ó purificación del vidrio. Al efecto se eleva la temperatura del horno y se deja la carga reposar durante algún tiempo; el vidrio se liquida todavía más, dejando escapar las burbujas de aire y gases que hasta entonces había conservado en su seno, mientras que, por otra parte, las impurezas de más peso tienen lugar de depositarse sobre el fondo de los crisoles. Terminado el afino, se deja bajar la temperatura hasta que el vidrio toma la consistencia necesaria para la elaboración de objetos, y esta temperatura se mantiene entonces hasta que todo el vidrio se haya gastado en dicha elaboración. Tratándose de crisoles de la capacidad de 800 kilogramos, las operaciones preparatorias—carga, fusión, afino, etc.,—duran tres días; la elaboración del vidrio producido dura próximamente una semana, al cabo de la cual se procede á cargar y á fundir de nuevo.

Pasando ahora á ocuparnos de dicha elaboración del vidrio purificado, es



FIG. 280.—Caña del soplador de vidrio.

decir, de la formación con éste de los diversos objetos de utilidad y adorno, diremos que se verifica moldeando ó prensando la masa fundida y plástica, ó bien, como sucede más comúnmente, por medio del soplo. Este último procedimiento, ó sea el soplado, es desde luego el más característico de la fabricación del vidrio, razón por lo cual lo consideraremos en primer término.

Soplado del vidrio.—El que haya visto niños entreteniéndose en soplar ampollas de agua de jabón, tiene ya una idea de lo que es el soplado del vidrio. El operario que á este trabajo se dedica (que siempre está acompañado de un ayudante), se sirve ante todo de la llamada *caña* (fig. 280), que es un tubo de hierro, *a b*, de metro á metro y medio de largo, provisto de una boquilla de madera y de una envoltura *h* en parte de su longitud, para preservar las manos contra el calor; en las fábricas de vidrio verde común trabaja de pie, mientras que en las de vidrio blanco se sienta en una especie de sillón, cuyos brazos están prolongados hacia adelante. Introduce primero la extremidad inferior de su caña en el vidrio fundido, metiéndola por una de las aberturas de trabajo en la pared del horno, y seguidamente la retira con cierta porción de vidrio candente adherida á ella, que revuelve algunas veces para darla una forma esférica, y que expande, soplando en la caña, para ver si tiene la cantidad suficiente para el objeto que se propone formar; en caso negativo, vuelve á introducir la caña en el crisol para sacar más vidrio.

Suponiendo que se trata de formar una botella, el soplador, por medio de su caña, convierte la pequeña masa de vidrio candente adherida á la misma en una

esfera hueca, á la que da seguidamente una forma prolongada, haciéndole girar en torno de la cabeza. Hecho esto, el maestro se sienta sobre un banco, como indica la fig. 281, y mientras su ayudante se encarga de soplar en la caña, sin cesar de darle vueltas, él da á la ampolla candente la forma deseada por medio de unas sencillas pinzas de hierro, con las que oprime la masa blanda; empuja hacia adentro el extremo libre de la ampolla para formar el fondo de la botella, y allana la base oprimiéndola contra una losa caliente. Entonces toca con un hierro frío el sitio donde la botella, ya formada, se adhiere todavía á la caña, haciéndola saltar por el cuello, y sin perder momento introduce otro hierro en



FIG. 281.—Soplador de objetos de vidrio.

el crisol, saca una pequeña porción de vidrio y la estira en forma de un hilo grueso, con el que forma el bultito que se ve en torno de la boca de casi todas las botellas. La obra acabada se coloca en un horno especial, donde se deja enfriar lentamente. Si durante el trabajo se enfría la ampolla demasiado, bajando su incandescencia hasta el rojo, se vuelve á calentar, introduciéndola por medio de la caña, á la que siempre queda sujeta, por una abertura especial del horno, y dándole vueltas en el fuego, caldeándola hasta el blanco.

Tratándose de los objetos finos de vidrio blanco, el soplador está sentado la mayor parte del tiempo en el sillón ya referido, y se vale repetidamente de los servicios de su ayudante. Las asas de los vasos de vidrio, lo mismo que sus bordes salientes y partes abultadas análogas, se ponen después de soplado el cuerpo del objeto, pues la masa vítrea se modela y pega fácilmente. Todo depende en estas operaciones del ojo y de la destreza del trabajador; un vidriero hábil produce un objeto artístico, elegante, en menos tiempo del necesario para contar cómo lo hace. Las botellas y otros muchos objetos de uso común

que se pueden producir por el soplo y corresponden á la categoría de los vidrios huecos, se forman y acaban con sólo darles vueltas, voltearlas, oprimirlas, etc., apelando raras veces al empleo de la tijera.

Generalmente hablando, siempre causa la admiración de las personas que visitan una fábrica de vidrio, ver cómo los objetos de formas tan diversas se producen por medio de tan pocas y tan sencillas herramientas. La caña, siempre el instrumento principal, es para el vidriero lo que el torno para el alfarero. Verdad es que se necesita mucha práctica para manejarla como corresponde, y también buenos pulmones; pero no faltan medios para dar descanso á órganos tan importantes; basta, por ejemplo, tapar con el dedo la boca de la caña y aproximar la ampolla al fuego, para que el aire encerrado en la misma se dilate, produciendo la expansión correspondiente del vidrio; en otros casos el soplador se vale de la expansión del vapor, introduciendo por medio del soplo, en la ampolla que quiere agrandar, un poco de agua, que se evapora seguidamente y ejerce sobre el vidrio blando una presión notable, con tal de que la boca de la caña se mantenga tapada.

En cuanto á las demás herramientas del vidriero, la tijera se emplea frecuentemente, pues el vidrio candente se deja cortar muy bien, casi como el plomo más dulce. Se usan también tenazas y pinzas de diversas formas para dar los varios giros á la masa blanda, mientras que para coger y sostener los objetos candentes separados de la caña, se valen los operarios de varillas de hierro del grueso de un dedo, y de un metro de largo próximamente; con una extremidad de semejante varilla se coge una gota de vidrio en el crisol y se aplica en el punto que se quiere, que queda pegado inmediatamente al hierro. Supongamos que se ha soplado una botella y que se trata de separarla de la caña; la varilla referida se pega primero al fondo de la botella, y viene á constituir como un mango, en tanto que el borde del cuello, separado de la caña, se redondea é iguala al fuego. Igual servicio presta la varilla de hierro para transportar los objetos concluídos al horno en el que se dejan enfriar; se desprende fácilmente de los mismos mediante un golpe seco, y de aquí ese bultito ó nudito de vidrio que se observa generalmente en la base de los objetos más ordinarios.

El mejor ejemplo de la serie de operaciones á que se someten los objetos huecos de vidrio durante su elaboración, lo ofrece la fig. 282, que ilustra la manera cómo se produce una copa, señalando los números 1 á 12 las fases sucesivas de la operación. Vemos primero la caña con la pequeña masa de vidrio candente en un extremo, la cual, por medio del soplo y volviéndola y oprimiéndola sobre una plancha caliente de mármol ó granito pulimentado, adquiere la forma de una pera prolongada (2), destinada á producir la parte hueca de la copa. Pero antes de formar ésta se procede á hacer el pie, pegando primero al fondo una pequeña porción de vidrio blando, que se estira (3) y luego se redondea con unas pinzas haciendo girar la caña (4); la punta así producida se ablanda al

fuego, y se le pega otra porción de vidrio, estirando y cortando lo que sobra (5) aplicando el pie contra una tablilla mojada (6), hasta darle una forma plana y circular, que se iguala por medio de unas pinzas (7). En lugar de la pequeña masa de vidrio últimamente referida (8) se puede pegar una esfera de vidrio preparada al efecto, que se divide luego por el medio, aplanando entonces la mitad que queda adherida á la copa. A la base del pie se pega, mediante una gota de vidrio, la varilla de hierro que ha de servir de mango (8); se corta entonces, por medio de un hierro frío, la parte más abultada de la ampolla, separándola de la caña (9) y se corta con la tijera lo que sobra de la masa blanda hasta dejar la copa de la altura deseada (10). Por último, mediante un pedacito de madera, se da al borde de la copa una forma más elegante (11), y acabada ya la obra (12), se lleva en seguida en la extremidad de la varilla al horno en donde ha de enfriarse lentamente, separándola de la misma por medio de un ligero golpe sobre el hierro.

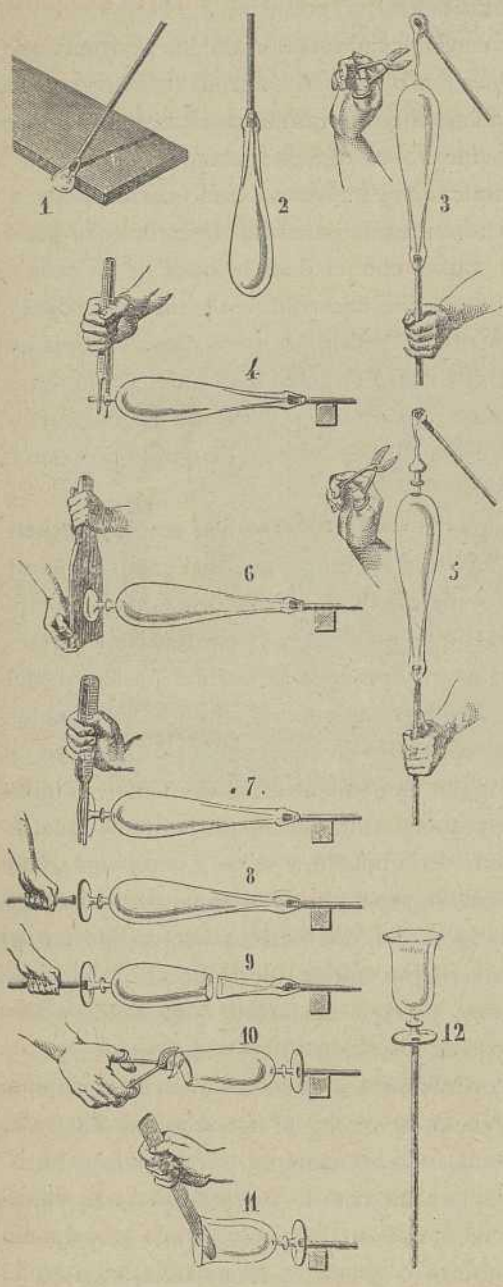


Fig. 282.— Operaciones sucesivas de la elaboración de una copa de vidrio.

De la manera descrita sólo se pueden formar cuerpos de rotación, como en el torno mecánico; mas si en lugar de soplar la ampolla de vidrio al aire libre, se hace dentro de un molde hueco, obligando el soplo á la masa blanda á aplicarse contra las paredes interiores del mismo, se obtiene un objeto hueco, que exteriormente reproduce con exactitud la forma del molde. De este modo se pueden fabricar garrafas, vasos, copas, etc., etc., con la superficie externa cubierta de facetas ó relieves diversos, tales como si hubieran sido fundidos,

es decir, producidos por moldeamiento de vidrio líquido. Los moldes que al efecto se emplean son generalmente de madera; pero también se usan de latón cuando los objetos formados han de presentar aristas bien definidas y superficies lisas; en algunas partes se ven moldes de arcilla y de hierro colado. Según los objetos, los moldes correspondientes son de una ó más piezas, haciéndose estos últimos de modo que sus diferentes partes queden bien unidas entre sí por medio de pasadores ó muelles, mientras se sopla en su interior el objeto de vidrio, y puedan separarse después para sacar éste.

La fig. 283 representa en sección vertical un molde metálico compuesto de cuatro piezas y destinado á la formación de garrafas de vidrio. La parte superior, *a*, se coloca en su sitio después de introducir en el molde la masa de vidrio, *f*, adherida á la caña; la parte inferior, *b b*, es también de una pieza, y perforada con algunos pequeños agujeros para que el aire comprimido entre sus paredes y el vidrio pueda escapar; la parte, *c c*, que corresponde al cuello de la garrafa, se compone de dos mitades, que pueden abrirse mediante una charnela fija sobre la plancha, *d d*, que sirve de guía, mientras que para mantenerlas bien cerradas una contra otra, están provistas de dos cajas laterales en las que se introducen dos palancas. La garrafa, en este caso, se forma, pues, soplando en la caña, por cuyo medio el vidrio blando de la ampolla se dilata y aplica contra el interior del molde, rellenando todos los huecos de los adornos ó molduras, de modo que después de hecho ostenta los mismos en relieve. Tratándose de un molde liso interiormente y circular, la ampolla de vidrio se hace girar durante la operación, con lo cual resulta más pulida y brillante su superficie externa; pero en el molde descrito hay que prescindir de semejante rotación.

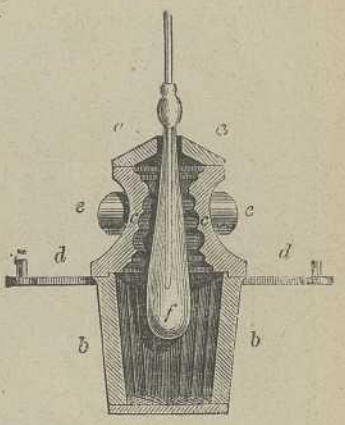


FIG. 283.—Molde para la formación de garrafas de vidrio.

Muchos artículos de vidrio pequeños se producen también en moldes, mas no por el soplo, sino por presión; son estos objetos macizos, y sus moldes tienen la forma de tenazas, como los empleados para hacer balas de escopeta, usándose, por ejemplo, en la fabricación de botones y perlas, ó cuentas grandes de vidrio.

Si después de soplar una ampolla de vidrio de ciertas dimensiones se sostiene la caña verticalmente con la ampolla hacia arriba, ésta se achata ó aplana en virtud de su propio peso y blandura, extendiéndose, en cambio, en sentido lateral; si se fija en el extremo de una varilla de hierro, desprendiéndola de la caña, y se le imprime una rotación rápida, la fuerza centrífuga hace que se convierta en un gran disco de vidrio. Como el centro donde se halla pegado á la varilla resulta espeso y desigual, se divide el disco en dos partes, que tienen la

forma de medias lunas (de aquí el nombre *vidrio de luna* que se da á este género de vidrio plano), y que se pueden cortar en pedazos más pequeños. Cuanto más diestro es el trabajador, tanto más grandes son los discos que obtiene, y según las muestras que se conservan de otras épocas, es evidente que se llegaron á soplar, de la manera descrita, discos de metro y medio á dos metros de diámetro. Su parte central, llamada «ojo de buey», forma un pequeño disco á manera de lente, con un pezón en medio, y se utilizaba antes para encristalar las pequeñas ventanas de cuadras y habitaciones modestas. Los pedazos mayores obtenidos por el corte de las medias lunas, constituían en otros tiempos la mayor parte del vidrio plano que se consumía. Hoy ha caído ya en completo desuso este procedimiento, fabricándose el vidrio plano común de la manera que vamos á describir.



FIG. 284.—Soplado de vidrio plano.

El soplador empieza por reunir en la extremidad de su caña una cantidad relativamente considerable de vidrio (dos, tres ó más kilogramos), según el objeto; como semejante cantidad no se adhiere de una vez á la caña, repite la inmersión de ésta en el crisol varias veces, después de dejar enfriar un poco el vidrio ya adherido. Para la manipulación que empieza entonces, es preciso que el soplador se encuentre á cierta elevación sobre el piso del taller, ó, lo que es lo mismo, que tenga á sus pies un espacio libre de cierta profundidad, por cuya razón en las fábricas de vidrio plano soplado están rodeados los hornos por un foso anular, sobre el cual se colocan sólidos tablones, á manera de puentes, enfrente de cada agujero de trabajo, como indica la fig. 284. De pie, pues, en uno de estos puentes, el operario produce primero, mediante el soplo, una ampolla de vidrio de la forma ordinaria de una pera, y luego la va ensanchando gradualmente y transformando en un cilindro hueco y cerrado, ora volteándola en el aire con la caña, ora calentando y soplando, ora oscilándola cual péndola en el foso, ó haciendo girar con rapidez entre las manos la caña, sostenida verticalmente. Formado así un cilindro cerrado, de dimensiones bastante grandes y paredes uniformemente gruesas, se corta primero su extremo inferior por medio de un hierro candente; se voltea de nuevo para aumentar su longitud ó igualar el grueso del vidrio, hecho lo cual se iguala con una tijera el borde del extre-

mo abierto; luego se desprende el cilindro de la caña, se corta el extremo correspondiente de modo que quede también abierto por este lado, y, por último, mediante otra herramienta de hierro candente, se abre el cilindro con un corte rectilíneo en el sentido de su longitud. La fig. 285 indica las diferentes fases por que pasa la ampolla de vidrio durante la operación descrita, hasta convertirse en un cilindro abierto de alto abajo.

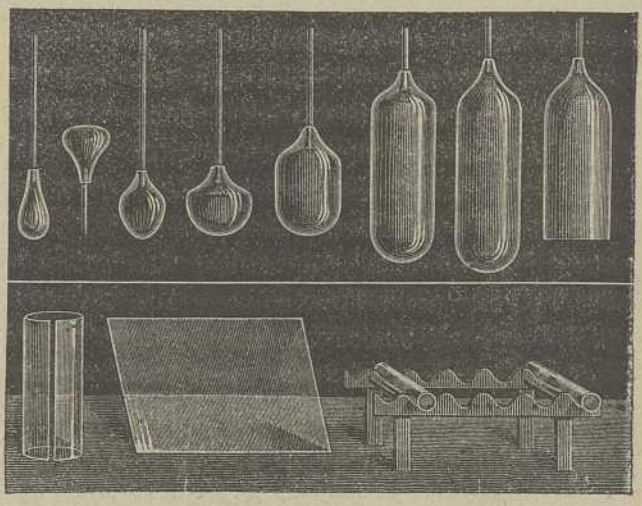


FIG. 285.
Diferentes fases por las que pasa la ampolla en el soplado del vidrio plano.

La segunda parte del procedimiento consiste en extender los cilindros abiertos, á cuyo fin se trasladan á un horno de construcción especial. Esencialmente se compone de un hogar y un laboratorio rectangular, en el que penetran las llamas por conductos reservados en el piso, produciendo una temperatura bajo la cual el vidrio se ablanda sin fundirse. Sobre una plancha lisa de arcilla refractaria, que ocupa el centro del laboratorio, se coloca uno de los cilindros en cuestión con el corte hacia arriba, y á medida que su masa se ablanda, se le va extendiendo por medio de una herramienta de hierro, aplanándolo por fin completamente, como indica la fig. 286. En comunicación directa con el horno de extender, se halla una cámara destinada al lento enfriamiento de los vidrios planos; los cuales se introducen en ella, empujándolos horizontalmente á través de una abertura del tabique divisor, y una vez solidificados, se enderezan y apoyan contra una serie de varillas de hierro dispuestas al efecto. Debemos añadir, sin embargo, que las planchas destinadas á formar espejos se dejan enfriar en posición horizontal. Cuando la cámara en cuestión se halla llena, se cierra por completo, dejándola enfriar lentamente con su contenido.

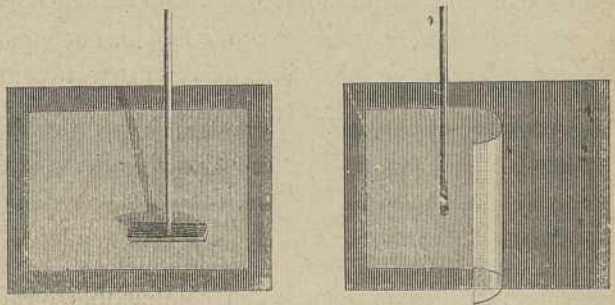


FIG. 286.—Extensión y aplanamiento del vidrio soplado.

La aplicación más grandiosa y sorprendente del vidrio plano ó soplado que registran nuestros anales, es la construcción, con él, de los llamados palacios de cristal; es decir, edificios que, á semejanza de enormes invernáculos, están formados por cristales ó vidrios planos unidos entre sí, y sostenidos por una ligera, aunque sólida, armadura de hierro. Este principio arquitectónico moderno se puso en práctica por vez primera en la construcción de la Exposición internacional londonense de 1851, que cubría un espacio de unos 90.000 metros cuadrados, y en la que el coste del vidrio solamente se elevó á la respetable suma de 340.000 pesetas próximamente. Desde entonces se han ejecutado obras del género aún más considerables, de modo que cabe decir que el vidrio ha tomado ya carta de naturaleza como material de construcción, al lado del hierro y la piedra.

Vidrio fundido en planchas; fabricación de espejos.—El vidrio plano común, esto es, el que se obtiene por soplo según el procedimiento que describimos más arriba, se emplea principalmente en forma de cristales para vidrieras de todas clases, así como para espejos ordinarios, preservar pinturas, grabados, etcétera. Pero para los espejos mayores y más finos, cuyo valor depende de la pureza y falta de color del vidrio, de su perfecta igualdad y pulimento, así como del paralelismo de sus dos caras, y para las grandes planchas con que se cierran hoy los escaparates de las tiendas en nuestras calles principales, no sirve el vidrio plano soplado, sino que es menester fundir y moldear la materia, y luego pulimentarla.

En la fabricación de semejantes planchas se emplea generalmente el vidrio sódico, porque se funde con más facilidad que el potásico. El horno contiene comunmente cuatro crisoles, entre los que se colocan otras tantas tinas, esto es, vasos refractarios de forma rectangular y poco profundos. Al cabo de diez horas se halla completamente fundido el vidrio en los crisoles y afinado hasta cierto punto, y entonces se traslada con cuidado, por medio de cazos de cobre, á las tinas referidas, en las que se deja reposar tranquilamente durante dieciséis horas para que se clarifique por completo y resulte libre de burbujas. En ninguna rama de la industria del vidrio se hace tan esencial, como en la fabricación de que tratamos, una temperatura elevadísima y la mayor pureza posible de las llamas; de modo que los hornos usados, cuya construcción difiere algún tanto de los ordinarios, en atención al gran tamaño de los crisoles ó tinas y su manipulación, se calientan siempre con combustible gasiforme, hallándose también provistos de los regeneradores ya descritos.

Para formar ó moldear las planchas de vidrio, se emplea como base una plancha de hierro colado ó de bronce de ocho á diez centímetros de grueso, de superficie perfectamente plana y lisa. Descansa sobre un carro sencillo, montado sobre carriles, de modo que pueda trasladarse sin inconveniente al sitio en que se necesite, y está provista además de un mecanismo mediante el cual se puede

nivelar. Cuando el vidrio en el horno de fusión se halla en disposición de servir, la plancha metálica se coloca delante de una de las puertas del horno de enfriar (fig. 287), cuyo piso se halla al mismo nivel, y que se calienta previamente hasta el rojo; también la plancha se calienta, bien desde abajo, ó bien cubriéndola con carbones encendidos, que deberán quitarse antes del moldeado, limpiando al mismo tiempo, y con minucioso cuidado, la

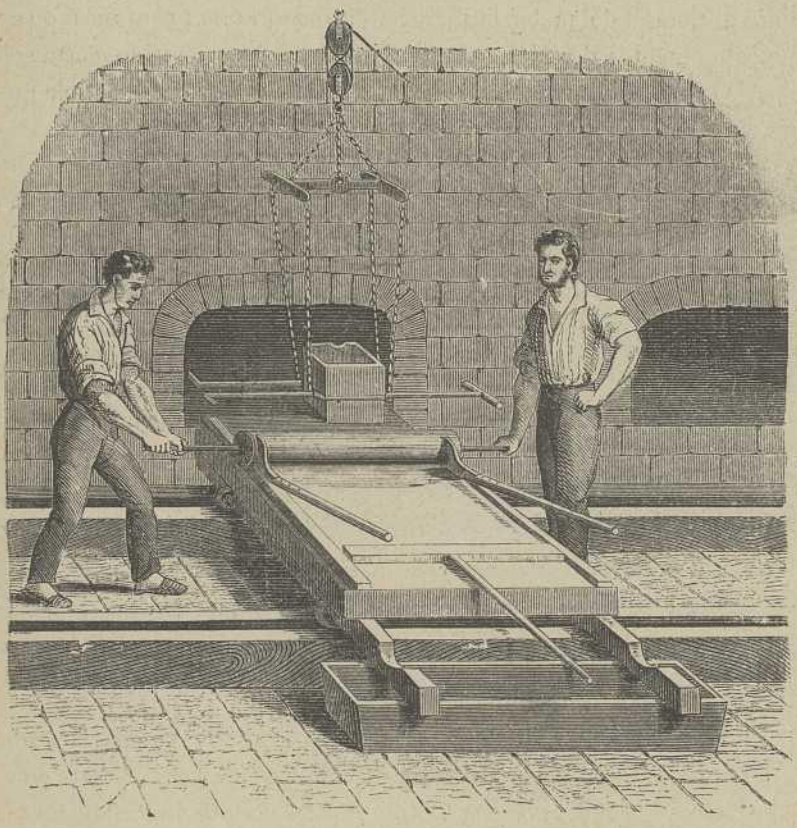


FIG. 287.—Mesa de bronce para moldear planchas de vidrio.

superficie de la plancha. Por último, y para completar los preparativos, se colocan en dicha superficie cuatro pesadas reglas metálicas que forman como un cuadro y determinan el espesor de la plancha de vidrio. Varios trabajadores toman parte en la importante operación de moldear esta plancha, y sus diversas faenas deben ejecutarse con rapidez y precisión, si aquélla no ha de malograrse. Dos de ellos sacan del horno de fusión una tina llena de vidrio fundido y clarificado, la suspenden en las cadenas de una grúa, la levantan en el aire y limpian exteriormente, y en seguida otros dos la llevan sobre la plancha metálica y la vacían por medio de dos mangos de cruz; en el mismo momento otros dos operarios agarran un pesado rodillo de hierro colado y lo hacen rodar por

la masa blanda de vidrio, extendiéndola igualmente sobre la plancha metálica, hasta rellenar el espacio limitado por las reglas antes mencionadas (véase figura 287). Durante esta operación, los que la ejecutan observan continuamente el vidrio extendido, pues si se presenta en su masa un pequeño cuerpo extraño, todavía hay tiempo para quitarlo con un instrumento puntiagudo. Mientras la plancha de vidrio así formada se halla todavía candente, su borde más distante del horno de enfriar se dobla hacia arriba, á fin de ofrecer un punto de apoyo más seguro al tiempo de meter la plancha en dicho horno; esto mismo se verifica algunos momentos después, cuando la plancha ha adquirido cierta solidez, empujándola un operario desde atrás por medio de una herramienta en forma de T (fig. 287). En el horno referido, las planchas de vidrio permanecen ocho días para que se vayan enfriando lentamente.

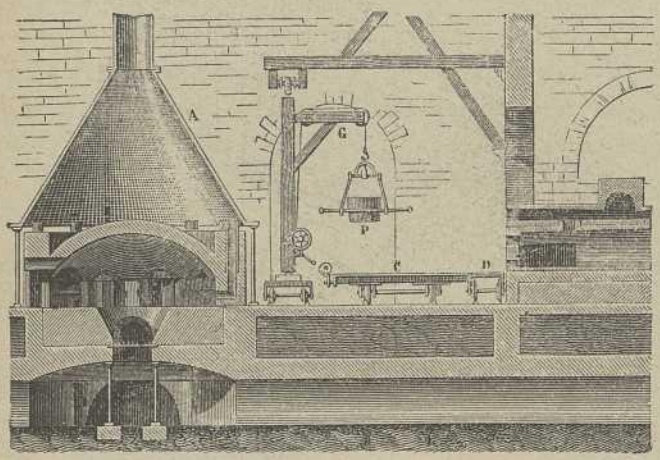


FIG. 288.—Hornos y demás aparatos para la fundición de grandes planchas de vidrio.

Una de las fábricas más grandes y célebres de planchas de vidrio fundidas es la de Ravenhead, cerca de Saint Helens (Inglaterra), que emplea más de 600 operarios. Su nave ofrece un aspecto imponente, pues tiene una longitud de 140 metros y un ancho de 44, con naves transversales de 60 metros por 20. Nuestra fig. 288 representa esquemáticamente la disposición del aparato de este establecimiento: *A* señala el horno de fusión, desde el cual los grandes crisoles *P* se llevan, mediante la grúa móvil *G*, sobre la mesa metálica *C*, montada, como la grúa, sobre ruedas y carriles, y á cuya continuación, al mismo nivel, se halla el horno de enfriar, *D*. Otro establecimiento del género, cuyos espejos son célebres, es el de Saint-Gobain (Francia), que en la Exposición parisiense de 1867 tenía varias planchas de vidrio enormes, entre ellas dos de más de 21 metros cuadrados cada una (6,09 metros de largo por 3,53 de ancho) y de 700 á 800 kilogramos de peso; desde entonces se han fundido otras aún mayores.

Pero si bien con la fundición y el moldeado sobre la mesa de bronce queda hecha la parte más difícil del trabajo, semejantes planchas de vidrio, sobre todo si se destinan á espejos, tienen que ser perfectamente igualadas y pulimentadas. Estas operaciones, que se verifican sobre grandes y sólidas mesas de piedra de unos 60 centímetros de alto, reclaman mucha atención y cuidado, pues si ambas caras de una plancha no salen perfectamente paralelas entre sí, es

decir, si el espesor no sale igual en todas partes, las imágenes que da el espejo resultan torcidas, cual sucede, por lo común, con los espejos de vidrio plano ordinario.

Sobre una de dichas mesas, cuya forma recuerda las de billar, la plancha de vidrio se fija cuidadosamente por medio de una lechada de yeso, labrándose primero siempre la cara más áspera, que es la que al tiempo de moldear estuvo en contacto con la mesa metálica, á menos que ésta se hallase pulimentada de nuevo. Claro está que, tratándose de planchas de vidrio relativamente pequeñas y que han de quedar del mismo grueso, varias de ellas pueden fijarse sobre la misma mesa, una al lado de otra. La operación consiste primero en una amoladura por medio de una pesada piedra, labrada comúnmente en forma de pirámide truncada, y en cuya base se pega una plancha perfectamente llana de vidrio, que tiene poco más ó menos la cuarta parte de la superficie total de la plancha que se trata de amolar. El peso de esta amoladera está calculado de manera que la presión que ejerce equivalga á medio kilogramo por cada centímetro cuadrado de base. Cuando la operación se verifica á mano, la amoladera en cuestión está provista en su parte superior de varios mangos convenientemente dispuestos para facilitar el trabajo; pero hoy día esta manipulación tiene lugar, por regla general, mediante la fuerza mecánica, imitando el movimiento que se produce con las manos, ó sea haciendo describir á la amoladera pequeños círculos sucesivamente sobre todos los puntos de la plancha que se labra. Entre ésta y la amoladera se echa el medio amolador, en forma de arena mojada, que se toma al principio relativamente basta y luego más fina. Acabada una cara de la plancha hasta el grado que permite la arena, se vuelve hacia abajo, fijándola en la mesa con yeso, y se procede á labrar la otra cara de la misma manera. Después se repite la operación con la misma piedra, pero con esmeril finamente levigado en lugar de la arena; y, por último, se verifica el pulimento propiamente dicho, á cuyo efecto se emplea una piedra revestida con fieltro, y como medio el óxido de hierro en polvo sumamente fino (rojo inglés), diluído con agua, y luego, para acabar de dar brillo, se frota la plancha fija en la mesa con otra también pulimentada, echando entre ambas un poco de óxido de estaño finamente levigado.

Las operaciones que acabamos de describir no se practican con vidrios fundidos destinados á cubiertas de patios, claraboyas, etc.; pero sí con los que se emplean tanto en cerrar los escaparates de las tiendas, que en las grandes ciudades suelen ser de dimensiones considerables. De las planchas pulimentadas se apartan para este uso las que presentan pequeños lunares ó defectos, reservando las más perfectas para los espejos,

La fabricación de éstos termina con el revestimiento de una de las caras de las planchas de vidrio pulimentadas, con una masa metálica brillante, la amalgama ó alinde. Casi todos hemos tenido ocasión, en nuestra juventud, de exa-

minar y arañar la cara posterior de algún espejo roto; hemos visto que se halla cubierta con una tenue capa metálica blanquizca, relativamente blanda, después de quitar la cual con la uña ó una navaja, el vidrio cesa de ser un espejo. De esto se deduce que dicha capa metálica es la parte principal del espejo; y, en efecto, no existe diferencia esencial entre un espejo de vidrio y uno metálico, como, por ejemplo, una plancha de plata muy pulimentada, y sí sólo (salvo, es claro, la diferencia del material) la de que la reflexión en el espejo de vidrio no tiene lugar en la cara anterior, sino en la posterior; basta tocar el vidrio por delante con un lapicero ú otro objeto puntiagudo para ver que entre la superficie de aquél y la imagen reflejada hay cierta distancia, que es igual precisamente al espesor del vidrio.

El hecho de que con el vidrio podemos producir un espejo metálico sin fundir ni pulir ningún metal, lo debemos al azogue, con sus singulares propiedades, mas particularmente á la que le permite aliarse ó formar amalgamas con otros metales, en especial con el estaño. Si se agrega á un poco de azogue contenido en un vaso un pedacito de hoja de estaño, y se sacude el vaso, el estaño desaparece pronto, incorporándose al metal líquido, y se puede añadir poco á poco bastante estaño antes de notar que la masa empieza á ser más espesa; cuando al cabo cesa de fluir ó correr, todavía se le puede incorporar más estaño, amasando con los dedos, hasta que el conjunto tenga la consistencia y dureza del sebo. Pero toda amalgama que no se conserve en un vaso cerrado, acaba por endurecerse, pues el azogue es muy volátil, y al separarse continuamente de la amalgama por evaporación, crece, como es natural, la proporción del metal sólido, y por consiguiente la dureza de la masa. Sin embargo, el grado de dureza nunca puede elevarse á la del metal sólido por sí, pues por mera evaporación á la temperatura ordinaria no se puede desprender de la amalgama todo el azogue; cosa que sólo se consigue por medio de un calor relativamente elevado.

Para la fabricación de los espejos de vidrio, el alinde ú hoja de estaño es un medio excelente. Para revestir con él la plancha de vidrio pulimentada y previamente limpia con el mayor cuidado, se necesita, ante todo, una plancha ó mesa perfectamente plana y lisa (fig. 289), siendo el material más á propósito el mármol. En torno de semejante plancha ó losa se desarrolla una canal para recibir el azogue sobrante, provista, para la salida del mismo, de una abertura en una de sus esquinas. La losa, con su canal, se monta sobre unos soportes de madera de tal modo que pueda inclinarse á voluntad y fijarse en la posición deseada por medio de tornillos. Las herramientas que se necesitan para el trabajo en cuestión, son cepillos, reglas de vidrio, rodillos revestidos con tela de lana, pedazos mayores y menores de franela y cierto número de pesas de piedra ó hierro.

El operario limpia primero con el mayor cuidado la mesa ó losa, extiende

sobre ella una hoja de estaño perfectamente limpia, algo mayor que el espejo que se trata de hacer, y pasa sobre ella un cepillo para hacer desaparecer la menor arruga de su superficie; luego vierte sobre la hoja un poco de azogue, que procura extender con el rodillo de lana, hasta dejar aquélla igualmente cubierta, y después de colocar reglas de vidrio en dos lados de la hoja de estaño, vuelve á verter sobre ella azogue hasta formar una capa ó baño de unos

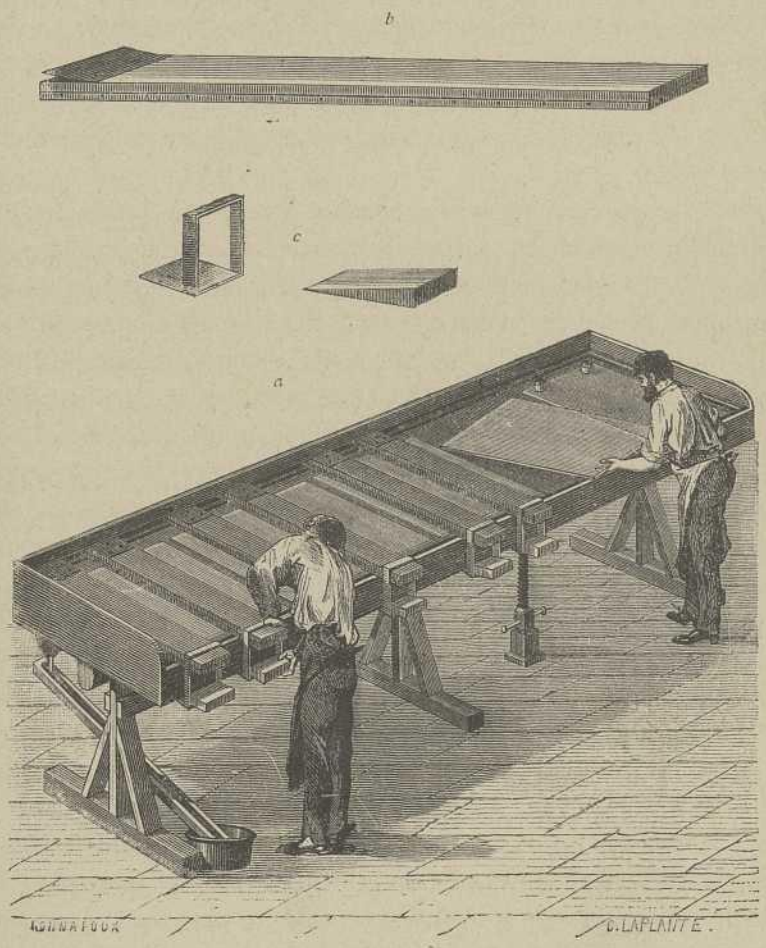


FIG. 289.—Revestido con amalgama de las planchas de vidrio.

dos milímetros de grueso. No hay para qué decir que durante esta primera parte de la operación es preciso que la mesa se halle perfectamente á nivel. Quitada cualquiera impureza ó granito de polvo que pudiera presentarse en la superficie del azogue, y limpia asimismo con el mayor esmero la cara de la plancha de vidrio que ha de recibir el alinde, se coloca ésta sobre el baño, con lo cual ya se desaloja por los lados bastante azogue, y en seguida se carga la plancha con las pesas antes referidas, que, tratándose de espejos muy grandes, representan muchos quintales de peso, y el conjunto se deja quieto durante

algunos días. En Francia se prescinde de las pesas, cubriendo la plancha de vidrio con gruesas tablas revestidas de fieltro (fig. 289 *b*), cuyo extremo posterior se halla sujeto á la mesa mediante una fuerte charnela, y produciendo la presión necesaria por medio de argollas de hierro y cunas (*c*) de la manera indicada claramente en nuestro grabado.

Al cabo del tiempo referido, el espejo se halla concluído, salvo que su revestimiento todavía contiene un exceso de azogue. Se quitan, pues, las pesas ó las tablas de presión, y se levanta un poco un extremo de la mesa, á fin de que el azogue que se halla todavía sobre ella encuentre salida por la canal que la rodea. Pero al mismo tiempo el azogue sobrante en el revestimiento del espejo se va encaminando, en virtud de su propio peso, hacia el lado más bajo, y al cabo de algunos días se empieza á levantar el lado opuesto del espejo mismo, dando á éste cada día mayor inclinación, hasta dejarlo puesto de canto. Por último, se le va colocando poco á poco de manera que al cabo se encuentre descansando tan sólo sobre una de sus esquinas, por la que se aleja ya el último resto de azogue líquido, que busca, naturalmente, siempre el punto más bajo. Toda la operación dura tres semanas, y entonces el espejo se halla acabado.

Enterados, pues, de la manera como se produce un espejo, nuestros lectores comprenderán el papel que desempeña en él el vidrio. Como la superficie pulimentada de éste es oprimida contra la amalgama pastosa, ésta tiene forzosamente que adaptarse á la forma de aquélla, y de este modo resulta una superficie metálica reflejante, la cual, sin embargo, sólo se conserva mientras permanece adherida al vidrio. El metal, pues, es la materia esencial del espejo, y el vidrio la que le da forma, le sirve de base y le protege.

En virtud de los vapores y el polvo del mercurio que se producen durante la operación que dejamos descrita, los trabajadores se hallan expuestos á contraer graves enfermedades, pues el azogue es una materia muy venenosa, y su asimilación en el organismo humano se traduce más tarde ó más temprano en efectos patológicos muy persistentes y difíciles de combatir, y que pueden producir una muerte prematura. Por esto, hace tiempo que los inventores vienen empleando sus esfuerzos por satisfacer las exigencias de la vanidad de un modo menos peligroso para aquellos operarios, y en tiempos recientes algunos fabricantes han adoptado un procedimiento mediante el cual se precipita químicamente sobre el vidrio una tenue capa de plata, prescindiendo por completo del empleo del azogue. De este modo se producen espejos muy hermosos, que resultan también más baratos que los azogados, porque su revestimiento se verifica en mucho menos tiempo.

La plancha de vidrio que ha de convertirse en espejo se provee de un borde elevado á manera de marco, ó se coloca en una caja que llena el mismo objeto, y sobre ella se vierte un líquido argentífero, formando un baño de unos dos centímetros de profundidad. Dicho líquido, que es en esencia una disolución de

nitrato de plata y amoniaco, se halla mezclado con sustancias dichas reductivas, que varían según las diversas recetas, pero que consisten generalmente en los aceites ó esencias de clavo y canela disueltos en alcohol, el azúcar de uva (glucosa) ó el ácido tártrico. La acción de todas estas sustancias consiste en privar á la sal de plata de su oxígeno, produciendo la precipitación de la plata misma en estado metálico, que se deposita sobre el vidrio, adhiriéndose á su superficie en forma de una tenue capa reflejante, que basta proteger posteriormente por medio de un baño de barniz. Mediante este procedimiento de plateado por la vía húmeda pueden convertirse en espejos los vidrios más ó menos cóncavos, cosa muy difícil, cuando no imposible, con la amalgama; se platea, en efecto, la cara interna de globos de vidrio grandes y pequeños, llenándolos sencillamente con la disolución referida, y se fabrican también diferentes objetos de vidrio, compuestos de dos capas entre las cuales se produce el precipitado de plata; también puede considerarse el procedimiento referido como un progreso notable para la fabricación de los espejos cóncavos destinados á los telescopios por reflexión.

Semejantes espejos plateados se hicieron primero en Inglaterra el año 1844, según el método de *Drayton*, que difiere poco del ya referido. El procedimiento sufrió algunas modificaciones y perfeccionamientos en manos de Liebig, que le prestó el valioso apoyo de su gran celebridad, haciéndose, por lo mismo, acreedor al agradecimiento de la humanidad, dados los peligros que entraña el empleo del azogue. Sin embargo, y á pesar de las ventajas de dicho procedimiento, muchos fabricantes de espejos siguen practicando el del azogado. ¡Tal es el poder de la rutina, la fuerza de la costumbre, ó, mejor dicho, la debilidad de los acostumbrados!

Pero recientemente ha salido á la palestra un nuevo procedimiento para la fabricación de espejos, á saber, el *platinado*, que parece destinado á competir con ventaja con el plateado. Se originó en Francia, y difiere de este último en que el platino no se deposita sobre la cara posterior de las planchas de vidrio, sino sobre su cara anterior, produciéndose, por consiguiente, una reflexión directa del metal. Dicha cara, perfectamente pulimentada y limpia, se pinta con cuidado mediante una mezcla de clorido de platino, aceite de alhucema, litargirio y borato de plomo, y después de seca esta pintura se calienta la plancha en una mufla, resultando un revestimiento metálico cuyo brillo en nada cede al del alinde. En la luz transmitida, estos espejos platinados aparecen transparentes; propiedad que permite su empleo como cristales de ventanas, que impiden ver, desde la calle, lo que pasa en el interior de las habitaciones. Además, como quiera que su fabricación no supone necesariamente el empleo de un vidrio incoloro en absoluto, pudiéndose tomar uno más ó menos coloreado, y como las planchas sólo necesitan ser pulimentadas en una de sus caras, y pueden, por lo mismo, ser más delgadas que las ordinarias fundidas, es evidente que el pla-

tinado ofrece ventajas económicas que parecen deber asegurarle un porvenir.

Tubos de vidrio.—Desempeñan en la industria vidriera un papel tan importante, que no podemos menos de dedicar á su fabricación algunas consideraciones. Los tubos de vidrio no se emplean únicamente, como creen muchos, en la construcción de barómetros, termómetros y otros instrumentos de física y aparatos químicos, sino que constituyen en cierto modo el punto de partida, la base de la elaboración de toda suerte de objetos de vidrio. Así como se entregan al comercio el plomo en lingotes, el oro en barras y el azúcar en panes, del mismo modo el vidrio fino y de color, cuando se vende como primera materia, se entrega á los mercados principalmente en forma de tubos.

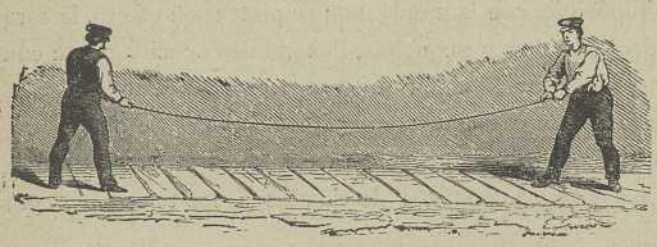


FIG. 290.—Producción de los tubos de vidrio.

La producción de los tubos y las varillas de vidrio se verifica de una manera sumamente sencilla. El vidriero sopla un cilindro, como para el vidrio plano, salvo que lo saca de paredes más gruesas y de diámetro interno más estrecho. Este cilindro se vuelve á caldear en el horno, y después que otro operario haya pegado en su extremidad libre una segunda caña ó una varilla de hierro, los dos, asiendo cada uno su caña, se alejan rápidamente uno de otro, caminando hacia atrás (fig. 290) y estirando el cilindro de vidrio blando, que adquiere la forma de un tubo más ó menos largo y estrecho, que se puede estrechar ó adelgazar todavía más, cortándolo en varios pedazos y repitiendo la misma operacion con cada uno de éstos, después de caldearlo; de lo que resultan varios tubos largos, pero más estrechos. Para producir varillas de vidrio se procede de la misma manera, salvo que es innecesario formar primero un cilindro, bastando estirar directamente la pequeña masa de vidrio que se saca del crisol en el extremo de una caña ó varilla de hierro. El llamado «hilado» del vidrio, operación mediante la cual se convierte esta materia en finísimos hilos, más delgados que el pelo humano, y en la llamada lana de vidrio, no es en el fondo más que un estiramiento de la masa candente, que se verifica por medio de un torno pequeño.

El modo de producir los tubos de vidrio es la razón por qué, en rigor, nunca resultan en el interior perfectamente cilíndricos, sino que el diámetro sale mayor en sus dos extremidades, disminuyendo gradualmente hacia su punto medio. Esto no ofrece inconveniente para los usos ordinarios, pero resulta de gravedad tratándose de la construcción de los instrumentos de física más finos, como barómetros y termómetros, puesto que la graduación de éstos depende naturalmente del diámetro interno de los tubos. No se ha logrado aún el medio

de producir tubos de vidrio perfectamente cilíndricos, y lo único que puede hacerse, y se hace, para obviar el inconveniente referido, es escoger y cortar las partes más iguales de los tubos largos, estirados según el modo descrito. Semejante operación es muy laboriosa, y los pedazos de tubo mejores resultan rara vez perfectamente adecuados para los instrumentos meteorológicos más exactos; de aquí los precios elevadísimos que alcanzan los trozos de tubos casi intachables, que se emplean en la construcción de los instrumentos (termómetros, barómetros, etc.) dichos «normales», que sirven, entre otros usos, para la comparación de los instrumentos menos precisos.

Cuentas y perlas de vidrio.—Los tubos de vidrio sirven, por regla general, para la fabricación de los artículos menores de vidrio, y muy particularmente para la de las cuentas, que es una especialidad veneciana. Como dijimos antes, muchas de las antiguas fábricas de Murano estaban dedicadas á este ramo de la industria vidriera, como lo estaba exclusivamente la mayor parte de las que existían hace cincuenta años. En el de 1848 se reunieron para formar la llamada *Società delle fabbriche unite di canne di vetro e smalti per conteria* (Unión de los fabricantes de tubos de vidrio y esmaltes para cuentas), que tiene oficinas y agentes en Africa y Asia (Trípoli, Alejandría, Bombay, Calcuta), pues los pueblos de dichos continentes, en especial los menos civilizados, siguen siendo los principales consumidores de las cuentas ó abalorios de vidrio que se emplean como adorno. Dicha Sociedad produce en diferentes fábricas las cuentas más diversas, desde las más ordinarias de vidrio hasta las más finas de esmalte, como se llaman en general las pastas de vidrio de color opacas ó semitransparentes; y emplea en su fabricación la arena de Pola, el carbonato sódico de Catania, la sosa de Egipto y numerosos preparados metálicos, entre los que predominan el óxido rojo de plomo y los óxidos esencialmente colorantes. Los matices del rojo se producen por medio del oro, y basta el dato, que refiere Ganetti, de que una sola fábrica consume en un año más de diez mil ducados en la coloración de sus esmaltes, para que nuestros lectores tengan idea de la importancia de esta industria.

En la construcción de los hornos se emplea una tierra refractaria especial, procedente de Cerone, en el Friul; en cambio la arena se extrae en las inmediaciones de Venecia, donde no ha mucho tiempo se descubrió de excelente calidad. Los hornos destinados á la fusión de las pastas ordinarias contienen de dos á cinco crisoles; pero los diferentes esmaltes ó pastas finas se preparan separadamente en hornos de un solo crisol, porque, según su composición, necesitan temperaturas distintas. Como combustible se emplea únicamente la leña, poniendo especial cuidado en que esté perfectamente seca.

Según las dimensiones de los crisoles y la composición de la masa de vidrio, la fusión dura más ó menos tiempo; pero, por regla general, el contenido de aquéllos se halla fundido y afinado al cabo de doce á dieciocho horas. Entonces

se procede á la elaboración, por el procedimiento antes referido, de tubos largos y también de varillas macizas de diferentes gruesos ó diámetros, cuyos materiales convierte el vidriero en toda suerte de productos por medio del soplete. Para la elaboración del contenido de un solo crisol —que representa comunmente más de siete quintales métricos de vidrio—los operarios se relevan de seis en seis horas, trabajando día y noche, pues el combustible es muy caro; cada división ó relevo se compone de un maestro ó *scagner*, dos *pastoneri*, cuatro ayudantes, llamados *tiratori*, y un *conzaurero*.

Para producir varillas macizas de vidrio se saca del crisol, mediante una vara de hierro, cierta cantidad de la pasta fundida, que acto continuo se estira; pero para la fabricación de las cuentas comunes ó abalorios, como los que se venden á los pueblos indígenas del Africa y se emplean entre nosotros en bordados y trabajos de aguja análogos, es preciso formar tubos. Al efecto, el vidrio se saca del crisol con la caña, y después de soplar una pequeña ampolla, se da á ésta una forma cilíndrica, haciéndola rodar sobre una plancha lisa de metal, el *bronzino*. Si se quieren producir tubos de dos colores distintos, se introduce el cilindro en otro crisol que contiene la pasta correspondiente, y el maestro vuelve á repartir la nueva capa, repitiendo la manipulación anterior. Como entretanto el vidrio se ha enfriado bastante, se vuelve á introducir el cilindro en el horno, y entonces, después de pegar en su extremidad libre la *conzaura*, un instrumento á manera de tenazas, el maestro la pone en manos de uno de los *tiratori*, y la caña en las de otro, los cuales emprenden caminos opuestos en la galería, estirando el cilindro hasta producir un tubo de las dimensiones apetecidas. Los largos tubos formados de esta manera, lo mismo que las varillas macizas de vidrio, se extienden paralelamente sobre grandes mesas, y, después de enfriados, el *tagliatore* los divide en pedazos de un metro de largo, que va reuniendo, según su clase, en diferentes cajas de madera, para su transporte á las diversas fábricas, donde se convierten en cuentas, objetos de *millefiori*, *petinet*, etc., sometiéndose en cada caso á toda una serie de manipulaciones.

Concretándonos, por el pronto, á la producción de cuentas, los tubos se clasifican primero en la fábrica correspondiente, según su diámetro, operación que corre á cargo de mujeres y niñas, las llamadas *cernitrici*. Luego pasan los tubos clasificados, y que, como ya dijimos, tienen el largo uniforme de un metro, á manos de los *tagliatori*, que los cortan en pedacitos iguales. Para este trabajo se han inventado máquinas especiales, pero no dan resultados muy satisfactorios, y se prefiere la obra de un *tagliatore* experimentado; el cual coge en la mano izquierda cierto número de tubos, y apoyando una extremidad contra una guía de palastro, los deja descansar sobre el filo de una cuchilla fija en la mesa; acto continuo hace bajar rápidamente otra cuchilla pesada, á manera de guillotina, que corta la parte de los tubos sobrante á la derecha, entre ella y

la guía, cayendo los pedacitos por una abertura de la mesa en un saco colgado debajo; seguidamente los tubos se arriman de nuevo contra la guía, vuelve á funcionar la cuchilla, y así sucesivamente. Tratándose de tubos ó varillas dichas de esmalte, la fabricación de cuentas termina con la operación referida, pues los pequeños cilindros de semejantes pastas resultan con cortes limpios; pero para las cuentas de vidrio ordinarias se cortan cilindros más pequeños; y como, dada la naturaleza de la materia, no es posible que resulten siempre cortes limpios, ni tampoco puede evitarse la rotura de algunos cilindros, es preciso someter el contenido del saco referido á un tamizado para separar el polvo y los pedacitos rotos, operación que corre á cargo de los *schizzatori*. Después, los llamados *tubanti* se encargan de redondear los bordes cortantes de los cilindros, dando á éstos una forma más ó menos esférica, cuya operación se verifica caldeándolos hasta la fusión incipiente.

En ésta hay que adoptar ciertas precauciones para evitar que las cuentas se peguen unas con otras é impedir que se cieguen sus agujeros. Con arreglo al procedimiento antiguo, se mezclaban los pequeños cilindros de vidrio con polvo fino de carbón en una caldera de cobre, llamada *ferracia*, de unos treinta centímetros de diámetro, y se caldeaba ésta en un horno de reverbero, agitando ó revolviendo continuamente la masa. El polvo de carbón rellenaba los agujeros de las cuentas é impedía también que se aglomeraran entre sí. Hoy se verifica la operación de una manera más perfecta, empleándose un polvo refractario compuesto de marga, cal, yeso, carbón, etc., llamado *siribiti*, que se humedece primero con agua, amasando entonces con él los cilindros de vidrio, hasta que se rellenen todos sus agujeros. La mezcla se introduce entonces en grandes tambores de cobre, que se hacen girar en medio del fuego como nuestros aparatos de tostar café; merced al ablandamiento del vidrio, los bordes ó extremos de los cilindros se redondean, mientras que en virtud del frotamiento continuo á que se hallan sujetos, acaban éstos por tomar una forma próximamente esférica. Para evitar la aglomeración de las cuentas en el tambor, se agrega al contenido una arena especial, muy fina y refractaria, que se encuentra casi exclusivamente en la playa de Adria, y se lleva á Murano en grandes cantidades.

Vaciado el tambor y enfriado su contenido, se separan las cuentas primero de la arena por medio de un cedazo, y luego de la masa que rellena sus agujeros mediante un sacudimiento enérgico en sacos, seguido del tamizado correspondiente. Cada vez, ó sea en cada *cotta*, como allí se dice, se someten á la operación unos quince kilogramos de cuentas. Una vez limpias, se sujetan á una clasificación que tiene por objeto separar las imperfectas, es decir, las angulares de las bien redondeadas; operación que corre á cargo de los llamados *governatori*, y se reduce á extender las cuentas sobre un tablero ligeramente inclinado y dar pequeñas sacudidas á éste, de modo que las cuentas más redondas

rueden hacia abajo, reuniéndose en un saco dispuesto al efecto. Luego se pulimentan, sacudiéndolas en un saco con salvado de trigo, y, por último, se procede á ensartarlas. La *infilatrice*, ó mujer encargada de esta operación, tiene delante de sí una cajita llena de cuentas ó abalorios, en las que va introduciendo y retirando sucesiva y rápidamente cierto número de agujas largas, que coloca entre sus dedos como las varillas de un abanico abierto; cada aguja tiene un hilo, en el cual se ensartan las cuentas cogidas de dicho modo. Para las cuentas más finas se toman hilos de seda; pero para las comunes se emplea el hilo escogido y fuerte, puesto que de su duración depende que se conserven más ó menos las sartas.

Las cuentas mayores, esféricas, que se emplean para formar collares y rosarios, no se producen por el corte de tubos de vidrio, sino que se forman directamente al sacar el material fundido del crisol. El horno correspondiente contiene cuatro ó cinco crisoles grandes para la preparación de la pasta, y un número mayor de crisoles pequeños situados detrás de las aberturas de trabajo, delante de las cuales se sientan los operarios. Su única herramienta consiste en una varilla de hierro puntiaguda, bañada con una lechada de arcilla para evitar que el vidrio se adhiera al metal; hundiendo la punta en el crisol sacan una pequeña masa de vidrio, á la que dan la forma deseada oscilando la varilla y haciéndola girar en torno de su eje; después de fría, la cuenta así formada se deja separar fácilmente, y entretanto se siguen haciendo cuentas, á cuyo fin cada operario tiene á mano gran número de semejantes varillas, pudiendo formar de 3.000 á 4.000 cuentas en un día. Las que se destinan á collares se someten, por lo común, á una talla, ó se labran con la muela.

Del enorme desarrollo de la fabricación de cuentas y abalorios en Murano pueden juzgar nuestros lectores, sabiendo que se exportan anualmente de Venecia por valor de siete á ocho millones de pesetas, yendo á parar la mayor parte de esta inmensa producción á Ultramar, principalmente á diferentes países africanos y asiáticos.

En los montes Fichtel (Baviera) se ha desarrollado hace tiempo la fabricación de cuentas mayores para collares, rosarios, etc., por el procedimiento que acabamos de describir; mientras que en Bohemia se producen semejantes cuentas con facetas, lo mismo que si fueran talladas, prensando el vidrio fundido en pequeños moldes de metal, parecidos á los que se emplean para formar balas de escopeta. En la producción de los artículos más finos de este género no se toma el vidrio fundido en el horno, sino que, á medida que se necesita, se va fundiendo el extremo de un tubo en una lámpara por medio del soplete, cual si fuera una barra de lacre.

Las perlas de vidrio, imitación de las verdaderas, se fabrican principalmente en Francia, y es obra bastante difícil. Consisten en pequeñas esferas huecas de vidrio delgado, revestidas interiormente con una masa brillante como la pla-

ta, que constituye el revestimiento natural de las escamas de un pececillo blanco de agua dulce (el llamado *Alburnus lucidus*), y luego rellenadas con cera. Se necesitan cerca de 36.000 de dichos peces para obtener tan sólo un kilogramo de la denominada esencia de perlas; se separan las escamas plateadas, se dejan algunas horas en agua para que se disuelva la mucosidad animal, y luego se muelen con agua en un mortero. Las partes más bastas se separan entonces, por medio de la filtración, de la llamada esencia, y después que ésta se ha concentrado lo bastante por deposición, se mezcla con una disolución de amoniaco y cola de pescado, para preservarla contra la descomposición y prestarla cierto poder adherente. Semejante esencia líquida se introduce por medio de una jeringa muy fina en las pequeñas esferas de vidrio, que se producen al soplete. La imitación resulta tan perfecta, que se necesita mucha pericia para poder distinguir entre semejantes perlas artificiales y las verdaderas; y la ilusión ó el engaño es todavía mayor, si cabe, tratándose de la imitación de las perlas naturales deformes, que suelen encontrarse de gran tamaño. Las perlas artificiales más hermosas se fabrican en París, debiéndose la iniciativa de tal industria á *Jaquin*, en el año 1824; las escamas que dan la «esencia» proceden principalmente de peces cogidos en el Rhin.

Millefiori y petinet.—Ciertas particularidades del vidrio dan lugar á procedimientos especiales en su elaboración, mediante los cuales se obtienen productos sorprendentes en alto grado. Por ejemplo, á pesar de la facilidad con que el vidrio en estado fundido se adapta á un molde, no abandona tan pronto su forma primitiva cuando se estira: un tubo permanece siempre tubo, aun cuando se estire hasta cien veces su longitud original, y una varilla de vidrio de sección cuadrada ó hexagonal conserva también, bajo iguales condiciones, sus cuatro ó sus seis ángulos. Por otra parte, dos ó más vidrios de composición distinta no se mezclan ó confunden al juntarse en una sola masa, á menos de hallarse en un estado de gran fluidez. De aquí la posibilidad de producir las hermosas alternaciones de colores, listados variados, etc., que causan nuestra admiración en tantos artículos de fantasía de vidrio. El material principal para semejantes producciones consiste en finas varillas de vidrio de diversos colores, á veces tan delgadas como hilos, y ciertos dibujos de color que parecen pintados sobre el vidrio con un pincel, y sólo se componen de semejantes hilos hábilmente combinados y unidos por fusión.

El llamado *millefiori* (mil flores), ó sea una masa de vidrio en la que aparecen diseminadas diversas florecitas, estrellas, etc., se produce solamente por medio de secciones de varillas de color, combinadas ó reunidas de manera á producir el dibujo ó efecto deseado, luego unidos entre sí al calor y reducido su tamaño por el estirado. Por ejemplo, una varilla de vidrio amarillo se rodea de otras cinco azules; el conjunto se somete al calor hasta que las varillas se pegan unas con otras, y entonces se estira; al cortarse después transversalmente

semejante varilla compuesta, cada sección da una imitación de la flor de la vellosilla. Se comprende que con sólo variar el número, los colores y la combinación de las varillas, se pueden multiplicar los efectos hasta lo infinito; y buena prueba de ello tenemos en los conocidos sujetapapeles de vidrio que se producen hoy en tanta variedad. Cada florecita, estrella, etc., que se ve en semejantes objetos, es un pedacito de una varilla compuesta de la manera explicada; y el objeto mismo se forma hundiendo cierto número de semejantes pedacitos de varillas diferentes en una masa de vidrio incoloro en estado pastoso ó fundido, y cuyo punto de fusión sea, naturalmente, algo más bajo que el de las florecitas.



FIG. 291.—Vaso de petinet.

Con el nombre de *petinet*, ó filigrana de vidrio, se designan pastas vítreas, cuya masa aparece atravesada por líneas ó hilitos blancos ó de color, formando listas y dibujos lineales más ó menos complicados. Dichas líneas proceden también de varillas de vidrio opaco ó de color, fundidas en una masa de vidrio incoloro; y cuando el conjunto se sopla en forma de un cilindro, y se somete éste en caliente al estirado, al torcimiento, á la presión, el doblado y otras manipulaciones sencillas por el estilo, se producen las cosas más maravillosas. La fig. 291 representa un vaso de filigrana de vidrio de los más sencillos, cuyos diversos colores dejamos á la imaginación del lector. Mas se dan productos del mismo género enteramente incoloros, pero que también producen hermosos efectos.

La fina red que se observa en el interior de la masa de estos vidrios incoloros se compone únicamente de series regulares de burbujitas de aire, y, por singular que parezca su formación, es bastante sencilla. Se empieza colocando en torno de un molde circular una serie de varillas de vidrio incoloro, que se sujetan provisionalmente por medio de un alambre; luego se toma el conjunto en la extremidad de una caña, y se pegan en el horno de manera que formen un cilindro hueco ó trozo de tubo estriado, que se tuerce en seguida hasta que las estrías resultantes de la yuxtaposición de las varillas redondas se desarrollen en forma de rosca. Se procede entonces á formar otro cilindro de diámetro algo menor y torcido en sentido contrario, é introduciéndolo en el primero, pegándolos en el horno y reforzando el conjunto por inmersión en una masa de vidrio líquido, se obtiene un cilindro relativamente grueso, en el cual aparece una burbujita de aire en cada punto de cruzamiento de las estrías inversamente enroscadas. Ablandando semejante cilindro al calor, estirándolo y convirtiéndolo en un vaso ú objeto plano, la multitud de burbujitas y su distribución regular producen un efecto muy bonito. Semejante vidrio se llama reticular.

Otro procedimiento curioso del arte vidriero es la llamada *incrustación*. En ciertos artículos de fantasía de vidrio de Bohemia se ven monedas ó medallas de plata ú oro, fundidas al parecer en medio de la masa vítrea. Claro es que dichas medallas no están hechas con materiales tan preciosos, ni son siquiera de cristal: consisten simplemente en una masa de arcilla blanca ó de porcelana moldeada y cocida. El vidriero hunde estas imitaciones en la masa vítrea blanda y las recubre con una capa de vidrio; si ésta es incolora, se obtiene el efecto de una moneda de plata, mientras que el del oro se produce con el empleo de un vidrio amarillo. En cuanto al brillo metálico, que es lo que en semejantes objetos llama más la atención, la física nos da la explicación siguiente: la capa de vidrio que cubre la medalla de arcilla no se ha unido íntimamente con ella, sino que sólo se halla en contacto con las asperezas más salientes de su superficie; de modo que se encuentra entre ambas materias una capa muy tenue de aire, que produce una reflexión total de la luz, tal como se observa más particularmente en los metales, y acerca de cuya naturaleza hemos tratado en el tomo II de esta obra. Una gota de rocío que descansa sobre una hoja cubierta de pelusilla basta, brilla como la plata; fenómeno que tiene la misma explicación que el anterior, y fué el que condujo á un vidriero bohemio al invento de la llamada incrustación.



FIG. 292.—Elaboración del vidrio con el soplete.

Elaboración del vidrio con el soplete.—Muchos de los artículos más finos de vidrio no se producen directamente en las fábricas, al pie del horno de fusión, sino que reciben su forma á manos de artistas especiales, que los elaboran por medio del soplete al calor de una lámpara. Emplean al efecto la llama del gas del alumbrado, ó de una lamparilla de construcción especial, alimentada con

aceite ó espíritu de vino, á la que se imprime una dirección más ó menos horizontal mediante el soplete, que en este caso recibe la forma de un tubito cónico, fijo en el ángulo de una mesa, y que comunica con un fuelle situado debajo, que el operario mueve con un pie (fig. 292).En la punta de dicha llama, ó sea la parte donde el calor es más intenso, se calientan los tubos y las varillas de vidrio procedentes de las fábricas, ablandándolos á tal punto, que, ora mediante el soplo, ora por una manipulación hábil entre las manos, pueden recibir las formas más diversas. El que haya tenido ocasión de ver trabajar un vidriero de esta clase, habrá quedado maravillado ante la prontitud y destreza con que da al vidrio reblandecido las formas más caprichosas, produciendo toda clase de finísimos objetos, que parecen nacer en medio de la llama.

El platero que abolla el metal con el martillo forzándole á tomar la forma de sus moldes, da prueba de mucha habilidad; pero el vidriero al soplete tiene un trabajo mucho más sutil y delicado, puesto que opera con un material cuya blandura y ductilidad varían con cada grado de calor, y para producir una forma sólo dispone, digámoslo así, de un soplo. En el juguete físico llamado «buzo cartesiano», por deberse la idea al célebre filósofo Descartes, las figuritas huecas que flotan y se sumergen en el agua están formadas al soplete con pedacitos de tubo de vidrio: allí donde ha de formarse un brazo ó una pierna, por ejemplo, se ablanda el vidrio en la llama, y soplando en el tubo, el vidriero produce una ampolla de la forma deseada; pero tiene que proceder con el más exquisito cuidado, pues si calienta una parte demasiado grande del vidrio, ó si sopla demasiado fuerte ó demasiado débilmente, resulta desde luego un brazo ó una pierna deformados que ya no tienen remedio. Y, sin embargo, semejante trabajo parece la cosa más sencilla del mundo; y así hubo de apreciarlo aquel conde alemán del cuento, que vió en Italia por primera vez un vidriero trabajando con el soplete. «Esto lo hago yo», dijo para sí, y quiso probarlo; pero al primer soplo produjo una gran ampolla en forma de pera ó de frasco (en italiano *fiasco)*: un segundo ensayo dió también por resultado un frasco idéntico, y por más que se esforzaba en imitar al vidriero, no produjo más que frascos, dando lugar, según se afirma, al dicho italiano: *far fiasco* (hacer fiasco), que se ha adoptado en las demás lenguas europeas como equivalente de «salir mal» ó «tener un éxito desgraciado».

Es imposible, por medio de una descripción de esta índole, dar una idea, siquiera aproximada, de las manipulaciones y mañas tan variadísimas del vidriero al soplete, y no nos detendríamos tanto con su arte especial si se dedicara tan sólo á la producción de juguetitos, flores artificiales, cabello de vidrio y cosas semejantes. Pero es el caso que todos los instrumentos y aparatos, tan indispensables para las ciencias físicas y químicas, en los cuales el vidrio aparece en otra forma que como lentes, prismas y planchas, es decir, todos aquellos en que se ven tubos, esferas ó piezas huecas embudiformes, etc., se producen con el

soplete al calor de la lámpara; y la variedad de sus aplicaciones y la necesidad que se experimenta á veces, en un momento dado, de modificar su forma ó disposición, obligan á todo físico ó químico á ejercitarse más ó menos en el arte que nos ocupa. Un tubo de vidrio se alarga ó adelgaza caldeándolo en un sitio determinado, y estirando; si, en vez de estirar, se sopla en él, se produce una ampolla ó una esfera hueca; si se comprime desde ambos lados la parte ablandada, de modo que se junte en ella una masa más espesa de vidrio, se obtiene por el soplo una esfera mucho mayor; en una palabra, el vidrio, de suyo tan quebradizo, obedece y se amolda en la lámpara á cada soplo. Nuestra fig. 292 representa un vidriero trabajando con el soplete, y en torno suyo se ven diferentes muestras de aquellos aparatos, cuya aplicación es un misterio para la mayor parte de las gentes, pero que son más sencillos é infinitamente más importantes que lo eran en otros tiempos las retortas y redomas fantásticas de los alquimistas. Muchos de los vidrios antiguos, en especial los romanos artísticos, los productos tan característicos de Venecia y sus imitaciones alemanas y flamencas, se formaron al soplete en la llama de la lámpara; procedimiento que antes era, sin duda, mucho más común que en nuestros tiempos, dados los medios perfeccionados de que hoy disponen los fabricantes de vidrio.

Cuando, mediante el soplo, se transforma una pequeña masa de vidrio fundido en una esfera hueca muy delgada, y se le hace reventar por medio de un soplo brusco, sus ligeros trozos flotan en el aire en forma de delicadas escamitas, que ostentan los colores del arco iris. Es éste el mismo fenómeno de la dispersión cromática que se observa en las ampollas ó globos formados con una caña y agua de jabón; para que se produzca es menester, no sólo que la membrana, digámoslo así, sea muy delgada, sino que su espesor no sea enteramente uniforme; de aquí que sólo se observen los colores irisados en un globo de jabón mientras se sopla, es decir, mientras va aumentando su volumen: los colores desaparecen tan luego como el espesor de las paredes se ha igualado. En cambio, el rápido enfriamiento del vidrio, en el caso antes referido, impide semejante igualación del espesor, y los colores quedan permanentes. Esta referencia les parecerá á nuestros lectores más propia de un tratado de física que de un capítulo sobre la fabricación del vidrio; pero comprenderán su aplicación al caso presente, y se admirarán, sin duda, una vez más, de la inventiva del hombre, cuando sepan que, hace algunos años, se pusieron de moda papeles pintados para el revestimiento de las habitaciones, salpicados con las escamitas de vidrio referidas más arriba; es decir, que dichas escamitas irisadas se producían de propósito en gran cantidad, de la manera indicada, y se pegaban sobre los papeles pintados; los cuales resultaban, naturalmente, algo caros, dado el trabajo que suponía su preparación, pero producían un efecto brillante y muy bonito.

Vidrio templado.—Lo quebradizo del vidrio es una propiedad tan íntimamente ligada con la naturaleza de dicha materia, que parece muy difícil, cuando

no imposible, privarle de ella; y, sin embargo, se refiere que un emperador romano hizo matar á un infeliz que había encontrado el medio de dar mayor solidez al vidrio, por temor de que el secreto se divulgara. Sea de esto lo que fuere, es lo cierto que en 1874 el francés *La Bastie* descubrió que el vidrio, después de recibida su última forma, esto es, después de elaborado por soplo, presión ú otro procedimiento cualquiera, adquiere gran dureza y una solidez que raya casi en lo inquebrantable, con sólo volver á caldearlo hasta la fusión incipiente y luego enfriarlo rápida é igualmente. Después de perfeccionar el procedimiento y sacar los privilegios de invención correspondientes, le dió publicidad, llamando extraordinariamente la atención del público; pues era de ver cómo un vaso para beber, por ejemplo, templado con arreglo al nuevo método, se podía lanzar con violencia contra el suelo ó la pared sin que se quebrara, y cómo un vidrio plano y delgado resistía el choque de cuerpos pesados caídos de bastante altura, cuando otro mucho más grueso, pero sin templar, saltaba bajo un golpe mucho menos fuerte. El nuevo vidrio templado se mostró también insensible, digámoslo así, á los repentinos cambios de temperatura, siendo tan duro, que apenas lo podía rayar el diamante. Creyóse desde luego que el nuevo invento iba á causar una verdadera revolución en la aplicación ó el empleo del vidrio; pero hasta el presente no se ha producido, si bien es posible que, de las grandes y exageradas esperanzas despertadas al principio, algo importante acabará por realizarse. La cosa se halla todavía en el período de ensayo, y es de suponer que con el tiempo se vencerán ciertas dificultades técnicas y se apartarán ciertos inconvenientes revelados por un estudio más detenido del asunto. Por el pronto, lo que impide, según parece, la aplicación y el desarrollo del nuevo invento, son los pleitos pendientes entre el inventor y ciertos imitadores ó perfeccionadores.

El procedimiento original de La Bastie consiste en caldear los objetos que se trata de templar, hasta el punto en que su masa empieza á reblandecerse, pero sin que pierdan su forma, y entonces sumergirlos en un baño de aceite ó grasa derretida, calentado previamente hasta los 200 ó 300°. En este baño permanecen los objetos bastante tiempo, enfriándose lentamente con él, de modo que las partículas más pequeñas de la masa vítrea, ó, si se quiere, sus moléculas, tengan lugar de disponerse, digámoslo así, de otra manera. Cuanto más se puede calentar el vidrio sin que se funda, y, por consiguiente, cuanto más grande es la diferencia de temperatura entre su masa y el baño, y cuanto más pronto se sumerge en éste, tanto más duro resulta, por regla general, después de enfriado. Es condición indispensable la de que el vidrio adquiera, en virtud del recalentamiento, cierta ductilidad. Por lo demás, el baño tiene que variar según la naturaleza del vidrio; hay, al parecer, para cada clase una temperatura de la grasa bajo la cual salta el vidrio, otra en que se endurece hasta cierto punto, y soló un grado determinado con el que adquiere el máximum de dureza; circuns-

tancias que requieren un estudio detenido. Las materias empleadas por el inventor para el baño son aceite ó grasa fundida, y deben estar enteramente libres de agua, pues de lo contrario casi siempre salta el vidrio; también se puede emplear una mezcla de grasa y glicerina, ó bien glicerina pura. Estas materias se colocan en cubos montados sobre ruedas, en cuyo interior se suspende una red de alambre para la recepción de los objetos; y, por último, es condición precisa la de que el baño tenga la misma temperatura en todas sus partes, inclusos todos los puntos de su superficie.

Los objetos de vidrio se sacan del horno de recalentar por medio de una varilla de hierro cuyo extremo se adhiere á ellos; y si se ve que se han calentado uniformemente (pues de lo contrario hay que volver á meterlos en el horno) se sumergen en el acto en el baño, colocado al efecto delante de la puerta del horno; mediante un ligero golpe se desprenden del baño y caen en la red. Su enfriamiento en el baño tiene que ser lento; por cuya razón, tan luego como la red se halla llena, el cubo se traslada (y por esto tiene ruedas) á una cámara cerrada, en la que se mantiene continuamente una temperatura de 40 á 44 grados; aquí se deja el baño hasta que su propia temperatura se haya igualado con aquélla, y entonces se sacan los objetos templados, se limpian de primer intento con un paño y se sumergen en una lejía de sosa cáustica para quitar los últimos restos de grasa que todavía se adhieren á ellos. En lugar de la grasa derretida que es susceptible de cierta descomposición, y también de encenderse en contacto con el vidrio candente, se ha propuesto el empleo de baños metálicos, esto es, de metales fundidos; pero si bien con éstos se evitan aquellos inconvenientes, la gran densidad de los metales constituye otro todavía mayor. En su vista, Pieper ha ensayado el vapor de agua sobrecalentado en lugar del baño de grasa, y otros han empleado, con igual fin, diferentes sustancias sólidas en forma de polvo.

Los objetos de vidrio que no tienen un espesor uniforme, no se templan igualmente; también son difíciles de templar los vasos ú objetos huecos con boca estrecha como, por ejemplo, las garrafas, porque el líquido del baño no puede penetrar bastante pronto en su interior, y su enfriamiento no resulta uniforme; se han ensayado diferentes procedimientos para obviar este inconveniente, pero los resultados son todavía inciertos. Las asas y piezas semejantes, pegadas á los objetos, saltan casi siempre en el baño, en el sitio de la pegadura; y, en general, son bastantes los objetos de todas clases que se rompen al templarse. Si el caldeado de los objetos no se verifica con mucha precaución, su superficie adquiere fácilmente un aspecto ondulante que perjudica la transparencia; de modo que no será ventajoso templar las planchas de vidrio pulimentadas que se destinan á espejos hasta que se encuentre un medio de obviar dicho inconveniente. Es posible que este problema quede resuelto; pero será más difícil dominar una propiedad del vidrio templado, que vamos á referir, y que disminuye su valor.

Por sólidos que se muestren los objetos de vidrio templado, es el caso que á veces saltan por sí solos, al parecer sin la causa exterior más leve, y entonces, lo mismo que cuando se rompen con violencia, se resuelven instantáneamente en multitud de diminutas astillas, que se lanzan á bastante distancia en torno. Es evidente que esta propiedad, al parecer tan singular, del vidrio en cuestión, se debe á grandes modificaciones en la tensión de la masa vítrea, producidas por su enfriamiento repentino; la superficie sufre una contracción extremada, mientras que en el interior se modifica menos la densidad de la masa, por hallarse ésta menos expuesta al cambio de temperatura; el cascarón, digámoslo así, se vuelve demasiado estrecho para el huevo que encierra, y la consecuencia natural es que salta ó revienta en el instante en que la causa más leve venga á turbar el equilibrio, de suyo tan poco estable, que existe entre ambos. En esto se parece el vidrio templado á las llamadas lágrimas de vidrio, ó sean gotas de vidrio fundido, que se han dejado caer, al tiempo de formarlas, en agua fría, y que, aunque muy duras y sólidas, se reducen instantáneamente á polvo cuando se rompe con la uña su finísima punta. Otro caso análogo nos ofrecen las conocidas botellas de Bolonia, que se fabrican de un modo parecido, y cuyo vidrio, tan grueso, resiste los golpes más violentos, pero salta en seguida si el grano de arena más pequeño llega á rozar su superficie en algún punto.

De todo lo dicho se deduce, pues, que el procedimiento del temple, en su estado actual, no es recomendable para objetos de valor, puesto que se hallan expuestos á saltar, digámoslo así, espontáneamente, reduciéndose á polvo. En cambio podrá ser de utilidad para ciertos objetos de uso común, que hasta aquí no se han hecho de vidrio ordinario, por lo quebradizo de esta materia. Se creyó al principio que podrían sustituirse los vasos de loza común ó de barro cocido que se emplean en las cocinas por otros de vidrio templado, y esto es factible siempre que se trate de objetos que no hayan de colocarse sobre la lumbre; pero el vidrio templado no se puede exponer al fuego sin perjudicar su propiedad esencial, pues cuando se caldea y se deja enfriar lentamente, pierde su dureza y recobra las cualidades del vidrio ordinario. En Inglaterra se han verificado ensayos con traviesas para las vías férreas, hechas de vidrio templado con arreglo al procedimiento de *Clemens;* pero los resultados no han sido hasta el presente del todo satisfactorios. Entretanto sabemos que Siemens, de Dresde, se ocupa con afán en los interesantes problemas relacionados con el vidrio templado.

ADORNO Y TALLA DE LOS OBJETOS DE VIDRIO

En muchos casos los objetos de vidrio, al salir de las fábricas ó talleres de fundición, se hallan ya acabados, con arreglo á los usos á que se destinan; pero en otros pasan á nuevos talleres ó establecimientos especiales, donde reciben diferentes adornos, ora en forma de cuentas de color y piedras preciosas artificiales, que se pegan en la superficie del vidrio por medio del soplete, ora por los procedimientos de la pintura, el esmaltado y otros varios.

En cuanto á la pintura y el esmaltado de los objetos de vidrio, no necesitamos entrar en pormenores, puesto que tienen gran analogía con la pintura sobre porcelana, descrita en un capítulo anterior. Sólo diremos que, tratándose del vidrio, se añade á los colores una pasta muy fusible, que contiene estaño y plomo, para darles cuerpo y opacidad, á fin de que resalten sobre el objeto de una manera más plástica. Las pinturas, lo mismo que los dorados, se fijan sobre el vidrio en hornos de mufla.

Mediante un tratamiento especial, puede producirse en la superficie de los objetos de vidrio el precioso juego de colores irisados que se observa en los globos de agua de jabón, que los agentes atmosféricos producen con el tiempo en los cristales de las ventanas, y que, también debidos á causas naturales, se presentan con la mayor hermosura en los antiguos vasos de vidrio romanos que se desentrañan á veces de las sepulturas. Los vidrios irisados artificialmente aparecieron por primera vez en la Exposición de Viena el año 1873, debiéndose á J. G. Zahn, un fabricante de Zlatno, en Hungría; pero el invento corresponde al químico húngaro *Pantossek*, de dicha ciudad, que durante varios años no quiso divulgar el secreto. En 1876 el célebre fabricante Lobmeyr, de Viena, expuso algunos objetos irisados de singular hermosura; y aunque desde entonces el procedimiento del irisado se practica en muchas fábricas de vidrio, los productos de dicho industrial, que se distinguen con el nombre de «vidrios anacarados», se llevan la palma en todas partes. El modo de producir el irisado es todavía un secreto de los fabricantes; pero el precioso efecto se debe, al parecer, á un humo finísimo, probablemente de naturaleza metálica, cuyas partículas se depositan ó precipitan sobre la superficie de los objetos de vidrio ya acabados. Al efecto, se supone que dichos objetos, en estado todavía candente, se introducen en una atmósfera cargada de vapores metálicos, de modo que el precipitado en cuestión se incorpora á la superficie del vidrio bajo la acción del calor. Semejantes objetos irisados, cuyos colores se manifiestan después de enfriados, pueden adornarse además de diversos modos, y Lobmeyr suele dorarlos y esmaltarlos después de un modo sumamente artístico.

Otro procedimiento de adorno que han adoptado en los últimos años algunos

fabricantes de vidrio, se funda en la aplicación de la galvanoplastia. Si un objeto de vidrio previamente adornado al encausto con dorados brillantes se introduce en un aparato galvanoplástico, se deposita cobre en todas las partes doradas, mientras que el vidrio mismo, mal conductor de la electricidad, queda libre. El cobre puede depositarse hasta formar una capa de varios milímetros de grueso; se adhiere firmemente al dorado, y es tan blando, que se deja cincelar ó grabar con facilidad. De este modo, pues, se pueden producir los adornos más variados, llamando más especialmente la atención los que se desarrollan á manera de red sobre el cuerpo del objeto, formando como marcos en relieve en torno de pequeños esmaltes ó pinturas. Además de grabar ó cincelar dicho adorno de cobre, se puede también dorar galvánicamente.

En la elaboración y el adorno del vidrio, la industria se vale, no sólo del fuego, la pintura y demás medios ya referidos, sino también de otros puramente mecánicos, sirviéndose al efecto del diamante, las piedras de amolar, la acción corrosiva de los ácidos, etc.

El vidrio frío, es decir, á la temperatura ordinaria, es bastante duro; pero hacen mella en él el acero endurecido, algunas piedras preciosas y hasta el cuarzo. El diamante corta ó raya el vidrio como la punta de una navaja el barro cocido, y constituye, por lo mismo, un medio excelente para dar ciertas formas á una materia tan quebradiza. Los diamantes destinados al uso del vidriero deben estar engastados ó fijos en un mango de tal suerte, que una arista formada por la reunión de dos planos cristalográficos naturales forme el filo cortante. Se necesita cierta práctica para manejar el diamante con seguridad, sobre todo cuando se trata de cortes curvilíneos que no se pueden hacer con la ayuda de una regla; en cambio, es más fácil cortar discos, pues basta al efecto fijar el diamante en la punta de un compás, ó sujetar el vidrio mismo en un torno mecánico, haciéndolo girar mientras se aplica contra él el diamante. Los bordes desiguales de objetos ó pedazos de vidrio se igualan sencillamente por medio de una piedra de afilar ó amolar.

Para dividir un cuerpo de vidrio en varios pedazos ó partes, se adopta con frecuencia el medio de hacerlo saltar en el sentido deseado, á cuyo efecto hay varios procedimientos en uso. Los tubos y las varillas de vidrio se pueden romper fácilmente en un punto determinado, con sólo practicar en torno de éste, con una lima, un corte en su superficie; corte que tiene que ser tanto más hondo, cuanto más grueso sea el vidrio. Los demás modos se fundan, por regla general, en la desigualdad de la expansión y contracción del vidrio, producidas por calentamiento y enfriamiento del sitio donde ha de dividirse la pieza. Los objetos cilíndricos se cortan ó parten con frecuencia por medio de un hilo impregnado con azufre, que se ata en torno de ellos, pegándole fuego, y después produciendo un enfriamiento repentino del sitio por medio de agua fría; á veces puede producirse el calor suficiente mediante la fricción rápida de un bramante

arrollado una vez en torno del punto donde se quiere partir el objeto, y del que se hace tiro alternativamente con ambas manos. Sin embargo, estos procedimientos no son muy seguros, y es mucho mejor emplear un alambre grueso de hierro, uno de cuyos extremos se encorve en forma de anillo: este extremo se caldea hasta el rojo; el anillo se aplica bien contra la superficie del vidrio cilíndrico, y se retira al cabo de medio minuto, tocando entonces el sitio calentado con un pedacito de madera mojado en agua, con lo cual el vidrio salta en seguida. Pero en la mayoría de los casos el medio más seguro consiste en varillas formadas con una masa de carbón de haya en polvo fino, mezclado con una disolución de goma ó resina; encendida en un extremo una de estas varillas, se consume lentamente, sin llama, hasta el extremo opuesto. Para partir un vidrio por este medio, se hace con la lima una leve señal en el punto donde ha de empezar el corte, se aplica á dicho punto el extremo candente de la varilla de carbón y se aguarda hasta que se produce un pequeño salto; entonces se pasa despacio la punta candente de la varilla sobre la superficie del vidrio, siguiendo la dirección en que ha de partirse, y de este modo se prolonga el salto iniciado en el sentido que se quiere. Con un poco de práctica, resulta este procedimiento tan eficaz, que por su medio se puede cortar, ó, mejor dicho, hacer saltar un vaso de beber ordinario en forma de hélice, trazando con el carbón candente esta curva en la superficie del vidrio, desde el borde superior á la base, de modo que el vaso acaba por convertirse en un muelle espiral elástico. También puede combinarse la acción del diamante con el cambio de temperatura, modo que está muy en su lugar con vidrios gruesos, en los que la raya de dicha piedra resulta por sí sola insuficiente. Si después de rayar un vidrio semejante se le sumerge alternativamente en agua fría y caliente, el corte del diamante se va profundizando cada vez más, hasta que el vidrio queda partido.

Para perforar el vidrio existen varios procedimientos. Se pueden practicar en él agujeros pequeños con taladros de acero movidos mecánicamente, casi con tanta facilidad como en un metal; y también, observando las precauciones debidas, puede agujerearse el vidrio á mano, por medio de un buril ó una lima triangular puntiaguda. En todos los casos en que el vidrio se taladra con instrumentos de metal, es preciso mantener húmedo el sitio con esencia de trementina resinosa, para que no salten astillitas. Pero los agujeros redondos se practican con más seguridad y más limpiamente, aunque más despacio, por medio del torno mecánico, empleando, en vez de un taladro de acero, una varilla redonda, ó, para agujeros grandes, un cilindro de cobre, cuya extremidad se unta repetidamente con esmeril amasado con aceite. Si en lugar del cilindro macizo de cobre se emplea uno hueco (ó sea un tubo) ó bien un anillo, el corte resulta anular y se forma un disco de vidrio; este es el procedimiento usual para sacar discos de vidrio grueso, destinados á formar lentes ópticos.

De algunos años á esta parte se ha generalizado el empleo de un aparato

muy ingenioso, para deslustrar el vidrio, grabarlo profundamente y hasta taladrar las planchas más gruesas: tal es la llamada máquina de corriente de arena, invención del norteamericano *Tilghman*, que se presentó al público europeo en la Exposición vienesa de 1873. Compónese esencialmente de un embudo de metal cuya boca estrecha, dirigida hacia abajo, enchufa en el tubo de un fuelle mecánico ó máquina de soplar; el embudo se llena hasta la mitad con arena dura, se cubre con la plancha de vidrio que se trata de taladrar, y se pone en movimiento el fuelle ó la máquina sopladora. La poderosa corriente de aire arrastra los granos de arena, lanzándolos contra el vidrio con violencia tal, que cada uno desprende una astillita; como después de obrar así dichos granitos vuelven á caer en el embudo para ser arrastrados de nuevo por la corriente, semejante granizada continua, digámoslo así, acaba por taladrar la plancha. Si sólo se trata de deslustrar la superficie de ésta, se modera la fuerza de la corriente, dejándola obrar poco tiempo; y si se quiere producir en el vidrio grabados determinados, basta pegar en la superficie del mismo un pedazo de cuero, cautchuc ú otra materia blanda, calada con arreglo al dibujo en cuestión, pudiendo reproducirse hasta los encajes más finos con sólo adherirlos al vidrio, pues por extraño que parezca, bastan sus hilos para protegerlos contra la acción de la arena en los sitios cubiertos por ellos.

La llamada, con singular impropiedad, *talla del vidrio*, es un procedimiento muy en boga, tanto para alisar y pulimentar la superficie de dicha materia, como para labrar en la misma facetas, aristas, planos, y hasta grabar dibujos, arabescos, inscripciones y adornos parecidos.

Las herramientas empleadas al efecto son cuerpos rotatorios—discos, planchas ó puntas—que labran el vidrio por sí, es decir, en virtud de la naturaleza de la materia de que se componen, ó bien mediante otra sustancia que se interpone entre ambos. Parece increíble que los preciosos efectos de los hermosos vidrios cristalinos ingleses y bohémicos se produzcan solamente amolándolos, ó sea oprimiendo el vidrio contra un disco de amolar, mantenido en rotación rápida, y que los encargados de producirlos sean trabajadores ordinarios, exentos de un sentido artístico cultivado, que, sin embargo, sólo se valen de un dibujo previo, como guía, cuando se trata de adornos muy complicados. En Bohemia, los aparatos de amolar se ponen en movimiento principalmente por medio de la fuerza hidráulica, tan abundante en aquellos montes, y los establecimientos de talla se hallan por lo general en las inmediaciones de las grandes fábricas de vidrio, ó rodeados de lugares en los cuales se practican diferentes ramos de la industria vidriera, como la fabricación de botones, cuentas, prismas, etc.

En Inglaterra, el motor de los aparatos de talla es casi siempre el vapor. En todas partes los bancos de talla no son más que sencillos tornos mecánicos, en cuyo eje horizontal se fijan los diferentes discos de amolar empleados en las

diversas operaciones. La fig. 293 da idea de la disposición de semejantes tornos, y de la manera de usarlos.

Los discos referidos varían mucho por sus dimensiones, formas y materiales: algunos están hechos de arenisca dura, como las piedras de afilar ordinarias, y tienen de 12 á 20 centímetros de diámetro, con un espesor de uno á dos centí-



FIG. 293.—Talla del vidrio.

metros; otros mayores son de palastro, de gruesos diferentes, y se emplea además toda una serie de discos pequeños, hechos de cobre amartillado, ó de acero, desde el diámetro de un duro hasta el de un céntimo, y aún menos. Cuanto más finos ó delicados son los adornos que se quiere producir, tanto más pequeños son los discos empleados al efecto; pero no es el metal el que corta ó labra el vidrio, sino el esmeril ó polvo de diamante que, por medio de aceite ó una pasta especial, se fija en la periferia de los discos. En contraposición á la mal llamada *talla* del vidrio, ó sea un amolado mediante el cual se producen los cortes más

anchos y profundos que dividen la superficie en facetas, etc., en relieve, se designa con el nombre de *grabado* el trabajo que consiste en producir en la superficie del vidrio los adornos más delicados y artísticos, poco profundos, como figuras, paisajes, flores, hojas, escudos de armas, inscripciones, etc. Pero semejante grabado no se hace con el buril, como el de los metales, sino principalmente con los diminutos discos rotatorios de cobre ó acero ya dichos, untados con esmeril ó polvo de diamante, acabándose á veces los trabajos más delicados del género con una punta de diamante, que se usa como una pluma ó un lapicero. En la Exposición parisiense de 1867 se veía un hermosísimo jarrón de vidrio grabado, ejecutado por un fabricante inglés, cuyo valor estaba tasado en 5.000 pesetas; mencionamos esto para demostrar hasta qué extremo puede llevarse el cuidado y la habilidad en semejantes trabajos, pues el valor intrínseco del jarrón referido, sin el grabado, podría ascender, á lo sumo, á cuatro ó cinco pesetas.

La variedad de los discos empleados en la talla del vidrio no se refiere sólo al material de que se componen y á sus dimensiones, sino principalmente á la forma de su borde (la parte trabajadora, digámoslo así), el cual es, ora plano, ora cóncavo ó convexo, ora afilado como un cuchillo, según mejor convenga para las diferentes operaciones. La primera de éstas consiste en un desbaste por el que se quita pronto la mayor parte del vidrio sobrante, y en el que se emplea algún medio enérgico, como una arena angulosa y dura; sigue á dicha operación la talla fina que alisa las superficies, y se pasa luego al pulimento, que se verifica por medio de discos de estaño, corcho ó madera, de los que los últimos se revisten á veces con fieltro. La producción de las facetas que ostentan los prismas y demás adornos colgantes de las arañas de cristal, las grandes cuentas de vidrio, etc., se verifica de un modo muy sencillo; tratándose de trabajos muy esmerados y exactos, pueden tallarse semejantes objetos como las piedras preciosas, de cuya labra dimos cuenta en el tomo III de esta obra; pero, por regla general, se pone mucho menos cuidado en su talla, á pesar de lo cual resulta muchas veces de una precisión casi matemática, pues la práctica constante de un mismo género de labor hace que el tallista trabaje con la exactitud de una máquina. Su trabajo sorprende también por su rapidez, pues en muy corto tiempo, y con sólo aplicar el objeto de vidrio contra el borde del disco en rotación, volviéndolo, ora de un lado, ora de otro, produce los adornos más elegantes. Sin embargo, en el grabado fino de las piezas artísticas, como las reproducidas en nuestras figuras 294 á 297, se apela además á otros procedimientos propios del arte del grabador.

Los adornos incoloros de los vidrios transparentes que tienen una capa superficial de color, se producen tallando con el disco esta capa coloreada en los puntos correspondientes, hasta que aparece el vidrio incoloro que le sirve de base. Cuando los objetos son redondos, dicho efecto se consigue aplicándolos contra un disco de periferia más ó menos ancha y plana, que labra

en su superficie una faceta plana; pero donde no basta esto, hay que emplear los pequeños discos cortantes, que penetran más profundamente en el vidrio. La talla de los vidrios ópticos constituye un procedimiento por sí; mas como éste supone la observancia de circunstancias y reglas especiales, y se practica, por lo mismo, por los ópticos y no por los fabricantes de vidrio, podemos hacer caso omiso de él en este lugar, remitiendo al lector á lo referido sobre la materia en el tomo II de esta obra.

Un procedimiento especial que se emplea en el adorno de los objetos de vidrio es el mordido por medio del ácido fluorhídrico, que ataca y disuelve la sílice del vidrio y se puede emplear, como el ácido nítrico ó agua fuerte en el grabado del cobre, para producir depresiones en la superficie de la masa vítrea. El ácido fluorhídrico gasiforme se produce mezclando el polvo fino del espatofluor con ácido sulfúrico y destilando la mezcla; el vidrio que se trata de morder se expone entonces á la acción corrosiva de los vapores resultantes; sin embargo, en muchos casos basta extender sobre el vidrio mismo la mezcla de espatofluor y ácido sulfúrico. Allí donde queda expuesta al ácido fluorhídrico, la superficie del vidrio resulta deslustrada, acabando por ser corroída más ó menos profundamente, según el tiempo que obra el mordiente; por lo tanto, si se quiere producir un dibujo determinado, basta revestir con un barniz de trementina, cera ó sustancia análoga las partes del vidrio que han de quedar intactas, exponiendo las restantes á la acción del ácido fluorhídrico; si éste se emplea en estado gasiforme, las partes mordidas conservan cierta aspereza y aparecen mates ó deslustradas, mientras que si se emplea el mordiente en forma de papilla extendida directamente sobre el vidrio, dichas partes resultan transparentes.

La gran variedad de los procedimientos practicados en la talla y adorno del vidrio supone la división correspondiente del trabajo en numerosos oficios especiales, cuyos operarios acaban muchas veces por ser verdaderos artistas; pues aun cuando el vidrio se produce en cantidades tan enormes y tan baratísimo que puede emplearse en la fabricación de los objetos de utilidad más comunes, siempre es un material á propósito, y en determinados casos hasta único, para ciertos objetos artísticos. La industria vidriera se divide, pues, en dos ramas principales: una, dedicada á la fundición del vidrio y la elaboración de productos ordinarios, y la otra, á la fabricación de objetos diversos, más ó menos finos, para la cual se sirve, en parte, de materias primeras que le proporciona la primera. No existe, en realidad, límite bien definido entre las dos, pues hay fundiciones de vidrio propiamente dichas en las que también se producen artículos tallados; pero, por regla general, en los países más adelantados cada fabricante se ocupa de la producción de objetos ó clases de objetos determinados, dedicándose el uno á vidrios planos soplados, otro á planchas fundidas, otro á vasos de beber ordinarios y botellas, otros á vidrios ópticos, otros á la de artículos de uso y adorno tallados, grabados, etc.

Es muy notable el progreso que se ha verificado en la producción de vidrios artísticos desde que la exposición londonense de 1851 dió tan gran impulso á la industria en general; y mientras que en Italia ha renacido la fabricación de los antiguos vidrios venecianos (fig. 266), y Francia brilla por los hermosos espejos de Saint-Gobain y las célebres arañas, cristalería y vidrios pintados opalescentes de Baccarat, Inglaterra nos sorprende con sus preciosos vidrios cristalinos de plomo, tallados ó prensados, con los adornos grabados y mordidos más delicados (figuras 294 y 295), y Alemania compite con ella de la ma-



FIG. 294.—Objetos de vidrio tallado, ingleses, en la Exposición londonense de 1862.

nera que pueden comprender nuestros lectores, hasta cierto punto, en vista de tan preciosos objetos como los reunidos en nuestras figuras 296 y 297, descollando entre sus fabricantes el ya citado Lobmeyr de Viena. Con semejantes obras, que representan, no sólo grandes conocimientos artísticos, sino procedimientos técnicos especiales, desconocidos en España, y una gran habilidad adquirida después de largos años de experiencia, no pueden compararse, es claro, los productos de nuestra modesta industria vidriera; pero justo es alabar los esfuerzos que de algún tiempo á esta parte vienen haciendo los fabricantes de cristalería Cifuentes, Pola y Compañía, de Gijón, y Herederos de Valarino, en Cartagena, para rivalizar dignamente con los productos extranjeros.

Pero si tales progresos se notan del lado artístico de la industria de que tra-

tamos y en los procedimientos especiales correspondientes, no son menos considerables los adelantos en lo que se refiere á la fabricación del vidrio en general. Gracias al desarrollo de nuestros medios de comunicación, el fabricante depende mucho menos que antes de los productos locales, pudiendo traer de regiones más ó menos lejanas las materias primeras más á propósito. Los perfeccionamientos en la construcción de los hornos y de los crisoles, y muy especialmente la aplicación del combustible gasiforme y del sistema regenerativo, ha asegurado la producción de vidrios puros y homogéneos, en cantidades gran-



FIG. 295.—Objetos de vidrio de adorno, ingleses, en la Exposición parisiense de 1867.

des ó pequeñas, y en condiciones económicas bastante más ventajosas que otras veces. Mucho se debe también á las ciencias químicas, ora porque sus descubrimientos han conducido á procedimientos enteramente nuevos, ora porque dando la verdadera explicación de los ya practicados, han indicado cómo podían y debían modificarse para que sus resultados fueran más satisfactorios. En la barita, el didimo y el talio se han encontrado materias importantes que prestan al vidrio propiedades de valor, y, por último, el templado del vidrio constituye un procedimiento enteramente nuevo, cuya trascendencia para la industria vidriera no es todavía posible adivinar.

Al mismo tiempo que se ha ido facilitando la fabricación del vidrio, el consumo de tan útil materia ha ido también creciendo. Por ejemplo, el empleo del vidrio plano fundido se ha generalizado en los últimos quince años de una manera sorprendente, en sustitución de los cristales ordinarios de ventanas y

demás vidrieras, pues no sólo en las grandes ciudades, sino también en poblaciones de menos importancia, los comerciantes se permiten el hermoso lujo de cerrar sus escaparates con una plancha de vidrio única, mientras que en las ventanas de las casas de cierta categoría, los grandes cristales de vidrio fundido y pulimentado son ya la regla, y no la excepción, como antes. Por otra parte, el vidrio soplado se emplea cada vez más en la elaboración de vasos, que antes se



FIG. 296.—Ponchera de vidrio grabado, fabricada por Ritter y Compañía, de Esslingen (Alemania).

hacían imperfectamente con arcilla, mientras que en su aplicación á tubos para la conducción de aguas, así como á cojinetes para los árboles ó ejes de ciertas máquinas, el vidrio ha invadido, con ventaja, el terreno del metal.

Para que nuestros lectores puedan formarse una idea aproximada del desarrollo en Europa de la industria que nos ocupa, terminaremos estas consideraciones con algunos datos estadísticos. En Italia, Murano y Venecia son los centros de cuyos 172 crisoles salieron, en 1867, cuentas y otros objetos de vidrio, por valor de más de nueve millones de pesetas. Austria, sin Hungría, produjo vidrio, en 1872, por valor de 57 millones de pesetas, y Hungría por 3,75 millo-

nes. Alemania, que tiene actualmente más de 350 fábricas de vidrio, entrega anualmente al comercio productos diversos por valor de unos 100 millones, mien-



FIG. 297.—Vidrios artísticos de Lobmeyr, en Viena.

tras que, según los datos que tenemos á la vista, en 1873, Inglaterra y Escocia contaban 232 fábricas de vidrio, grandes en su mayor parte, que empleaban 21.170 operarios. En dicho año de 1873, tenía Bélgica 68 fábricas de vidrio, con

239 hornos y 1.690 crisoles, que produjeron vidrio plano para cristales por 50 millones de francos; vidrio hueco y cristalería por ocho; botellas comunes por dos, y espejos por siete. Francia, con sus 200 fábricas, en las que hallan empleo 35.200 trabajadores, lanza anualmente al comercio unos 45 millones de kilogramos de vidrio plano por valor de 22 millones de francos; 165 millones de kilogramos de botellas ordinarias por 42 millones de francos; vidrio hueco y cristalería por valor de 34 millones, y unos 500.000 metros cuadrados de espejos por valor de 17,5 millones de francos. Holanda produce vidrio por unos 2,5 millones de pesetas al año, y tienen una importancia análoga, ó sea relativamente corta, las producciones de Suiza, Dinamarca y Suecia, mientras que Rusia, en numerosas fabricas, por lo general pequeñas, fabrica vidrio por valor de 16 á 17 millones de pesetas al año. En España teníamos, según la estadística de 1879, diez fábricas de vidrio blanco (comunmente llamado cristal), con 67 crisoles, y 21 fabricas de vidrios verdes ordinarios, con 100 crisoles.

MOSAICOS DE VIDRIO Y VIDRIOS PINTADOS

Mientras en la antigüedad clásica, y especialmente durante los últimos siglos antes de nuestra Era, se había desarrollado el mosaico de mármoles de color y otras piedras como revestimiento de pisos y paredes, desde principios de la Edad Media empezaron á decorarse las iglesias bizantinas é italianas con brillantes cuadros de mosaico, hechos en vez de con piedras, con pequeños cubos de pasta vítrea de diversos colores (fig. 298). Este arte parece traer su origen de Venecia, y florecía ya en esta República en el siglo XII, constituyendo una rama importante de la industria vidriera veneciana la fabricación en grande de dichas pastas ó esmaltes de color, que se exportaban en cantidad para la formación de mosaicos. Roma traía todos sus esmaltes de Venecia, hasta que, á fines del siglo XVI, el papa Sixto V fundó, con la ayuda de *Marcello Provenciali*, un artista veneciano de nota, el gran establecimiento del Vaticano, en el que se ejecutan todavía mosaicos notables; pues tanto en Roma como en Rusia, este arte siguió practicándose con arreglo á los procedimientos de Murano, después que aquí hubo caído en completa decadencia y olvido.

Hoy ya, y gracias, como dijimos en otro lugar, á los laudables esfuerzos del doctor Salviati, ha vuelto á florecer en Murano, no sólo la fabricación de los esmaltes correspondientes, sino también el arte de formar los mosaicos mismos. Estas obras modernas aventajan á las antiguas por la hermosura de sus colores, y ofrecen además la comodidad de poder ser transportadas como cuadros acabados y colocados en una pared firme cualquiera, mientras que, según la manera seguida en la Edad Media, las pastas sólo podían ser embutidas en el revestimiento del muro mismo donde había de quedar el mosaico; trabajo que suponía

mucho tiempo y paciencia. Salviati ejecuta hoy semejantes cuadros de mosaico con arreglo á cualquiera modelo ó diseño, y por precios sumamente módicos, si se comparan con los gastos que entrañaba el procedimiento antiguo.

Las pastas ó esmaltes se componen de las mismas materias que el vidrio ordinario, más algunas otras que prestan á la masa la densidad, la duración y el color que le son propios. La duración, ó sea la resistencia contra las influencias atmosféricas, es la propiedad que más debe caracterizar á un buen esmalte, pues en ella estriba precisamente la ventaja de los cuadros de mosaico sobre los productos de la pintura propiamente dicha, que siempre son más ó menos perecederos. Los esmaltes de color reciben éste, lo mismo que los vidrios ordinarios, por medio de óxidos metálicos, que se funden en determinada proporción con su masa; pero los esmaltes dichos de oro y plata, que desempeñan en los mosaicos de vidrio un papel importante, se producen por un procedimiento enteramente distinto.

En la superficie de un vidrio denso, tal como se emplea también para los esmaltes de color, ya sea transparente y coloreado, ya sea opaco, según que se desee producir un esmalte dorado ó plateado, transparente ú opaco, se extiende el oro ó la plata en forma de los panes más finos; entonces, y mediante un procedimiento especial de fusión, se fija el metal, incorporándolo ó uniéndolo al vidrio que le sirve de base, y además se cubre con una capa muy delgada de vidrio, que se puede colorear de diferentes maneras para variar el tono metálico. Dicho así, la operación parece bastante sencilla; pero no



FIG. 298.—Antiguo mosaico de vidrio, veneciano.

está exenta de dificultades, puesto que hay que cuidar mucho de que las tres capas de que se compone semejante esmalte se unan perfectamente entre sí, sin que el aire y la humedad tengan nunca acceso á la capa metálica, pues de otro modo se perjudicaría de la obra al respecto de su duración.

En cuanto á la manera de formar los mosaicos, las grandes obras bizantinas del género que á veces cubren extensos lienzos de pared en las antiguas basílicas, se componían según el mismo procedimiento que se sigue en la producción de los conocidos artículos de bisutería de mosaico, florentinos y romanos, que es el que todavía prevalece en el establecimiento del Vaticano, como en el imperial de San Petersburgo. Con las pastas vítreas coloreadas se hacen pequeños cubos ó piececitas prismáticas de sección cuadrada, que se reunen, colocándolos uno al lado de otro, con arreglo á la pintura que sirve de modelo, embutiendo su base en una capa fresca de cemento. Según la finura de la obra, varía naturalmente el grueso de los pequeños prismas de vidrio ó esmalte, empleándose, como es consiguiente, más diminutos y en mayor número para formar las partes más delicadas del dibujo,—la cara y manos de una figura, por ejemplo,—que para las superficies más uniformes del ropaje. Como ya dijimos, semejantes mosaicos se forman en su sitio definitivamente; pero en Venecia ha introducido Salviati un procedimiento original, que permite el cómodo transporte de las obras del género y su colocación ulterior en las paredes del edificio á que se destinan, y que consiste esencialmente en pegar los prismas del mosaico por el reverso, ó sea por su base, sobre papel fuerte, de modo que el conjunto pueda levantarse de la mesa en que se formó y colocarse seguramente en una caja á los efectos del transporte; llegada la obra á su destino, se saca entera de la caja y se fija, con las precauciones debidas, en el sitio que le corresponde.

Los hermosos colores que es susceptible de tomar el vidrio, combinados con la gran transparencia de éste, permiten producir efectos maravillosos; y no es extraño que, en su vista, se desarrollara muy pronto un ramo especial de las Bellas Artes, tanto más cuanto que sus productos se caracterizan por su duración. La pintura sobre vidrio—pues á ésta nos referimos—data, en efecto, de una época bastante remota, y los vidrios pintados difieren esencialmente de todos los productos artísticos análogos en que su efecto depende de la luz trasmitida, y no de la incidente; de modo que no sólo hacen valer el dibujo y el color, sino también lo sustancial, digámoslo así, de la luz misma.

Cuando, hace muchos siglos, se comenzó á cerrar con vidrio las ventanas de ciertos edificios, la naturaleza y forma del material disponible daba lugar desde luego á que se empleara de una manera más ó menos artística. Entonces no se disponía para el caso de vidrios planos grandes, como nuestros cristales, sino solamente de pequeñas tablitas de vidrio, cuya masa, merced á la imperfección de los procedimientos técnicos, siempre resultaba más ó menos coloreada; de modo que al reunir semejantes tablitas de diferentes matices verdosos, ama-

rillentos ó azulados, para cerrar una ventana, resultaba á la fuerza una especie de mosaico, al que era fácil dar el carácter de un dibujo geométrico con sólo seguir las reglas más simples de la simetría. Con el empleo de vidrios coloreados de propósito en tablitas de formas y tamaños distintos, se introdujo luego mayor variedad en semejantes dibujos, y llegaron á imitarse toscamente los tapices con que se revestían las paredes de las habitaciones principales. Semejantes vidrieras de mosaico se mencionan ya en escritos del siglo V de nuestra Era; pues Prudencio, un poeta latino que murió por el año 410, compara las vidrieras coloreadas de la basílica de San Pablo, en Roma, con praderas cubiertas de flores. Decimos «vidrieras coloreadas» porque en dicha época, y aun en siglos posteriores, semejantes obras se reducían á la formación de una especie de mosaico transparente con tablitas de vidrio de varios colores, y no hay que confundirlas con vidrieras pintadas. Para que pudiera desarrollarse el arte de la pintura sobre vidrio precisaba, en primer término, conocer el modo de fijar sobre la materia transparente, mediante el fuego, por lo menos un color oscuro, con el cual podían pintarse los contornos y las líneas más finas de las figuras, así como las partes más sombreadas del dibujo.

Atribúyese generalmente á los alemanes la prioridad de este invento, señalando como cuna de la pintura sobre vidrio el monasterio de Tegernsee, en Baviera, cuyos monjes, en verdad, se distinguieron por sus producciones artísticas. Existían allí, en efecto, por el año 1000 vidrieras de color, como otras que se conocieron anteriormente en Zurich; pero ninguno de los escritos que las mencionan dice que fueran realmente pintadas. Esta circunstancia se deduce con mayor probabilidad de la crónica del monje Richerus, hablando de las vidrieras de la catedral de Reims, que se pintaron ó hicieron en el año 989; con lo cual, si el invento resultara francés, los alemanes tendrían cierto consuelo, puesto que el entonces arzobispo de Reims era alemán. Sucede en esta cuestión una cosa bastante singular, y es que, mientras los peritos franceses más autorizados atribuyen á Alemania la prioridad del invento, los alemanes, por el contrario, la atribuyen á Francia.

De la misma época, próximamente, data el primer escrito que se refiere de un modo positivo á la pintura sobre vidrio, y corresponde al presbítero Teófilo. En él se describe la manera de formar un cuadro de vidrio, y se da la receta para la preparación del pigmento negro, con el cual se empezó por entonces á señalar sobre el vidrio los contornos de las figuras y las sombras. Dicho pigmento ó color se componía de óxido de cobre y vidrio verde y azul en partes iguales; materias que se mezclaban íntimamente después de reducirlas á polvo finísimo, aplicando la mezcla sobre el vidrio con un pincel. En cuanto á la manera de formar un cuadro, he aquí la traducción del párrafo de Teófilo: «Sobre un tablero de madera, blanqueado con creta pulverizada, el artista señala primero con toda exactitud las dimensiones y la forma de la obra, ó parte de la misma,

que trata de producir. Luego dibuja con plomo ó estaño todos los contornos de la imagen, así como de los adornos que han de rodearla, repasándolos después con color rojo ó negro, y señalando las sombras con un rayado de líneas paralelas, tal como ha de producirlas luego sobre el vidrio con la pintura negra. En este diseño señala entonces el artista, por medio de números ó de los colores mismos, las diferentes partes correspondientes á estos últimos, y sobre cada parte del dibujo, así señalado, coloca un pedazo de vidrio de igual color, traza en él con creta el contorno de dicha parte, y corta el vidrio, siguiendo el contorno trazado por medio de un hierro candente.» (El diamante empezó á utilizarse para cortar el vidrio en el siglo XVI.)



FIG. 299.—Vidriera pintada del siglo XI, en Neuweiler (Alsacia).

Para completar la cita de Teófilo, añadiremos que las piezas de vidrio de diversos colores, cortadas como queda dicho, se pintaban con la pintura negra con arreglo al modelo, y después de fijar esta pintura al fuego, se unían las piezas entre sí por medio de tiritas de plomo. Por aquel entonces el mismo artista solía practicar todas las indicadas operaciones, siendo á un tiempo elaborador de colores, dibujante, pintor sobre vidrio y vidriero hasta cierto punto. De aquí la dificultad de decidir en muchos casos si el nombre *vitrarius* que emplean los antiguos cronistas, se aplica á un verdadero pintor sobre vidrio, ó solamente á un vidriero cuyo oficio fuera el de unir entre sí, con plomo, los pedazos de vidrio que formaban las vidrieras.

En el siglo XI son más precisas las referencias á la verdadera pintura sobre vidrio, y se conservan todavía algunas obras correspondientes á esta época, como, por ejemplo, cinco vidrieras estrechas en la catedral de Augsburgo, y una en la capilla de San Sebastián, en Neuweiler (Alsacia), que reproducimos en la fig. 299, y representa á San Timoteo vestido de azul, con capa verde sobre un fondo rojo. Menos raras son las vidrieras pintadas correspondientes al siglo XII: hay cuatro en la catedral de Angers, del tiempo del obispo Ulger (1125

á 1149); en la abadía de Saint-Denis existen todavía algunas de las que hizo colocar el abate Suger por el año 1144, y sobre una de las cuales figura él mismo á los pies de la Vírgen; otras se conservan en la catedral de Chartres, y en el coro de la de Canterbury (Inglaterra) hay vidrieras del año 1180 parecidas á las de Saint-Denis, mientras que en Alemania, y especialmente en la catedral de Strasburgo y en varias iglesias de Heiligenkreuz, Buecken, Soeff, Colonia, etc., se conservan aún hermosas vidrieras, pintadas á fines del siglo XII y durante la primera mitad del XIII. Todas las obras citadas son de estilo románico, recordando sus adornos los dibujos de los tapices con que solían cubrirse antes las ventanas de las iglesias.

Durante el período gótico se desarrolló notablemente la pintura sobre vidrio: al siglo XIII corresponde la mayoría de las 146 hermosas vidrieras de la catedral de Chartres, así como muchas de las 183 que se admiran en la de Brujas, amén de los restos de aquella época que se conservan en las catedrales de Reims, Amiens, Beauvais, Noyon, Soissons, Châlons, Notre Dame en París, etc. En el Mediodía de Francia las vidrieras pintadas no tienen el mismo mérito artístico que en el Norte. En Inglaterra son hermosas las de las catedrales de Salisbury, Lincoln y York, mientras que en Alemania se conservan pocas vidrieras pertenecientes al siglo XIII, ó sea al estilo gótico puro. En las del XIV predominaron los motivos arquitectónicos; carácter nuevo que se observa en Francia en algunas ventanas de las catedrales de Beauvais y Evreux, pero especialmente en las de Limoges, Narbonne y Carcasonne; en Alemania son ejemplos de este género la vidriera colocada en 1320 en el coro de la catedral de Colonia, la mayoría de las que

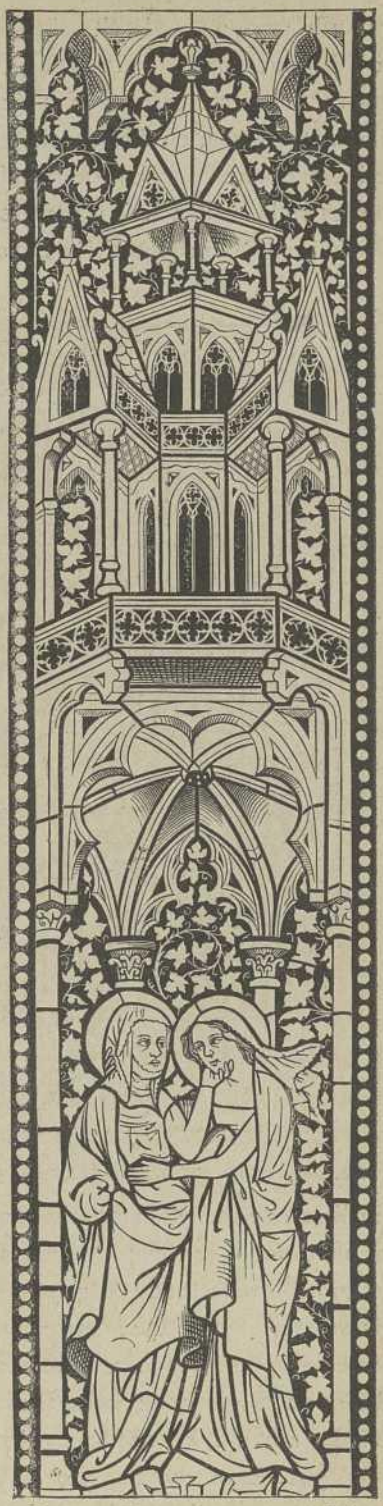


Fig. 300.—Vidriera pintada del siglo XIV, en Viktring (Carintia).

arman la nave de la de Strasburgo, y una muy característica que se conserva en Viktring, cerca de Klagenfurt, y que reproducimos en la fig. 300. Llamamos también en este lugar la atención de nuestros lectores sobre la hermosísima vidriera moderna, en dicho estilo gótico florido, ejecutada en el establecimiento de los hermanos Chance, de Birmingham, que reproducimos sin sus preciosos colores en la lámina XX, y representa episodios de la leyenda del famoso tirador de arco Robin Hood. En España la pintura sobre vidrio floreció más especialmente en el siglo XV y principios del XVI, y se conservan hermosas vidrieras en las catedrales de Toledo y León, siendo los principales vidrieros, en la primera de dichas ciudades, *Juan de Ortega*, los maestros *Dolfín*, y *Cristobal* y *Gonzalo de Córdoba*.

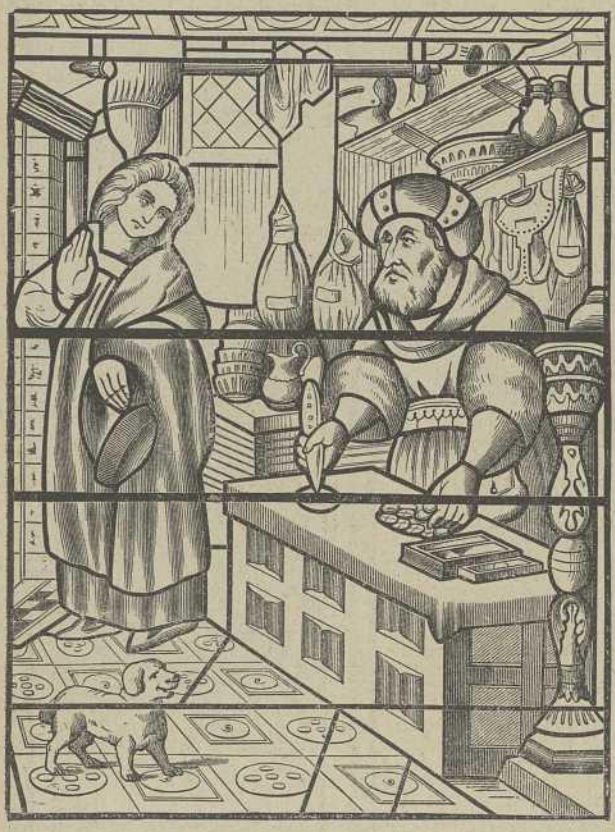
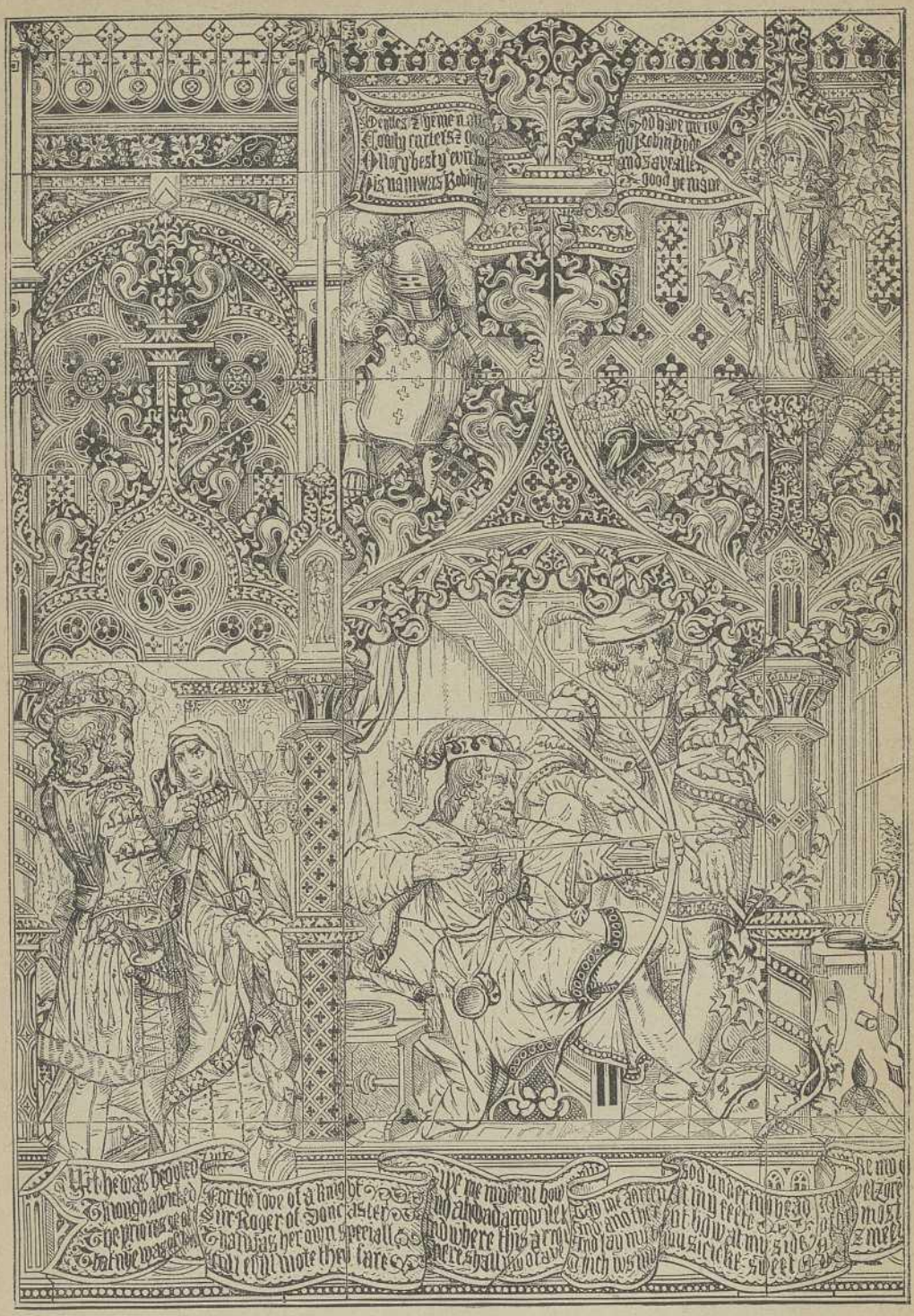


FIG. 301.—Vidriera pintada del siglo XV, en Chalons-sur-Marne (Francia).

También en los países europeos del Norte siguió el apogeo del arte de que tratamos durante el siglo XV, y mientras predominó en la arquitectura el estilo gótico, habiéndose perfeccionado entretanto los procedimientos y añadido otros varios colores susceptibles de ser fijados al fuego sobre el vidrio, al negro de óxido de cobre que mencionamos más arriba. Los pintores sobre vidrio constituían ya un gremio especial, y muchas de sus obras maestras se conservan todavía en las catedrales de Augsburgo, Metz, Lübeck, Salzburgo, Münster, Munich, Nurenberg, Berna, etc., correspondiendo también á esta época la hermosa vidriera representando á Francisco I de Francia y su esposa Leonor, que se admira en la iglesia de Santa Gudula, en Bruselas, y reproducimos en la lámina de color adjunta, así como la vidriera de Chalons-sur-Marne, que copiamos en la fig. 301. Al mismo tiempo, las vidrieras pintadas desempeñaron un papel importante en la decoración de los edificios de carácter profano, colocándose en



Vidriera de color, de la fábrica de Chance, en Birmingham (Inglaterra).



Vidriera pintada, de la iglesia de Sta. Gudula, en Bruselas.

(Francisco I y su esposa Leonor.)

las casas de Ayuntamiento de las ciudades, y en las casas, palacios y castillos de patricios y príncipes.

Pero el Renacimiento, tan fecundo como fué para la mayoría de las artes, contribuyó poderosamente en la de que tratamos, en unión con otras circunstancias, á una revolución equivalente á una verdadera decadencia. En efecto, el gótico tendía cada vez más á dar á sus iglesias el carácter de un esqueleto, ó sea un sistema de machones ó pilastras en el que descargaba todo el peso y se concentraban todas las funciones mecánicas, mientras que los muros propiamente dichos, hacían el papel de un cero á la izquierda. De llevar este modo de construir á su lógico extremo y desenvolvimiento artístico, había de resultar forzosamente la desaparición de todo muro ó pared que no se hiciera estrictamente necesario para los efectos precisos del edificio, y de hecho, y persiguiendo este ideal, se llegó á construcciones atrevidas, como las catedrales de Beauvais y de León, en las que todo quedó reducido al esqueleto de la armadura arquitectónica y á las ventanas. A medida que se manifestaba semejante tendencia, se hacían cada vez más indispensables las vidrieras pintadas, pues precisaba, no sólo mitigar la monotonía de ventanas tan numerosas y tan grandes, sino debilitar ó suavizar el exceso de luz que por ellas penetraba en el interior. Habían llegado, pues, las vidrieras pintadas á constituir una parte esencial del organismo de la arquitectura gótica, y es evidente que, al renacer la arquitectura clásica y recuperar los muros de las iglesias la preponderancia sobre las ventanas, vino á reducirse considerablemente la esfera legítima de la pintura sobre vidrio, teniendo ésta que ceder su puesto predominante á otras artes, que á su vez hallaron en los grandes lienzos de pared del nuevo estilo arquitectónico, ancho campo para ostentarse.

Por otra parte, los pintores habían aprendido á fijar al fuego, sobre una misma pieza de vidrio, colores muy diferentes uno al lado de otro; y mediante el empleo de vidrio incoloro, revestido con una delgada capa de vidrio coloreado, que con la rueda ó muela podía adelgazarse ó quitarse en parte, sabían producir efectos mucho más variados; de modo que podían ejecutar imágenes mucho más pequeñas y, sin embargo, de dibujo más complicado que otras veces, cuando la combinación de partes de diferentes colores sólo podía verificarse uniendo piezas de vidrio distintas por medio de tiras de plomo. Al mismo tiempo contribuyó también á limitar el empleo del plomo como medio de unión, y á reducir el número de piezas en una vidriera, el hecho de que los fabricantes de vidrio habían aprendido ya á producir piezas planas relativamente grandes. Mas con esta riqueza creciente de medios técnicos se iba perdiendo el estilo particular de la pintura sobre vidrio, que se funda esencialmente en el empleo de vidrios coloreados en toda su masa al tiempo de fundirse; y aunque se siguió produciendo muchas vidrieras pintadas, acaso más que antes, el arte degeneró, hasta cierto punto, en una imitación de la pintura al óleo.

Desde el siglo XV se había generalizado la costumbre de decorar, no sólo las iglesias, sino los demás edificios públicos, con vidrieras que representaban escudos de armas con gran lujo de adornos; y perfeccionándose los medios técnicos se desarrolló esta rama del arte de una manera extraordinaria, reduciéndose las dimensiones de sus productos, de modo que, con el tiempo, llegaron á pintarse semejantes escudos y otros asuntos sobre una sola pieza ó plancha de vidrio. Esta «pintura de gabinete», como se llama, floreció hasta el siglo XVII, especialmente en Suiza, y se conservan los nombres de gran número de artistas que á ella se dedicaron en Berna, Zurich, Schafthausen, Basilea, Nurenberg, Strasburgo, Viena, etc. Pero así como el Renacimiento redujo grandemente el campo de la pintura sobre vidrio, la Reforma religiosa en el Norte de Europa vino á sellar su decadencia completa, hasta el punto de que se olvidó la manera de preparar ciertos colores.

A fines del siglo pasado se hicieron esfuerzos para infundir nueva vida al arte de que hablamos, y los resultados más satisfactorios en este sentido se deben á la actividad y perseverancia de *Sigmund Frank*, de Nurenberg. Sus primeros trabajos dieron lugar á que se le llamara á Munich, colocándole en la real fábrica de porcelana el año 1818; aquí se encontró con todos los medios necesarios para proseguir sus ensayos, y no tardó Franck en producir vidrios superiores aun á los antiguos más perfectos. En 1826, el rey Luis de Baviera, tan amante de las bellas artes, fundó un gran establecimiento destinado á la pintura sobre vidrio, del cual salieron, durante los años sucesivos, muchas obras de notable hermosura, como las grandes vidrieras de la catedral de Regensburgo, las de la iglesia de Au, en Munich, otras catorce para la iglesia de Kilntown (Inglaterra), las destinadas á la de San Isaac, en San Petersburgo, y algunas muy notables para la catedral de Colonia, cuyos diseños se deben á diferentes pintores célebres. Otros establecimientos del género, fundados después por particulares, y en los que se ejecutan también obras de primer orden, son: el de Neuhauser, en Innsbruck (Tirol), del que salió la preciosa vidriera para la llamada iglesia votiva de Viena, que reproducimos en la fig. 302, y el de los hermanos Chance, en Birmingham (Inglaterra), de cuyas producciones citamos ya más arriba un ejemplo notable (véase lám. XXII).

En estos y otros establecimientos análogos de menor importancia, que se han fundado en otras partes, se practica, ora el arte antiguo, llamado pintura *musiva*, ó de mosaico, ora la pintura sobre vidrio en el sentido más genuino de la expresión.

En la pintura *musiva* se procede esencialmente con arreglo al procedimiento brevemente descrito por Teófilo en el siglo XII (véase pág. 669), empleando principalmente vidrios planos coloreados en toda su masa. En Munich se da la preferencia á los vidrios obtenidos por el procedimiento especial de Ainmüller, mientras que en Inglaterra se prefiere un vidrio bastante impuro, ampo-

lloso, de grueso desigual y de superficie más ó menos áspera, al que se ha dado el nombre de «vidrio de catedral», y que reproduce mejor los efectos especiales de los vidrios antiguos: semejante vidrio de catedral se fabrica también y



FIG. 302.—Vidriera pintada moderna, en la iglesia votiva de Viena; ejecutada por Neuhauser, de Insbruck.

emplea en Innsbruck. Sobre la base del cartón ó boceto de tamaño natural que primero se prepara, se van cortando con el diamante pedazos de vidrio más grandes ó más pequeños, y de diferentes colores, correspondiendo exactamente á las partes diversamente coloreadas del boceto. Preparado así el material, se procede á pintar sobre las diferentes piezas, con el negro de cobre y de

la manera que luego diremos, los detalles del dibujo—por ejemplo, en una pieza que ha de formar una cara, los ojos, la nariz, la boca, etc.,—y después se pintan las sombras. Cuando la pintura se ha fijado en la superficie del vidrio por medio del calor, como también explicaremos más adelante, las diferentes piezas se unen entre sí mediante tiras más ó menos finas de plomo que sujetan sus bordes por ambos lados, y representan, al acabarse la vidriera, las líneas principales del dibujo. En la fig. 301, por ejemplo, las líneas negras y relativamente gruesas que contornean las dos figuras y los diferentes objetos, representan dichas tiras de plomo, y en este caso casi pueden contarse las diferentes piezas de vidrio que componen la vidriera. Las líneas gruesas, horizontales, que atraviesan el conjunto, representan las barras de hierro que, fijas por sus extremos en los muros laterales, sirven para sostener la vidriera: las uniones de plomo no dan á semejantes obras, cuando sus dimensiones pasan de ciertos límites, la solidez suficiente, y de aquí la necesidad de aquellas barras; pero en muchos casos su presencia se disimula mucho mejor que en el que nos sirve de ejemplo. Y ya que hablamos de estos detalles de la colocación de vidrieras pintadas, añadiremos que el enrejado ó la tela metálica con que se protegen al exterior contra pedriscos y pedradas casuales, etc., nunca se ve desde el interior del edificio; porque, aparte de la pintura, que contribuye á la opacidad de muchas partes de la vidriera, los vidrios empleados nunca son por completo transparentes.

En la descripción que precede, de la manera de formar una vidriera musiva, nos hemos atenido á lo esencial, haciendo caso omiso de muchos procedimientos secundarios y mañas, digámoslo así, de que se valen los pintores para producir determinados efectos. En ciertos casos se emplean otros colores, además del negro de cobre referido; en otros se toman vidrios coloreados sólo superficialmente, quitando, por medio de la muela, la capa coloreada en determinados puntos para dejar el vidrio incoloro; y también se logran diferentes graduaciones de los colores escogiendo vidrios de grueso desigual, y, por lo tanto, más oscuros en un punto que en otro. Con estos y parecidos medios los artistas más experimentados saben prestar á sus obras un carácter de antigüedad tan original, que á veces, y después de colocadas, es muy difícil decidir si son en realidad modernas ó antiguas, sobre todo cuando en ellas se ha empleado el vidrio dicho de catedral.

En la pintura sobre vidrio, propiamente dicha, se emplean vidrios incoloros, ó que están sólo coloreados superficialmente, y se pinta con pigmentos ó colores metálicos, como los que se emplean en la pintura sobre porcelana, salvo que se preparan de modo que resulten transparentes. Semejantes óxidos metálicos en forma de polvo se mezclan íntimamente con un vidrio muy fusible, también finamente pulverizado, y la mezcla se diluye con aceite de alhucema. La pieza de vidrio que se trata de pintar se coloca sobre un caballete, con el reverso

vuelto hacia una ventana; de modo que el artista pinta al trasluz y puede juzgar durante la operación del efecto que quiere producir. La fijación de los colores sobre el vidrio se verifica en una mufla de arcilla refractaria ó de hierro, fija en el horno correspondiente, y en la cual se introducen los vidrios pintados, colocándolos de plano sobre planchas de arcilla cocida, á fin de que no resulten alabeados. La temperatura se eleva gradualmente hasta que, fundiéndose el vidrio que forma parte de la pintura, se incorpora ésta á la superficie reblandecida del vidrio que le sirve de base, fijándose firmemente en la misma. Terminada la operación, según se ve por las pequeñas piezas de prueba que se sacan de la mufla de vez en cuando, se apaga el fuego y se deja enfriar lentamente la mufla con su contenido, lo que dura, por lo general, varios días. Tratándose de vidrieras musivas cuyas piezas sólo suelen pintarse en negro, como dijimos más arriba, basta una sola cochura; pero cuando los efectos artísticos de la obra dependen principalmente de la pintura misma, ó sea del empleo de diferentes colores aplicados con el pincel á la superficie del vidrio, es preciso, en la mayoría de los casos, volver á pintar con los mismos ó con otros colores los vidrios ya cocidos ó quemados, ora para modificar los matices ya obtenidos, ora para producir otros nuevos.

Para terminar estas consideraciones sobre vidrios pintados, mencionaremos un procedimiento que hubo de llamar la atención del público en la Exposición londonense de 1862, y más especialmente en la segunda de París, en vista de su baratura y la relativa belleza de sus productos. Se inventó por un tal *Oidtmann*, y consiste esencialmente en estampar dibujos geométricos y otros análogos, como los de los papeles pintados, en la superficie de planchas de vidrio; operación que se verifica con gran rapidez, exactitud y limpieza por medio de una prensa.

VIDRIO DE AGUA

Esta materia, de que hablamos incidentalmente en otra parte del presente capítulo, no es tan nueva como muchos suponen, pues el célebre naturalista del siglo XV, Basilio Valentino, la conocía, y no sólo dejó escrito cómo la preparaba, sino que indicó que podría emplearse «para petrificar la madera ó los ladrillos». El silicato alcalino que se obtiene según la receta de Basilio, se distingue por una proporción de sílice muy inferior á la que contiene el vidrio común; pero no es, en rigor, la misma combinación que llamamos hoy «vidrio de agua», y preparó primero el ingeniero *Fuchs*, de Munich, en 1818, dando á conocer al público, en 1825, sus interesantes é importantes propiedades. Su fabricación se desarrolló primero en Austria y luego en Francia (Lille), y desde entonces se ha generalizado su empleo, ora para preservar los muros de los edi-

ficios, ó sean los ladrillos y piedras de construcción, contra las influencias atmosféricas, ora para hacer más refractarias al fuego materias tan inflamables como la madera, los papeles pintados, las decoraciones de teatros, etc., ora para fijar y preservar las pinturas murales, ora en sustitución del yeso para formar vendas quirúrgicas rígidas en torno de dislocaciones ó miembros fracturados, amén de otros usos menos importantes.

El vidrio de agua se puede preparar enteramente de la misma manera que el vidrio común, es decir, por fusión de sus componentes; pero como en aquél se hallan los álcalis en cantidad tan preponderante, se puede obtener con facilidad disolviendo en lejías alcalinas la sílice amorfa, tal como suele presentarse en gran cantidad en las tierras de diatomáceas, comúnmente dichas de infusorios. La composición de los vidrios de agua que se fabrican en diferentes partes, varía bastante; pero se obtiene un producto potásico excelente por la vía seca, fundiendo 15 partes de cuarzo pulverizado, 10 de carbonato de potasa y una de carbón vegetal; mientras que 18 partes de cuarzo, ocho de carbonato de sosa calcinada y una de carbón vegetal dan un buen vidrio de agua sódico. El llamado «vidrio de agua doble» contiene silicato potásico y silicato de sosa.

En estado sólido, el vidrio de agua es una sustancia transparente, de color verdoso ó amarillento, quebradiza y de fractura concoidea; se disuelve fácilmente en agua templada, y como se emplea en forma disuelta, se entrega por lo general así al comercio, distinguiéndose diferentes clases, según su contenido en silicato. Extendido el líquido como pintura sobre diferentes materias, el agua se evapora y queda una delgada capa vítrea, susceptible de preservar las piedras de construcción contra las influencias atmosféricas, y privar á otras sustancias inflamables de esta propiedad, en el mero hecho de cortar el paso al oxígeno del aire. De aquí el empleo del vidrio de agua para pintar las decoraciones de teatro y hasta las ligeras prendas de las bailarinas; pues protegidos semejantes objetos con el baño de vidrio, no se encienden tan fácilmente, y si llegaran á encenderse, se consumirían con lentitud, como la yesca, sin producir llama alguna.

Como la capa ó revestimiento de que hablamos es completamente transparente, y gracias á su brillo es susceptible de prestar relieve á los colores que se hallan debajo, el vidrio de agua es un medio muy apreciado para ciertas obras decorativas; su aplicación á la pintura mural al fresco resulta en alto grado ventajosa, pues al combinarse químicamente el silicato en cuestión con la masa de la pared, presta á los colores con que ésta se halla pintada, y que para el caso deben ser minerales, no sólo un hermoso brillo, sino también una duración extraordinaria; de modo que el nombre de *estereocromía* dado á este género de pintura está muy en su lugar, puesto que la voz griega *stereos* significa «duro», «firme». La pared que se trata de pintar recibe primero un tendido, que se blanquea seguidamente con blanco de cinc ó sulfato de barita, aplicando entonces

los colores sobre esta base fresca en forma de polvo; el vidrio de agua se extiende sobre la pintura acabada, no con un pincel, sino en forma de lluvia finísima, que se produce mediante un aparato de pulverizar líquidos, y hay que repetir esta operación hasta que, después de que se ha secado la obra, resulta un revestimiento vítreo uniforme. De esta manera están ejecutadas, por ejemplo, las grandiosas pinturas murales con que el célebre pintor Kaulbach decoró la escalera principal del Museo de Pinturas de Berlín.



LAS INDUSTRIAS DEL AZUFRE

El azufre: su importancia y su presencia en la Naturaleza.— Su beneficio, afino y aplicaciones.— Combinaciones del azufre con oxígeno: ácidos sulfuroso, subsulfuroso y sulfúrico.— Fabricación del ácido sulfúrico y sus aplicaciones —El hidrógeno sulfurado, el sulfuro de carbono y el cloruro de azufre.

El azufre es un elemento de suma importancia y utilidad, no sólo por las muchas aplicaciones ordinarias de que es susceptible, sino principalmente por el papel que desempeña en la grandes industrias. Sin azufre no habría ácido sulfúrico, y sin éste no nos sería posible obtener los ácidos clorhídrico y nítrico, el hipoclorito de calcio, comúnmente llamado cloruro de cal, y el carbonato de sosa, en condiciones tan económicas y ventajosas; y sin la producción en grande de la sosa no tendríamos ni vidrio ni jabón en la medida de nuestras necesidades más imprescindibles, faltando, por lo tanto, las diferentes industrias que dependen de semejantes productos. Sin azufre la humanidad hubiera carecido, durante mucho tiempo, de la materia explosiva que llamamos pólvora, si bien no por semejante falta hubiera gozado de paz completa. Una vez fué el azufre motivo de medidas belicosas por parte de Inglaterra; pues cuando, en 1815, el Gobierno napolitano impuso un derecho de exportación al

azufre siciliano, los ingleses, viendo seriamente amenazados los intereses de sus fabricantes de ácido sulfúrico, carbonato sódico, etc., enviaron seguidamente a las aguas de Nápoles varios buques de guerra, que impusieron la derogación de la medida.

El azufre es uno de los pocos elementos que se presentan en la Naturaleza en estado nativo, es decir, puro, sin estar combinado con otras materias; y á la circunstancia de que se encuentre á veces en hermosos cristales puede atribuirse el hecho de que el azufre se conociera y empleara ya en tiempos muy remotos. Los sitios donde se presenta el azufre nativo se hallan general, aunque no exclusivamente, en regiones volcánicas, y todavía hoy las fuerzas volcánicas siguen elevando azufre desde las entrañas de la tierra hasta la superficie: una buena parte de los gases que emiten continuamente los cráteres y *solfataras* de aquellas regiones, consiste en una combinación del azufre con hidrógeno, ó sea el gas llamado hidrógeno sulfurado; al ponerse éste en contacto con el aire se oxida en parte, convirtiéndose en ácido sulfuroso, y la reacción consiguiente entre éste y el hidrógeno sulfurado, que sigue subiendo, da lugar á la formación de agua y azufre, depositándose éste sobre las partes de roca más frías en forma de costras y cristalitos. En varios volcanes mejicanos esta formación continua de azufre es tan abundante, que cubre las necesidades del país; y en California se han encontrado depósitos de azufre nativo tan ricos, que se cree que podrán, durante mucho tiempo, hacer frente al consumo de la América entera.

En Europa se encuentran también, y se explotan hace mucho tiempo, depósitos de edad geológica más antigua que los americanos, en los cuales el azufre nativo se halla rellenando huecos y hendeduras en terrenos yesosos, ó alternando con capas de caliza ó marga é impregnando las mismas, presentándose, por lo tanto, más ó menos mezclado ó impuro. La región donde más abundan semejantes depósitos es la isla de Sicilia, que constituye todavía la fuente principal de azufre nativo en nuestro continente; allí se explotan, en mayor ó menor escala, 329 minas, principalmente en las provincias de Girgenti y Caltanisetta, que dan ocupación á unos 14.000 hombres, elevándose la producción de azufre en 1880 á la respetable cantidad de 312.862 toneladas métricas. En Italia misma, especialmente en la Romanía y alrededor de Nápoles, se explotan también criaderos de azufre nativo, del que se extrajeron en dicho año 133.056 toneladas. No escasea tampoco el azufre nativo en nuestro país; pues aparte del célebre criadero de Conil (Cádiz), que ya no se explota, se benefician depósitos relativamente ricos en la provincia de Almería (Balsas de Gádor), de donde se extrajeron 4.100 toneladas de azufre en 1866; en Lorca, cuya producción se elevó en dicho año á 3.744 toneladas; en Hellín (Albacete), cuyas minas dieron 1.000, y en Libros (Teruel), donde se sacaron 195. Aparte de las regiones citadas, el azufre nativo se encuentra y explota en alguna cantidad en Galitzia, Croacia y Polonia; pero son insignificantes sus criaderos en Alemania. En cambio Islandia encierra

grandes riquezas de dicho elemento, que actualmente no se aprovechan, pero que se beneficiarán tal vez en los siglos venideros; la región de Túnez, en la costa septentrional de Africa, tiene asimismo importantes depósitos de azufre sin explotar, y recientemente se ha formado una Sociedad para beneficiar el azufre que abunda en los terrenos yesosos de la costa occidental del mar Rojo, en territorio egipcio y nubio.

Mas si, como se deduce de lo que antecede, nuestro globo no carece de azufre en estado nativo, es infinitamente más considerable, por lo visto, la cantidad que encierra de dicho elemento combinado con metales, en forma de sulfuros, de los que el más abundante es el sulfuro ó la pirita de hierro, que acompaña en muchas partes, y en cantidades enormes, á la pirita de cobre. Semejantes minerales constituyen hoy la fuente principal del azufre que se consume en las industrias, pues de ellos se extrae, por calcinación, siete octavas partes de la producción total, proporcionando los depósitos antes referidos tan sólo una octava parte de la misma. Otros sulfuros análogos á las piritas propiamente dichas son: la chalcosina, ó cobre brillante, la galena, ó sulfuro de plomo, la blenda, ó sulfuro de cinc, etc. Además, el azufre se presenta en el reino mineral combinado con oxígeno en forma de ácido sulfúrico, no en estado libre, sino en combinación con bases, esto es, en forma de sulfatos: tales son, por ejemplo, el yeso y la anhidrita, compuestos ambos de sulfato de cal; la celestina, que es sulfato de estronciana, la barita ó espato pesado, etc.; y casi todas las aguas contienen, en disolución, cantidades mayores ó menores de sulfatos.



FIG. 303.—Asafétida.

Pero el azufre no existe solamente en la Naturaleza como mineral inerte, sino que desempeña un papel importante en la vida orgánica. Muchas plantas deben el carácter principal de su olor y su sabor á su contenido en combinaciones sulfurosas orgánicas, como, por ejemplo, el puerro y la cebolla, la asafétida (figura 303), de olor tan nauseabundo, la mostaza, etc.; y el albumen de todas las semillas, la materia fundamental de toda vida orgánica, contiene cierta cantidad de azufre procedente del suelo: los sulfatos solubles en agua se descomponen en las células vegetales, entrando su azufre á formar parte de las sustancias albuminosas ó protéinicas. Mediante los alimentos vegetales, el azufre pasa al organismo animal, incluso el del hombre, formando también en éste un componente del albumen, tal como se encuentra en los huevos y la sangre; las fibras de los músculos ó de la carne, así como todos los tejidos animales, el pelo, las uñas, etc., también contienen azufre, cuyo elemento abunda más especialmente en la bilis;

y se calcula que el cuerpo de un hombre adulto encierra unos cien gramos de azufre. Nuestros lectores sabrán que el mal olor de los huevos podridos se debe al gas hidrógeno sulfurado que desprenden, y el hecho de que una cuchara de plata se vuelve negra por su contacto prolongado con huevos cocidos, reconoce por causa la formación de sulfuro de plata.

BENEFICIO DE LAS MENAS DE AZUFRE

Tratándose de los depósitos de azufre nativo, el beneficio es de los más sencillos. En Sicilia se excavan las capas calizas y margosas sulfurosas, que alternan con las de yeso y se hallan generalmente á una profundidad de 40 á 50 metros bajo la superficie, comunicando los subterráneos con ésta mediante pozos inclinados; donde la minería se halla más atrasada, estos pozos están labrados en trancos ó gradas, y la mena se extrae á hombros de muchachos de doce á dieciséis años; pero en muchos casos la extracción tiene lugar por medio de máquinas de vapor y planos inclinados. El contenido de la mena en azufre varía entre 20 y 30 por 100; los trozos más ricos se separan á mano de los más pobres y se funden en calderas de hierro, evitando un calor demasiado grande, pues si la temperatura se eleva á más de 160 grados, disminuye notablemente la fluidez del azufre fundido y no se separan bien de él sus impurezas térreas. Después de mantener el contenido de la caldera durante algún tiempo á la temperatura conveniente, la mayor parte de dichas impurezas resultan depositadas sobre el fondo, y entonces el azufre bruto que constituye el líquido se traslada con cazos á moldes de madera mojados con agua.

Los residuos de la operación referida, que siempre contienen más ó menos azufre, así como las partes pobres de la mena separadas anteriormente, y que no se tornarían fluidas en la caldera, se someten á una destilación que tiene por objeto expulsar el azufre en forma de vapor. El aparato generalmente empleado se halla representado en sección vertical en la fig. 304: es un horno á modo de galería embovedada, con la chimenea en un extremo, en el cual están colocadas en dos series paralelas, de 12 á 16 vasijas de arcilla cocida, á manera de grandes cántaros (*BB*), cuyas bocas asoman en la parte superior de la bóveda, y que se llenan con el mineral en cuestión, tapándolas después herméticamente; dichas vasijas se hallan en comunicación con otras enteramente iguales, *AA*, situadas al exterior del horno en ambos lados, por medio de tubos de arcilla *cc*, que atraviesan las paredes. Cargadas las vasijas *BB*, los espacios intermedios se llenan de leña, á la que se prende fuego, y á medida que se eleva la temperatura, el azufre se volatiliza, pasando los vapores á las vasijas exteriores, en las que se condensan, saliendo el azufre líquido por una abertura en su base, debajo de la que se colocan cubos de madera para recibir el producto.

En lugar del aparato descrito, muchos mineros se valen, para el beneficio de las menas pobres, de los llamados *calcarones*, en los que el mineral se somete á una licuación, produciéndose el calor necesario mediante la quema de parte del azufre. El calcarón está constituído sobre un declive del terreno por un muro circular de unos 18 metros de diámetro, que tiene siete metros próximamente de altura en su parte inferior y la mitad menos en la superior. En el punto más bajo de este cerco se forma una rejilla con barras de hierro, ó simplemente con grandes trozos de la mena misma, y contra ésta y sobre el terreno se amontona el mineral, reservando conductos á manera de chimeneas ó respiraderos; el montón, que puede contener hasta mil metros cúbicos de mena, se levanta en forma de pirámide sobre el nivel del muro, y se cubre con una capa de escorias procedentes de operaciones anteriores. La carga se enciende en la pequeña parte su perior ó posterior del cerco; como es poco el aire que encuentra paso, se quema sólo una parte del azufre, mientras que el calor desarrollado opera la licuación ó fusión de la parte restante. Según las dimensiones del montón, esta operación dura de veinte días á dos meses; y aunque, á juzgar por las muchas imágenes de santos que se ven en el muro, semejante calcarón se halla bajo una protección sobrehumana, no dejan aquellas gentes supersticiosas de vigilarlo día y noche. De cuando en cuando rompen una piquera que se encuentra al pie del muro en el punto más bajo, y dan salida al azufre fundido, que se recibe en una artesa de madera mojada con agua. Como es consiguiente, se pierde mucho azufre (hasta el 30 por 100) en los calcarones, y además no es beneficioso el ácido sulfuroso que de ellos se desprende; pero en muchos puntos se siguen empleando con preferencia á los hornos, en vista de la carencia ó el elevado precio del combustible. En España, especialmente en las minas de Balsas de Gádor y Lorca, se emplean también los calcarones para el beneficio del mineral pobre; pero parece que, en vista de las grandes pérdidas que ocasionan, se está ensayando un horno cerrado, invención del ingeniero D. Joaquín Clavé, en que el mineral se liquida por una corriente de los productos gasiformes calientes de la combustión del cok.

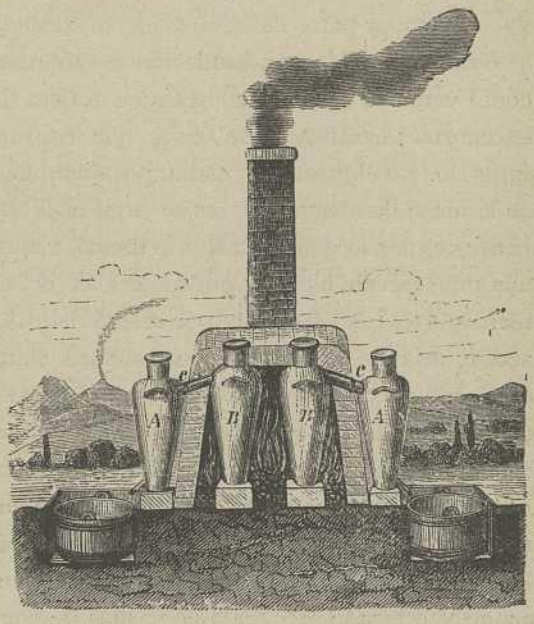


FIG. 304.
Horno de destilación para menas pobres de azufre nativo.

En Swoszowice, cerca de Cracovia, se ha adoptado hace diez ó doce años un nuevo é interesante procedimiento de beneficio del azufre nativo, que allí se presenta también en las margas. Éstas se tratan con sulfuro de carbono, en cuyo líquido el azufre se disuelve fácilmente, separándose luego de él por destilación. De esta manera se obtiene todo el azufre contenido en la mena, consumiendo una cantidad insignificante de combustible y perdiéndose menos de medio por ciento de sulfuro de carbono.

El beneficio de las menas de azufre nativo por los modos referidos produce la mayor parte del azufre que se consume como tal; pero alguna cantidad se obtiene también por destilación ó sublimación de piritas, que por otro lado, como veremos después, constituyen el material principal para la producción de las enormes cantidades de azufre que consume la industria en forma de ácido sulfúrico. En Bohemia y Silesia, por ejemplo, se extrae el azufre principalmente de la pirita de hierro; á veces se emplea la de cobre, pero el azufre resultante contiene, por lo general, algún arsénico. La pirita férrica es una combinación de una molécula de hierro y dos moléculas de azufre, con 46,67 por 100 del primero y 53,33 del segundo; por medio del calor se puede expulsar la mitad del azufre, dejando como residuo un sulfuro simple de hierro; pero para conseguir esto sería preciso elevar la temperatura hasta la fusión de la masa, lo que dificultaría demasiado el vaciado del aparato; razón por la cual sólo se calienta el mineral hasta que empieza á aglomerarse, contentándose con obtener una tercera parte, próximamente, de su contenido en azufre. La operación se verifica en retortas de arcilla refractaria, parecidas á las que se emplean en la fabricación del gas del alumbrado, y están colocadas en un horno, una al lado de otra; el azufre vaporizado se liquida en vasijas de condensación, que comunican con el extremo posterior de las retortas, y los residuos, consistentes en sulfuro simple de hierro, se emplean, como veremos más adelante, en la producción de sulfato férrico ó caparrosa verde. A pesar de obtener de este modo un producto secundario de cierto valor, la extracción de azufre de la pirita sólo tiene cuenta bajo las circunstancias más favorables, y sobre todo cuando el combustible es muy barato.

Otro material que, de unos veinte años á esta parte, se viene utilizando para obtener azufre, lo constituyen los residuos que resultan de la fabricación del carbonato de sosa por el procedimiento de Leblanc; residuos que contienen, en forma de sulfuro de calcio, casi todo el azufre procedente del ácido sulfúrico empleado para convertir la sal común en sulfato sódico. Es verdad que semejante medio de producir azufre ha perdido algo de su importancia desde la adopción, por muchos fabricantes de dicho carbonato, del procedimiento llamado «al amoniaco» ó de Solvay, en sustitución del de Leblanc; pero donde éste sigue practicándose, especialmente en Inglaterra y Francia, en las que tan enormes cantidades de ácido sulfúrico se gastan anualmente en dicha industria, ofrece natu-

ralmente el mayor interés el medio de aprovechar residuos que representan cerca del 60 por 100 del peso del carbonato de sosa producido, y que antes se acumulaban en torno de las fábricas, por no poderse utilizar económicamente.

Entre los diferentes procedimientos ideados por los químicos para extraer el azufre de dichos residuos, los de *Schaffner*, de *Mond* y de *Schaffner y Helbig* han dado los mejores resultados prácticos, siendo los que más generalmente se han adoptado. La descripción detallada de estos tres procedimientos y de las reacciones químicas á que obedecen, nos llevaría demasiado lejos; pero referiremos en concreto lo esencial de cada uno.

Los residuos de la fabricación del carbonato de sosa consisten, como ya dijimos en otro capítulo de este tomo, en sulfuro de calcio, cal viva y carbonato cálcico. Con arreglo al procedimiento de Schaffner, se someten repetidas veces, en cajones provistos de un fondo doble de rejilla, á la oxidación y la lixiviación; la oxidación se verifica á expensas del oxígeno del aire, pero se promueve introduciendo en los cajones por su fondo los gases calientes procedentes del hogar de algún horno, y, en último resultado, la masa se halla convertida en polisulfidos de calcio é hiposulfito del mismo; en la lixiviación de estos productos se emplea ácido clorhídrico, que opera la separación del azufre, si bien parte de éste se desprende en forma de ácido sulfuroso é hidrógeno sulfurado, cuyos gases se conducen en una nueva porción de lejía. El procedimiento de Mond sólo se diferencia del anterior en la manera de emplear el ácido clorhídrico, que impide el desprendimiento (aunque no la formación) del ácido sulfuroso y el hidrógeno sulfurado. Mientras que según el procedimiento original de Schaffner sólo se obtenía parte del azufre contenido en los residuos en cuestión, por el que ideó en unión con Helbig y que se introdujo en la práctica en 1878, se aprovecha, no sólo todo el azufre, sino también el carbonato de cal. Este nuevo procedimiento se funda en la descomposición del sulfuro de calcio producida por clorido de magnesio, de la que resultan clorido de calcio, óxido de magnesio é hidrógeno sulfurado; de este gas se separa entonces el azufre por medio de ácido sulfuroso, que se obtiene al efecto por calcinación de piritas. El azufre obtenido por uno y otro de dichos procedimientos se funde, se vierte en moldes y se entrega al comercio con el nombre de *azufre regenerado*, sin que sea necesario someterlo á refinación.

En cambio, todo el azufre que se obtiene directamente de los minerales según los procedimientos anteriormente descritos, tiene que refinarse en vista de muchos de los usos á que se destina; operación que se reduce á la llamada *sublimación*, que, dicho sea de paso, sólo se diferencia de la destilación en cuanto la materia volatilizada se condensa en estado sólido y no en líquido. El refino del azufre siciliano constituye una rama especial de la industria, que se ha desarrollado en diferentes puertos del Mediterráneo, en especial en los alrededores de Marsella. El aparato que se emplea al efecto está representado en sección

vertical en la figura 305, y consiste, en lo esencial, en dos cilindros horizontales de hierro, *C* (de los que sólo se ve uno en el grabado), colocados paralelamente en un horno, y que comunican por su parte posterior con una cámara de mampostería, *A*, bastante espaciosa. Al comenzar una campaña, las retortas cilíndri-

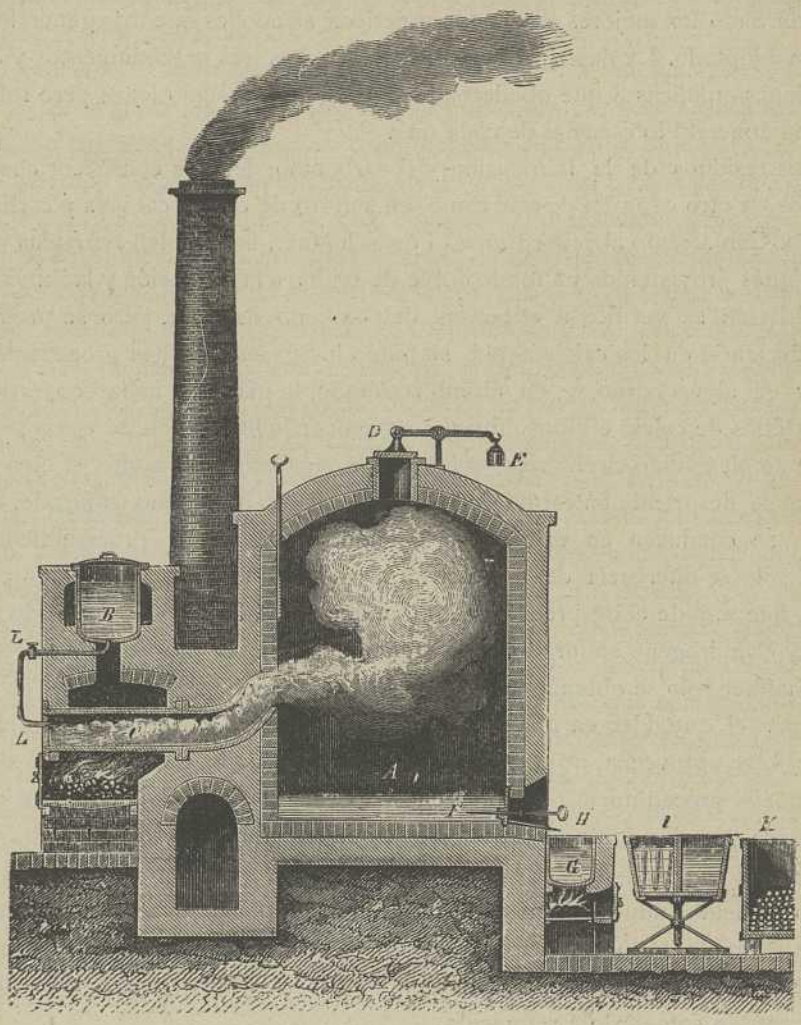


FIG. 305.—Horno para el refino del azufre.

cas se llenan de azufre bruto, del que cabe en cada una de 200 á 300 kilogramos; se enciende fuego en el hogar y una vez fundido, el azufre empieza á sublimarse, pasando en forma de gas á la cámara *A*, donde se condensa y deposita sobre las paredes y el fondo cual nieve amarilla, que constituye la llamada «flor de azufre» del comercio. Las impurezas que no sean susceptibles de volatilizarse, y que representan generalmente del uno al tres por ciento del azufre bruto, quedan en las retortas; pero como sólo precisa sacarlas de tarde en tarde, y como

por otra parte la operación de cargar repetidamente las retortas con azufre bruto sería molesta y daría lugar á cierta pérdida de tiempo y combustible y á que penetrase aire en la cámara de condensación, se encuentra en la parte superior del horno una caldera, *B*, que se calienta por los gases procedentes del hogar, se tiene siempre llena de azufre fundido, y se halla en comunicación con las retortas *C* por medio de tubos, *L L;* de este modo basta abrir un grifo en estos últimos para que el azufre fundido pase desde la caldera á las retortas, en las que se sublima.

La formación de la flor de azufre tiene siempre lugar al principio de la campaña; pero poco á poco las paredes de la cámara de condensación se van calentando, y cuando su temperatura llega á los 110 grados (punto de fusión del azufre), la «flor» se funde, y desde este momento en adelante no se obtiene más que azufre fundido, que se acumula en el fondo de la cámara *F*. De cuando en cuando se le da salida por el orificio *H*, recibiéndolo en la caldera *G*, que se tiene caliente; y desde ésta se va vertiendo con un cazo en pequeños moldes de madera, ligeramente cónicos, *I*, colocados en un depósito de agua, obteniendo así el azufre en barritas (*K*), tal como se vende generalmente al por menor. Si se quiere producir únicamente la flor de azufre, hay que procurar que la temperatura de la cámara *A* quede siempre más baja que el punto de fusión del azufre; por ejemplo, suspendiendo la sublimación durante la noche, ó bien, si se quiere llevar una marcha continua, es preciso emplear una cámara de dimensiones mucho más considerables. Sólo nos resta advertir, con referencia á nuestro grabado, que al principio de la sublimación, y al penetrar en la cámara el azufre gasiforme, arde éste á costa del oxígeno del aire contenido en ella, el cual se dilata tanto en virtud del calor desarrollado, que peligrarían las paredes de la construcción si la bóveda no estuviera provista de una válvula, *D*, que se abre un momento para dar paso al aire, cerrándose luego automáticamente. El ácido sulfuroso producido por la combustión del azufre, y que llena la cámara, queda absorbido después por la flor de azufre que se forma. Para sacar este producto, se halla la cámara provista de una puerta que no se ve en el grabado, y que durante la operación se mantiene herméticamente cerrada.

El azufre bruto, procedente de la destilación de piritas, contiene con frecuencia cierta cantidad de arsénico, y en tal caso necesita de una refinación más radical, la que sólo puede verificarse por medio de la sublimación; pero los vapores sulfurosos se hacen pasar primero por una galería relativamente larga, cuya temperatura es bastante elevada para que el azufre no se condense, y al mismo tiempo bastante baja para que los vapores del sulfuro de arsénico tengan lugar de convertirse en una masa sólida, vítrea, de color amarillo, que constituye el *oropimente* del comercio, y no hay que confundir con el rejalgar artificial, que es un sulfuro arsenical rojo, de composición distinta.

APLICACIONES DEL AZUFRE

Son bien conocidas de nuestros lectores algunas de las aplicaciones del azufre, como, por ejemplo, en la fabricación de la pólvora, la pirotecnia y el moldeado de diversos objetos, para lo cual es una de las materias más á propósito. De su utilidad como betún ó cemento para unir ó pegar unas cosas con otras, se ha hecho recientemente una aplicación interesante; se mezcla con azufre fundido polvo muy fino de cuarzo ó de vidrio, y se moldea la masa en forma de grandes planchas, que resultan bastante duras; y como el azufre es insensible, digámoslo así, á gran número de influencias químicas, se emplean con ventaja para formar depósitos ó revestir cámaras y locales destinados á contener sustancias ácidas ó corrosivas, ó en los que se desprenden vapores de igual naturaleza, en sustitución de los ladrillos, losas de arenisca, planchas de plomo, etc., que se venían haciendo uso al efecto. La aplicación tan importante del azufre para «vulcanizar» el cautchuc será objeto de las consideraciones debidas en el tomo V de esta obra; y más adelante, en el tomo presente, nos ocuparemos del azufre como componente de hermosos pigmentos ó materias colorantes, como el cinabrio, el amarillo de cadmio y el ultramarino artificial.

En medicina se emplea el elemento de que tratamos en forma de «flor» y «leche de azufre», ó sea, el *lac sulfuris præcipitatum* de la farmacopea, la que á pesar de su blancura. no es más que azufre en estado de división sumamente fina, obtenida, no por medios mecánicos, sino por precipitación, mediante la descomposición por un ácido de ciertas combinaciones del elemento con los álcalis y la cal, ó sean los sulfuros hepáticos. La flor de azufre presta también señalados servicios al viticultor, por cuanto constituye, al parecer, el único remedio eficaz contra la enfermedad tan temible de la vid, comúnmente llamada *oidio;* pero la mayoría de los que la emplean en los viñedos ignoran que no es el azufre mismo el agente destructor del hongo causante de la enfermedad, sino el ácido sulfuroso que, como dijimos más arriba, se forma en la cámara de condensación del horno de refino y es absorbido por la flor de azufre; este hecho se ha demostrado de la manera más evidente, pues cuando, á falta de flor de azufre, se ha empleado el azufre refinado en barras, finamente pulverizado (el cual no contiene dicho ácido) para combatir el oidio, el efecto ha sido nulo. El azufre se emplea además en la preparación del sulfuro de carbono, del cloruro de azufre, las sales del ácido subsulfuroso, y también en la fabricación de los ácidos sulfuroso y sulfúrico.

AZUFRE Y OXÍGENO

ACIDO SULFUROSO Y SULFÚRICO, Y SU FABRICACIÓN.

El azufre se caracteriza por su gran afinidad con otros elementos, equiparándose casi, en este respecto, con el oxígeno; de aquí, en parte, su inmensa importancia para la industria, pues algunas de sus combinaciones pueden considerarse, ni más ni menos, como factores indispensables para el estado actual de la civilización. Tal sucede, ante todo, con el ácido sulfúrico, que, como ya saben nuestros lectores, se compone de azufre y oxígeno, siendo una de las nueve combinaciones distintas de dichos dos elementos entre sí, todas las cuales tienen la naturaleza de ácidos. Sin embargo, sólo dos de estos compuestos se conocen y emplean hace tiempo, es á saber, el *ácido sulfuroso* y el *ácido sulfúrico*, mientras que en tiempos recientes ha adquirido cierta importancia el *ácido subsulfuroso* ó *ditiónico*, en vista de la aplicación de su sal sódica á la fotografía y á algunos ramos de la industria.

Acido sulfuroso.—Este compuesto, que en la nueva nomenclatura química recibe el nombre de *dióxido de azufre*, es uno de los preparados químicos más fáciles de producir, pues basta encender un pedazo de azufre para que se desprenda en su estado natural de gas, hecho que se nota en seguida por el olor que le es propio. De la combustión de azufre en los volcanes resultan enormes cantidades de ácido sulfuroso, y no poco se produce en los establecimientos metalúrgicos donde se benefician sulfuros de plomo, cobre, cinc, etc. Hemos hablado en otra parte de este tomo (véanse páginas 241 á 245) de los perjuicios que ocasionan semejantes humos ácidos, é indicado los medios de que pueden valerse los fabricantes para su neutralización y condensación, siendo hasta hoy el más eficaz, aunque no practicable en todos los casos, el que consiste en aprovechar el ácido sulfuroso para la fabricación del ácido sulfúrico de la manera que explicaremos más adelante.

Pero para los fines industriales se produce el ácido sulfuroso en grande escala, bien por la combustión de azufre, bien por la descomposición del ácido sulfúrico, mediante sustancias que se asimilan el oxígeno sobrante de éste, como azufre, limaduras de cobre, carbón, serrín y otras análogas. La mezcla del ácido sulfúrico con la sustancia reductiva ó desoxidante, se calienta en una retorta (fig. 306, *A*), y el ácido sulfuroso que se desprende se utiliza directamente en forma de gas, ó se hace pasar á través de una serie de botijos condensadores, como indica nuestro grabado, resultando el gas absorbido por el agua que éstos contienen, y que es capaz de disolver una cantidad del mismo equivalente á cincuenta veces su propio volumen. En tal caso se emplea el ácido sulfuroso en forma de una disolución acuosa. Pero también puede obtenerse dicho ácido en

estado líquido, sometiéndolo en su forma natural de gas á una fuerte presión combinada con una temperatura muy baja; y en tales condiciones, y á los 76 grados bajo cero, se ha conseguido reducirlo al estado sólido.

La utilidad principal del ácido sulfuroso, tanto gasiforme como disuelto en agua, consiste en su propiedad blanqueadora; descolora la mayor parte de las materias vegetales y animales, aunque, según los casos, varía bastante su efecto. Hay materias colorantes que resultan definitivamente destruidas bajo la acción del ácido de que se trata, mientras que en otros casos, en que dicho ácido se combina realmente, aunque sólo de un modo pasajero, con las materias colorantes, los cuerpos blanqueados por él recobran gradualmente su color, acabando por aparecer lo mismo que antes. Una rosa encarnada se vuelve blanca en contacto con el gas producido por la combustión del azufre, ó sea el ácido sulfuroso; pero si se sumerge un momento en ácido sulfúrico diluído, recobra su color primitivo; de modo que en este caso el ácido más fuerte ha deshecho la combinación del más débil, desalojando á éste por completo. Pero á pesar de que la acción blanqueadora del ácido sulfuroso no es permanente, por cuanto puede devolverse á las materias blanqueadas su color primitivo mediante ácidos más fuertes, éter, aceites etéreos ó esenciales, benzol, etc., es un medio indispensable para la descoloración de materias que no pueden sufrir la acción del cloro, ó que esta sustancia es incapaz de blanquear. Tales son, por ejemplo, la lana, la seda, las plumas, ballenas, cuerdas de guitarra, esponjas, pajas, mimbres, etc.

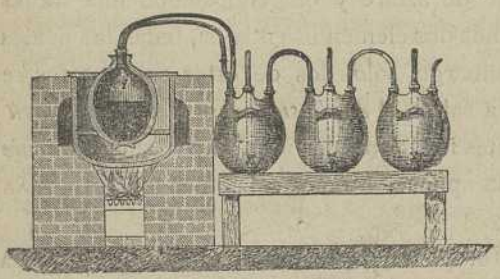


Fig. 306.—Aparato para la fabricación de ácido sulfuroso.

Antes se empleaba el ácido sulfuroso para blanquear exclusivamente en forma de gas, que se producía por la combustión del azufre y se dejaba penetrar en cámaras donde se colocaban las materias objeto de la operación. Pero hoy se emplea con frecuencia la disolución acuosa de dicho ácido, obtenida por la destilación antes referida, y de que da idea la fig. 306, ó bien se prepara semejante líquido blanqueador agregando á una disolución acuosa de sulfito de sosa una cantidad adecuada de un ácido fuerte, como el clorhídrico, por cuyo medio se desaloja del sulfito el ácido sulfuroso que disuelve ó absorbe entonces el agua. Se encuentran hoy en el comercio disoluciones de sulfito de sodio y disulfito de calcio, que pueden emplearse al efecto en el blanqueo, lo mismo que como anticloro, es decir, para neutralizar ó eliminar cualquier resto de cloro que queda en las materias blanqueadas por medio de esta sustancia.

La afinidad del ácido sulfuroso respecto del oxígeno, que se revela aun cuando se halle asociado con una base cualquiera, formando una sal, le presta cierta importancia como medio contra la fermentación y antiséptico. Como el

oxígeno es la causa de toda fermentación y putrefacción, se concibe fácilmente que una materia que con tanta energía se asimila dicho elemento, debe coartar ó impedir su acción en otro terreno. En esto se funda la costumbre tan antigua de quemar azufre en los toneles de vino vacíos, para destruir, antes de volver á llenarlos, cualquier resto de fermento que pudiera haberse quedado en la madera. Por la misma razón se agrega hoy á veces á la cerveza una pequeña porción de una disolución de sulfito de calcio, para que dicha bebida se conserve mejor; el sulfito se transforma gradualmente en sulfato cálcico, que se separa de la cerveza, depositándose en su mayor parte en forma de yeso; sin embargo, semejante práctica no es recomendable, máxime cuando se consiguen los mejores resultados empleando una disolución de bisulfito de calcio para limpiar los toneles y demás vasijas empleadas en la fabricación y el envase de la cerveza.

La formación de las sales del ácido sulfuroso, ó de los sulfitos, se opera con gran facilidad cuando el gas se pone en contacto con las bases correspondientes. El sulfito cálcico, por ejemplo, se produce haciendo pasar el ácido sulfuroso gasiforme á través de una masa húmeda de cal recién apagada, que al efecto se extiende sobre tejidos de mimbre en una cámara cerrada, ó bien se introduce el ácido en la leche de cal, obteniendo entonces el sulfito en forma líquida. Se emplean actualmente grandes cantidades de sulfito de calcio en la producción de la celulosa para la fabricación del papel, según el procedimiento de Mitcherlich: la madera molida ó desmenuzada se somete al efecto á un tratamiento con una mezcla de dicho sulfito y ácido clorhídrico.

Si en la disolución acuosa del ácido sulfuroso se echa cinc, se disuelve este metal sin que se desprenda hidrógeno alguno, cosa que no sucede con otros ácidos, y la disolución contiene entonces, además del sulfito de cinc, un nuevo ácido, descubierto hace algunos años por Schützenberger, y que se llama *ácido hidrosulfuroso* ó *hidromonotiónico*. Mencionamos este compuesto únicamente porque, de algún tiempo á esta parte, se emplea su disolución acuosa en la preparación de ciertas mezclas que contienen añil para la tintorería.

Ácido subsulfuroso.—Es el *ácido ditiónico* de la química moderna, y pertenece á los compuestos que nadie ha visto todavía, pues no puede existir por sí, sino sólo en combinación con bases. Si una disolución de sulfito sódico se cuece con una cantidad de azufre igual á la que ya contiene dicha sal, el azufre desaparece por completo en el líquido, y se produce, por la cristalización de éste, una nueva sal en hermosos cristales incoloros, que es una combinación de la sosa con el ácido subsulfuroso de que hablamos, recibe el nombre de *hiposulfito de sodio* y desempeña un papel importante en la fotografía.

Mientras que el ácido sulfuroso se compone de dos átomos de oxígeno y un átomo de azufre, es decir, que por cada 16 partes por peso de azufre contiene 16 de oxígeno, el ácido subsulfuroso consiste en dos átomos, ó 32 partes, por

peso de azufre, y dos, respectivamente, 16 partes de oxígeno. Pero si el hiposulfito sódico en cuestión se descompone por medio de un ácido fuerte, se desprende, no ácido subsulfuroso, sino ácido sulfuroso, precipitándose la mitad del azufre en forma de polvo. La mayor parte del hiposulfito de sodio que hoy se produce procede de los residuos de la fabricación del carbonato de sosa, que, según el procedimiento de Schaffaer, se oxidan y lixivian, y la lejía, que contiene hiposulfito de calcio, se trata con sulfato de sosa ó sal de Glauber, produciéndose, por la reacción correspondiente, yeso (sulfato cálcico), que se precipita, é hiposulfito de sodio, que permanece disuelto.

Ácido sulfúrico.—Se produce cuando el ácido sulfuroso gasiforme entra en contacto con el aire y la humedad, y la reacción consiguiente tiene lugar continuamente en regiones volcánicas. Pero como al formarse el ácido sulfúrico en la naturaleza halla casi siempre ocasión de combinarse en seguida con alguna base, se presenta muy raramente en estado libre; tanto, que sólo se ha comprobado su existencia, como tal, en las aguas de algún que otro manantial volcánico procedente de rocas cuarzosas.

El procedimiento primitivo de producir artificialmente el ácido sulfúrico, mediante el calentamiento de ciertos sulfatos, es tan antiguo, que no se sabe en qué época tuvo su origen, si bien parece que ya lo conocían los árabes en la Edad Media, atribuyéndose al célebre Geber ó Dehsfar (siglo VIII), el fundador de la alquimia. Durante mucho tiempo se obtenía sólo dicho ácido por la destilación de la caparrosa verde (sulfato de hierro) ó del alumbre (sulfato de alúmina y de potasa), y en vista de su poca fluidez se llamó aceite de vitriolo; pero nada se supo acerca de su verdadera naturaleza hasta que Lavoisier, hace poco más de cien años, demostró que es un compuesto de azufre y oxígeno. El antiguo modo de fabricación se practica todavía en algunos puntos, y da como producto el ácido sulfúrico humeante, ó de Nordhausen, así llamado porque en esta ciudad del Harz (Prusia) se desarrolló más especialmente dicha industria; pero es mucho más económico el procedimiento moderno que se inició en Inglaterra en la primera mitad del siglo pasado, y cuyo producto suele llamarse ácido sulfúrico inglés, para distinguirlo del ácido humeante. Los dos productos no son de naturaleza enteramente igual, y he aquí por qué el antiguo procedimiento se conserva al lado del nuevo, si bien como un enano enfrente de un gigante: el ácido humeante, aparte de la ventaja de hallarse casi libre de las impurezas que contiene el inglés, tiene la particularidad, debida á la manera de fabricarlo, de contener cierta cantidad de ácido anhidro, esto es, libre de agua, al lado del ácido hidratado, ó, lo que es lo mismo, contiene menos agua que el inglés. Esta condición le hace especialmente á propósito para disolver el índigo ó añil, circunstancia quees por sí sola de bastante peso para que su producción siga sosteniéndose. Otra razón por la que el ácido sulfúrico inglés no sirve para la preparación del añil, es la de que rara vez se halla enteramente libre de ácido ní-

trico, y perjudica, por lo tanto, al color azul, puesto que el ácido nítrico descompone el añil.

En vista de ciertos términos empleados en el párrafo anterior, el lector habrá comprendido que se establece una distinción entre el ácido sulfúrico libre de agua ó *anhidro*, y el que, por contener cierta porción de ella, se llama *hidratado;* y, en efecto, existe una diferencia muy notable entre ambos. El *ácido sulfúrico anhidro*, que el químico llama también *trióxido de azufre*, por contener por cada átomo de este elemento tres de oxígeno, es una sustancia muy particular; constituye un cuerpo blanco cristalizado, que se deja amasar como la cera, pero que se volatiliza muy pronto, resolviéndose en vapores blancos espesos. El nombre de ácido que aún suele dársele, es del todo impropio, puesto que no tiene propiedad ácida alguna; sólo cuando se combina con agua adquiere la naturaleza de un verdadero ácido, pues constituye entonces el ácido sulfúrico hidratado, de empleo tan común, y su tendencia á unirse químicamente con el agua es tal, que cuando se echa en este líquido uno de sus cristales, produce el mismo ruido que cuando se sumerge un hierro candente; es más, si es corta la cantidad de agua, se produce un fenómeno luminoso, acompañado de una explosión, pues en tal caso el calor generado es tan grande, que todo el líquido se transforma repentinamente en vapor.

El *ácido sulfúrico hidratado,* que es el que se fabrica y consume en cantidades tan enormes, y no es otro que el ácido *inglés* de que hablamos más arriba, contiene en su estado de mayor concentración cierta cantidad de agua (nueve partes por 40 de ácido), sin la que no podría existir, y de la cual no se le puede privar ni siquiera por destilación. Pero con la cantidad referida no queda apagada, digámoslo así, su sed de agua, con la que sigue mostrando gran afinidad, aun hallándose en estado bastante diluído; y la prueba de ello está en que, cuando se mezcla el ácido sulfúrico hidratado con agua, se desarrolla un calor considerable; sólo cuando dicho ácido se ha asimilado químicamente diez moléculas de agua, cesa la generación de calor al agregársele más de esta última. En el *ácido humeante*, ó de Nordhausen, tenemos una mezcla de ácido hidratado concentrado con ácido anhidro que no ha renunciado á su naturaleza volátil: esto se evidencia de una manera bien clara, siempre que se destapa un frasco que contiene el producto de Nordhausen, pues al volatilizarse el ácido anhidro, produce, en contacto con el aire, espesos vapores blancos; y he aquí por qué se llama dicho producto ácido sulfúrico humeante.

El ácido sulfúrico anhidro, ó al menos un compuesto estrechamente relacionado con él, es decir, que contiene muy poca agua, es actualmente objeto de la fabricación en grande en Inglaterra y Bohemia, presentándose en el comercio en forma de una masa blanca cristalina, encerrada en tambores de hierro de unos 50 kilogramos de cabida, y empleándose en la preparación de la alizarina artificial, materia colorante muy usada hoy en la tintorería. Se obtiene dicho

ácido calentando el bisulfato de sosa que resulta como producto secundario de la fabricación del ácido nítrico con el nitro sódico ó de Chile; la mitad del ácido sulfúrico de dicho sulfato se desprende bajo la acción del calor y se condensa, mientras que la otra mitad queda combinada con la sosa, formando el sulfato simple.

La fabricación del ácido sulfúrico humeante por destilación de la caparrosa verde, que era antes, como ya dijimos, el procedimiento común, sólo se practica hoy en algunas comarcas, principalmente en Bohemia, el Harz y en la Alsacia baja. La primera materia consiste generalmente en las lejías madres sobrantes de la cristalización del sulfato de hierro (caparrosa verde), las cuales se evaporan hasta la sequedad, obteniendo como residuo la llamada «piedra de vitriolo»; la cual se somete á la destilación en retortas de arcilla cocida, dispuestas en un horno de galera, esto es, una galería de mampostería embovedada en la que circulan las llamas y los gases de un hogar situadò en un extremo; los cuellos de las dos filas de retortas atraviesan las paredes laterales del horno, y enchufan en otros tantos botijos de condensación. El aspecto del conjunto que de esto resulta, recuerda remotamente el de una galera antigua con sus remos; de donde proviene el nombre que reciben semejantes hornos.

Cada retorta se carga con unos 15 kilogramos de la piedra de vitriolo en estado seco y se enciende fuego en el hogar. Al principio sólo se desprenden vapores de agua y ácido sulfuroso, que se dejan salir libremente; pero tan luego como empiezan á manifestarse los vapores blancos del ácido sulfúrico anhidro, se enchufan los cuellos de las retortas en los botijos de condensación, enlodando bien las uniones. En los botijos se introduce previamente un poco de agua, con la que se combina parte del vapor del ácido anhidro, condensándose la parte restante sin agua de combinación; se siguen calentando las retortas durante 36 horas, elevando la temperatura en el último período hasta la incandescencia blanca, y hay que repetir la operación tres ó cuatro veces con nuevas cargas de piedra de vitriolo, hasta que el ácido adquiera en los botijos condensadores el grado de concentración necesario. Esto se logra más pronto si, en vez de agua, se echa ácido sulfúrico inglés en los botijos; pero entonces el ácido humeante resulta con las impurezas de aquél. El residuo de la destilación que se saca de las retortas, es el óxido de hierro conocido en el comercio con los nombres de *caput mortuum* (cabeza de muerto) y *colcothar vitrioli*, ó rojo inglés, que se emplea en la pintura y en el pulimento de metales, vidrio, etc. De 100 partes de piedra de vitriolo se obtienen de 47 á 50 de ácido sulfúrico humeante, el cual tiene casi siempre un color pardusco, mientras que el ácido ordinario ó inglés sale incoloro de las fábricas. Pero como una partícula mínima de corcho ó de otra sustancia orgánica que por casualidad pueda introducirse en los envases, basta, merced á su carbonización, para colorear una cantidad grande del ácido humeante, el color no puede servir de norma para juzgar de la calidad de este producto.

Consideremos ahora, con la detención que merece, la fabricación del *ácido sulfúrico inglés*, que constituye una rama industrial muchísimo más importante que la del ácido de Nordhausen. El producto en cuestión suele llamarse «inglés», no porque hoy se fabrique exclusivamente en Inglaterra, sino porque en este país se desarrolló primero el procedimiento especial á que se debe, propagándose más tarde á Francia y otros Estados; por regla general, cuando se habla de ácido sulfúrico á secas, se entiende el hidratado ordinario de que tratamos, que se produce actualmente en cantidad tan enorme. Durante más de siglo y medio su fabricación ha sufrido importantes modificaciones, á tal punto que, por más que se sigan introduciendo mejoras en la construcción de los aparatos y la práctica de las operaciones, no se concibe que, en lo sucesivo, el procedimiento mismo pueda perfeccionarse más de lo que está ya; pues en la actualidad se obtiene en el ácido producido por su medio casi exactamente la misma cantidad de azufre que debe obtenerse teóricamente, ó sea con arreglo al cálculo químico, mientras que antes el rendimiento resultaba muy inferior.

Como dejamos indicado en otro lugar, el procedimiento referido consiste esencialmente, primero en producir ácido sulfuroso por la combustión de azufre ó la calcinación de piritas, y luego en la oxidación de dicho ácido, haciendo que se asimile cierta cantidad de oxígeno, además de la que ya contiene, y se transforme en ácido sulfúrico. Este objeto puede conseguirse sólo en dos operaciones; pues aun cuando se deje arder el azufre en oxígeno puro, nunca resulta más que ácido sulfuroso. Es verdad que éste tiende siempre á asimilarse la segunda porción de oxígeno, y acaba por tomarla del aire en presencia de humedad; pero semejante proceso natural es ya demasiado lento para los efectos prácticos, por cuya razón se apela á la ayuda del *ácido nítrico*. Los fenómenos que se producen entonces, y pronto ocuparán nuestra atención, constituyen uno de los ejemplos más singulares de las metamorfosis químicas.

El hecho de que se puede obtener un poco de ácido sulfúrico quemando azufre debajo de una campana de vidrio humedecida interiormente con agua, se conoce hace muchísimo tiempo, y tan laborioso procedimiento hubo de tomar antiguamente algún desarrollo, porque el ácido flojo obtenido de tal modo se miraba como una cosa muy especial, vendiéndose sumamente caro, con el nombre de «espíritu de azufre». A principios del siglo pasado parece que se empezó á mezclar nitro con el azufre, con el único objeto de promover la combustión de éste; pero inesperadamente se obtuvo mayor cantidad de ácido que con el empleo del azufre solo, y esto condujo al establecimiento, cerca de Londres, por un tal *Ward*, de la primera fábrica de ácido sulfúrico. En su consecuencia, el precio de este producto bajó considerablemente, llegando pronto á pagarse tan sólo de ocho á diez veces más caro que hoy.

Según el procedimiento de Ward, se quemaba nitro con el azufre, y los vapores se conducían á unos grandes globos de vidrio que contenían un poco de agua.

En 1746 montó el doctor *Roebuck* una fábrica del género en Escocia, sustituyendo dichos globos de vidrio por cajas formadas con planchas de plomo, en vista de que este metal resultaba muy poco corroído por el ácido. Andando el tiempo se llegó á emplear un horno para la combustión de la mezcla de azufre y nitro; después se realizó el notable adelanto de mezclar los gases sulfuroso y nitroso con vapor de agua; más tarde se ideó el medio de recoger el gas nitroso sobrante y volver á emplearlo; y así, mediante nuevas experiencias, fuese aproximando gradualmente al modo de fabricación actualmente en boga.

Aunque en su práctica se han introducido algunas modificaciones en diferentes fábricas, el procedimiento actual comprende siempre las operaciones siguientes: primero, la quema del azufre ó de las piritas para producir el ácido sulfuroso que, en unión con aire, penetra en cámaras de plomo; segundo, la introducción en éstas de ácido nítrico y vapor de agua para promover las reacciones mediante las cuales el ácido sulfuroso se convierte en ácido sulfúrico hidratado; tercero, la recuperación de los gases nitrosos; y cuarto, la concentración del ácido sulfúrico.

Concretándonos primero al azufre, como primera materia, para tratar más adelante y desahogadamente de las piritas, diremos que el horno en que se quema aquella sustancia, y se encuentra en un extremo del aparato ó conjunto de aparatos necesario á la fabricación, consiste en una galería ó cámara prolongada, ó bien en dos ó tres cámaras paralelas y en comunicación una con otra, cuyo piso se halla constituído por tinas poco profundas de hierro, y provisto de un tubo espacioso, más ó menos elevado, para la salida de los gases y la generación del tiro necesario. Dichas tinas se cargan con azufre, y se calientan al principio desde abajo, á fin de promover la combustión, y por medio de compuertas se regula el tiro de manera que penetre en el horno, no sólo la cantidad de aire necesaria para aquélla y para la formación consiguiente de ácido sulfuroso, sino una cantidad mayor, cuyo exceso, naturalmente, no sufre alteración. De este modo salen mezclados del horno, por el tubo referido, dos de las materias indispensables para la fabricación de que tratamos, esto es, el ácido sulfuroso y el aire, que penetran seguidamente en las cámaras de plomo. Pero se necesitan además vapores de agua y de ácido nítrico. La generación del vapor de agua tiene lugar en una caldera, desde la cual se dirigen varios tubos á las diferentes cámaras del aparato; los chorros de vapor que en éstas penetran ejercen, aparte de su acción química, una mecánica, promoviendo el tiro. En cuanto al vapor ó gas nitroso, el modo más antiguo de producirlo consiste, como hemos dicho, en mezclar con el azufre una cantidad determinada de nitro, en cuyo caso el ácido sulfuroso penetra en la primera cámara de plomo mezclado con óxido de nitrógeno. Pero este procedimiento ofrecía varios inconvenientes, y después de ensayar otros diversos, se adoptó definitivamente el de conducir en una de las cámaras un fino chorro de ácido nítrico, distribuyéndolo

sobre pequeñas pirámides de porcelana, á fin de facilitar su acción química.

Aunque según el modo antiguo se introduce en las cámaras óxido de nitrógeno, mientras que con arreglo al más moderno se trata de ácido nítrico, el resultado es el mismo, pues este ácido no puede mantenerse un instante siquiera en presencia de ácido sulfuroso, sino que cede á éste en el acto parte de su oxígeno, convirtiéndolo, con ayuda del vapor de agua, en ácido sulfúrico hidratado, y transformándose él mismo en ácido nitroso. Pero tampoco éste puede subsistir en contacto con el ácido sulfuroso que sigue afluyendo, sino que le cede á su vez otra porción de oxígeno; de modo que al fin, y al par que se produce más ácido sulfúrico, el ácido nitroso queda reducido á óxido de nitrógeno, el cual no puede desprenderse, en la cámara de plomo, de más oxígeno; pero en cambio se asimila parte de este elemento contenido en el aire que penetra desde el exterior, como ya dijimos, convirtiéndose nuevamente en ácido nitroso, el que cede entonces oxígeno á una nueva porción de ácido sulfuroso. Resulta, pues, que el óxido de nitrógeno, un gas incoloro, es un agente para la transmisión del oxígeno del aire al ácido sulfuroso, y sigue desempeñando este papel, contribuyendo á la formación del ácido sulfúrico, mientras se halle en contacto con aire, vapor de agua y ácido sulfuroso. Por consiguiente, y teóricamente hablando, una misma cantidad de ácido nítrico puede transformar una cantidad ilimitada de ácido sulfuroso en ácido sulfúrico, y en esto estriba la gran importancia del procedimiento que nos ocupa: ahora, en la práctica, es imposible evitar la pérdida de una pequeña porción de ácido nítrico. Es fácil convencerse de la reacción sufrida entre el óxido de nitrógeno y el oxígeno del aire, echando sobre un metal (por ejemplo, una lámina de cobre) un poco de ácido nítrico: se producen vapores pardo-rojizos de ácido nitroso, pero no directamente, sino pasando primero por la fase, digámoslo así, del óxido de nitrógeno; pues al generarse, las burbujitas de gas son incoloras mientras quedan bajo la superficie del líquido, ó se adhieren todavía al metal; y sólo cuando estas burbujas de óxido de nitrógeno entran en contacto con el aire, absorben oxígeno y se convierten en los vapores pardo-rojizos del ácido nitroso.

De lo dicho se desprende, en resumen, que, en las condiciones dadas, ninguna de las tres combinaciones mencionadas de nitrógeno y oxígeno, es decir, el ácido nítrico (pentaóxido de nitrógeno), el ácido nitroso (trióxido de nitrógeno) y el óxido de nitrógeno simple, puede subsistir mucho tiempo en las cámaras de plomo; los tres se transforman rápidamente uno en otro, y el proceso que se desarrolla continuamente en dichas cámaras consiste sencillamente en la sustracción de oxígeno del aire y su transmisión al ácido sulfuroso para transformarlo en ácido sulfúrico. Como al prestar este servicio el óxido de nitrógeno, procedente del ácido nítrico, nada pierde de su sustancia propia, debiera bastar, en rigor, una pequeña cantidad de dicho ácido para sostener continuamente el proceso de la fabricación, puesto que la fuerza química no desfallece. Empero,

esto sólo sería concebible si, en lugar de aire, se empleara oxígeno puro, pues el aire sólo contiene una quinta parte, próximamente, de este gas; las cuatro quintas partes restantes, que consisten en nitrógeno, son inútiles y tienen que alejarse del aparato, y al salir de él arrastran una parte de los gases nitrosos; de aquí la necesidad de compensar semejante pérdida mediante la introducción de más ácido nítrico del teóricamente preciso. Sin embargo, este exceso queda reducido á un mínimum, gracias á los aparatos que se emplean eficazmente para recuperar y volver á utilizar los gases nitrosos arrastrados fuera de las cámaras; de modo que, en último término, la pérdida resulta de poca importancia.

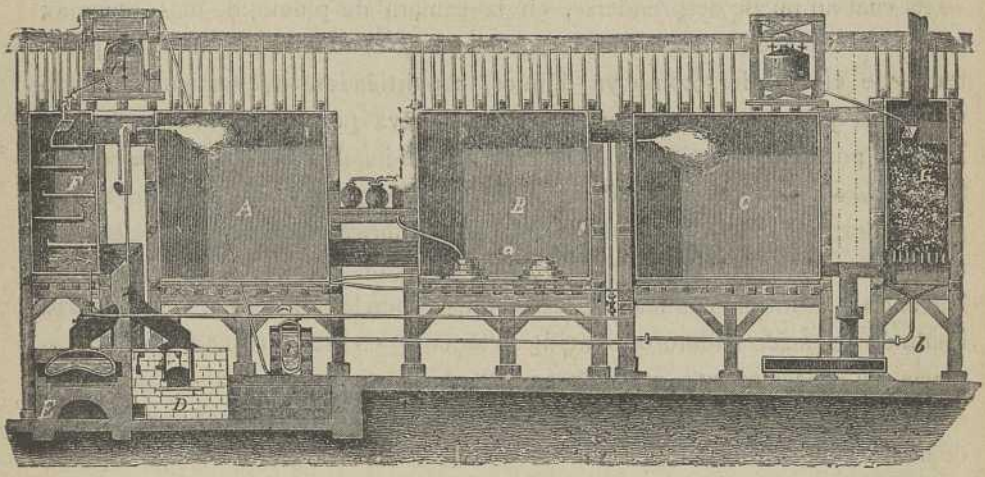


FIG. 307.—Aparato para la fabricación del ácido sulfúrico.

Expuesta ya, con los pormenores necesarios, la esencia del procedimiento en cuestión, examinemos un poco el aparato en que se practica actualmente, y que representa en sección vertical la fig. 307. Consiste principalmente en el horno *D* para la quema del azufre, que describimos anteriormente; la caldera *E* para la generación del vapor de agua; las grandes cámaras de plomo *A*, *B* y *C*, cuyo número varía, por regla general, entre tres y cinco; el aparato para la introducción del ácido nítrico, que se coloca entre la primera y la segunda cámara, como indica el grabado; y los aparatos *Gg* y *Ff* para la recuperación y el aprovechamiento de los gases nitrosos que se escapan. Las cámaras están hechas de planchas laminadas de plomo, cuidadosamente soldadas una con otra mediante el mismo metal, y sostenidas en sólidas armaduras de madera, y sujetas además por tirantes de plomo á las vigas superiores del edificio, de manera que sus paredes queden expuestas, en lo posible, por todos lados, á fin de mantenerlas frescas y facilitar las reparaciones necesarias; además se hallan en comunicación una con otra por medio de tubos de plomo. Las dimensiones de semejantes cámaras varían según la cantidad de ácido sulfúrico que se trata de producir, y

según que se emplee el azufre ó las piritas para obtener el ácido sulfuroso; por regla general, y tratándose de azufre, se calculan de 36 á 48 metros cúbicos de cámara por cada quintal métrico (100 kilogramos) de ácido producido diariamente. Para dar una idea de las proporciones, añadiremos que cinco cámaras destinadas á la fabricación de 7.000 á 8.000 kilogramos de ácido diarios, tendrán respectivamente una capacidad de 100, 96, 2.112, 242 y 231 metros cúbicos, ó sea en conjunto 2.782; dándose casos en que la cámara principal tiene 30 metros de largo, 10 á 12 de ancho y 12 á 15 de alto; juzgue, pues, el lector del desarrollo y enorme peso de semejante sistema.

Al salir del horno *D*, los vapores de ácido sulfuroso suben por el aparato *F*, cuyo empleo, en lugar de tubo sencillo, explicaremos más adelante, y penetran por la parte superior en la primera cámara *A*, juntamente con un fuerte chorro de vapor de agua (indicado en la figura), el que no sólo promueve el tiro, sino que al pasar por un tubo que desemboca lateralmente al exterior, arrastra consigo cierta cantidad de aire. En la primera cámara, pues, se verifica principalmente la mezcla del ácido sulfuroso con aire y vapor de agua. En la segunda cámara, *B*, se introduce el ácido nítrico, extendiéndolo por medio de las pequeñas pirámides de porcelana *a*, referidas más arriba; y aquí comienza la reacción ya descrita, mediante la cual dicho ácido se descompone y se oxida el ácido sulfuroso. El ácido sulfúrico que resulta, y se acumula (como en todas las cámaras) sobre el fondo, se halla mezclado con ácido nitroso merced á la proximidad tan inmediata de su fuente, y es preciso, por lo mismo, conducirlo (mediante un tubo) á la primera cámara, en la que se desprende de la mayor parte del ácido nitroso, dándole así lugar á reaccionar con la mezcla de ácido sulfuroso, aire y vapor que sigue entrando. En la tercera cámara, *C*, que, aunque aparece en el grabado igual á las anteriores, suele ser mucho más grande que ellas, se verifica la formación de la mayor parte del ácido sulfúrico, y en ella se introduce, por lo mismo, la mayor cantidad de vapor de agua, junto á la entrada de los gases sulfurosos y nitrosos. A continuación de *C* se agregan en muchos casos al sistema una ó dos cámaras más pequeñas, á fin de apurar en lo posible la mezcla de gases y producir un poco más de ácido sulfúrico; pero, como ya dijimos anteriormente, no se evita con esto el escape de cierta cantidad del gas nitroso.

Para reducir semejante pérdida á un mínimum, después de hacer pasar los gases salientes por una caja de plomo, *b*, con objeto de enfriarlos, y antes de dejarlos escapar al aire libre por la chimenea correspondiente, se conducen á través de la llamada *torre de Gay-Lussac*, por deberse su invención á este célebre químico, que consiste en un elevado recipiente de plomo (fig. 307, *G*), con una rejilla junto al fondo, sobre la que se amontona cok, el cual se mantiene continuamente mojado y empapado con ácido sulfúrico concentrado, que, procedente de un depósito, *g*, en la parte superior de la última cámara, se distri-

buye sobre el cok en forma de lluvia. En estado de concentración el ácido sulfúrico tiene la facultad de absorber el ácido nitroso, así como el subnitroso, que también se encuentra en pequeña cantidad en los gases salientes de las cámaras; al subir éstos á través de la columna de cok, se combina el ácido nitroso con el sulfúrico, formando el llamado ácido *nitrosulfónico*, que se conserva muy bien mientras está concentrado, pero que, al diluirse con agua y calentarse un poco, suelta los mencionados compuestos de nitrógeno que, por lo tanto, pueden utilizarse nuevamente. Dicho ácido nitrosulfónico, que contiene un poco de ácido nítrico, se reune en el fondo de la torre, debajo de la rejilla referida, y pasa, mediante un tubo de plomo, al depósito *c*, situado en la proximidad del horno *D;* de cuando en cuando se vacía este depósito, cerrando el tubo citado y haciendo subir el ácido por otro tubo, y mediante la presión del vapor, al depósito *f*, que se encuentra en la parte superior de la primera cámara. Desde aquí se le da salida, gradualmente, hacia el aparato *F*, en cuyo interior baja formando cascaditas, merced á la disposición de los tabiques horizontales de plomo que se ven en la figura, y á medida que sube el ácido sulfuroso en su camino desde el horno *D* á la cámara *A*. En lugar del aparato *F* se emplea á veces la llamada *torre de Glover*, consistente en un recipiente elevado y lleno de piedras refractarias á la acción del ácido, el cual baja por los intersticios de las mismas, mientras sube el ácido sulfuroso. En este viaje de descenso, el ácido nitrosulfónico se calienta tanto, que se descompone, dejando en libertad el ácido nitroso, y la descomposición se promueve también introduciendo por el fondo del aparato *F* un chorro de vapor de agua que diluye el ácido; el gas nitroso que se desprende se mezcla seguidamente con el ácido sulfuroso que sube, y penetra con él en la cámara *A* para tomar parte en las reacciones antes descritas. Los aparatos referidos para la recuperación del gas nitroso son tan eficaces, que se emplea hoy en la fabricación de que tratamos tres veces menos ácido nítrico que antes; el consumo de éste, en los casos más favorables, se reduce á 4 ó 5 partes por 100 de azufre quemado. Cuando durante la marcha de la operación hay falta de vapor de agua, se forman en las cámaras de plomo cristales de ácido nitrosulfónico.

La mayor parte del ácido sulfúrico que se fabrica actualmente por el procedimiento que dejamos descrito, resulta del ácido sulfuroso producido por la calcinación de piritas y otros sulfuros metálicos, en especial la pirita de hierro, que es un sulfuro natural doble, esto es, compuesto de un átomo de hierro y dos de azufre, y que contiene, en estado puro, 46,67 por 100 de dicho metal y 53,33 de azufre. El mineral en cuestión se halla con frecuencia mezclado con pirita de cobre y pirita arsenical, variando, por lo tanto, más ó menos su composición; y se utiliza en la fabricación de ácido sulfúrico cuando se puede obtener fácilmente en gran cantidad y á un precio económico, por ejemplo, por la cuarta parte del precio del azufre. En semejantes condiciones la pirita se pre-

senta en muchas partes de Alemania, Bélgica, Noruega, Inglaterra, etc.; pero donde se encuentra con mayor abundancia en nuestro continente, es en la región Suroeste de nuestra península, desde Aznalcollar, en la provincia de Sevilla, hasta Santo Domingo, en Portugal, cuya importancia minera hicimos resaltar en el tomo III de esta obra (páginas 150 á 152). Enormes cantidades de estas piritas se llevan continuamente á Inglaterra y Alemania para la fabricación de ácido sulfúrico, beneficiándose además el cobre y las pequeñas porciones de plata y oro que quedan en los residuos, mientras que en la provincia de Huelva, especialmente en las minas de Ríotinto y el Tharsis, se sigue apestando la atmósfera con millones sobre millones de metros cúbicos de ácido sulfuroso procedente de las calcinaciones al aire libre, y la producción de ácido sulfúrico es insignificante.

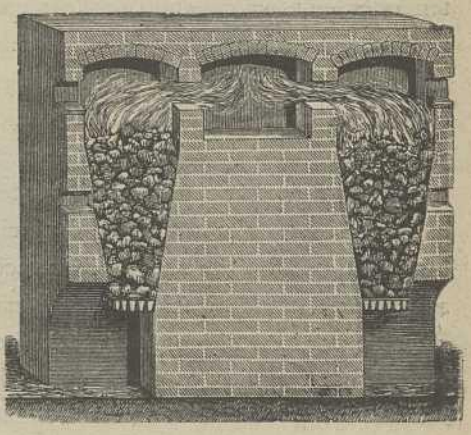


FIG. 308.
Horno para la calcinación de piritas en pedazos.

Para la calcinación de las piritas en las fábricas de este ácido, se emplean hornos de construcción muy diversa, de los que sólo podemos referirnos á los mejores. Tratándose de piritas en pedazos, hasta el tamaño mínimo de una nuez, se emplea comunmente el horno cuya sección vertical vemos representada en la fig. 308, constituído por dos cubas separadas por un macizo de obra, en cuyo fondo se halla una rejilla y cuyos tragantes comunican con un conducto común para los gases. Después de caldear semejante horno con una carga de cok, se va llenando con la pirita, que se enciende á su vez y sigue ardiendo por sí, merced al azufre que contiene; el aire necesario penetra por la rejilla y unas aberturas en las paredes laterales, y á medida que baja la carga de mineral, se le agrega nuevas porciones por el tragante, retirando del fondo los residuos; de esta suerte la marcha es continua. El ácido sulfuroso procedente de ambas cubas, penetra á través del conducto ya referido en cuatro cámaras de obra, en las que se depositan las impurezas sólidas arrastradas mecánicamente por el tiro, y tienen lugar de condensarse totalmente ó en parte otras volatilizadas, como el ácido arsenioso que se desprende de muchas piritas; y purificado de semejante manera, pasa al fin á las cámaras de plomo en que se verifica su transformación en ácido sulfúrico por el procedimiento antes descrito.

Entre los muchos hornos adoptados para calcinar las piritas menudas ó en forma de polvo, uno de los más recomendables es el de *Gerstenhœfer*. Consiste este aparato esencialmente en una cuba rectangular de bastante altura, cerca de cuyo fondo hay un hogar para caldearla, y en la cual penetra aire compri-

mido; casi toda la cuba está ocupada por series sobrepuestas de barras prismáticas de arcilla refractaria, dispuestas de modo que los huecos de una serie se hallan cubiertos por las barras de la serie superior inmediata; la pirita en polvo se introduce continuamente por el tragante, y se reparte sobre los prismas, cayendo sucesivamente de una serie en otra y sufriendo en su descenso una calcinación muy completa; el ácido sulfuroso, llevado por la corriente de aire, pasa primero por cámaras, en donde se depositan y condensan sus impurezas, penetrando luego en las cámaras de plomo. El horno, también muy eficaz, de *Hasenclever* y *Helbig*, es una modificación algo más sencilla del de Gerstenhœfer; en él va cayendo la pirita en polvo sucesivamente sobre planchas de arcilla refractaria escalonadas en la cuba á derecha é izquierda, é inclinadas en un ángulo de 38 grados. También se emplean hornos rotativos para la calcinación de las piritas menudas, tales como el de *Gibb* y *Gelstarp*, y el de *Hocking* y *Oxland*.

Como el ácido sulfúrico procedente de la calcinación de piritas contiene en la mayoría de los casos cierta proporción de arsénico, que le hace impropio para muchos usos, la pirita se emplea principalmente allí donde el ácido encuentra aplicación en la fabricación del carbonato de sosa, en la que el arsénico queda retenido por los residuos y no causa perjuicio. Si semejante ácido se destina á otros usos generales, es preciso privarle del arsénico, precipitando éste por medio de hidrógeno sulfurado, como se hace, por ejemplo, en Freiberg (Sajonia), ó mediante el sulfuro de bario, como sucede en Francia. En los posos que, al cabo de algún tiempo, resultan en el fondo de las cámaras de plomo, se encuentra á veces un elemento parecido al azufre, ó sea el *selenio*, que contienen muchas piritas, pero que hasta la fecha no tiene importancia industrial; y desde que se hizo este descubrimiento (1817), el análisis de semejantes posos ha dado lugar al del metal llamado *talio*, en 1862, que hoy se utiliza en la fabricación del vidrio, y al del *galio*, en 1876, que sólo ofrece un interés científico.

El ácido sulfúrico fabricado según el procedimiento inglés se acumula en el fondo de la cámara principal de plomo, que al efecto se halla á un nivel un poco inferior al de las demás cámaras, de modo que afluye á ella, mediante los correspondientes tubos de plomo, el ácido formado en éstas. Tiene dicho ácido una fuerza equivalente á 47 ó 48 grados del areómetro de Baumé, lo que basta para muchos usos á que lo destinan los mismos fabricantes; pero el ácido destinado al comercio tiene que sufrir una concentración, á cuyo efecto se somete á la evaporación, purificándolo al mismo tiempo, pues contiene casi siempre cierta cantidad de los ácidos nitroso y nítrico. Dicha evaporación se verifica primero en grandes tinas ó recipientes de plomo de poca profundidad, de diez á doce metros de largo por dos ó tres de ancho, que se disponen en número de dos, tres ó cuatro, sobre un hogar (como indica la fig. 309, á la derecha), de modo que el superior se encuentra más distante del fuego, y los demás á niveles un poco más

bajos. Según nuestro grabado, las tinas se calientan desde abajo, y para proteger su fondo contra el contacto directo de las llamas y los gases de combustión, así como para repartir más uniformemente el calor, descansan las inferiores sobre una capa de ladrillos, y las superiores sobre planchas de hierro. Pero en la actualidad se adopta con preferencia el calentamiento de las tinas *por arriba*, cubriéndose todo el aparato y haciendo pasar los gases calientes procedentes del hogar entre la cubierta y la superficie del ácido, con lo cual la evaporación se efectúa con más rapidez.

El ácido procedente de las cámaras de plomo pasa primero á la tina superior, donde cuece algunas horas, evaporándose parte del agua con que se halla diluído; al adquirir cierta densidad se le da salida á la segunda tina, en la que

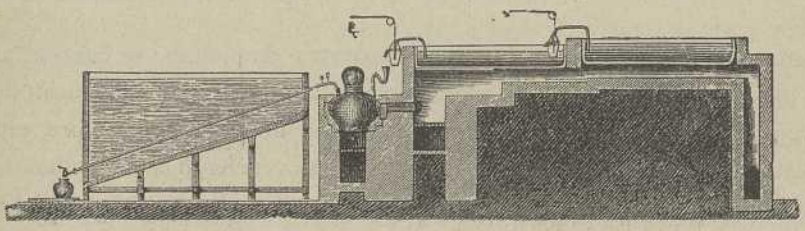


FIG. 309.—Aparato para la concentración del ácido sulfúrico.

la evaporación sigue su curso á una temperatura algo más elevada, mientras que la primera se llena otra vez con ácido bruto; y así sucesivamente con las tinas restantes, continuando la operación sin interrupción. En algunas fábricas no se emplea la tina superior para evaporar el ácido, sino para purificarlo de su contenido en ácidos extraños; á cuyo efecto se provee dicha tina de una tapa de plomo, cerrándola como una caja, y se introduce en el interior, desde el horno en que se quema el azufre ó las piritas para la fabricación, una corriente de ácido sulfuroso, cuyo gas opera la reducción de los ácidos nitroso y nítrico contenidos en el sulfúrico, y sale por otro conducto en compañía del óxido de nitrógeno resultante de semejante reducción, yendo con él á parar á la primera cámara de plomo del aparato general.

Merced á la evaporación en las tinas referidas, el ácido sulfúrico pierde tanta agua, que al cabo el areómetro de Baumé revela una fuerza de 60 grados, y en tal estado puede emplearse muy bien en la mayoría de las industrias que la necesitan; pero hay otras cuyos procedimientos suponen el empleo de un ácido más denso todavía, y en su vista, así como para reducir en lo posible el volumen del líquido y evitar para el comercio los gastos de transporte de una cantidad de agua que, de necesitarse, siempre puede agregarse después, al tiempo de utilizar el ácido, la concentración se continúa hasta los 66 grados de Baumé. Empero, para ello, es preciso valerse de otros medios que las tinas, y son de los más costosos que se emplean en la industria. Es el caso que, á medida que

aumenta la concentración del ácido, precisa una temperatura cada vez más elevada para sostener la ebullición; desde los 60 grados de Baumé (que equivalen á una densidad de 1,712) en adelante, el calor necesario es tal (hasta 338 grados centígrados), que el plomo de las tinas, aparte de hallarse expuesto á una corrosión mucho más activa por el ácido tan concentrado, no ofrecería suficiente resistencia. Además, los vapores desprendidos contienen mucho ácido, que es preciso recoger y condensar. De aquí el empleo de los grandes alambiques de platino á que nos referimos en otro capítulo, tratando de este metal; son aparatos muy caros, pues cuestan de 38.000 á 95.000 pesetas, según que tengan una capacidad de 250 á 1.000 kilogramos de ácido; es decir, que el alambique y sus accesorios de platino, para una fábrica que produce diariamente 40 quintales métricos de ácido sulfúrico concentrado, por ejemplo, vale unas 75.000 pesetas.

Pero antes que se llegara á emplear aparatos de platino, se concentraba el ácido procedente de las tinas de plomo en alambiques de vidrio dispuestos sobre el hogar en calderas de hierro y rodeados de arena; pero siempre estaban expuestos á estallar, y se abandonaron cuando se vencieron las dificultades en la formación de los de platino. Sin embargo, en los últimos años algunos fabricantes ingleses han vuelto á emplear alambiques de un vidrio especial, que no se rompen tan fácilmente como los antiguos. Aunque los de platino no están expuestos á saltar, es preciso tratarlos con cuidado á fin de evitar que se vuelvan quebradizos y resulten inservibles, por cuya razón se colocan también en una caldera de hierro fundido, y se evita en lo posible que sufran fuertes cambios de temperatura.

Desde la tina de plomo inferior, el ácido caliente pasa, por medio de un sifón, al alambique de platino (véase fig. 309), que se llena hasta las dos terceras partes; y de la cubierta del alambique parte lateralmente un tubo de plomo (no se ve en nuestro grabado) que se desarrolla en espiral dentro de una cuba de agua fría, desembocando por la parte inferior al exterior de la misma. Al principio se evapora, y encuentra salida por dicho tubo, un agua acidulada, cuya acidez va aumentando gradualmente hasta que puede calificarse de ácido diluído, y tiene, en efecto, una fuerza de 15 grados de Beaumé; este líquido se recoge en una vasija y se vierte de nuevo en las tinas de plomo, ó se aprovecha para la producción de sulfato de hierro (caparrosa verde). Entretanto, el ácido contenido en el alambique se ha concentrado hasta los 66 grados Beaumé (equivalentes á una densidad de 1,846), y en este punto se suspende la operación, pues de querer llevar la concentración hasta el último límite, sería necesario continuar hasta que el líquido evaporado, y que escapa por el tubo de plomo, tuviera la misma densidad que el ácido que queda en el alambique. Para vaciar la retorta se emplea un sifón de platino, que siempre queda en su puesto, y es el que se ve en la fig. 309, á la izquierda; mas como de introducir de pronto el ácido

hirviendo en las damajuanas ó grandes vasijas de vidrio en que se entrega al comercio, saltarían éstas, se hace atravesar dicho sifón por un depósito de agua fría, para que el ácido se enfríe al paso.

La fabricación del ácido sulfúrico ha adquirido un desarrollo verdaderamente colosal; en Inglaterra, donde la producción excede á la de los demás países europeos reunidos, se eleva actualmente á más de 900 millones de kilogramos al año, alcanzando la de Francia 200 millones, la de Alemania otros 200 próximamente, la de Austria 45 y la de Bélgica más de 30 millones. Además no es despreciable la cantidad de ácido sulfúrico fabricado en los Estados Unidos.

Aplicaciones del ácido sulfúrico.—Este ácido desempeña, en muchas operaciones técnicas, un papel análogo al de una herramienta, sirviendo para formar otros varios productos. Su gran utilidad estriba, en parte, en su baratura, unida al hecho de ser el ácido más fuerte, que desaloja de sus combinaciones todos los demás ácidos; en parte, en otras propiedades especiales. Empléase, por ejemplo, como medio de separar el ácido fosfórico del fosfato calizo, el ácido clorhídrico de la sal común, el ácido nítrico del salitre, ó hacer soluble el ácido fosfórico en la harina de huesos y el guano, y presta un servicio análogo en la preparación del cloro y el hipoclorito de cal, de los ácidos acético, cítrico y tártrico, y para libertar el ácido carbónico de la magnesita, el mármol, etc. No es menor la importancia del ácido sulfúrico como disolvente de los metales, y componente de gran número de sales; lo encontramos en las caparrosas azul y verde, el sulfato de cinc, el de amoniaco, la sal de Glauber, el alumbre y el yeso. Se emplean actualmente grandes cantidades de ácido sulfúrico en la industria de los colores del alquitrán, así como, en compañía del ácido nítrico, en la fabricación de la nitroglicerina para la dinamita. También se utiliza en nuestras casas, especialmente como medio de limpiar objetos de metal, en virtud de su capacidad para disolver óxidos, y muchos de nuestros lectores habrán tenido lugar, por esto, de conocer más de cerca sustancia tan corrosiva. Pero el espíritu destructor, digámoslo así, del acido en cuestión, no es tan arbitrario como á primera vista parece; al contrario, la acción tan enérgica que ejerce sobre materias orgánicas, esto es, sobre las de origen vegetal y animal, es susceptible de diferentes aplicaciones, máxime en vista de que sus efectos varían según que se halle más ó menos diluído. En muchos casos se explican estos efectos por la gran afinidad del ácido para con el agua; como, por ejemplo, la carbonización de la madera, del azúcar, etc.; si se eliminan de esta sustancia los elementos del agua (hidrógeno y oxígeno) no queda, en efecto, más que carbón. Por otra parte, el ácido sulfúrico concentrado, calentado con alcohol, transforma éste en éter sulfúrico, y podríamos citar otros ejemplos del mismo género.

Como ciertas materias orgánicas ofrecen mayor resistencia que otras á los ataques del ácido sulfúrico, se emplea éste con ventaja para distinguir la lana

del hilo en los tejidos, pues las fibras del hilo resisten á él mejor que las de la lana. Dicho ácido descompone también difícilmente las grasas puras, y en esto se funda la industria, no despreciable, de la refinación del aceite vegetal y animal; si se mezclan con éste pequeñas cantidades de ácido sulfúrico, se carbonizan primero las materias extrañas ó impurezas, depositándose sobre el fondo de la vasija, mientras que después el ácido se deja separar del aceite por medio de agua. Del mismo modo se emplea el ácido sulfúrico para purificar los aceites minerales. En estado diluído, su acción no produce efectos destructivos, sino transformadores, ofreciendo la conversión del almidón en azúcar de uva ó glucosa un ejemplo interesante de este hecho: en efecto, si al agua con que se calienta el almidón se le agrega un poco de ácido sulfúrico, la pasta se transforma primero en dextrina y luego en una disolución de dicho azúcar, sin que el ácido mismo sufra alteración; y cuando ha cumplido su misión ó prestado su servicio, se separa fácil y completamente de la disolución añadiendo á ésta la cantidad correspondiente de cal, en cuanto que se combina con el ácido sulfúrico, formando yeso, que se precipita sobre el fondo de la vasija. Dicho ácido, si no se diluye demasiado, ejerce una acción análoga sobre las fibras vegetales, transformándolas en una pasta, y, por último, en azúcar (glucosa). También su acción pasajera opera una transformación particular de las fibras vegetales, cuando éstas se hallan elaboradas en forma de papel; y en esto se funda la fabricación del llamado *papel de pergamino*, que ha tomado un desarrollo notable en los últimos tiempos. El papel continuo, fuerte y sin encolar, se hace pasar por una mezcla fría, consistente en dos volúmenes de ácido sulfúrico y uno de agua, sumergiendo seguidamente el papel en agua pura y fría, para alejar el ácido; después de este lavado, y del secado consiguiente, el producto tiene el aspecto y hasta cierto punto la consistencia y solidez de la vejiga animal, pudiendo emplearse en muchos casos en sustitución de ésta.

En la multitud de descomposiciones, combinaciones y ensayos diversos que opera el químico, se ve á cada momento en la necesidad de apelar á la ayuda del ácido sulfúrico. Se vale, por ejemplo, del poder que tiene éste para absorber agua, para secar completamente materias que no se pueden calentar ni exponer al aire libre; pues basta al efecto colocarlas debajo de una campana de vidrio, al lado de un vaso lleno de ácido sulfúrico. Podríamos citar otras muchas aplicaciones importantes de esta sustancia, si dispusiéramos del espacio necesario; pero bastan las ya referidas para que nuestros lectores se formen una idea de su inmensa utilidad, pues debemos, además, ocuparnos de algunas otras combinaciones importantes del azufre.

SULFUROS ALCALINOS Y METÁLICOS, HIDRÓGENO SULFURADO, SULFURO DE CARBONO Y CLORURO DE AZUFRE

Los sulfuros dichos «hepáticos» *(hepar sulfuris)* que se emplean para baños medicinales y otros usos, son combinaciones del azufre con los metales alcalinos (potasio y sodio), ó con el calcio, y (salvo el calcico) se disuelven fácilmente en agua, mientras que los sulfuros de los metales más constantes, como hierro, cobre, cinc, plomo, etc., son insolubles en dicho líquido. Muchos de los últimos se encuentran en la Naturaleza en forma de piritas, blendas, etc.; pero se pueden producir artificialmente, tanto por calentamiento del azufre con el metal, como por la vía húmeda, mezclando con la disolución del metal ó de una de sus sales el hidrógeno sulfurado, el sulfuro de amonio ó una disolución de un sulfuro alcalino, que tienen por efecto la precipitación del sulfuro metálico en forma de polvo impalpable. Algunos de estos sulfuros metálicos se emplean en la fabricación de colores, como veremos más adelante.

Si un sulfuro metálico ó alcalino se somete á la acción de un ácido fuerte, el metal se oxida á expensas del agua, formando con el ácido una sal, mientras que el hidrógeno del agua se combina con el azufre, formando el gas *hidrógeno sulfurado*, que, según su naturaleza química, es una materia indiferente, pero que en sus efectos se manifiesta venenosa y de un olor detestable, á pesar de lo cual es de gran utilidad para el químico, como expusimos en la Introducción á este tomo. Se emplea en forma de gas, ó disuelto en agua, como el ácido carbónico, ó bien se satura con el gas el amoniaco líquido, obteniendo de este modo el *sulfuro de amonio*, que reune en sí los efectos del hidrógeno sulfurado con los del amoniaco.

Para la generación del hidrógeno sulfurado se emplea por lo general el sulfuro de hierro, preparado artificialmente echando hierro candente en azufre fundido, de lo que resulta en seguida la combinación de ambos elementos; sulfuro que se descompone por medio de ácido sulfúrico. El aparato comúnmente usado en los laboratorios químicos está representado en la fig. 310: los dos globos *A* y *B* forman un cuerpo, y por el cuello de *B* pasa un tubo *b*, que llega por la parte inferior hasta cerca del fondo de *A*, terminando superiormente en el globo *C;* el cierre del cuello de *B* por dicho tubo debe ser hermético. La abertura *a* del globo *A* se cierra mediante un tapón de vidrio, y la *c* en un lado del globo *B* se provee de un tapón de cautchuc, á través del cual pasa un tubito de vidrio con un grifo *d;* por último, en el tapón del globo *C* se fija un tubo encorvado *e*, lleno en parte con una lejía de potasa, que sirve de cierre hidráulico. Sobre un disco, ó mejor dicho, un anillo de cautchuc que forma el fondo del globo *B*, se coloca el sulfuro de hierro en pequeños pedazos, y se echa el ácido sulfúrico diluído en *C;*

al abrir el grifo *d*, el ácido pasa desde el tubo *b* al globo *A*, y sube en *B* hasta sumergir el sulfuro de hierro, empezando entonces el desprendimiento del hidrógeno sulfurado, que sale por *c*, conduciéndose, mediante un tubo, adonde ha de servir. Si se cierra el grifo *d*, el gas, no hallando salida, obra por presión sobre la superficie del ácido hasta desalojarlo de *B* y *A*, en cuyo caso vuelve á subir en *C*, suspendiéndose entonces la descomposición del sulfuro de hierro; la cual empieza de nuevo cuando se vuelve á abrir dicho grifo, es decir, cuando se necesita emplear el gas.

Se conoce una combinación interesante del azufre con el carbono, ó sea el *sulfuro de carbono*, ó más propiamente, *disulfuro de carbono*, que constituye una esencia sumamente volátil, pareciendo imposible que proceda de padres, digámoslo así, tan sólidos como el azufre y el carbon. El químico *Lampadius* lo descubrió en Freiberg, el año 1796, y le dió el nombre de *alcohol de azufre*. Constituye un líquido de gran poder refringente; posee en estado bruto un olor fuerte y repugnante comparable al de nabos podridos, y obra sobre nuestra sensibilidad de un modo análogo que el éter y el cloroformo; es sumamente volátil, sus vapores son venenosos, y además se enciende con gran facilidad, por cuyas razones es preciso tomar ciertas precauciones al usarlo, para evitar desgracias; es, sin embargo, más denso que el agua, y como no se mezcla con ella, la mejor manera de conservarlo es tenerlo bajo una capa de este mismo líquido.

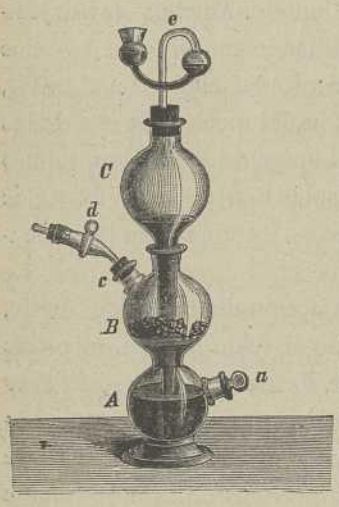


FIG. 310.—Aparato para el desarrollo de hidrógeno sulfurado.

El valor técnico del sulfuro de carbono estriba en su gran poder disolvente sobre materias resinosas y grasas y hasta sobre el azufre, el fósforo, el yodo, etc. Pero su empleo extenso, y por consiguiente, su fabricación en grande, datan de tiempos recientes, estando íntimamente relacionados con la industria del cautchuc; pues disolviendo perfectamente tanto éste como la gutapercha, se emplea más en especial para vulcanizar el cautchuc, como explicaremos en el tomo V de esta obra. Si se deja evaporar una disolución de azufre en sulfuro de carbono, se separa el primero en forma de hermosos cristales, y en esto se funda el nuevo procedimiento de beneficio de las margas sulfurosas cerca de Cracovia, como dijimos al principio del presente capítulo.

El sulfuro de carbono se encuentra todavía, digámoslo así, al principio de su órbita industrial, y hallará en lo sucesivo una aplicación tanto más extensa, cuanto más se abarate su fabricación. Se ha empezado ya á emplearlo para extraer aceite y grasa de simientes oleaginosas, orujos, huesos, residuos de la fundición de sebo, etc.; las simientes, por ejemplo, se machacan, la masa se trata

con sulfuro de carbono, se filtra, y el líquido se evapora en retortas á una temperatura baja; el aceite puro queda en las vasijas, mientras que el sulfuro de carbono resulta volatilizado, condensándose en un aparato á propósito para volver á servir; operaciones todas que han de practicarse en espacios cerrados. En el desengrasado de la lana y los paños por medio del sulfuro de carbono, como hoy se practica, no sólo se ahorra todo el jabón que se emplearía de otra suerte, sino que se obtiene toda la grasa, y los géneros resultan más hermosos que los desengrasados por el procedimiento ordinario. También por medio de dicho sulfuro se extrae hoy de los huesos destinados á ser carbonizados, de 10 á 12 por 100 de grasa que antes se desperdiciaba. En Francia se aplica la sustancia de que tratamos á la extracción de esencias, de especias y flores aromáticas, purificándolo naturalmente antes por medio de potasa ó cal cáusticas, etc., con lo cual pierde su olor repugnante, adquiriendo otro agradable, parecido al del cloroformo. Después de separar, por evaporación, el sulfuro de carbono de semejantes extractos, se mezclan éstos con azúcar, sal, goma, etc., y se entregan al comercio bajo el nombre de «especias solubles».

Se ha propuesto también el empleo del sulfuro de carbono como material de guerra. La idea, que desde luego rechaza la humanidad, estriba en la facilidad con que dicha sustancia disuelve el fósforo (hasta doce veces su propio peso); con semejante disolución diabólica se podrían llenar bombas de cáscara muy delgada, que al dispararse contra el enemigo y tocar en tierra, se romperían, repartiendo en torno su contenido; de este modo los hombres y objetos inmediatos se cubrirían de fósforo, que se incendiaría espontáneamente tan luego como se volatilizara su medio disolvente. Más aceptable es el empleo del sulfuro de carbono en la guerra que perseguimos contra bichos dañinos de todas clases, y que no pueden resistir á los efectos de sus vapores; pero, como ya dijimos más arriba, el uso de sustancia tan inflamable y venenosa supone la observancia de la mayor precaución. Si se agita el sulfuro de carbono con una disolución de potasa cáustica en alcohol, se forman finos cristales ó agujas blanco-amarillentas del llamado *xantogenato de potasio* ó aethylsulfocarbonato potásico, que es una sal que se emplea para destruir la filoxera y los coleópteros subpentámeros del género *Háltica*, impropiamente llamados pulgones, que tanto daño causan en las vides. Se aplican actualmente grandes cantidades de sulfuro de carbono en la producción de los preparados de rhodan para el estampado de telas.

La fabricación de dicho sulfuro consiste esencialmente en hacer pasar vapores de azufre á través de carbones vegetales candentes; la combinación de ambos elementos, en la proporción de seis partes por peso de carbono y 32 de azufre, se verifica en el acto, y no queda más que condensar el producto gasiforme, recoger el líquido en una vasija bajo agua, y purificarlo. El carbón vegetal se emplea en pedacitos del tamaño de avellanas, y se echa en retortas enderezadas

de arcilla ó hierro colado, colocadas para su debido calentamiento en un horno de reverbero. Por medio de un tubo se introduce el azufre en el fondo de las retortas, donde se funde y se vaporiza, elevándose entonces los vapores á través de la masa candente de carbón, y entrando en combinación con el carbono. El producto se forma sin interrupción mientras quedan carbón y azufre en las retortas, y después de condensado constituye un líquido de color amarillo, consistente en sulfuro de carbono con bastante azufre en disolución, pues la fuerza disolvente de aquél sobre éste se manifiesta ya en las retortas mismas. Para purificar el producto bruto de este contenido en azufre, así como de sus demás impurezas, se somete á la destilación una ó dos veces, á una temperatura moderada, y se limpia también por medios químicos. Recientemente se han introducido varias mejoras en los aparatos destinados á la fabricación del sulfuro de carbono.

El *cloruro de azufre* es un producto más desagradable todavía que el de que acabamos de ocuparnos, pero también posee propiedades útiles y singulares, habiendo encontrado asimismo aplicación industrial en tiempos recientes. Como su nombre indica, es una combinación de cloro y azufre, constituyendo un líquido de color rojo ó amarillo, sumamente volátil, que, expuesto al aire, despide vapores de olor ácido y nauseabundo; no puede subsistir mucho tiempo en el aire ni en el agua, sino que, en contacto con éstos elementos, se descompone en ácido clorhídrico y ácido sulfuroso. Su poder disolvente es tan grande como el del sulfuro de carbono, afectando también á las mismas materias, y se emplea igualmente en la vulcanización del cautchuc: si la masa de éste, saturada ó impregnada de antemano con el cloruro en cuestión, se deja evaporar, se escapa sólo el cloro, dejando el azufre incorporado al cautchuc, lo que constituye la esencia de dicho procedimiento.

El cloruro de azufre se produce cuando entran en contacto el cloro gasiforme, seco, y el azufre en forma de polvo ó de vapor. Si se conduce el cloro á través de un tubo que contiene flor de azufre, se obtiene en la vasija condensadora correspondiente, lo mismo que tratándose del sulfuro de carbono, un producto impuro que contiene mucho azufre en disolución, y que es preciso destilar á una temperatura moderada para sacar el cloruro limpio.

Diversas particularidades químicas prestan al cloruro de azufre un interés científico. Si se agita aceite de colza con una décima parte de su volumen de dicho cloruro, se produce una reacción violenta: se forma ácido clorhídrico y queda una masa blanca y blanda que, según Muspratt, posee todas las propiedades del cautchuc, en sustitución del cual puede emplearse. Sin embargo, hasta el presente no parece que se haya dado á este interesante descubrimiento una aplicación práctica.



LA PÓLVORA

Y DEMÁS MATERIAS EXPLOSIVAS

Importancia de la pólvora, é historia de su invento.—Componentes y fabricación de la pólvora.—Modo de arder y sus efectos.—Fuegos artificiales.—Otras materias explosivas: algodón pólvora, nitromanita, nitroglicerina, dinamita, gelatina de minas, etc.—Medios para pegar fuego á la pólvora, etc.: fulminantes ó mixtos, estopines de fricción, cápsulas y espoletas de percusión.

La conquista de la Tierra por la civilización, ó al menos en nombre de la misma, se liga íntimamente con el empleo de la pólvora y de las armas de fuego; pues aunque cabe discutir acerca de las ventajas de colonizaciones llevadas á cabo pacíficamente bajo los poderosos auspicios del comercio, sobre las verificadas á mano armada, es lo cierto, por desgracia, que siempre ha predominado y sigue prevaleciendo el principio de la fuerza, cuando los pueblos europeos han tratado de extender su territorio allende los mares y entablar

ó multiplicar sus relaciones con pueblos menos cultos ó bárbaros, y que, hace siglos, su auxiliar más eficaz ha sido precisamente la pólvora. Y no es menos evidente que, erigido ya en sistema dicho principio de la violencia, la fuerza del vapor casi ceja en importancia ante la del medio destructor de que hablamos; pues para los efectos de la extensión de nuestras relaciones en apartadas é incultas tierras, una flota de buenos buques de vela, provista de las armas de fuego más perfeccionadas, resulta más apropiada que otra de vapores ó mixta que sólo contara con armas inferiores, ó que se atreviera á semejantes expediciones sin armamento alguno.

Pero también la pólvora ha contribuído poderosísima y eficazmente á abrir el camino de nuestro progreso pacífico, pues ha hecho saltar y ha perforado las gigantescas moles de las montañas para dar paso á nuestras carreteras y vías férreas; ha volado los peñascos y riscos que impedían la navegación fluvial y comprometían la seguridad de los puertos marítimos, mientras que por su medio excavamos por do quier nuestras piedras de construcción, alumbramos muchas aguas potables, y penetrando en el seno de la madre tierra, arrancamos los metales y minerales que son el alma de nuestra prosperidad. En todos los casos en que es cuestión de vencer en un instante la resistencia de la inercia y la cohesión, la pólvora se muestra superior á todas las fuerzas humanas y mecánicas, aunque, sumisa á la voluntad del hombre, consiente la limitación de sus efectos con arreglo á los diferentes fines que éste se propone. Sin embargo de que en este terreno pacífico, y también en el arte militar, compiten ventajosamente con la pólvora otras materias explosivas, la invención de éstas ha sido no más que una consecuencia de la de aquélla, determinada en vista de su gran utilidad y con el deseo natural de aumentar y mejorar su efecto.

Pero si la pólvora y sus congéneres reclaman un puesto importante en este libro, no es sólo por su valor como elementos del desarrollo de la civilización y del poder político, ni como poderosos auxiliares de la industria y el comercio, sino también porque de su fabricación depende, en todo ó en parte, una serie de importantes artes técnicas.

La invención de la pólvora, es decir, de la mezcla de nitro, carbón vegetal y azufre, que así se denomina, se atribuye popularmente, con el apoyo de ciertos datos históricos, á un fraile de Freiburgo (Baden) llamado *Berthold Schwarz* (en realidad Constantino Ancklitzen), á cuya memoria y en tal concepto se erigió un monumento en dicha ciudad el año de 1853. Pero ha pasado ya el tiempo en que un patriotismo mal entendido logra recabar para un individuo determinado la invención de que tratamos; pues prescindiendo de la probabilidad, cada vez más evidente, de que los antiguos pueblos civilizados de Asia, en especial los chinos y los indios, preparaban y usaban, en tiempos muy remotos, una mezcla parecida á nuestra pólvora, precisamente las investigaciones de los alemanes en el terreno de la literatura clásica y oriental han demostrado que el

llamado *fuego gregüesco* ó *griego* se empleaba en la guerra por el siglo VII de nuestra Era, y que, según todos las probabilidades, su composición se diferenciaba muy poco ó nada de la de la pólvora moderna. Vitruvio refiere que las máquinas de guerra de Arquímedes lanzaron piedras con gran estrépito durante la defensa de Siracusa, el año 212 antes de nuestra Era; y como las catapultas y ballestas de los romanos eran aparatos bien conocidos, y el ruido que produjeran no debió llamar la atención, se ha emitido la opinión, un tanto atrevida, de que Arquímedes conocía la pólvora y sus efectos. Marcus Græcus describe el «fuego griego» que se empleaba en la defensa de Constantinopla contra los mahometanos, como una mezcla de seis partes de nitro, dos de carbón y una de azufre. El célebre fraile dominicano inglés Rogerio Bacon habló de la pólvora en sus escritos, por el año 1214, y Berthold Schwarz, que vivía á principios del siglo XIV, sólo parece haber descubierto la fuerza propulsora de la mezcla (que ya se conocía hacía tiempo como medio á propósito para producir fuego), y además haber contribuido á que los Estados europeos acabaran de adoptarla para la guerra. Es un hecho que una pólvora compuesta de nitro, carbón y azufre se empleó en el año 1327 para lanzar proyectiles por medio de cañones; y la batalla de Crecy, en 1346, entre ingleses y franceses, se cita generalmente por los historiadores como la primera en que tomó parte activa la artillería, aunque, según un antiguo texto inglés, aquellas «bombardas», como se llamaban, sólo lanzaban pequeñas balas ó esferas de hierro «para *asustar* á los caballos franceses».

La pólvora de aquellos tiempos consistía sencillamente en una mezcla pulverulenta, hecha á mano, de las tres materias ya referidas, y, por consecuencia, su fuerza propulsora debía ser bien escasa; además, y dadas las diferentes densidades del nitro, del carbón y del azufre, es evidente que el transporte de la mezcla, con los sacudimientos inevitables, debía perjudicar de un modo notable su homogeneidad. La preparación de la pólvora graneada data de mediados del siglo XV; pero aun en esta forma su transporte y empleo en la guerra ofreció no pocos inconvenientes hasta el siglo XVII, cuando el rey Gustavo Adolfo de Suecia inventó el cartucho. Desde entonces las exigencias crecientes de la artillería han determinado importantes modificaciones en el tamaño y la forma de los granos de pólvora; la de grano más ó menos fino ha quedado relegada al servicio de las armas de fuego de mano, mientras que para la artillería de campaña se emplea pólvora en granos de cuatro á nueve milímetros de diámetro, y para la de sitio y los cañones monstruos de los fuertes y la marina moderna, los granos se hacen redondos, de 12 á 16 milímetros, ó bien cilíndricos, teniendo cada uno 18 milímetros de diámetro y 10 de alto, con un taladro en el centro que no lo atraviesa completamente; ó bien prismáticos, de seis lados, de 40 milímetros de diámetro y 24 de alto, con un taladro central ó siete distribuídos en círculo que atraviesan el grano de parte á parte en el sentido de su eje.

FABRICACIÓN DE LA PÓLVORA

Empléase en ella el nitro potásico y el azufre más puros que se pueden obtener en el comercio, pues la pureza de tales materias es una condición indispensable para producir una pólvora de buena calidad; el nitro no debe contener nitrato de sosa ni clórido alguno, y es preciso que el azufre esté libre de arsénico y ácido sulfúrico, por cuya razón sólo puede emplearse en estado refinado.

La preparación de un carbón á propósito para la pólvora ofrece bastantes dificultades, pues con la elevación de la temperatura durante la carbonización de la madera disminuye la porosidad del producto, y aumenta su capacidad para conducir el calor, perjudicándose con ello su propiedad de inflamarse. Por esto sólo se practican hoy los modos de carbonización que permiten regular la temperatura durante la operación. Las maderas más á propósito para el carbón de pólvora son las menos densas, prefiriéndose las de chopo, avellanillo, tilo, castaño, y también la del cáñamo, del lino, de la vid, y plantas análogas, de las que las primeras se emplean más especialmente en el Norte de Europa y las segundas en el Mediodía, incluso Francia. Las maderas ó leñas densas y duras, especialmente cuando contienen sustancias resinosas, dan carbones que se inflaman con dificultad, arden con lentitud y dejan mucha ceniza.

La carbonización se verificaba antes bajo la acción directa de la llama en carboneras, hoyos, hornos ó calderas; pero hubieron de abandonarse semejantes procedimientos, porque los productos resultaban con frecuencia impuros, y siempre desiguales y de propiedades variables. Hoy día, y á los efectos de la industria que nos ocupa, la carbonización se verifica únicamente en retortas cilíndricas de hierro, de dos metros de largo por 67 centímetros de diámetro, de modo que las llamas no entran en contacto con las maderas; ó bien se emplea al efecto el vapor de agua sobrecalentado, según el modo practicado primero en la gran fábrica de pólvora de Welteren, cerca de Gante (Bélgica). Este procedimiento, ideado por *Violette*, de Esquerdes, cerca de Saint-Omer, merece ser adoptado en todas partes, por ser la única manera racional de carbonizar. Las varillas de madera, libres de su corteza, y que no deben tener más de dos á dos y medio centímetros de grueso, después de almacenadas durante varios años para que se sequen completamente, se colocan en cilindros de palastro agujereados, uno de los cuales se introduce á su vez en un cilindro grande y muy sólido de hierro, cerrado en ambos extremos, y mientras que por uno de éstos penetra vapor de agua, sobrecalentado hasta una temperatura determinada, encuentran salida por un tubo estrecho en el extremo opuesto, los productos secundarios de la descomposición, como el vinagre de madera, etc. Al cabo de dos horas se halla consumada la carbonización de la madera, y el vapor que sale, libre de olor;

el cilindro agujereado de palastro que contiene el carbón, se saca del cilindro grande de vapor, encerrándose en seguida y herméticamente en otro, donde se deja hasta su completo enfriamiento; continuando entretanto la carbonización del contenido de otros cilindros de palastro. Con una temperatura de 338 á 375 grados se obtiene un carbón rojizo, suelto, poroso, mal conductor de calor, y, por tanto, muy inflamable, á propósito para la pólvora de caza y de minas; mientras que bajo una temperatura de 437 grados se produce un carbón negro, más duro y menos inflamable, á propósito para la pólvora de guerra.

Verifíquese de ésta ó de la otra manera, la carbonización siempre debe

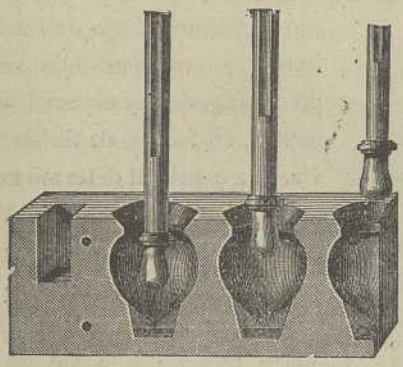


FIG. 311.
Morteros para fabricar pólvora.

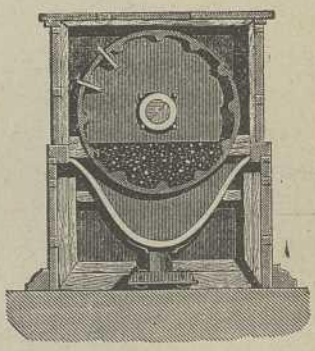


FIG. 312.
Aparato para pulverizar los componentes de la pólvora.

practicarse en la fábrica misma donde se hace la pólvora, porque el carbón no se puede guardar sin que absorba humedad del aire. Además, una capa grande de semejante carbón, de más de cinco centímetros de espesor, puede encenderse espontáneamente, en virtud de su gran poder de absorción del aire, combinado con su poca conductibilidad del calor. Esta circunstancia, unida á la naturaleza tan inflamable y explosiva de la pólvora misma, hace imprescindible la adopción de grandes precauciones en la industria de que tratamos, el aislamiento de la fábrica misma, techumbres ligeras de sus edificios, pararrayos, etc.

En otros tiempos la pulverización y mezcla de los ingredientes de la pólvora, así como la condensación de su masa, se verificaban en un mismo aparato, constituído por una serie de morteros (fig. 311); pero hoy se practican dichas operaciones con máquinas distintas, tanto en atención á la mayor seguridad de los operarios, como á la calidad del producto. La pulverización de las primeras materias tiene lugar en tambores metálicos (fig. 312), que giran lentamente en torno de su eje horizontal, y en cuyo interior se encuentran esferas macizas de bronce, cuyo peso total debe ser siempre mayor que el de la materia que se trata de pulverizar. En otros tambores ó toneles de madera, revestidos interiormente con cuero, se verifica entonces la mezcla de los tres ingre-

dientes, en proporciones determinadas, de que hablaremos más adelante, empleando al efecto esferas de madera dura. Cuanto más finos son los polvos empleados, tanto más íntima resulta su mezcla, y, por consiguiente, tanto mejor el efecto del producto. Es evidente que el nuevo modo de pulverizar y mezclar es mucho menos peligroso que el antiguo, por medio de pesados pilones de hierro, pues en aquél no se produce golpe violento alguno.

Mezclados íntimamente el nitro, el carbón y el azufre muy pulverizados, la masa pulverulenta se humedece á fin de disminuir el riesgo consiguiente á la elaboración á que se somete luego; pero semejante operación no se verifica á ojo de buen cubero, sino que para ello se emplean regaderas especiales que lanzan, en forma de finísima lluvia, una cantidad determinada de agua sobre una, también determinada, de dicha masa. La pasta obtenida de este modo se distribuye mecánicamente sobre una fuerte tela de hilo sin fin, que circula de continuo, pasando entre dos pesados cilindros metálicos, como indica en sección vertical la fig. 313, y así la masa de pólvora resulta condensada ó prensada al paso, adquiriendo el aspecto de la pizarra y cayendo en pedacitos en un cajón colocado al efecto delante de los cilindros. La compresión de la masa referida se verifica también por medio de prensas hidráulicas, que producen tortas de cierto espesor, en vez de una capa delgada y continua. Esta condensación, como se llama, es necesaria para aumentar la fuerza propulsora de la pólvora y evitar que la mezcla se deshaga; sin ella se propagaría con demasiada lentitud la combustión de las diferentes partículas.

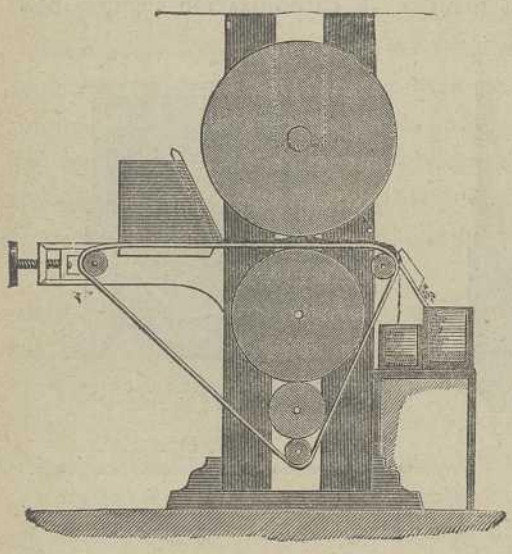


FIG. 313.—Máquina para condensar la pólvora.

La masa condensada, ora mediante dichos cilindros, ora en prensas hidráulicas, se granula haciéndola pasar, según el modo inglés, entre cilindros acanalados que giran en sentidos contrarios; ó bien, según el procedimiento francés de Lefebure, que también se ha adoptado en Alemania, por medio de la llamada máquina de granular (fig. 314). En un sólido armazón de madera, que se halla suspendido mediante cuerdas al techo del local, se encuentran diez ó doce vasijas cilíndricas, también de madera, provistas cada una de varias divisiones ó pisos agujereados, colocados á corta distancia uno sobre otro; el piso superior está formado de madera fina y dura, ó bien de chapa de latón; el segundo consiste en una tela de alambre; el tercero lo constituye una tela de crin, y el cuarto,

que forma el fondo, es de madera dura. Al conjunto, esto es, al armazón con las vasijas, se le imprime un movimiento rotatorio por medio de un árbol vertical de hierro, que atraviesa su centro y se desarrolla en este punto en forma de codo ó excéntrica, como indica claramente nuestro grabado; árbol que, mediante el motor respectivo, gira á razón de 74 vueltas por minuto. Las vasijas se llenan desde arriba por medio de pequeñas tolvas y mangas de lona, y un disco de madera dura y plomo desmenuza la masa condensada, obligándola á pasar á través de los agujeros de la primera división y caer sobre la segunda; los granos que quedan sobre ésta son gruesos y constituyen la pólvora de artillería, mientras que los que pasan por sus agujeros caen sobre la tercera división, donde, después de soltar el polvo, que se va al fondo del aparato, forman la pólvora de caza ó de fusil. La pared de las vasijas tiene aberturas correspondientes á dichas divisiones, provistas exteriormente de mangas de lona, de modo que, durante la granulación, van cayendo las diferentes clases de pólvora continua y separadamente en cubos de madera que se colocan sobre el piso del taller para recibirlas.

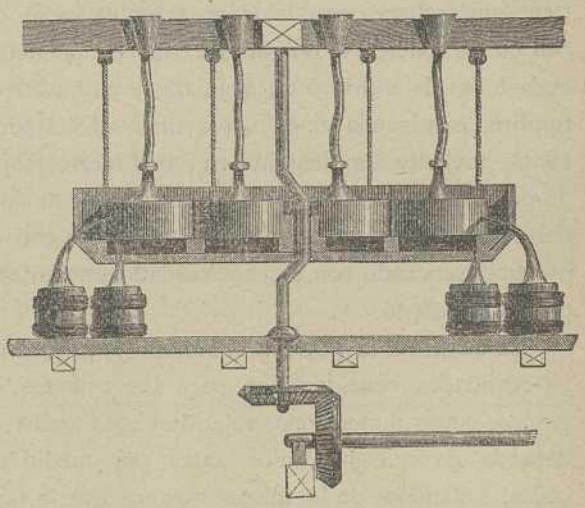


FIG. 314.—Máquina para granular la pólvora.

Los granos de pólvora obtenidos de dicho modo, lo mismo que por el inglés, no tienen todavía una forma esférica ó redondeada regular, sino que son angulosos, y hay que redondearlos y darles brillo, ó pavonarlos, como se dice. Es verdad que la pólvora en granos irregulares, tal como sale de dichur aparatos, es la más eficaz en razón de los muchos puntos de contacto que ofrece; pero, en cambio, no se deja transportar sin desmenuzarse más ó menos, formando bastante polvo, que se desperdicia y constituye un peligro. Por esta razón, y después de extender dicho producto en espaciosos y bien ventilados locales, á fin de secarlo un poco, se echa en tambores como los ya referidos, en que se mezclan los ingredientes, y los granos se redondean y pulen en virtud de su rozamiento unos contra otros, mientras giran lentamente dichos aparatos. Algunos fabricantes agregan un poco de grafito en polvo para mejorar el color y aspecto de la pólvora; pero esto no es recomendable, porque la tenue capa de dicha sustancia, aunque en realidad es carbono casi puro, perjudica la inflamabilidad de los granos que recubre.

Después de las operaciones descritas no queda más que secar la pólvora definitivamente, á cuyo efecto se extiende sobre telas de lana, sostenidas por enrejados de alambre, fijos en bastidores y suspendidos en un local á propósito, cuyo aire, calentado por medio del vapor hasta la temperatura necesaria, es obligado, mediante ventiladores centrífugos, á pasar á través de las telas y capas de pólvora, hasta dejar ésta enteramente seca. En este estado el producto se despolvorea, procediéndose entonces seguidamente á envasarlo; de ordinario se encierra á granel en pequeños toneles ó cuñetes de madera; pero si la pólvora tiene que transportarse lejos, se echa en sacos de lienzo ó cuero, que se colocan en los toneles; la pólvora de caza en pequeñas cantidades suele envasarse en botellas de vidrio ó de hojalata, y en nuestro país subsiste todavía la costumbre, condenada ya en otros más adelantados, de ofrecer el género á la venta, envuelto simplemente en papel fuerte, sujeto con bramante. Los toneles de pólvora deben estar sujetos con cercos de cobre, no de hierro, y nunca se debe hacerlos rodar, sino llevarlos en peso con el mayor cuidado; pues únicamente observando con escrupulosidad semejantes precauciones cabe protegerse contra el peligro.

En cuanto á la pólvora cilíndrica y prismática que se fabrica actualmente en cantidades considerables para los cañones de mayor calibre, sus grandes granos, cuyas dimensiones referimos más arriba, se forman con la pasta condensada de que hablamos antes, por medio de moldes y prensas especiales; secándose de la misma manera que la pólvora ordinaria y envasándose por cantidades de cincuenta kilogramos en cajas de madera.

La fabricación perfeccionada de la pólvora, que dejamos descrita brevemente en los párrafos que preceden, con ser desde luego más humanitaria, digámoslo así, que el procedimiento antiguo, no se desarrolló al principio en virtud de un sentimiento filantrópico, sino sólo en vista de las apremiantes necesidades del Gobierno francés, ante las primeras guerras que siguieron á la gran Revolución. Los aparatos empleados hasta entonces, es decir, los morteros y pilones que reproducimos en sección vertical en la fig. 311, no podían hacer frente á consumo tan grande y rápido, y de aquí la adopción de toneles rotatorios para pulverizar y mezclar los ingredientes, cuya idea se debe á *Rollier*. La mezcla pulverulenta se granulaba en los toneles mismos, con arreglo al modo de *Champy*, esto es, por medio de gotas de agua inyectadas de un modo especial; y de esta suerte la fabricación se realizaba con rapidez. Pero el producto dejaba mucho que desear, desmenuzándose durante el transporte, y por esto, y en los tiempos algo más sosegados que sucedieron, los fabricantes franceses volvieron otra vez al aparato antiguo. Más adelante Napoleón mandó estudiar con mayor cuidado los procedimientos de la Revolución, y el resultado fué que se adoptaron definitivamente los toneles giratorios de Rollier para pulverizar y mezclar las primeras materias, y se idearon el modo de prensar ó con-

densar la masa y la máquina de granular que hemos descrito. Perfeccionados desde entonces semejantes aparatos, la fabricación de la pólvora se verifica hoy con la mayor seguridad posible para los operarios, con una economía notable en fuerza motriz y con gran rapidez, siendo excelentes los productos.

INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN DE LA PÓLVORA

Las proporciones en que se mezclan las tres materias que constituyen la pólvora, varían un poco según los usos diversos á que esta sustancia se destina. Según la fórmula dada por Baptista Porta en 1567, la mezcla consistía en su tiempo en seis partes de nitro, una de azufre y una de carbón; con arreglo á diferentes escritores antiguos, el «fuego griego» se componía esencialmente de seis partes de nitro, dos de carbón y una de azufre; mientras que nuestros químicos mezclan, por termino medio, 75 partes por peso de nitro, 12 de azufre y 13 de carbón. La proporción moderna apenas difiere, pues, de la antigua, y sólo sufre ligeras modificaciones, con arreglo á las diferentes aplicaciones de la pólvora en nuestros tiempos, distinguiéndose, por ejemplo, las composiciones siguientes:

	Nitro.	Azufre.	Carbón.
Pólvora de guerra	74	10	16
Pólvora de caza	78,5	10	11,5
Pólvora de minas	66	12,5	21,5

Esta mezcla, cuyos efectos se promueven ó aumentan mediante la pureza de las primeras materias y su pulverización más fina, se enciende á una temperatura de 313 grados próximamente. Si la temperatura se eleva gradualmente, se inflama primero el azufre, pegando fuego al carbón; pero si el calor se produce repentinamente, mediante una chispa, por ejemplo, es el carbón el que se enciende primero, propagándose luego el fuego al azufre. En ambos casos las dos materias referidas (el azufre y el carbón) se apoderan del nitro, resolviéndolo en sus elementos. Lo que antes no era más que una mezcla puramente mecánica de finísimas partículas de polvo, unidas por adhesión y compresión, se convierte de pronto en una verdadera combinación química. El nitro, compuesto de ácido nítrico y potasa, es decir, de nitrógeno y oxígeno por una parte y de potasio y oxígeno por otra, se descompone al calor generado por el azufre y el carbón, entregando oxígeno al carbono y á una parte del azufre, y produciéndose, en su consecuencia, ácido carbónico, óxido de carbono y ácido sulfúrico. Este último, y una parte del ácido carbónico, se combinan con potasa, formando carbonato y sulfato potásico; mientras que la parte restante de azufre

constituye sulfuro de potasio con cierta porción de la potasa reducida á metal. Se creía antes que este sulfuro potásico constituía la parte principal del residuo después de la explosión de la pólvora; pero los análisis más recientes y exactos de semejantes residuos han demostrado que se componen, según la clase de la pólvora y el modo de su combustión, de 43 á 55 por 100 de carbonato de potasa, 8 á 24 de sulfato de potasa, y 5 á 19 de sulfuro de potasio, y además, de una sal que antes había pasado inadvertida, esto es, el hiposulfito potásico, cuya proporción puede elevarse hasta el 32 por 100.

Los gases que se desprenden en la explotación de la pólvora, y cuya expansión constituye la fuerza propulsora de la misma, componen, según las investigaciones más recientes, de 41,8 á 44,8 por 100 del peso de la pólvora que les da origen, mientras que la cantidad de los residuos sólidos resultantes de la explosión es de 58,2 á 55,2 por 100 de dicho peso. Dichos gases se componen esencialmente de ácido carbónico, nitrógeno y óxido de carbono, á los que acompañan pequeñas porciones de hidrógeno sulfurado é hidrógeno carburado, etc.; causan bastante molestia á los mineros en sus labores subterráneas cuando la ventilación de éstas es defectuosa, y estorban no poco las operaciones militares durante el combate, en virtud del espeso humo blanco que forman y reduce el campo de la vista. Pero parece que nos hallamos en vísperas de la desaparición de los inconvenientes de semejante humo si llega á generalizarse un importante invento que acaba de hacerse, y que mencionaremos más adelante. En cuanto á los residuos sólidos que deja la pólvora, todo soldado que ha manejado el fusil en campaña, y el artillero sobre todo, conoce sus inconvenientes y sabe cómo, al cabo de muchos disparos, pueden llegar á inutilizarse sus armas.

La fuerza verdaderamente asombrosa que puede desarrollar hasta una pequeña cantidad de pólvora, no dejó de llamar la atención de los hombres pensadores de otras épocas. En la Edad Media, como es consiguiente, se atribuía dicha fuerza á los poderes subterráneos ó del infierno, y al bueno de Berthold Schwarz se miraba, naturalmente, como cómplice del demonio. El célebre físico inglés *Robins* practicó los primeros ensayos encaminados á determinar científicamente la fuerza de la pólvora; y después de él trabajaron con fruto, en igual sentido, el geólogo *Hutton* (1788) y el general de artillería bávaro *Rumfort* (1793). Sus investigaciones dieron por resultado, entre otros, que un centímetro cúbico de pólvora desarrolla 488 centímetros cúbicos de gases; y cuando se piensa en el calor generado por su combustión y que tiende á dilatar dichos gases, y en la circunstancia de verificarse semejante descomposición de la pólvora dentro de espacios tan limitados como un barreno de mina, el cañón de una escopeta ó de una pieza de artillería, se comprende fácilmente que la presión de los gases sea miles de veces superior á la de la atmósfera.

Aun cuando, con arreglo á los cálculos modernos más prudentes, se admita que un centímetro cúbico de pólvora granulada no desarrolle al principio más

de 300 á 400 centímetros cúbicos de gases, esto equivale ya á una presión de más de 2.000 atmósferas, dada una temperatura de combustión de 1.200 grados. Mas como en la actualidad no es posible determinar con bastante exactitud la cantidad de gases producida, ni la temperatura, ni tampoco las leyes de expansión, los datos de nuestras autoridades en la materia, tanto artilleros como químicos, no están, ni con mucho, acordes; pues mientras, según unos, la presión no pasa de 2.000 atmósferas, otros pretenden que se eleva á 10.000 y hasta á 15.000. Sea de ello lo que fuere, no cabe duda de que, por la explosión de la pólvora, se desarrollan fuerzas verdaderamente monstruosas, haciéndose sentir á veces sus aterradores efectos en la voladura casual de algún polvorín ó fábrica, que puede producir el hundimiento de edificios situados á bastante distancia del lugar del siniestro, amén de causar la rotura de gran parte de los cristales en una población inmediata, ó derribar desde lejos á personas que pasean tranquilamente por el campo.

Los muchos ensayos encaminados á sustituir la pólvora, tan conocida, con otras materias explosivas, no han dado, en general, resultados satisfactorios por cuanto se refiere á su empleo para las armas de fuego. La acción de la mayoría de los nuevos preparados, de que hablaremos más adelante, es demasiado instantánea y violenta, tendiendo á destruir la parte del cañón en que se encienden; la explosión se verifica con demasiada rapidez para que sus efectos puedan repartirse, digámoslo así, igualmente sobre las demás partes del tubo, y da margen, por lo mismo, á que estalle la recámara. Es verdad que la explosión de la pólvora nos parece también instantánea; pero sus fuerzas se desarrollan siempre con mayor lentitud que las de los nuevos explosivos en cuestión, y su efecto sobre las paredes del cañón es más bien el de una presión que no de un golpe violento. En cambio, varias de las materias explosivas recién inventadas surten mucho mejor efecto que la pólvora en los trabajos de minas, canteras y otros análogos, pues como en semejantes operaciones no hay cañón que considerar, ó, mejor dicho, como el barreno que hace sus veces está destinado á destruir, la violencia de la explosión es, en la mayoría de los casos, una ventaja, y no un inconveniente. Pero si, por la razón expresada, las materias explosivas, como la dinamita y la dualina, no son aplicables á las armas de fuego, la pólvora ordinaria parece destinada á sufrir ruda competencia, cuando no á desaparecer de la escena desde el momento en que llegue á divulgarse el secreto de un importante invento, á que aludimos más arriba, y que ocupa actualmente (1889) la atención de los círculos militares. Es el caso que un boticario de Viena, llamado *Karl Falkenstein*, acaba de inventar una pólvora que, reuniendo todas las buenas propiedades de la ordinaria, no produce humo al encenderse; como, por singular que parezca, no le quisieron escuchar las autoridades militares de su país, se presentó en Berlín al ministro de la Guerra, y en vista de los excelentes resultados que dieron las pruebas de la nueva pólvora sin humo, el Go-

bierno alemán ha comprado el secreto de su fabricación por una suma cuantiosa, y la está produciendo ya para el uso del ejército en la fábrica imperial de Spandau.

FUEGOS ARTIFICIALES

En los párrafos precedentes nos hemos ocupado de la pólvora desde el punto de vista de sus aplicaciones á la guerra y la industria; pero también se emplea en compañía de otras sustancias como medio de diversión, es decir, para producir los llamados fuegos artificiales, que en ciertas fiestas tanto recrean la vista de los espectadores.

Los inventos más hermosos y variados en este ramo de la pirotecnia se deben á París y á Roma. La mezcla de la pólvora común en polvo con limaduras de hierro, produce, al encenderse, las brillantes chispas blancas y rojas; las limaduras de cobre dan chispas verdes, y las de cinc otras azules. El colofonio y la sal común prestan á las llamas un color amarillo, mientras que el nitrato de estronciana produce un hermoso rojo purpúreo. Una mezcla de pólvora pulverizada, hollín de pino y nitro produce la preciosa lluvia de oro y las estrellas de los cohetes, y si se añade harina de la simiente de *licopodium*, se obtienen efectos análogos de color de rosa. Entre los muchos metales y sales que se emplean en la producción de fuegos artificiales, mencionaremos, además de los referidos, el magnesio, que ya se puede obtener de una fábrica de Berlín á un precio módico. Basta añadir dos y medio por ciento de este metal en polvo á la mezcla de pólvora y nitrato de estronciana, para prestar el mayor brillo á la hermosa llama encarnada, mientras que con la misma proporción de magnesio la luz verde de la llama del bario resplandece tanto, que parece blanca; de aquí que pueda producirse una luz brillante con sólo mezclar dos y medio por ciento de polvo de magnesio con nitrato de barita y goma laca, cuyos dos últimos componentes se funden primero juntos pulverizando la masa obtenida.

Los fuegos artificiales se producen por medio de piezas fijas, cuya combustión da lugar á fuentes ó cascadas de fuego, ó bien con piezas móviles como las ruedas y los cohetes. La causa del movimiento de éstos reside en la acción uniforme de los gases desarrollados por la combustión en torno del objeto de que parten; de modo que un cohete se eleva por la misma razón que un cañón retrocede al dispararse.

OTRAS MATERIAS EXPLOSIVAS

El *algodón-pólvora* es el preparado que más se aproxima á la pólvora por sus propiedades y aplicaciones; se llama también, y más exactamente, *nitro-celulosa ó piroxilina* (del griego *pyr* «fuego» y *xylon* «madera»), porque toda fibra

vegetal adquiere propiedades explosivas cuando se ablanda durante algunos minutos en una mezcla de los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados, se lava seguidamente en agua y se seca. Tal es, concretamente, el procedimiento para la preparación del algodón pólvora, como la inventaron, casi simultáneamente, los profesores *Schoenbein*, de Basilea (fig. 315), y *Boettger*, de Francfort sobre el Main, y ofrecieron á la Confederación alemana en 1846, como medio de sustituir la pólvora. Los químicos franceses *Braconnot* (1833) y *Pelouze* (1838) habían producido preparados análogos, vertiendo ácido nítrico sobre fibras vegetales; pero no habían hecho uso práctico de ellos. Desde 1846 á 1851 se hicieron en Maguncia y Viena, y más tarde en Inglaterra y Francia, ensayos oficiales del algodón pólvora; pero el juicio de las Comisiones informadoras no fué muy satisfactorio. Sin embargo, en vista de algunas propiedades muy importantes de la nueva materia, como la pequeña cantidad de residuos que deja al consumirse, su poco humo y su transparencia, el Gobierno austriaco adquirió por un buen precio los derechos de propiedad de Schoenbein y Boettger, y estableció, no lejos de Viena, una fábrica para producir en grande.

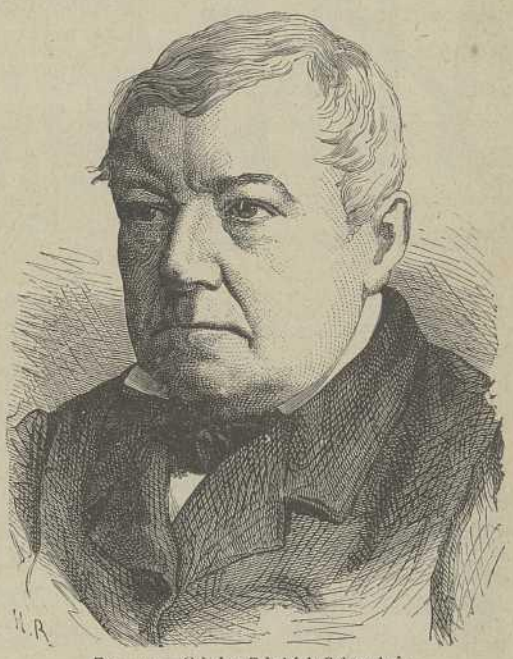


FIG. 315.—Cristian Friedrich Schoenbein.

El algodón destinado á esta industria debe limpiarse y secarse con mucho esmero, y los ácidos empleados deben ser lo más concentrados posible. La primera sumersión sólo produce una transformación incompleta, y hay que proceder á una segunda en una nueva mezcla de los ácidos, en la que se deja el algodón durante cuarenta y ocho horas. El lavado en agua corriente debe prolongarse hasta que hayan desaparecido los últimos indicios de ácido sulfúrico, cosa que sólo sucede al cabo de varias semanas; pero únicamente de esta manera se consigue obtener un algodón-pólvora capaz de conservarse, y que atrae poco la humedad. La temperatura á la que se enciende el producto preparado con arreglo al método del mariscal de campo austriaco barón de Lenk, es de 136 grados. El año 1862 empezó la transformación de toda la artillería de campaña austriaca en baterías rayadas para algodón-pólvora; pero de repente hubo de suspenderse, y desde entonces se ha abandonado completamente el proyecto.

Consideremos ahora un poco más de cerca la naturaleza y el modo de obrar

de esta materia explosiva, que reproducimos en la fig. 316, tal como aparece visto en un microscopio de gran aumento. Preparadas de la manera descrita, 100 partes de algodón dan de 150 á 178 del producto que nos ocupa, que, conservando el aspecto del algodón puro, se distingue, por el pronto, únicamente por una dureza algo mayor, el leve ruido que produce al comprimirse, y porque se electriza por frotamiento. Dicho aumento de peso estriba en que la celulosa, de que se compone el algodón, se asimila nitrógeno y oxígeno del ácido nítrico, ó, dicho más correctamente, una porción de ácido subnítrico desaloja en la combinación de la celulosa cierta cantidad de hidrógeno, ocupando su puesto. Según que dos ó tres átomos del hidrógeno de la celulosa resultan sustituídos por dos ó tres moléculas de dicho ácido, se distinguen la *dinitrocelulosa* y la *trinitrocelulosa:* esta última es el algodón-pólvora, mientras que la primera constituye el algodón de colodio. Los productos de la combustión del algodón-pólvora son nitrógeno, ácido carbónico, óxido de carbono, hidrógeno carburado y agua; queda muy poco residuo sólido, y como dichos gases constituyen un vapor casi incoloro, la carga y la puntería de los cañones se facilitan notablemente; además estos gases no son tan nocivos como los de la pólvora. Las experiencias han demostrado que cinco kilogramos de algodón pólvora en un espacio de 28 centímetros cúbicos, desarrollan al explosionar tanta fuerza útil como de 22 á 27 kilogramos de pólvora de guerra en el mismo espacio; y en vista de esto y de la rapidez de la descomposición, se explica fácilmente el enorme efecto explosivo del algodón-pólvora. Pero precisamente esta violencia es compatible con la conservación de las armas de fuego, como explicamos al hablar de la pólvora. El algodón pólvora esparcido libremente, es decir, sin envoltura sólida, produce, al encenderse, tan poco efecto como la pólvora en idéntico caso; se consume sobre el platillo de una balanza sin causar un retroceso de consideración; y si se extiende sobre un naipe y coloca sobre una capa de pólvora, arde sin producir la combustión de ésta. Como curiosidad, puesto que hace tiempo que no se emplea el algodón-pólvora en las armas de fuego de artillería é infantería, reproducimos en la fig. 317 un cartucho de esta materia, con bala cónica, para carabina; en cambio se fabrica hoy en grandes cantidades y estado comprimido para la carga de torpedos.

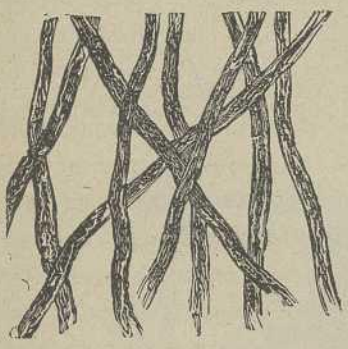


FIG. 316.
Algodón-pólvora visto al microscopio.



FIG. 317.
Cartucho de algodón-pólvora.

Si se disuelve la dinitrocelulosa, ó sea el algodón de colodio, en una mezcla de alcohol y éter, se forma un líquido pegajoso, el *colodio*, que es muy á propó-

sito para revestimientos delgados é impermeables; al evaporarse se convierte en una membrana ó piel perfectamente continua y bastante transparente, que se usa en cirugía para cubrir las heridas, y también para proteger los cartuchos de pólvora comprimidos que se fabrican hoy para los ejércitos. Antes se empleaba mucho colodio en la fotografía; pero á medida que se generaliza el uso de las planchas secas ó de gelatina, el consumo de aquél va disminuyendo cada día más. La nitrocelulosa en cuestión se utiliza también en preparar el llamado *celuloide*, que es una masa sumamente elástica y susceptible de hermoso pulimento, que se deja amasar á una temperatura de 145 grados, y puede entonces moldearse y mezclarse con diferentes materias colorantes. Se emplea en sustitución del marfil, haciendo con él diferentes pequeños objetos de utilidad y adorno, que sólo tienen el defecto de ser demasiado combustibles. La preparación del celuloide consiste en disolver la nitrocelulosa (hecha con algodón ó con pasta de papel) en alcanfor fundido; operación que se verifica por medio de una fuerte presión hidráulica, á una temperatura de 130 grados, producida mediante el vapor.

La *pólvora de barita* es un producto ensayado hace algunos años en Bélgica, que contiene, además del azufre y carbón de la pólvora común, nitrato de barita en lugar del nitrato de potasa (nitro); pero no se ha adoptado, porque deja mucho residuo sólido, que ocasiona una gran pérdida de calor, y, por ende, una disminución notable de la expansión de los gases.

En la *pólvora de picrina*, inventada por *Designolle*, el azufre de la pólvora común se halla sustituído por picrato de potasa. El ácido picrínico resulta del ácido fénico extraído del alquitrán mineral, por su digestión prolongada con ácido nítrico concentrado y ligeramente calentado; y en combinación con los álcalis produce sales muy explosivas. Designolle emplea 20 por 100 del picrato potásico para la pólvora de fusil, y de 8 á 15 por 100 para la de artillería, según que la combustión deba verificarse más lenta ó rápidamente. Señala como ventajas de su producto la facilidad y seguridad con que se fabrica, su baratura, la corta cantidad de residuo sólido que deja y la conservación de las armas en que se quema; pero las terribles explosiones ocurridas hace años en París, demuestran que el picrato en cuestión puede resultar muy peligroso.

La *pólvora blanca* de *Augendre*, consistente en 28 partes de ferricianuro de potasio, 23 de azúcar de caña ó almidón de patata, y 49 de clorato de potasa, no ha dado en la práctica resultados satisfactorios. Otro preparado análogo es la llamada *pólvora química* del capitán de artillería *E. Schultze*, de Potsdam, que se compone de granos de madera nitrados y luego impregnados con 40 por 100 de una disolución de nitro y ferricianuro de potasa.

Por grande que sea el valor de la pólvora ordinaria para las armas de fuego, desde la pistola más pequeña hasta el cañón monstruo de cien toneladas, ha perdido su importancia para las operaciones de minas ante la aparición de otras

materias explosivas muchísimo más violentas, cuyo invento data de tiempos muy recientes. Sin hablar de sus ventajas en las minas militares, tratándose, por ejemplo, de la voladura segura de puentes, fuertes, etc., ha ganado considerablemente con su empleo la explotación de minas metalíferas y canteras, mientras que se han llevado á cabo túneles y otras obras ferrocarrileras, voladuras de peñascos submarinos, etc., que con la pólvora común hubieran sido por todo extremo difíciles y en muchos casos imposibles.

Aunque el algodón-pólvora responde, hasta cierto punto, á las exigencias de semejantes trabajos, su poderoso rival, la *dinamita*, lo ha relegado á un lugar más ó menos oscuro, y es, sin duda, la materia explosiva para minas más importante de nuestros tiempos. Esta sustancia, lo mismo que otras análogas que se recomiendan y emplean á veces, como la *dualina*, la *nitromanita* y los *picratos*, se caracterizan esencialmente por la cantidad de nitrógeno y oxígeno que se asimilan durante su fabricación. La dinamita es la que se ha adoptado más rápidamente; pues mientras en 1867 sólo se fabricaron 11.000 kilogramos de ella, la producción se elevó en 1874, en 14 fábricas, á 3.123.000, y pasa actualmente de cinco millones de kilogramos al año, producidos en 20 fábricas. Esta cantidad, cuya fuerza equivale á la de unos 12.500.000 kilogramos de pólvora de minas, responde al consumo actual; y como, según Tranzl, cada quintal métrico de dinamita hace volar de 70 á 100 metros cúbicos de roca, resulta que cada año desprendemos de la costra terrestre la enorme cantidad de 3.500.000 á 5.000.000 de metros cúbicos de piedra y demás minerales. Además, como el empleo de la dinamita, comparado con el de la pólvora, representa una economía de un 25 por 100, resulta actualmente una ganancia total, por tal concepto, de 12,5 á 19 millones de pesetas. Pero más importante que esta ganancia en dinero, es la del tiempo, la aceleración de los trabajos mineros, que resulta del empleo de la dinamita, y que importa de 20 á 30 por 100 del tiempo que se necesita con la pólvora.

A semejantes ventajas hay que añadir la circunstancia, muy digna de tenerse en cuenta, de que, al contrario de lo que muchos suponen, el empleo de la dinamita no es más peligroso que el de la pólvora, y los gases de aquélla son menos nocivos que los de ésta. Además, el transporte de la dinamita en su estado normal ofrece desde luego menos peligro que el de la pólvora, pues que puede sufrir sacudidas sin estallar, y cuando se enciende ó se echa en la lumbre, arde con tranquilidad, sin explosión alguna, la que sólo se produce cuando la dinamita se halla completa y sólidamente encerrada.

Poco sabía el público en general de la nueva materia explosiva de que tratamos, cuando excitó vivamente su atención la terrible explosión acaecida en Diciembre de 1875, en el puerto de Bremen, que costó la vida á numerosas personas. Con la criminal intención de hacer volar en alta mar un vapor en el que había cargado ciertas mercancías de poco valer, á fin de enriquecerse con

el producto infinitamente superior del seguro, un tal Thomas había dispuesto en un barril lleno de dinamita un mecanismo de reloj que, en un día determinado, debía producir un golpe sobre una pequeña masa de fulminante, y, por consiguiente, la explosión de la dinamita y la voladura del buque. Es de suponer que dicho mecanismo no estaba bien ajustado, pues al tiempo de llevarse el barril á bordo, estalló en medio del muelle. En el verano de 1876 tuvo lugar también un acontecimiento poco común, que llamó poderosamente la atención sobre la dinamita. Nos referimos á la voladura de un extenso banco de roca, sumergido, que dificultaba mucho la navegación á la entrada del hermoso puerto de Nueva York, á tal punto que el paso había recibido el nombre de «puerta del infierno». Para ello fué necesario practicar un túnel submarino desde la playa al banco en cuestión, y luego excavar en éste una serie de galerías para alojar la cantidad enorme de dinamita que suponía tamaña empresa; estos trabajos preparatorios se llevaron felizmente á cabo, y la voladura se determinó por medio de la corriente eléctrica sin el menor contratiempo, quedando el puerto libre de una vez de dicho estorbo.

Pero tiempo es ya de que digamos lo que es la dinamita. Se compone sencillamente de tripolita terrosa ó tierra de diatomáceas (llamada, por lo común, tierra de infusorios), que consiste principalmente en sílice en estado pulverulento sumamente fino, calcinada, cribada y saturada con nitroglicerina, mezclándose en general 75 por 100 de esta sustancia con 25 de dicha tierra. La nitroglicerina es un líquido incoloro é inodoro, parecido al aceite, que no se puede mezclar con agua, que explota con violencia al sufrir un golpe, pero que arde y se consume tranquilamente en contacto con el fuego; se produce mezclando con las debidas precauciones la glicerina con los ácidos nítrico y sulfúrico, de los que éste último no toma en realidad parte en la combinación, sino que sólo tiene por misión absorber el agua y mantener el ácido nítrico en el estado de mayor concentración.

Como las administraciones de los ferrocarriles sólo se prestarían bajo condiciones excepcionales al transporte del ácido nítrico de la fuerza necesaria para dicha fabricación, la mayoría de los fabricantes de dinamita preparan el ácido nítrico que necesitan. En esencia, la nitroglicerina se prepara de la misma manera en todas las fábricas, pero cada una introduce ciertas variantes en los aparatos y las manipulaciones. Los dos ácidos se mezclan primero entre sí, en la proporción de una parte del nítrico con dos del sulfúrico, operación que se verifica en una caldera de hierro colado y da lugar á la generación de bastante calor; después de enfriada por completo, se traslada la mezcla á una cuba de madera, forrada interiormente con plomo, en la que se añade la glicerina. Algunos fabricantes emplean la glicerina bruta, de color amarillo verdoso; pero los más toman el producto purificado, cuya densidad es de 1,26. No se debe introducir toda la glicerina á la vez en la mezcla de ácidos, sino dejar que fluya en

forma de una corriente lenta y delgada, cuidando de revolver continuamente el contenido de la cuba mediante un agitador mecánico, á fin de promover la mezcla más íntima de los diferentes líquidos. El calentamiento consiguiente de éstos debe combatirse por medio de un aparato refrigerante, de modo que la temperatura no pase nunca de 18 grados. A 1.950 kilogramos de la mezcla ácida corresponden, por regla general, 325 de glicerina, ó sea un kilogramo de ésta por 6,2 de aquélla.

Terminada la mezcla, se traslada á otra cuba, medio llena de agua, y la nitroglicerina se va al fondo, donde se lava repetidamente con agua fresca; pero para eliminar los últimos restos de ácido libre, es preciso agitar el preparado con una disolución concentrada de carbonato sódico, en un aparato especial, y luego volver á lavarlo con agua. En este estado, la nitroglicerina constituye, como ya dijimos, un líquido semejante al aceite, más denso que el agua é insoluble en la misma, que se consolida y cristaliza á la temperatura de cuatro grados, y es muy venenoso, siendo, respecto de su constitución química, el trinitato de glicerina. La explosión de un litro de esta sustancia produce 1.298 litros de gases que se convierten en seguida, por expansión, en 10.400 litros; y en 1863 *Nobel* empezó á fabricarla en grande para el uso en minas. etc., no habiéndose utilizado anteriormente desde su descubrimiento por el químico italiano *Sobrero*, en 1847, por considerarse demasiado peligrosa. Pero merced á su estado líquido, su empleo ofrecía desde luego toda suerte de inconvenientes, no siendo el menos grave el de explosionar muy fácilmente por percusión; pues bastaba que sufriera un golpe la menor gota de nitroglicerina resudada ó salida de una vasija defectuosa ó mal tapada, para determinar la explosión instantánea de toda la partida.

Nobel logró evitar este peligro durante el transporte, disolviendo la nitroglicerina en alcohol de madera ó metílico, es decir, convirtiéndola en un líquido que no sólo es insensible á todo golpe ó sacudida, sino que no explosiona aun bajo la acción de los fulminantes. Para volver la nitroglicerina á su estado primitivo, con objeto de emplearla en las minas, bastaba mezclar la cantidad que se necesitaba de dicha disolución con seis ú ocho veces su volumen de agua, la cual absorbía el alcohol metílico, dejando aislada aquella sustancia. Sin embargo, aparte de lo incómodo de semejante manipulación, siempre quedaban los inconvenientes que resultan de tener que formar cartuchos con un líquido, y el empleo de la nitroglicerina era, por lo mismo, muy limitado cuando, en 1867, Nobel hizo casualmente un descubrimiento importante. Halló que la sílice en estado de finísima división y porosa, absorbe una cantidad considerable de nitroglicerina y la retiene tenazmente, aun cuando se someta á una fuerte presión, no soltando una gota de ella durante el transporte, almacenaje y empleo, y, además, que la pasta no deja de desarrollar una fuerza explosiva enorme. El resultado fué que esta mezcla de nitroglicerina y sílice, que recibió, como ya dijimos, el nombre

de *dinamita*, halló aceptación general entre los mineros, mientras que la nitroglicerina cesó de emplearse por completo.

La Naturaleza nos ofrece en abundancia, en diferentes partes de la superficie del globo, la sílice amorfa en el estado de fina división y porosidad, necesario para el objeto de que hablamos, y desde el descubrimiento de Nobel, la tripolita terrosa ó tierra de infusorios, compuesta casi totalmente de los restos silíceos microscópicos de diminutas algas (diatomáceas) y que hasta entonces sólo se había utilizado en pequeñas cantidades como material para pulir metales, etc., fué objeto de una explotación en grande, principalmente en Hannover. Esta tierra se seca y calcina primero, para expulsar el agua y destruir las materias orgánicas que encierra, y luego se desmenuza por medio de rodillos de mano y se pasa por una criba fina. En este estado se mezcla con la nitroglicerina, no en un aparato especial, sino sencillamente amasado con las manos. Ya dijimos que la dinamita se compone de 25 por 100 de la tierra en cuestión y 75 de nitroglicerina, y, en efecto, no es posible apartarse mucho de esta proporción; pues si se toma menos de 72 por 100 de nitroglicerina, el producto pierde en fuerza explosiva, mientras que si se toma más del 75, la tierra no la absorbe completamente y la masa resuda. La masa de la dinamita es de color amarillo claro y de consistencia pastosa, y con ella se llenan los cartuchos de papel de pergamino, mediante un tubo de latón y un cilindro, análogamente á como algunas personas hacen cigarros de papel; para reducir á un mínimum el número de víctimas, caso de producirse una explosión, dicha operación se verifica en pequeños locales ó cámaras, calculados cada uno para sólo dos operarios, y construídos á bastante distancia uno de otro, como nichos ó cuevas, en una gruesa valla de tierra. Los cartuchos acabados se trasladan á otro local, en donde se empaquetan cuidadosamente en pequeñas cajas de madera, rellenando los intersticios con la misma tierra de infusorios que contiene la dinamita.

En vista del éxito alcanzado por esta materia explosiva, otros inventores ó imitadores han salido á la palestra con sustancias análogas, en las que la tierra dicha de infusorios se sustituye con otras cosas. La llamada *pólvora colonial*, por ejemplo, se compone de 40 por 100 de nitroglicerina, absorbida por pólvora común; la *dualina* consiste en el mismo líquido (30 á 40 por 100) absorbido por serrín, previamente saturado con una disolución de nitro, y el *lithofracteur* es una mezcla de 35 por 100 de nitroglicerina con un polvo compuesto de azufre, nitrato de barita y hulla molida. Pero también Nobel, siempre ocupado en perfeccionar su invento, fabrica hoy la llamada *gelatina de minas*, consistente en 7 ú 8 por 100 de algodón de colodio, disuelto en nitroglicerina, y que constituye una masa sólida á manera de goma y de color de ámbar; y, además, la *gelatina-dinamita*, que se produce mezclando 65 por 100 de dicha gelatina con 35 por 100 de nitro y carbón vegetal molidos, y cuya fuerza explosiva excede en un 10 por 100 á la de la dinamita propiamente dicha. En Austria y Suecia se

emplean ya casi exclusivamente estos nuevos productos en lugar de la dinamita, los cuales ganan también con rapidez terreno en Prusia.

El calor desarrollado en virtud de un golpe, en una capa delgada de nitroglicerina extendida entre dos cuerpos duros, determina la explosión de esta sustancia en el punto del golpe, sin que se propague el efecto á la capa en general. En cambio, semejante explosión inicial, como se dice, producida (mediante una pequeña cantidad de fulminante, por ejemplo) en medio de masas mayores (y hasta sueltas) de los compuestos de nitroglicerina, se propaga instantáneamente á toda la masa. Este importante descubrimiento de Nobel facilitó de un modo notable el empleo de la dinamita y materias análogas, incluso el algodón-pólvora; pues para determinar su explosión basta una capsulita metálica llena de un fulminante, en unión con un pedazo de mecha de seguridad, cuyo invento, sea dicho de paso, se debe al inglés *Bickford;* la capsulita se sujeta en un extremo de la mecha y se hunde en el cartucho de dinamita; se enciende la mecha en el extremo opuesto, y la explosión del fulminante determina la de la dinamita misma.

Comparada con la fabricación de la pólvora, la de la dinamita no ofrece peligros mayores, si se observan escrupulosamente las debidas precauciones, y es desde luego más sencilla y rápida; el almacenaje, el transporte y hasta el empleo mismo de la dinamita, son también menos peligrosos que los de la pólvora; en igualdad de peso, la fuerza de la dinamita es de dos á diez veces mayor que la de la pólvora, y en igualdad de volumen es de cuatro á dieciséis veces más eficaz; se emplea con igual ventaja en seco y bajo agua, en las rocas más duras como en las más blandas, en las últimas de las cuales suele fallar la pólvora, y se pueden quebrantar grandes masas ó bloques de acero, hierro ó roca, colocando sobre ellas un cartucho de dinamita, que se cubre con arcilla húmeda, y se hace estallar. En cambio, ofrece el inconveniente de soltar á veces, por resudación, un poco de nitroglicerina, lo que impone el empleo de cartuchos impermeables; y se endurece también á una temperatura inferior á 8 grados, en cuyo estado su explosión se verifica dificilmente, siendo preciso almacenarla en locales relativamente calientes, y transportarla en condiciones que eviten semejante enfriamiento.

Tanto la pólvora de picrina de Designolle, como la llamada «química», de Schultze, mencionadas más arriba, se emplean con cierta ventaja en las minas y trabajos análogos, y en los últimos años se han inventado otras varias materias explosivas para iguales objetos, que no tienen, sin embargo, ni con mucho, la importancia de las ya referidas, y de las que podemos prescindir por completo en este libro.

Un preparado llamado *metadinitrobenzol*, que se conoce hace tiempo, pero que nunca se había probado prácticamente como materia explosiva, ha salido recientemente á la palestra, y parece destinado á desempeñar en lo sucesivo un papel de cierta importancia. Es, químicamente hablando, un benzol ó una benci-

na (obtenida por destilación del alquitrán de hulla), en el que dos átomos de hidrógeno se hallan sustituídos por dos moléculas de ácido subnítrico sólo explosiona mediante golpes muy fuertes; encendido en una llama arde lentamente, y se puede calentar sin peligro hasta el punto de ebullición del agua. Los ensayos verificados por Gruson con el metadinitrobenzol, como carga de las granadas de artillería, han dado los resultados más satisfactorios, comparados sus efectos con los de la póvora,y se afirma que dicha sustancia desarrolla de 1,5 á 2 veces la fuerza de la dinamita. Al mismo tiempo, los franceses, que pugnan siempre por aventajar á los alemanes en los inventos relacionados con el arte militar, han adoptado para la carga de bombas y granadas una materia explosiva, nueva, al parecer, que llaman *melinita*, pero cuya composición es todavía un secreto.

Debemos mencionar, por último, en este sitio, un juguete muy peligroso, que suele venderse bajo el nombre de bombas ó bolas fulminantes. Consiste en bolitas huecas de arcilla, rellenas con una mezcla en sumo grado explosiva, compuesta de partes próximamente iguales de fósforo amorfo y clorato de potasa y un poquito de sulfuro de antimonio, sustancias que se amasan con cuidado con agua hasta formar una pasta; dichas bolas estallan con sólo dejarlas caer sobre el suelo, y pueden ocasionar desgracias lamentables.

MEDIOS DE PEGAR FUEGO Á LA PÓLVORA, ETC.

La pólvora, la dinamita y demás materias explosivas análogas, en que acabamos de ocuparnos, representan una fuerza almacenada, digámoslo así, y transportable, que puede aplicarse en los puntos y casos más diversos y en mayor ó menor escala, á diferentes fines, siendo los principales el disparo de proyectiles grandes y pequeños y la voladura de rocas, etc. Pero el desarrollo de dicha fuerza, ó si se quiere el acto de libertarla en el momento preciso en que se quiere utilizar, supone la combustión más ó menos instantánea de cierta cantidad de dichas materias explosivas y su conversión en gases, y, por lo tanto, un medio sencillo á propósito para prenderles fuego en un momento dado, cuando se hallan ya encerrados en la recámara de un fusil ó un cañón, ó bien aprisionadas en el fondo de un barreno de mina. Respecto de las armas de fuego, se determinaba en otros tiempos la explosión de su carga mediante la pólvora misma y el pedernal ó una mecha encendida; pero las exigencias de nuestra época reclaman medios más rápidos, seguros y cómodos, y los únicos que responden al objeto son los *fulminantes*, es decir, preparados explosivos llamados comunmente mixtos. En cuanto á los barrenos de minas, basta, tratándose de la pólvora, la mecha fija; pero la explosión del algodon pólvora, de la dinamita, etcétera, supone además el empleo de un fulminante, y sólo puede prescin-

dirse de la mecha en uno y otro caso, apelando para que prenda á la corriente eléctrica.

Algunas sustancias sólidas, como el fulminato de mercurio, el clorato de potasa, etc., se transforman repentinamente en presencia de materias combustibles como el carbón, el azufre y el sulfuro de antimonio, en el estado gasiforme, á impulso tan sólo del poco calor generado por frotamiento, golpe ó percusión, choque ó concusión, ó bien por picadura ó punzadura. La descomposición de semejantes sustancias, tan ricas en oxígeno, produce una elevación de temperatura tan considerable, que basta el contacto de su enérgica llama con el carbón de la pólvora, por ejemplo, para determinar su combustión segura. La mezcla mecánica, consistente en clorato de potasa, azufre y carbón, fué inventada por *Bertholet* en 1788, y se conocía antes bajo el nombre de *polvo muriático;* el fulminato de mercurio se llama también *polvo de Howard*, en recuerdo de su inventor.

Estos medios tan seguros y poderosos, y perfectamente independientes del estado del tiempo, han determinado el abandono, para el disparo de los cañones de artillería, de las primitivas mechas que antes se hacían de cáñamo impregnado con acetato de plomo, así como de los estopines de antaño, formados por canutos de papel, caña ó palastro, rellenos con una pasta de pólvora molida, nitro, azufre y carbón, en cuyo lugar se emplean hoy los llamados *estopines de fricción*. Son estos tubitos de latón, ó cobre, forrados interiormente, ó rellenos, con una pasta de pólvora ó con algodón impregnado con ella, y vueltos un poco en su extremo superior; su aparato de fricción consiste en un lazo de alambre ó cinta metálica, untado con una mezcla húmeda de clorato de potasa y sulfuro de antimonio, y que, después de secado, se introduce en el estopín de modo que el ojo del lazo sobresale un poco al exterior. El estopín se coloca en el fogón del cañón, se engancha una cuerda en el ojo del lazo referido, y á la voz de *¡fuego!* el artillero arranca el lazo mediante la cuerda; la fricción produducida enciende el fulminante, su llama se propaga al relleno del estopín, y por su medio al cartucho, y el arma se dispara.

El principio de la percusión para el disparo de las armas de fuego de mano sustituyó al pedernal ó la chispa después de las campañas de Napoleón I, y se lleva á efecto mediante el golpe del martillo del arma sobre una capsulita de cobre con un fulminante en el fondo, que se coloca sobre el pistón fijo al lado de la recámara, ó que forma parte de la base del cartucho mismo, como explicaremos en el tomo VI de esta obra.

La fabricación de dichas cápsulas de percusión, que vulgarmente llamamos mixtos, aplicando al objeto entero el nombre de su contenido, comprende la formación de la cápsula misma y luego su relleno con fulminante. La primera operación se verifica generalmente en una prensa de construcción especial (figura 318) con pistón horizontal, que maneja un hombre por medio de un volante,

como indica el grabado, y con la cual se pueden producir en diez horas unas 30.000 cápsulas. Las tiras de cobre laminado y perfectamente limpio se introducen en la máquina delante del pistón, y á cada golpe de éste resulta como acuñada y separada una cápsula, que cae en una caja colocada debajo. Las cápsulas se limpian frotándolas con serrín seco, y se colocan boca arriba en tablas provistas de agujeros para sujetarlas, á fin de llenarlas con el fulminante, el cual se compone de 10 partes de clorato de potasa, cinco de azufre y tres de sulfuro de antimonio finamente pulverizados é íntimamente mezclados, y se emplea en estado de polvo seco. Al efecto, la tabla con las cápsulas se coloca en una caja, cuya tapa metálica tiene el número correspondiente de agujeros; entre esta tapa y las cápsulas se encuentra además una tablita que puede deslizarse lateralmente; la tapa se llena con el fulminante, se retira la tablilla y cae en cada cápsula una porción igual y determinada de aquel polvo. Entonces cada cápsula se coloca en una pequeña prensa que, al tiempo de oprimir el fulminante contra el fondo, deja impresa en el cobre la marca de la fábrica, y después de cubrir la carga de fulminante con una delgada capa de barniz, para preservarla contra las influencias atmosféricas, las cápsulas acabadas se secan durante algunos días á una temperatura determinada.

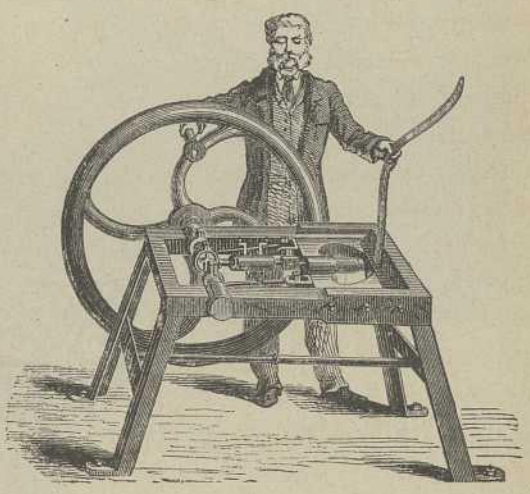


FIG. 318.—Prensa para formar las cápsulas de percusión.

Semejantes cápsulas de percusión se fabrican de los tamaños más diversos, según que se destinan á carabinas, escopetas, pistolas, etc., ó á los cartuchos modernos de las armas de fuego dichas que se cargan por la recámara, ó bien á las espoletas de percusión de ciertos proyectiles de artillería, y cuya construcción describimos é ilustramos en el tomo VI. Pero las mayores y de carga más fuerte se hacen en gran cantidad para el uso de los mineros, que emplean la dinamita y materias análogas; pues como ya dijimos más arriba, se necesita de un fulminante para determinar la explosión de éstas, y nada hay más práctico, tratándose de barrenos de minas, que introducir en el cartucho una de dichas cápsulas después de sujetarla al extremo de la mecha de seguridad, como explicamos en el tomo III de esta obra (pág. 30).

Para los cartuchos de ciertas armas modernas, cuyo disparo lo determina la punzadura de una aguja, se emplean fulminantes compuestos, por ejemplo, de 4 partes de fulminato de mercurio, 2,5 de clorato de potasa, 1,5 de antimonio y 2

de vidrio en polvo, ó bien 45 partes de dicho fulminato mercurial, 30 de polvo de vidrio, 13 de clorato potásico y 5 de disolución de goma arábiga. Por último, se recomienda actualmente, en lugar del fulminato de mercurio, la llamada *nitromanita*, que se obtiene tratando la manita, ó sea el azúcar de maná, con una mezcla de los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados, que explosiona por percusión con la misma fuerza que dicho fulminato, pero que es menos peligrosa y más barata que él.



MEDIOS DE PRODUCIR FUEGO

EL FÓSFORO

Fuego y llama.—Fuentes de calor.—Instrumentos para producir fuego: eslabón, pedernal y yesca; lentes y espejos ustorios; escopeta neumática; aparatos de hidroplatino y eléctricos; medios químicos.—*El fósforo:* su historia y medio de presentarse en la Naturaleza.—Ácido fosfórico.—Fabricación del fósforo; propiedades y aplicaciones.—Fabricación de cerillas y fósforos.

PRÍVESELE á la humanidad del fuego, y quedará de nuevo reducida al estado de abyección y miseria en que se halló en remotas edades. Esta consideración dobló las rodillas del adorador del fuego; determinó y mantuvo en la antigüedad el servicio de las vírgenes vestales, y preserva todavía la sagrada lámpara contra la extinción. Mereciera en

rigor iguales miramientos la humilde cerilla, cuando se considera cuán grandes servicios nos presta á todas horas, y los disgustos que pasamos en cualquier momento de la noche, cuando no la hallamos á mano; y, sin embargo, ¡con qué desprecio solemos tratarla! Esta es la suerte de todo invento que responde á más que á la satisfacción de un mero lujo superfluo: el hierro no despierta en nosotros el agradecimiento que debemos á la hoz, y al comer el pan ni siquiera nos acordamos del arado. Al atribuir los antiguos, en su mito de Prometeo, un origen divino al fuego, representándolo como propiedad exclusiva de Júpiter, á quien se le hubo de arrebatar por astucia, mostráronse más agradecidos que nosotros, pues en la persona de Prometeo tributaban veneracion al inventor del arte de producir fuego.

Por antiguo que sea este arte, ello es que se desarrolló sólo paulatinamente, y que sus manifestaciones, en el grado de plenitud que hoy alcanzan, se deben á los tiempos modernos, puesto que sus más esenciales invenciones son producto de los últimos años.

Despojando de todo atavío poético el mito de Prometeo, y considerándolo simplemente como la glorificación de un invento feliz, todavía subsiste en pie la cuestión de cómo aquel héroe, semejante á los dioses, pudo dotar de fuego á la humanidad, y qué clase de procedimiento empleó el primer hombre para procurárselo. Que el hijo de Iapetos no encontró ninguna cerilla en las huecas cañas de los arbustos del Olimpo; que su invento no consistió meramente en mantener, procurándole no interrumpido alimento, el fuego que el rayo pudo haber producido en un bosque, cosa es por todo extremo evidente, aunque en los fuegos sagrados que, según las prácticas religiosas de muchos pueblos, nunca debían dejarse apagar, veamos un indicio que nos prueba con cuánta piedad procuraban conservar el fuego, una vez encendido, los hombres de aquellos tiempos, en que todavía no podían encenderle á su libre voluntad á todas horas, ó si lo conseguían era á costa de mucho trabajo.

El fuego, considerado por los antiguos como uno de los cuatro elementos constitutivos del mundo, no es otra cosa, según la teoría actual, que un proceso combinado con un desarrollo de luz y de calor; proceso de combustión que consiste en la unión química de cualquier cuerpo con otro. Si en azufre fundido arrojamos una cantidad suficiente de limaduras de hierro, la masa se enrojece de repente, el hierro se combina con el azufre formando un sulfuro de hierro, y durante este proceso se desarrolla un calor tan intenso, que puede llegar hasta producir fuego. El hidrógeno y el cloro, mezclados en debidas proporciones y colocados en la oscuridad, dentro de una botella, se encienden repentinamente tan pronto como la mezcla se expone á los rayos del sol; y la reunión de ambos gases, cuyo producto es el ácido clorhídrico, tiene lugar con violenta inflamación. El potasio y el sodio, metales extraídos de la potasa y la sosa, tienen una propensión muy grande á mezclarse con el oxígeno; así, si se arroja

en el agua un pedacito de potasio, se verá que descompone el líquido en sus partes constitutivas, que son oxígeno é hidrógeno, que se une al oxígeno emitiendo una luz violada, al paso que el hidrógeno se enciende merced al calor desarrollado, ardiendo por cuenta propia y combinándose nuevamente con el oxígeno del aire para formar agua.

Lo que sucede en estas dos combustiones, acaece en todas; y de hecho, en la mayor parte de los fenómenos de fuego el proceso químico es la causa del desarrollo de la luz y del calor. Así, podemos decir que el hierro arde en el azufre, el hidrógeno en el cloro, y el potasio y el sodio en el oxígeno; pero en el lenguaje ordinario limitamos la idea de la combustión al proceso de la combinación de ciertos cuerpos con el oxígeno, en tanto que esta unión se manifieste por un desarrollo intenso de luz y de calor.

Llama.—Si la materia que arde es gasiforme, como el hidrógeno, el gas del alumbrado, etc., su unión con el oxígeno se verifica bajo la aparición de una llama; en cambio, si es un cuerpo sólido, la combustión se produce sin llama, y, á lo sumo, se originan chispas. El hierro arde con luz esplendorosa en oxígeno puro, y otro tanto sucede con un alambre delgado de plata ó cobre cuando se les somete á una fuerte descarga eléctrica; pero en tales casos no se produce llama y tan sólo algunas partículas candentes son lanzadas en derredor como chispas luminosas. Pero ¿no sucede que, por el contrario, el azufre, é igualmente el fósforo, producen una llama completamente regular, y, sin embargo, son ambos cuerpos sólidos? Claro que sí; pero es porque antes de la combustión se convierten en vapores por la acción del calor, y en tal caso la llama no representa la combustión del azufre sólido, sino la de su vapor. Lo propio sucede con todos los demás cuerpos sólidos que arden con llama; se transforman siempre antes de la combustión en cuerpos gasiformes, y para que esto suceda basta calentarlos suficientemente; una vez iniciada la descomposición, continúa por sí mismo su marcha el desarrollo del gas, merced al calor originado por la combustión. La mecha de una vela funciona del mismo modo que la retorta en una fábrica de gas; con la sola diferencia de que el gas que resulta no se almacena en un gasómetro, sino que arde en el punto mismo donde se produce. Semejante gas puede verse en cualquier vela que arda: la llama (fig. 319) consta de tres partes, á saber: una interior oscura, en donde primeramente se reune el gas que se ha desarrollado, y es comparable al gasómetro; otra capa que se extiende en torno, arde con brillantez y es el lugar en donde el gas que emana experimenta una combustión parcial, en la que las partículas separadas de carbono se vuelven candentes; y, finalmente, otra parte exterior, especie de capa azul pálido que se forma por la cremación de los últimos componentes combustibles. Para que una llama arda, precisa la presencia del oxígeno; cuando éste ó el aire le falta, empieza á dar humo, según se ve en la fig. 320, y se apaga por completo.

Fuentes de calor.—El fuego vuelve á ser causa de fuego; pero allí donde quiera originarse éste desde un principio, debe de antemano producirse el calor necesario para la combustión. Observemos lo que á nuestro alrededor sucede en la naturaleza, y encontraremos un gran número de fuentes de calor. Los rayos solares devuelven á la tierra el calor que ésta pierde por causa de la radiación, en su movimiento á través del espacio frío, y sin el cual acabaría por convertirse, finalmente, en una fría y muerta masa roqueña, privada de toda vida; pues la temperatura elevadísima de su núcleo, que se manifiesta exteriormente en las corrientes de lava y los gases de los volcanes, llegaría en último término á agotarse por las continuas pérdidas, si no se compensase por medio de otra fuente.

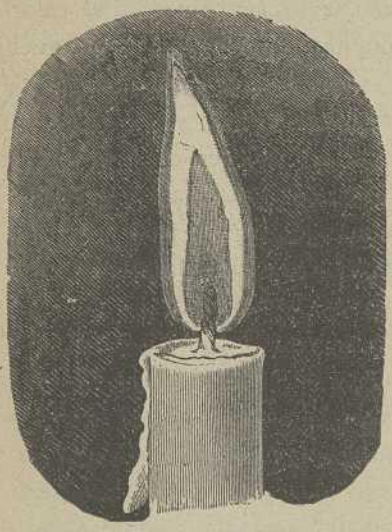


Fig. 319 —La llama.

Este calor solar no es, en su esencia, otro que el que se desarrolla sobre la tierra á consecuencia de la acción conjunta de fuerzas químicas y físicas; podríamos producir un efecto igual al de los cálidos rayos solares con las chispas de la máquina eléctrica, si pudiéramos aumentar su energía lo suficiente á tal fin. El rayo no es más que una chispa eléctrica que incendia cuanto toca y reduce á escorias ó evapora cuanto alcanza; y la chispa que vemos saltar de la máquina eléctrica no es otra cosa que un rayo, con la diferencia de que éste es una chispa de extensión colosal. La antigua opinión de que el fuego prendido por el rayo no se apagaba nunca, pertenece al genero de las fábulas que deben desecharse, y cuya extirpación es el mayor servicio que puede prestarse á la humanidad. Además del sol; además del calor que sube desde el interior de la tierra; además de la fuerzas físicas, como son la electricidad y el magnetismo, el sempiterno proceso de la transformación química, sostén de toda vida é indefectiblemente asociado con los maravillosos fenómenos de la germinación, el florecimimiento y la muerte, es también una causa continua del desarrollo del calor en la Tierra. Aunque no se eleve siempre hasta la combustión la alta temperatura de las capas terrestres, en cuyo interior los detritus animales y vegeta-

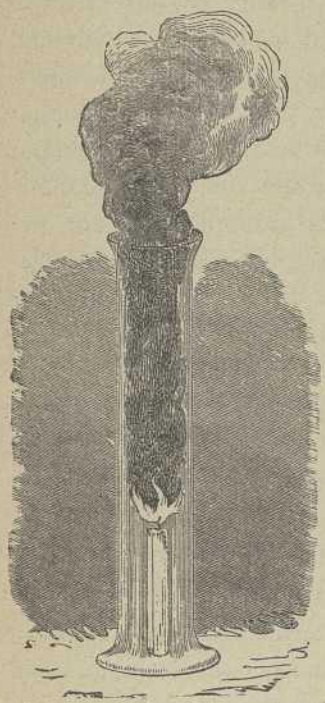


Fig. 320.—La llama falta de oxigeno.

les se reducen á humus, demuestra que, aun en las más insignificantes descomposiciones y reorganizaciones, no falta nunca una variación en las condiciones caloricas. En cuanto á los procesos químicos, podemos producirlos donde quiera; y como son de una variedad tan grande y pueden tener lugar bajo condiciones tan diversas, nos permiten procurarnos fuego por diferentes modos, sin necesidad de apelar á los medios más usuales.

Nuestros antepasados no se hallaban en igual caso, pues carecían de los medios de promover las enérgicas influencias químicas. Antes que el hombre pudiera existir sobre la Tierra, los elementos se habían unido, por vía natural, en el más íntimo consorcio, equilibrándose sus fuertes afinidades químicas; y sólo á costa de un empirismo secular, y después á fuerza de profundas investigaciones científicas, háse logrado el divorcio, la separación de dichos elementos en provecho de la industria y las artes. Casi todos los metales que hoy utilizamos, con excepción del oro y sus preciosos similares, son hijos nacidos, digámoslo así, despues de laborioso parto; no se encuentran en la Naturaleza en estado servible, sino que sólo se obtienen después de vencer sus enérgicas afinidades para con otros elementos, descomponiendo esas combinaciones, á veces tan complejas, que llamamos minerales. Por otra parte, muchas sustancias complejas que emplea el hombre actualmente, deben su existencia á la combinación artificial de materias que, de un modo ó de otro, fueron separadas por vía natural, ó nunca tuvieron ocasión de unirse; y no hay para qué decir que semejantes productos se hallaban en otros tiempos fuera del alcance de las gentes. Pero aun los aparatos de que disponemos para producir pequeñas cantidades de calor—como, por ejemplo, los lentes ustorios,—tuvieron que inventarse; y el hecho es que, durante los albores de su civilización, los pueblos han tenido que valerse, para producir el fuego, de un sencillo medio mecánico, cuya invención no constituye un mérito exclusivo de ninguno en particular, sino que corresponde á todos ellos.

Instrumentos para producir fuego.—Cuando se frota con la mano una superficie dura, se experimenta en los dedos una sensación de calor; y si se desliza la mano rápidamente á lo largo de una vara ó de una cuerda, pueden producirse quemaduras, también por razón del calor. Los ejes de los carros despiden humo cuando no están untados de sebo; un pedazo de metal, al afilarse una piedra, puede calentarse hasta el rojo. ¿Cuál es el fundamento de todas estas manifestaciones del calor? Pues no es otro que el rozamiento. Es un hecho maravilloso el que la fuerza mecánica se transforme en calor; é inversamente, como sucede en la máquina de vapor, que el calor se convierte en fuerza mecánica: el primero de estos fenómenos es resultado del rozamiento. Del mismo modo, por medio de rápidos y repetidos martillazos sobre un trozo de metal, podemos elevar su temperatura hasta el rojo. Pues bien; esta ley del cambio de fuerzas no se ha descubierto hasta una época muy reciente, y, sin embargo, los prime-

ros hombres que construyeron un instrumento de hacer fuego la pusieron en práctica. En efecto; parece indudable que el primer instrumento para producir fuego fué un aparato de fricción, y nos equivocaremos muy poco si conceptuamos como primitiva forma del mismo la que han encontrado muchos viajeros, así entre los insulares del mar Pacífico como entre los groelandeses é indios de América; forma que, á nuestro entender, es altamente defectuosa para su objeto, pero que llena por completo las necesidades de semejantes pueblos, no acostumbrados á nuestras comodidades; es un hecho que los groelandeses, aún á principios de este siglo, preferían procurarse fuego por su medio acostumbrado de frotar, uno contra otro, dos trozos de madera, y desechaban como poco práctico el acero y el pedernal que se les ofrecía.

Si alguno de nuestros lectores se ha visto en la precisión de tener que encender el cigarro por medio de dos pedazos de madera, habrá tropezado con dificultades que le habrán presentado su propósito como irrealizable. Y, sin embargo, el asunto tiene sus ventajas, la principal de las cuales consiste en que el movimiento de las maderas, con toda la rapidez y continuidad posibles, puede sostenerse sin excesivo esfuerzo. Para este objeto se ha dado al instrumento de que se trata, y en casi todas las partes del mundo, la disposición siguiente: en la superficie de una tabla ó pedazo de madera blanda de 15 á 20 centímetros de largo, se han practicado diversos huecos circulares, en los que pueda introducirse y hacer girar un fuerte palito de dos á tres centímetros, de madera dura. Los agujeros del primer pedazo de madera en que se quiere encender el fuego se llenan con una materia fácil de prender, como madera podrida ú otra semejante; hecho lo cual se imprime al palito un rápido movimiento de rotación contra esa materia, bien haciéndolo girar con las manos como un molinillo, ó, lo que es mejor, arrollando alrededor de él la cuerda de un arco, y manteniendo el movimiento del palo por medio del tiro que se hace de una y otra parte del mencianado arco.

Así, mientras la madera que se trata de encender se mantiene firme con los pies, con una mano se mueve el arco y con la otra se sostiene el palo de fricción apoyado en un segundo trozo de madera, á fin de que no salte del agujero. Por medio de semejante disposición es posible dar al palo un movimiento de rotación extraordinariamente rápido, mientras que con la fuerza con que se apriete la mano izquierda puede producirse un roce muy considerable. El calor que á consecuencia de esto se desarrolla, basta para caldear muy pronto la madera que trata de encenderse y para convertir en viva llama las débiles chispas que se producen, con sólo colocar alrededor del pedazo de madera heno seco, paja ú otros materiales en que el fuego pueda prender fácilmente, y teniendo cuidado de producir, bien corriendo, ó bien por el movimiento de los brazos, una viva corriente de aire. Este instrumento de ignición no era capaz de gran perfeccionamiento, y, por lo tanto, el primer progreso en el arte de que tratamos lo

señala un invento enteramente nuevo, por más que, en el fondo, se funde en el mismo principio que el primitivo.

Eslabón, piedra y yesca.—El pedernal, vulgo piedra de chispa, que hasta hace pocos años ocupaba aún un sitio en el hogar doméstico de las naciones más civilizadas, es incontestablemente, en compañía del eslabón de acero y la yesca, el más antiguo aparato de ignición, después del de madera. Hasta nuestros tiempos se han conservado recados de encender de la época de los romanos, artísticamente trabajados, los cuales están dispuestos en su interior, de modo semejante á nuestras antiguas cajitas de hoja de lata (fig. 321). No podemos determinar aproximadamente la época de su invención, que debió tener lugar mucho después de la que dejamos descrita, pues para ello debía contarse de antemano con el conocimiento de los metales. Hemos dicho ya que este aparato, por lo que se refiere á su esencia íntima, tiene gran relación con el otro, su predecesor, aun cuando esta dependencia no aparezca tan clara y manifiesta á primera vista; pero, en todo caso, la fuerza mecánica del brazo es la que aquí se convierte en calor por medio del roce. De la manera que saben nuestros lectores, se golpea con el eslabón (fig. 322) el borde de un pedacito de pedernal, de modo que se desprendan de la superficie del acero pequeñas partículas que, en virtud del calor producido por el rozamiento, caen en forma de chispas candentes, pegando fuego á la yesca cuando tropiezan con ella. La yesca tiene por objeto prolongar la duración del fuego que encierra la chispa, á fin de que pueda comunicarse á una mecha de azufre ú otro cuerpo de fácil combustión, y puede consistir en diferentes materias, como retazos de tela bien carbonizados, cuerpos fibrosos empapados en una disolución nitrosa, ó algodón tratado con ácido nítrico diluído, ó empleando el socorrido agárico, que se cuidará de preparar debidamente.



FIG. 321.—Recado de encender.



FIG. 322.
Empleo del eslabón y piedra de chispa.

Séanos permitido consagrar en este lugar algunas palabras al agárico, y con tanta mayor razón cuanto que, por generalizado que antes de ahora haya estado su uso, y por muy cómodo que fuera en otros tiempos como medio de obtener fuego, la yesca pasará pronto á ser un recuerdo perdido de nuestra juventud.

La yesca, cuyas mejores clases se producen en Ulma y Neustadt, procede de un hongo del género de los políporos, perteneciente á los dichos de sombrero *(Pileati)*, y que se desarrolla principalmente en las hayas, perales y manzanos, encontrándose en gran abundancia en la selva de Bohemia. Estos hongos (de los cuales el *Polyporus fomentarius*, ú hongo yesquero, es el más importante, al paso que el *polyporus igniarius*, á pesar de su nombre, sólo da yesca de calidad inferior) se presentan la mayor parte de las veces en forma semicónica en los troncos de los árboles y con la punta hacia abajo; tanto, que causan la impresión de que hayan sidos llevados allí por la mano del hombre para servir de pedestal á un busto ó á una estatua (figura 323). Su superficie es parda, morena ó gris hasta los más oscuros matices, y cubierta de surcos concéntricos que indican la edad del hongo. Su interior ostenta distintos colores, según las variedades: blanco, gris ó color de cuero, hasta el rojo oscuro, y está constituído por tubos estrechos. Aunque el hongo yesquero crece también como parásito en los abetos y otros árboles de hojas aciculares, se prefiere el que crece en los de hojas planas, á causa de la calidad más fina, espesa y simétrica de su tejido celular. Este hongo se recoge en los bosques, y después de que sus más escogidos ejemplares se han cortado á modo de tiras de cuero, se separan de éstas, por medio de instrumentos de punta en forma de cuchillos, todas las partes duras, leñosas y desiguales; los trozos útiles se tratan con agua hirviendo, y una vez bien batidos por medio de mazos de madera, se sumergen en lejía; cuando se han limpiado del último residuo de ésta, se hierven, finalmente, en una disolución de nitro, aunque los mejores hongos no necesitan de este medio para dar un producto excelente. De este modo la yesca, antes dura, alcanza una suavidad parecida á la de la gamuza, y después de bien seca está en disposición de servir; merced á dicha suavidad los operarios que hacen la yesca suelen convertir en monteras sin costura los hongos mayores y más finos. El nitro aumenta la propiedad combustible que tiene el hongo, y presta también á la yesca el poder de atajar la sangre, del que abusan á veces nuestros barberos. Los antiguos romanos no conocían el hongo yesquero, ó por lo menos su preparación, como ignoraban otras muchas cosas útiles, y en lugar de él se servían en su *ignitábolum*—como llamaban á su recado de encender—de la yesca ordinaria, carbonizada; pero además se valían de otros instrumentos para producir fuego, de los que hemos de tratar más adelante, y que tenían en mayor estima que el eslabón, porque no por la mano y el esfuerzo del hombre, sino por medio del divi-

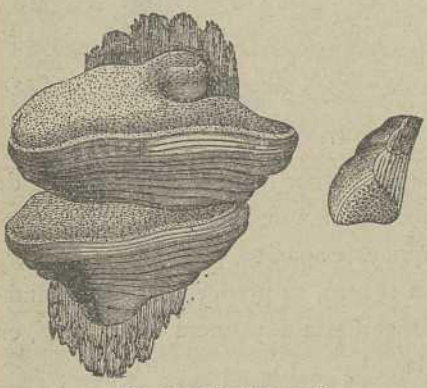


FIG. 323.—Hongo yesquero.

no rayo del sol, «Helios, el supremo bien», hasta podían producir una llama.

Lentes y espejos ustorios.—Eran ya conocidos de los antiguos tracios, que sabían tallar las primeras de cristal de roca, y hacer los segundos de bronce, y los utilizaban como medios de producir fuego para volver á encender los sagrados fuegos de Vesta cuando se habían apagado por el descuido de las doncellas encargadas de guardarlos. Grandes debían ser el tamaño y la potencia que podían darse á semejantes instrumentos, á juzgar por la narración según la cual Arquímedes, desde las murallas de Siracusa, incendió por medio de espejos ustorios los buques de la flota enemiga que bloqueaba la ciudad. Donde quiera que un cielo eternamente azul se extienda sobre la tierra, allí será siempre (entiéndase que sólo de día) la lente ustoria el más sencillo y seguro instrumento para producir fuego; pero en los países en que el sol se oculta durante la mayor parte del año entre nieblas y nubes, hay que valerse de otros medios, y de aquí que entre los pastores y cazadores se encuentren raramente usadas las lentes ustorias, viéndose, á lo sumo, en los parques y jardines para indicar á la vecindad la hora del mediodía. Consiste ordinariamente el aparato á que aludimos (fig. 324) en un cañoncito que se carga con pólvora todas las mañanas, y sobre cuyo fogón se coloca una lente ustoria de tal manera que, cuando el sol está en el punto del mediodía, caen perpendicularmente sus rayos á través del vidrio, y producen el disparo. Todos los días pueden oir las gentes en el Palais-Royal de París el sonido, ó, mejor, el estampido de las doce, dado por aquel indicador solar, siempre que Júpiter Pluvius no le juega, como acostumbra, una mala pasada al padre Kronos.



FIG. 324.—Lente ustoria como indicador de la hora.

Con las lentes y los espejos ustorios se cierra, si así podemos decirlo, el primer período de la historia de los instrumentos de fuego. Aunque no pueda negarse que la construcción de ellos, por imperfecta que fuera, supone una civilización bastante avanzada, su empleo para la producción de fuego se funda en observaciones que fácilmente pudieran hacerse por mera casualidad, mientras que los aparatos que hemos de considerar á continuación, tienen su fundamento en

una ley que sólo puede haberse descubierto después de un estudio exacto de la naturaleza de los cuerpos gasiformes.

Escopeta neumática ó de compresión.—Por insignificante que parezca este instrumento, no dejan de ser su energía y eficacia maravillosas y sorprendentes. Al comprimirse todo cuerpo, de modo que ocupe un espacio más reducido que en su estado normal, se desarrolla calor, que puede considerarse como producido por el roce, pues proviene de la fricción que unas contra otras experimentan las menores partículas de la masa cuando, por consecuencia de la presión general, tienden á acercarse y á aproximarse más y más estrechamente. Los sólidos y fluidos sólo permiten una condensación relativamente pequeña, y de aquí que en ellos sea más difícil de observar el aumento de calor; mientras que, por el contrario, los gases pueden reducirse por medio de la presión á un volumen cada vez menor, y manifiestan, por lo mismo, un aumento de temperatura, que es tanto más importante cuanto más rápida y continuada ha sido la condensación. Consiste el instrumento referido en un cilindro, *A B* (fig. 325), dentro del cual puede funcionar hacia arriba y abajo un émbolo, *b c*, ajustado herméticamente. Si se saca el émbolo, se llena todo el cilindro de aire, el cual no puede escapar, sino que tiene que condensarse cuando introduciendo de nuevo el émbolo, se comprime con él el contenido del cilindro. Cuando la compresión se verifica mediante un solo y rápido impulso, puede llegarse á encender, merced al calor generado, un pedazo de yesca colocado de antemano en la base del émbolo. En la primitiva escopeta neumática, especialmente preferida por los carreteros alemanes, el cilindro tenía la forma de una bota, cuya suela se solía apoyar contra un muro al tiempo de emplearse.

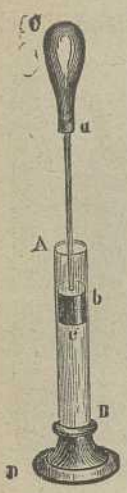


FIG. 325. Escopeta neumática ó de compresión.

Hasta aquí la historia antigua, digámoslo así, de los instrumentos de fuego, esto es, la de los inventos más remotos del género, que no podemos referir á fechas precisas ni ordenar cronológicamente. Pero de aquí en adelante se ilumina el campo de nuestras investigaciones, y no necesitamos de tantas conjeturas para dar plaza al derecho de primogenitura de las invenciones y mejoras, pues éstas se dan precisamente la mano con los descubrimientos de la física y la química, de los que unas veces son causa y otras consecuencia.

Aparato de hidroplatino.—Como explicamos en otro lugar del presente tomo, el platino, descubierto por los españoles en la América meridional á mediados del siglo pasado, y llevado por Wood á Inglaterra en 1741, puede obtenerse en forma de una masa esponjosa, que, como otros cuerpos porosos, tiene la propiedad singular de absorber gran cantidad de ciertos gases y condensarlos en su superficie, en el interior de sus poros. Cuando semejante condensación se verifica rápidamente, cual sucede en la escopeta neumática, da margen al desarrollo de un calor tal, que produce la incandescencia del platino. Si el gas que se ha con-

densado es combustible, se inflama al contacto con el metal caldeado, y éste es el fenómeno que sirve de fundamento al conocido aparato de hidroplatino (fig. 326) cuya invención (en 1820 próximamente) se debe á *Doebereiner*, uno de los primeros químicos que se dedicó al estudio de aquel interesante metal.

Consta dicho aparato de una vasija de vidrio, metal ó porcelana, cerrada superiormente por una tapadera, y llena hasta sus dos tercios próximamente de ácido sulfúrico diluído. De esta tapadera parte, sumergiéndose en el líquido, un cilindro de vidrio, *b*, abierto inferiormente, y cuya parte superior atraviesa la tapadera, manteniéndose cerrado al exterior por medio de un resorte, *e*, situado frente á la cápsula *f*, que está llena de esponja de platino. En el cilindro *b* va suspendido á un alambre de latón un trozo de cinc de tal manera, que por su parte inferior se encuentra un poco más elevado que el borde inferior del cilindro. Pues bien: colóquese la tapadera sobre la vasija, provista del ácido sulfúrico diluído, de modo que el cilindro interior, y con él el cinc, se sumerjan en el líquido, y comenzará inmediatamente la descomposición del agua, puesto que el oxígeno de la misma se combina con el cinc y el ácido sulfúrico para formar sulfato de cinc, mientras que el hidrógeno quedará libre y se acumulará en el interior del cilindro sobre el líquido. La descomposición durará tanto tiempo cuanto el trozo de cinc esté en contacto con el ácido sulfúrico, y no encontrando el gas hidrógeno ninguna salida, pues la mayor parte del tiempo queda cerrada, por medio del resorte *e*, la única pequeña abertura, obrará contra el líquido desde el interior del cilindro con tal presión, que al cabo lo expulsará de éste, dejando aislado el cinc, y desde este momento no se podrá desarrollar más gas. Mas si se abre la salida *e*, la presión inversa del líquido expulsará el gas, y entrando nuevamente en contacto el cinc y el ácido, se reanudará la reacción química. La corriente de hidrógeno que sale alcanza directamente la esponja de platino contenida en la cápsula *f*, condensándose al momento, con lo cual el platino se caldea y enciende el gas que ha seguido fluyendo, y que mientras permanece abierto el resorte, continúa ardiendo con una llama azul pálida, pero muy caliente, siempre que no se consuma con el tiempo la provisión de gas en el interior del cilindro. De tiempo en tiempo, cuando el líquido se ha saturado de cinc, debe quitarse el cilindro y llenar el aparato con nueva cantidad de ácido sulfúrico diluído, ó sea una parte de ácido sulfúrico inglés por cuatro partes de agua, mezclados con precaución. Si la esponja de platino se ha inutilizado, tal vez porque habiendo estado el aparato en reposo por largo tiempo se haya introducido en él polvo, con lo cual fácilmente se obstruyen los poros, basta recalentar la esponja de platino en una llama de

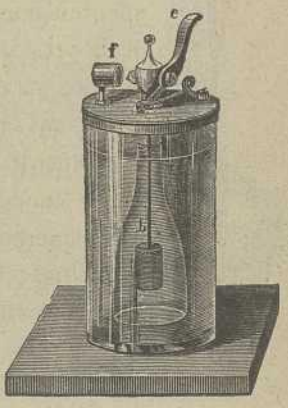


FIG. 326.—Aparato de hidroplatino.

gas del alumbrado, ó, lo que es más sencillo todavía, encender el hidrógeno del aparato y dirigir la llama contra la cápsula. Al presente, casi nunca se emplea este aparato.

En rigor, debiéramos haber tratado antes del aparato eléctrico para producir fuego, que tiene gran analogía con el de Doebereiner, pero cuya invención data, al parecer, del año 1770, debiéndose á Fuestenberg, de Basilea, y habiendo sido divulgado algunos años después por Ehrmann, en Strasburgo. Pero la disposición actual de dicho aparato eléctrico, que luego explicaremos, es en cierto modo una consecuencia del invento de Doebereiner; razón por la cual anteponemos éste como exponente, digámoslo así, del nuevo principio.



Fig. 327.
Lámpara de platino.

En época reciente se ha dado á conocer un aparato que recuerda el de hidroplatino de Doebereiner, por cuanto su acción estriba también en la incandescencia del mismo metal. Tal es el llamado *frasco de Doebereiner*, ó lámpara de platino (fig. 327), que consiste en una lamparilla ordinaria de alcohol, alrededor de la porción superior de cuya mecha, y sin tocarla, se arrolla una espiral cilíndrica, hecha de hilo de platino muy delgado. Si en esta disposición se apaga la llama del alcohol por medio de la tapa de vidrio, y se quita luego inmediatamente esta tapa, entra la espiral de platino en incandescencia, que dura tanto tiempo cuanto quede alcohol por consumir, el cual precisamente ha de tener, por lo menos, una fuerza igual á 96 por 100 de Tralles. El alcohol se descompone por la combustión en ácido carbónico y agua, al lado de los cuales se originan también pequeñas porciones de aldehyd, ó éter oxigenado, y de ácido acético. En su esencia, es ésta la repetición de un experimento que á principio de este siglo habían realizado ya Doebereiner con la esponja de platino y Davy con el alambre de platino. Todavía queda por decidir la cuestión de si este aparato produce ó no la purificacion del aire que se le atribuye.

Aparato eléctrico.—Tiene, en vez de la esponja de platino, dos puntas de este metal, entre las cuales, y en el mismo momento en que se oprime un resorte y se suelta la corriente de hidrógeno, pasa una chispa que produce la inflamación. La fig. 328, que reproduce la disposición primitiva del aparato, da idea del modo de producirse la chispa. El hidrógeno se desarrolla en el vaso *A*, expulsando, en virtud de su presión, el ácido sulfúrico, que sube en el globo *A'*; desde aquí el líquido oprime al gas, determinando su escape por una pequeña abertura enfrente de las puntas de platino; pero ordinariamente esta salida se encuentra cerrada, y sólo se abre por medio de una palanca, que por su parte va unida á un cordón de seda que levanta la tapa de un electróforo colocado en una caja inferior. Esta tapa se pone entonces en contacto con un alambre, unido

á una de dichas puntas, y se comunica su electricidad, que salta en forma de chispa á la punta opuesta (la que se halla en comunicación con la base resinosa del electróforo), produciendo la inflamación de la corriente de hidrógeno que sale del aparato. De vez en cuando debe cargarse nuevamente la placa resinosa, fustigándola fuertemente con una cola de zorra ó piel de gato, pues á consecuencia de la humedad, pierde poco á poco su tensión; pudiendo ser muy bien que en esta disminución de su energía, que también resulta del polvo, etc., esté el motivo de que nunca hallase gran aceptación el aparato. Además, es demasiado complicado para las necesidades diarias, y las reparaciones son de mayor dificultad que en el de Doebereiner, al que puede darse una forma más elegante, apropiada para adorno de un gabinete.

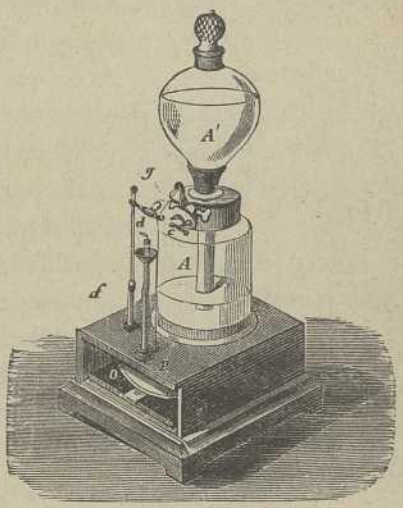


FIG. 328.—Aparato eléctrico para producir fuego.

En época más moderna, *Schroeter*, de Sommerfeld, ha perfeccionado el aparato eléctrico, poniendo el trozo de cinc que se necesita para la producción del hidrógeno, en comunicación con una varilla de carbón, estableciendo de tal manera un elemento galvánico cuya corriente recorre la espiral de inducción situada en la cubierta del aparato y que se arrolla en torno de un manojo de varillas de alambre. De este modo la electricidad alcanza una tensión suficiente para producir una pequeña chispa entre las dos puntas de platino 1 1 (fig. 329) é inflamar la corriente de hidrógeno que se escapa por el orificio 2. Prescindiendo de dicha modificación, la disposición de este aparato está conforma en un todo con el de hidroplatino de Doebereiner. La esponja sensible de platino, que fácilmente se inutilizaba, queda sustituída por puntas de dicho metal; la varilla de carbón se sumerge en una disolución de hipercromato potásico, que se separa del ácido sulfúrico en que se suspende el cinc, por medio de una célula de arcilla.

Pero á pesar de sus ventajas, tuvo este aparato que ceder pronto el puesto á nuevos medios de producir fuego, más especialmente á los socorridos fósforos de madera, que se inventaron á seguida del descubrimiento del fósforo, y que desde aquel instante fueron preferidos y adoptados en la industria. Pronto también se inclinó el ánimo del público en general hacia aquellos objetos tan ligeros, acabando por aceptarlos, en razón á la gran ventaja que ofrecía su transporte fácil y cómodo; ventaja de que carece por completo, así el aparato eléctrico como el de Doebereiner, cuya esfera de acción quedó limitada al interior de las habitaciones.

Pero antes de pasar á tratar de la importantísima industria de los fósforos

y las cerillas, debemos dedicar un párrafo al conocido aparato químico que, bajo diferentes formas, gozó por largo tiempo de aprecio merecido. La antigua pajuela azufrada encontró en él su primer perfeccionamiento, pues, á los fines que luego diremos, su extremidad azufrada se untó con una mezcla de azúcar y clorato de potasa, que se ligaban por medio de goma ó mucílago de tragacanto.

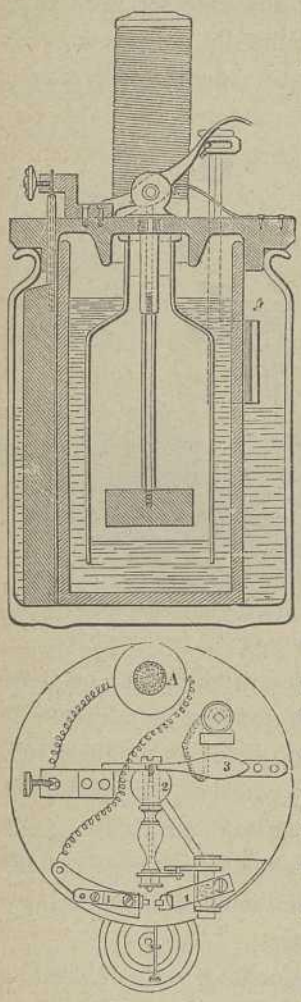


FIG. 329.
Aparato de inducción eléctrica para producir fuego.

Esta mezcla tenía la propiedad de decrepitar y encenderse al ser rociada con ácido sulfúrico concentrado, desarrollando un calor tan intenso, que inflamaba el azufre que había debajo. El ácido sulfúrico descompone el clorato de potasa, y entonces el ácido clorhídrico, que de este modo queda libre, tiene una fuerza oxidante tal, que desde luego puede inflamar el azufre y las materias orgánicas de fácil combustión. Pero como por efecto de la decrepitación se despedían fácilmente en rededor gotas de ácido sulfúrico cuando el azufre se empleaba en cantidad excesiva, se idearon pequeñas botellas de vidrio con tapones esmerilados, las cuales se llenaban hasta la mitad con asbesto firmemente apretado, empapado en ácido sulfúrico; bastaba tocar el asbesto con el extremo preparado de la pajuela para sacar una cantidad suficiente de ácido sulfúrico que producía la inflamación. No está determinado á quién se deba el invento y bien puede abrigarse la sospecha de que la idea se ha dado á luz á un mismo tiempo en diferentes países. Un ciento de estas pajuelas costaba aún en 1812 en Viena más de dos pesetas; precio que ciertamente no parece muy influido por la concurrencia, y que muestra con claridad que el aparato era todavía entonces una novedad grande.

Por el año 1830 aparecieron en Inglaterra, bajo el nombre de Prometeos, unos aparatitos análogos, pero que á causa de su elevado precio no encontraron en el Continente gran aceptación. La mezcla de azúcar y clorato de potasa estaba envuelta en un canutito delgado de papel, que además contenía un tubito de vidrio cerrado á fuego por ambos lados y lleno de ácido sulfúrico; así, cuando se rompía el tubito de vidrio entre dos cuerpos duros, ó bien por lo regular mediante unas pinzas que se vendían especialmente para este objeto, el ácido sulfúrico se ponía en contacto con la masa combustible y producía su inflamación El aparato tenía el mérito de ser bastante práctico, si bien era poco apropiado para llevarse en el bolsillo.

A partir de esta época, se arraigó el empleo del clorato de potasa, el cual formaba también la parte más esencial de la masa combustible de unas astillitas inflamables de madera, inventadas por *Congrève*, que aparecieron en Inglaterra en 1823. Dicha masa se componía de clorato de potasa y doble cantidad de sulfuro de antimonio, y mediante una apropiada liga se aplicaba sobre el azufre con que estaba bañado, un extremo de las astillas; colocando dicho extremo entre dos pedazos de papel de arena ó de lija, que se comprimían con los dedos, y retirando bruscamente la astilla, se inflamaba la mezcla á causa de la frotación; pero esto requería una presión fuerte, no siendo raro que se desprendiese por este medio el preparado inflamable y que ardiera entre las dos superficies ásperas del papel, sin encender la astilla, ó bien que el cuerpo inflamado volase ardiendo y llevase el fuego á puntos donde no se quería.

Este, y no otro, era el terreno donde debían implantarse las mejoras; y entonces se echó mano del fósforo, que ya se había intentado traer al ramo de la industria para componer con él otra masa inflamable. Pero antes de que los fósforos alcanzasen su actual perfección, tenían que experimentar importantes modificaciones, y tanto ellos como las cerillas perfeccionadas que se usan actualmente no tienen, con los primeros ensayos hechos para utilizar la fácil inflamabilidad del fósforo, otro parentesco más que la presencia de esta sustancia.

EL FÓSFORO

El descubrimiento de esta interesante materia data del año 1669, y constituye uno de los acontecimientos casuales con que las en sí y por sí quiméricas tentativas de los alquimistas han enriquecido á la posteridad. Un comerciante de Hamburgo, llamado *Brandt* ó *Brand*, con el fin de sacar á flote sus perdidos intereses, se había ido con los alquimistas, cuyo arte se hallaba poco más ó menos, entre todas las clases sociales, en el mismo estado de florecimiento en que hace años se encontraban las mesas volantes. Todo el mundo creía en la transmutación, como se llamaba entonces á la supuesta conversión de metales comunes en oro ó plata, por medio de ciertos procedimientos y tinturas que aún estaban por investigar; de modo que tenía su fortuna asegurada el que diera primero con la piedra filosofal. Durante largo tiempo trabajó Brandt sin éxito, hasta que adquirió la convicción de que por el camino que había emprendido nada conseguiría, y entonces se le ocurrió extraer de los productos del mismo organismo viviente aquel principio oculto, y tomó la orina como la materia y punto de partida que mayor recompensa había de dar á sus investigaciones. Hoy nos reímos de semejante modo de comprender las cosas; pero en unos tiempos en que el hombre no se hallaba en estado de ilustrar en lo más mínimo los procesos vitales de la vida por una exacta investigación, y en que las pala-

bras altisonantes, sentenciosas y oscuras eran tenidas por conocimientos, la fe y la opinión por saber, y las leyes se sentaban antes que las observaciones á que se referían, para un *dilettante* como era Brandt no podía menos de tener aquel pensamiento una apariencia plausible: la de que el hombre era la más perfecta máquina, en la que se reunían y funcionaban todas las materias y fuerzas con la mayor y más delicada perfección; y, naturalmente, lo que de esta quintaesencia de la creación, de este mundo en pequeño, ó microcosmos, pudiese separarse y aislarse, debía ser lo más delicado, lo más enérgico de todo, y, por lo tanto, claro está que sólo en la orina podría buscarse la verdadera piedra de la sabiduría.

En una palabra: cualquiera que pudiese ser el curso de sus ideas, lo que tenemos por cierto es que Brandt destiló, hizo digerir y sublimó la orina de todas las maneras posibles, haciéndola sufrir cuantos tormentos químicos se habían imaginado hasta entonces y que, por consiguiente, no era milagro que se destruyesen antiguas combinaciones y que se creasen en su lugar otras nuevas. Pero, á pesar de todo, la piedra filosofal no parecía. Sin embargo, un día encontró nuestro alquimista en el recipiente de su retorta un cuerpo característico y de propiedades sumamente notables: su olor tiraba débilmente al del ajo; su aspecto era como de cera amarilla, semitransparente; su dureza y consistencia parecidas á las de éstas, y el gusto lo tenía pronunciado y repugnante. Al calentarse un poco, se fundía su masa; pero aun á la temperatura ordinaria despedía un vapor que brillaba en la oscuridad. Frotó Brandt con la mano aquel su recién hallado cuerpo, y le relucieron los dedos, y aquella misma masa característica despidió una luz muy hermosa, pálida y de un blanco verdoso. Arrojada en agua hirviendo, el vapor de agua que ascendía formaba nubes que fulguraban mágicamente; en una palabra, todo lo que se ponía en contacto con dicha masa adquiría la propiedad de desarrollar por sí luz. Este carácter especial, no observado aún en ningún otro cuerpo, fué lo que indujo á Brandt á designar la nueva materia descubierta con el nombre de fósforo (del griego *phosphoros* «que da luz»), y lo que, unido á la propiedad de inflamarse tan fácilmente, llamó desde luego extraordinariamente la atención. Su especial origen, su olor y sabor, su inflamabilidad, que sobrepujaba á la del azufre y otros cuerpos conocidos, siendo tal que el solo calor de la mano basta para producirla, y, finalmente, su misteriosa fulguración, fueron todas propiedades que prometieron al fósforo un puesto aparte entre las demás sustancias, y que hicieron esperar todavía de aquella materia, verdaderamente infernal, otras muchas energías.

Todo el mundo instruído se preocupó bien pronto con tan interesante novedad; Brandt no había hallado la piedra filosofal, pero con el descubrimiento que había hecho se había procurado un manantial de oro, porque conservó el secreto de la preparación del fósforo, y por tal razón el ansia de poseer este cuerpo fué tal, que se pagaban cantidades pequeñas de él más que á peso de oro. Se enseñaba el fósforo por dinero, y en el año 1670 la onza de él llegó

á costar en Londres diez ducados y medio, y en Amsterdam hasta 16. No era, pues, maravilla que otros quisieran apropiarse el secreto para utilizarlo en provecho propio, y así se cuenta que Krafft y Kunkel llegaron á reunirse para comprar la receta á Brandt.

Kunkel, el más célebre químico alemán de aquella época, había nacido en el Holstein hacia 1630, y, como la mayor parte de los primeros alquimistas, había sido en su juventud boticario. Habíase dedicado también durante largo tiempo á lo que él llamaba «la química en los metales», y entre otras, había publicado una obra sobre la preparación del vidrio; y aun cuando en sus escritos se reproduce la falta de claridad común á todos sus contemporáneos, sin embargo, había emprendido en sus tentativas direcciones más prácticas que la mayoría de los demás, que consideraban la química como una rifa, de cuyo platillo la mano llegaría casualmente á sacar la piedra filosofal. Hacia el año 1640 fué llamado Kunkel á Dresde al servicio del Príncipe Elector, como inspector de la farmacia de la corte; pero también fué allí con la intención de que reanudara las tentativas para el hallazgo de la piedra filosofal, cuyo conocimiento creía ya tener el difunto príncipe, y de estudiar, valiéndose de las investigaciones que éste dejaba. Pero como no le fuera entregado el haber convenido con la regularidad que era de desear, dirigióse Kunkel á Wittenberg, y más tarde á Berlín, al servicio del Gran Príncipe Elector, como él escribe, «para ganar al menos con que atender á su subsistencia, pues todavía no había aprendido el arte de pasar hambre». Más tarde fué llamado por Carlos XI de Suecia á Stokolmo como consejero de minas, y murió en Berlín en 1702.

Juan Daniel Krafft era doctor en medicina y médico de las minas de Zellerfeld; pero impulsado por su inquieto y aventurero espíritu, no paraba mucho tiempo en ninguna parte, y consumía su vida en multitud de viajes, entre los cuales encontró empleos temporales en las Cortes Electorales de Maguncia y Dresde, en la última de las cuales trabó conocimiento con Kunkel poco antes de que se hablase del descubrimiento de Brandt.

Hallándose Kunkel de viaje propuso á Krafft, desde Hamburgo, la compra del secreto de Brandt para explotarlo luego en común, proposición que aquél pareció aceptar, cuando era todo lo contrario; pues de cuenta propia se dirigió sigilosamente al encuentro de Brandt, le compró el secreto por 200 thalers (750 pesetas), y luego corrió las cortes enriqueciéndose por la exhibición y venta del nuevo producto. Kunkel, que ya se encontraba en Wittenberg, hubo por fin de tener naturalmente alguna noticia de todo aquello, aunque ni Brandt ni Krafft le participaron nada, y entonces se propuso dar por sí mismo con la invención, y, según él mismo escribe, «á fuerza de profundas reflexiones y de incansables trabajos» pudo, al cabo de algunas semanas, tener la felicidad de llegar á descubrir el fósforo por sí solo. Esto ocurrió en el año 1676, y Kunkel sólo sabía que Brandt había extraído el fósforo de la orina. El secreto de aquella prepara-

ción, por dos veces descubierta, llegó entonces pronto, por medio de la concurrencia, á ser propiedad de todo el mundo, pues sus descubridores acabaron por enseñar el secreto, antes cuidadosamente guardado, á todo el que les daba 10 thalers.

También independientemente, como Brandt y Kunkel, hubo de hallar *Boyle* en Inglaterra, el secreto tan codiciado de la extracción del fósforo, y en el año 1681 hizo relación de ello la «Royal Society». Boyle explotó su descubrimiento en compañía de Haukwitz, un alemán que vivía en Londres, y gracias á las grandes cantidades de fósforo que producían y vendían, llegó á adquirir Haukwitz un gran capital.

Fuentes naturales del fósforo.—Hállase el fósforo muy difundido en la Naturaleza, pues es una parte esencial del mundo organizado; se encuentra en muchas rocas, aun cuando sólo en muy pequeña cantidad, y ya en mayores proporciones, en diferentes minerales, así como en los depósitos de guano.

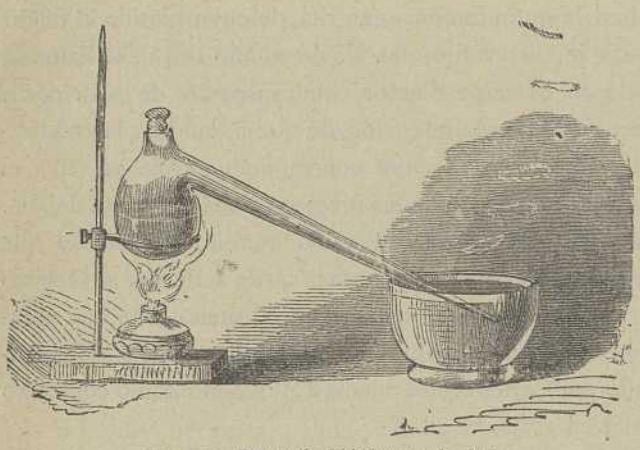


FIG. 330.—Desarrollo del hidrógeno fosofrado.

La presencia del fósforo en los huesos la descubrieron Gahn y Scheele en 1769; Albino lo encontró en la planta de la mostaza y en los berros, y hoy se sabe ya que el fósforo se encuentra en los cuerpos más comunes de los tres reinos. En estado libre, empero, no se halla en parte alguna de la Naturaleza, pues su grado de afinidad con otros muchos elementos es tal, que una vez unido á ellos, no se desprende si no se le obliga químicamente. Con preferencia tiene gran tendencia á combinarse con el oxígeno, abandonando para ello otras combinaciones; también existe una combinación del fósforo con hidrógeno, análoga al amoniaco y llamada hidrógeno fosforado, el cual es un cuerpo gasiforme, que se obtiene mezclando algunos pedazos de fósforo con una disolución concentrada de potasa cáustica, y calentando la mezcla; si se dejan ir al aire algunas burbujas de este gas, tal como indica la fig. 330, se verá que se inflaman inmediatamente y arden con una ligera detonación; pero para entregarse á estos ensayos se necesita alguna precaución, y de aquí que no se aconseje á los que no estén prácticos. El hidrógeno fosforado es interesante, porque por el desprendimiento de este gas de materias orgánicas fosfatadas en descomposición bajo agua, se pretenden explicar los tan discutidos fuegos fatuos.

Los cuerpos formados por la combinación del fósforo con el oxígeno se

caracterizan como ácidos por sus propiedades, y sólo el que contiene la menor cantidad de oxígeno, ó sea el *óxido de fósforo*, muestra un carácter indiferente. Pero el ácido *subfosforoso*, el ácido *fosforoso*, y, sobre todo, el ácido *fosfórico*, que contiene la mayor cantidad de oxígeno, son, según sus propiedades, ácidos bien caracterizados, pues con cuerpos básicos forman sales, de las que algunas, y más especialmente el fosfato sódico, se emplean bastante en la industria.

Ácido fosfórico.—Se forma cuando, bien al aire libre, bien en gas oxígeno puro, se hace arder fósforo; y se obtiene en copos blancos cuando se cubre el fósforo ardiendo con una campana de vidrio bien seca. En esta forma, el ácido fosfórico se halla libre de agua ó anhidro; pero al estar al aire libre absorbe el vapor de agua de la misma con avidez tal, que se liquida bien pronto, y entonces no es posible volverlo al estado anhidro, aun cuando se caldee fuertemente. Su comportamiento en presencia del agua es muy notable, pues forma con ésta tres combinaciones, todas muy características, cuyos contenidos en agua se relacionan entre sí como los números 1, 2 y 3. La preparación de ácido fosfórico hidratado puede verificarse de diferentes maneras: bien por la lenta oxidación del fósforo en aire húmedo, ya por su ebullición con ácido nítrico diluído, ó por su separación de las sales fosfatadas, mediante el ácido sulfúrico. En cualesquiera de estos casos se obtiene una disolución más ó menos diluída por el agua, que es preciso concentrar por evaporación; durante el proceso de esta concentración, adquiere el líquido la consistencia de un jarabe, en el que, si se deja reposar por largo tiempo, se forman cristales duros y diáfanos; si todavía se prosigue la evaporación, llega un momento en que la masa se funde tranquilamente. En tal estado, una gota depositada sobre un objeto frío, se solidifica en seguida formando un cuerpo de naturaleza vítrea; forma que por medio del enfriamiento puede adquirir todo el contenido del vaso evaporador. El ácido fosfórico, presentado de esta manera, tiene en el comercio el nombre de *ácido fosfórico vítreo*. Como útiles para evaporar, deben emplearse siempre vasijas de platino ó de plata, puesto que el ácido fosfórico, y más en el estado de fusión, es muy fuerte y ataca y corroe todos los demás materiales.

El ácido fosfórico se encuentra en la Naturaleza en un gran número de minerales, de los que los más importantes son los siguientes: la *apatita*, cal fosfatada (fosfato cálcico), que se presenta en cristales del más vario color, ó incoloros, y también en masas compactas y opacas que en varias comarcas, y particularmente en nuestra provincia de Cáceres, constituye ricos y extensos yacimientos, y toma entonces el nombre de *fosforita*, siendo uno de los más importantes abonos en la economía rural; la *wavelita*, que es un fosfato de alúmina; la *triphilina*, interesante mineral, raro á causa de su composición, pues contiene el ácido fosfórico combinado con protóxido de hierro y con litina, cuerpo éste en verdad muy difundido, pero que sólo se obtiene en pequeñas cantidades; y la *piromorfita*, ó plomo verde, que es un fosfato de este metal, en cristales amari-

llos, verdes, y también grises, que se presentan en muchos criaderos plomíferos. La *turquesa*, ó calaíta, es un fosfato de aluminio, y la *vivianita* un fosfato de hierro.

De estos cuerpos inorgánicos, y singularmente del fosfato cálcico, que en pequeñas cantidades se encuentra en todo suelo laborable, pasa el ácido fosfórico al organismo de las plantas, del que lo toma el animal, que durante la época de su desarrollo necesita mayor cantidad de ácido fosfórico que en lo restante de su vida, puesto que emplea dicha sustancia para la formación de los huesos, del cerebro, de los nervios y de muchos otros de sus órganos; de aquí que el ácido fosfórico sea siempre una parte constituyente de la sangre, y la única procedente del continuo desgaste de los tejidos, que vuelve á la corriente sanguínea, siendo eliminado del cuerpo, ya por medio de la orina, ya también, en parte, con los excrementos.

Pero en la composición de los huesos no intervienen sólo las materias inorgánicas, sino que una gran parte de aquéllos, ó sea la llamada masa cartilaginosa de los huesos, es de naturaleza orgánica. Por lo tanto, si se trata de obtener de los huesos, ó, en general, de cuerpos animales, ácido fosfórico, ó, si se quiere, fósforo, es preciso separar los constituyentes orgánicos de los inorgánicos, y someterlos cada uno de por sí á diversos tratamientos, á fin de sacar el mejor partido posible del conjunto. De aquí que en las fábricas químicas que se ocupan en la producción del fósforo ó de sus preparados, se produzcan de ordinario la cola, el ferricianido y la sal amoniacal, preparándose asimismo otros productos químicos, como los ácidos sulfúrico y clorhídrico, empleados en los procedimientos consabidos; de modo que la fabricación del fósforo se halla estrechamente ligada con la de dichos ácidos y del carbonato de sosa.

Naturalmente, no puede ser tarea nuestra la de describir en toda su extensión un trabajo de semejante naturaleza, puesto que sólo tratamos en este lugar del fósforo y su preparación; y basta lo dicho para recordar á nuestros lectores cómo, en materia química, se enlazan los procesos cual eslabones de una cadena, recorriendo los elementos una serie de transformaciones. Lo único que corresponde, pues, á los químicos técnicos es reconocer el estado en que un elemento tiene mayor valor, para suspender al momento el proceso químico.

Fabricación del fósforo.—El procedimiento de Kunkel para obtener el fósforo se ha abandonado hace mucho tiempo á causa de la poca cantidad que con él se obtenía; según Kunkel, se procedía del modo siguiente: la orina en putrefacción era evaporada á fuego lento hasta tener la consistencia de un jarabe espeso, que se mezclaba con triple cantidad de arena blanca y limpia, y en una retorta provista de un botijo condensador, de gran capacidad, se sometía á un fuego vivo durante seis horas, hasta que todo el vapor, con las sales volátiles y los aceites, pasaba al botijo, después de lo cual se sometía durante

otras seis horas á un fuego más vivo. Al principio pasaban al botijo abundantes vapores blancos; luego seguían otros que brillaban con luz azulada, como azufre en ignición, y, por fin, y merced al caldeo prolongado y más fuerte, se obtenía una sustancia consistente, pesada y luminosa, el *fósforo*, que se depositaba en el fondo del botijo. La reducción del ácido fosfórico á fósforo, descansaba, con este procedimiento primitivo, en la sustracción del oxígeno por la materia orgánica carbonizada de la orina.

Margraf, químico célebre por el invento de la fabricación del azúcar de remolacha, perfeccionó el procedimiento de Kunkel á mediados del siglo pasado; y como entretanto habíase reconocido la abundancia del fósforo en los reinos animal y vegetal, su fabricación pudo basarse en el empleo de otras materias que las secreciones del hombre. *Scheele*, uno de los genios químicos más sobresalientes de todas las edades, ideó tomando por base el ácido fosfórico de los huesos, el procedimiento que, aunque perfeccionado en detalle, sigue practicándose todavía. Los huesos contienen, en estado seco, de un 11 á un 12 por 100 de fósforo.

La separacion de las cenizas del hueso, tan ricas en ácido fosfórico, de la masa orgánica cartilaginosa, puede verificarse de dos maneras: ora quemando los huesos en grandes hornos de cuba sobre cuyo suelo se mantiene fuego de leña hasta que el calor ha llegado á elevarse tanto que los mismos huesos desprenden gases inflamables y mantienen por sí mismos la combustión, y entonces sólo restan las cenizas de hueso blancas, que se componen principalmente de fosfato básico de cal (pues todos los demás elementos orgánicos se han quemado), ó bien, después de extraer de los huesos sus grasas, por medio del vapor de agua sobrecalentado, ó tratándolos con sulfuro de carbono, bencina, etc., se someten á la acción del ácido clorhídrico, con lo que los elementos inorgánicos se vuelven solubles. El mejor modo de verificar esto es en grandes tinas, en las cuales se dejan, durante varios días, los huesos cubiertos con ácido clorhídrico, y, á ser posible, á una temperatura algo elevada. La masa cartilaginosa se queda separada, formando una sustancia blanda, blanco amarillenta é insoluble que conserva la forma de los huesos; pero las sales calcáreas se descomponen, expulsando el ácido clorhídrico una parte del ácido fosfórico y sustituyéndolo en aquéllas; de este modo resulta cloruro de calcio y fosfato ácido de cal, que es muy soluble en el agua; pero este procedimiento no se ha generalizado mucho en la práctica.

Según el procedimiento más usual, los huesos calcinados y reducidos á polvo son tratados por el ácido sulfúrico, mediante el cual se descompone el fosfato tribásico de cal, combinándose los dos tercios de su contenido de cal con el ácido sulfúrico, y formando un sulfato cálcico difícilmente soluble (yeso), mientras el tercio restante queda unido al ácido fosfórico existente y forma un fosfato ácido de cal que se disuelve. Semejante descomposición se verifica con un ácido

sulfúrico poco concentrado, y á las veinticuatro horas escasas de hallarse sometido á esa influencia se diluye con agua y separa la disolución que contiene el ácido fosfórico del sulfato de cal depositado sobre el fondo de la vasija. Dicha disolución se somete entonces á la evaporación en tinas de plomo poco profundas, hasta que ha alcanzado la consistencia de un jarabe, y luego se mezcla con carbón vegetal, secándose completamente la masa en calderas de hierro fundido. En este estado, y todavía en caliente, se traslada á retortas de loza de piedra, que se revisten exteriormente con arcilla y estiércol de caballo, ó bien con cal diluída en una disolución de bórax, á fin de evitar que salten ó que trasude el ácido fosfórico; y luego se destila con mucho cuidado para prevenir una explosión. De la manera descrita se pierde siempre una parte del fósforo, que no puede ser reducida, sino que queda en el fondo de la retorta en estado de pirofosfato cálcico; aun cuando se quisiera emplear más ácido sulfúrico para separar toda la cal, no se obtendría por semejante medio ninguna ventaja, pues mediante el carbón sólo puede reducirse incompletamente el ácido fosfórico libre, porque empieza á volatilizarse á una temperatura más baja que la necesaria para su descomposición.

Lo que pasa en el interior de la retorta es muy sencillo: el carbón vegetal obra sobre el ácido fosfórico reduciéndolo, y desempeña en este caso el mismo papel que en la fusión de los minerales metalíferos; es decir, que atrae á sí el oxígeno de otro cuerpo y deja á éste libre, siendo en el caso presente el fósforo el que se desprende del ácido fosfórico y se escapa en forma de vapor. El cuello de cada retorta enchufa en un botijo condensador lleno de agua hasta su mitad, y que se halla en comunicación con otro segundo, exactamente igual, que tiene un pequeño conducto para el escape de los gases inflamables debidos á la destilación. Empero los cuellos de las retortas no deben introducirse en el agua de sus botijos respectivos, pues en tal caso, al terminar la destilación, la presión del aire podría impulsar al agua hacia las retortas. El fósforo se reune en dichos botijos en forma de una masa negra, sucia, que contiene, además de fósforo puro, muchas partículas de carbón, así como óxido de fósforo y fósforo amorfo rojo, y de aquí que deba someterse á una purificación, la cual se verifica de ordinario y, con toda seguridad, fundiendo la masa bajo agua, y obligándola, también debajo del agua, á pasar á través de una piel de gamuza.

A este objeto sirve la prensa representada por la fig. 331. El fósforo en bruto, después de fundido en el agua caliente de 60 grados, y enfriado luego, se envuelve en un trozo de piel de gamuza, el cual se lía en forma de saco y se coloca en una especie de colador. El todo se dispone en una vasija, *A A*, llena de agua á 50 grados, de modo que deje cubierto el fósforo. El pistón semiesférico *B B* de la prensa obra contra el saco de cuero mediante la palanca, *C C*, y en virtud de la fuerte presión, el fósforo, fundido de nuevo por el agua caliente, pasa á través de los poros del cuero, dejando tras sí sus impurezas. Otros pro-

cedimientos de purificación se fundan, bien en la filtración del fósforo en bruto á través de una capa de carbón animal en pedacitos menudos, ó bien sometiéndolo á una nueva destilación en una retorta de hierro.

El fósforo purificado se expende en el comercio en forma de barritas redondas, para obtener las cuales se utiliza con el mejor resultado el aparato que representa la fig. 332. En una gran vasija, *AA*, se halla suspendida una caldera, desarrollada inferiormente en forma de tubo, cuya extremidad se adapta á una pieza provista de un grifo, *n*, y comunica, por su medio, con el tubo horizontal de vidrio *a b*, fijo en un recipiente *B*. La vasija *AA* está llena de agua caliente, que mantiene en fusión el fósforo contenido en la caldera; de modo que, al abrirse el grifo *n*, el fósforo líquido penetra en el tubo *a b*, donde se solidifica en virtud del enfriamiento que produce el agua fría que llena el recipiente *B*. Entonces, y por medio de un pequeño instrumento, *C*, provisto de un gancho, se saca la barrita de fósforo, dejando el tubo libre para que se forme otra. Todas las demás manipulaciones, tales como el cortar las barritas largas en trozos más cortos, el fundirle, pulverizarle, etc., deben llevarse á cabo debajo de agua, á causa de lo fácilmente que se inflama el fósforo; asimismo tampoco se le puede transportar sino en latas llenas de agua.

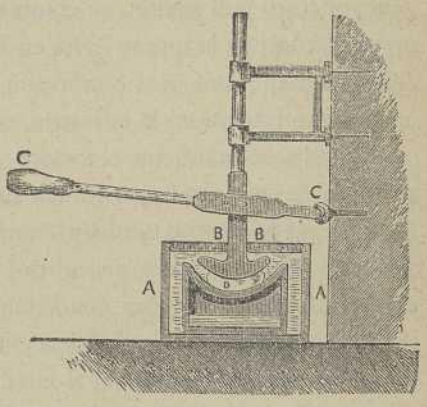


Fig. 331.—Prensa para purificar el fósforo.

El empleo de los huesos para la producción del fósforo, que para muchas ramas de la industria tienen un valor muy elevado, es en realidad muy irracional, y sería de desear que cediese el puesto dentro de no muy largo plazo al aprovechamiento de minerales, cuyo contenido en fósforo no se ha utilizado hasta ahora lo suficiente. El precio de los huesos, que continúan siendo la primera materia preferida para la fabricación del fósforo, ha subido á consecuencia de esto tan enormemente en todas partes, que muchas de las fábricas de fósforo antes existentes, especialmente en Austria, han suspendido sus trabajos, y en la actualidad hacen frente al consumo, en su mayor parte, sólo dos fábricas: inglesa una (Albright-et-Wilson, de Oldburg, cerca de Birmingham) y otra francesa (Coignet et fils, de Lyon) que anualmente elaboran juntas 12.000 quintales métricos, ó sea, 5.000 la primera y 7.000 la segunda, que se extraen de 150.000 quintales de huesos.

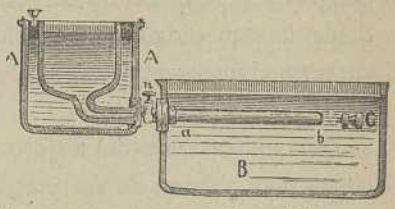


Fig. 332.—Aparato para dar forma al fósforo.

Propiedades del fósforo.—Este elemento, cuyas propiedades exteriores se

desprenden de lo que antecede, se funde á los 44 grados y hierve á los 280, transformándose en un vapor incoloro, siempre que esté completamente aislado del aire; también se evapora, aunque poco, á la temperatura ordinaria. Se disuelve algo en alcohol y también en éter; los aceites, el cloroformo y especialmente el sulfuro de carbono, lo disuelven, en cambio, con gran facilidad, y por medio de la lenta separación de algunas de estas disoluciones, puede tomar la forma cristalizada. Combínase fácilmente con muchos otros elementos, como el oxígeno, el cloro y el azufre; su combinación con el hierro torna quebradizo á este metal, razón por la que se evita en lo posible; por el contrario, sus combinaciones con el cobre y el estaño son en alto grado interesantes, y desde luego hallaron aplicación en la industria, como dijimos al tratar de estos metales.

Cuando se mantiene el fósforo expuesto á la luz, ó se sostiene á una temperatura de 260 grados, modifica sus propiedades y se convierte en el llamado *fósforo rojo* ó *amorfo*, también llamado fósforo amorfo de *Schrœtter*, por haber sido éste quien primero descubrió tan interesante modificación, y quien principalmente reconoció las condiciones en que su formación se conseguía. El color de esa importante modificación del fósforo es, con frecuencia, tan hermoso é intenso, que se aproxima al cinabrio más vivo; pero á veces, cuando la masa tiene mucha cohesión, su color es pardo rojizo, y en la superficie negro como el hierro. Además, el fósforo amorfo no despide olor, no brilla en la oscuridad, no se altera en el aire, y se funde con mayor dificultad que el ordinario, del cual lo que más le diferencia es su dificultad en inflamarse. Esta última propiedad, unida á la circunstancia de que dicho fósforo amorfo no es venenoso, le hizo hallar muy entusiasta acogida de parte de los fabricantes de fósforos de madera, ya que respecto de este producto dejó de existir el inconveniente del gran peligro que á los primeros fósforos de esa clase se atribuía. Pero al desaparecer aquel peligro se perdió cabalmente también lo que al fósforo le hacía más recomendable, la comodidad, y los fabricantes vinieron á comprender que pagaban muy cara semejante ventaja; al fin, han venido á reconciliarse con él en los últimos años.

Las aplicaciones del fósforo son de muy diferentes clases: utilízale la farmacopea para algunos de sus preparados; sírvense de él en mayor escala los cazadores de ratones. mezclándolo, en pequeña cantidad, con agua y miel y alguna sustancia olorosa; la propiedad en extremo venenosa de esta materia, convierte esa pasta en un medio muy eficaz para la extirpación de insectos, y para la de los ratones de campo se usa también en forma de píldoras. Asimismo se emplean hoy grandes cantidades de fósforo amorfo rojo en los preparados de yoduro y bromuro de fósforo, que se usan ambos en industria de los cobres de anilina para producir el hidrógeno carburado yodado y el hidrógeno carburado bromurado; pero de cualquier modo qne sea, siempre es mucho mayor la cantidad de fósforo que corresponde á la fabricación de los fósforos y las cerillas.

FÓSFOROS Y CERILLAS

Las primeras tentativas encaminadas á la aplicación del fósforo para producir fuego, dieron lugar á la invención de objetos muy complicados, puesto que aún no se sabía evitar la inflamación espontánea de dicha sustancia en contactos con el aire. Así como en los «prometeos» ingleses, de que hablamos anteriormente, el ácido sulfúrico se guardaba en tubitos de vidrio, de análogo modo se apeló á este recurso para evitar el contacto del fósforo con la atmósfera: las llamadas *luces de Turín*, por ejemplo, consistían en tubitos de vidrio que se ensanchaban por un extremo en forma de ampolla, que se llenaba con fósforo, mientras que por el extremo opuesto y abierto se rellenaba el tubito con una mecha ó torcida de algodón empapada en cera, cuya punta inferior, en contacto con el fósforo, se salpicaba previamente con polvo de azufre y alcanfor, á fin de promover su inflamación. Cuando se quería producir fuego, se rompía el tubito á ras de la ampolla, bastando el pequeño roce consiguiente, en unión con el aire que penetraba, para encender el fósforo, y, por ende, la mecha.

Pero semejante disposición, ó si se quiere, aparatito, resultaba demasiado costoso y complicado para que su empleo se generalizara; y tampoco halló mucho favor entre el público el medio ideado á semejanza del llamado aparato químico, de que dimos cuenta más arriba, y que consistía en sustituir el asbesto impregnado con ácido sulfúrico por una mezcla de fósforo y un poco de azufre. Estas materias se fundían juntas, extendiendo una delgada capa de la pasta sobre el fondo de pequeños frascos; cuando se quería encender fuego se destapaba uno de estos frascos, se rasgaba la pasta con el extremo azufrado de una astillita ó palillo de madera, de modo que se adhería á éste un poquito de la masa, y entonces se producía la inflamación frotando dicho extremo contra una superficie áspera cualquiera.

De estos y parecidos modos caminaban, poco á poco, los inventores del primer tercio de nuestro siglo hacia la solución del problema en cuestión; y después de conocerse el invento, ya descrito, de Congrève, era evidente que dicha solución se reducía á sustituir con fósforo el sulfuro de antimonio que dicho inventor empleaba en su masa. Mas no es posible decidir de dónde partió la iniciativa, esto es, á quién se debe en realidad la invención de los fósforos, que precedió á la de las cerillas. Según los franceses, el fósforo se empleó por primera vez para producir fuego, en París, el año de 1805; Derepas logró evitar su inflamabilidad al aire, en 1809, mezclándolo con polvo de magnesia; mientras que en 1816 inventó Derosne los fósforos propiamente dichos; pero es inverosímil que un invento tan trascendental como éste tardara, en nuestro siglo,

más de dieciséis años en generalizarse por los países más adelantados. Lo cierto y positivo es que, hacia el año 1833 aparecieron los fósforos, por vez primera, en diferentes países, siendo probable que se idearon independiente y casi simultáneamente en varios puntos de Europa. Por consiguiente, cuando los ingleses atribuyen el invento á su químico *John Walker*, puede que tengan tanta razón como los alemanes, que consideran como el inventor al doctor *Kammerer*, de Ludwigeburgo (Wurtenberg), que en el año 1833 inició la fabricación en su patria. Dichos fósforos tomaron la forma de pequeños palillos de madera de abeto, de cinco centímetros de largo por dos ó tres milímetros de grueso, bañados con azufre en un extremo, que terminaba en una cabecita formada con una masa inflamable, en la que el fósfoso desempeñaba el papel principal. Durante el mismo año de 1833 *Preshel*, empezó en Viena á fabricar semejantes fósforos, así como los hechos con tirillas de cartón ó yesca, que emplean los cazadores y gente del campo para encender sus pipas y cigarros; y poco después dió *Moldenhauer* principió á fabricarlos en Darmstadt.

En las masas inflamables que se emplearon al principio, constituía la parte preponderante el clorato de potasa usado por Congrève, y como esta sal se funde al calentarse y sólo entonces desprende oxígeno, los fósforos de aquella época tenían la propiedad desagradable de arder con pequeñas explosiones, lanzando en torno la masa fundida y candente, de modo que en varias partes llegó á prohibirse por las autoridades su fabricación y empleo. Mas no se tardó en sustituir el clorato de potasa: *Trevany* empleó en su lugar una mezcla de óxido rojo de plomo (minio) y dióxido de manganeso (pirolusita), mientras que en 1837 adoptó *Preshel* el hiperóxido pardo de plomo, y *Boettger* una mezcla del minio con nitro, ó una de hiperóxido con nitrato de plomo, mezclas á las que se agregaba el fósforo en cierta proporción. Con semejantes innovaciones tomó la fabricación de fósforos un desarrollo extraordinario, y en los años sucesivos se introdujeron otras mejoras, como la de impregnar la extremidad de los palillos con cera ó parafina fundidas, en vez de bañarla con azufre, y la de revestir la cabecita inflamable con un barniz para evitar la evaporación del fósforo y mejorar el aspecto del producto.

Pero quedaba por combatir un grave inconveniente, ó sea la propiedad venenosa del fósforo mismo, pues entre los operarios de las fábricas se habían desarrollado diferentes enfermedades, más especialmente de las encías y de la mandíbula, notándose ya en los primeros años de establecida la nueva industria una mortalidad mucho mayor de los empleados en ella que en las demás. Después de diferentes ensayos infructuosos para remediar el mal, vino el descubrimiento, por *Schroetter*, del fósforo amorfo, que los fabricantes acogieron desde luego con entusiasmo; pero los fósforos que elaboraron con la nueva sustancia se encendían difícilmente, y el público no los aceptó con benevolencia; de modo que se volvió al empleo del fósforo ordinario, hasta que en los últimos

años, y merced á las mejoras introducidas en los procedimientos, el amorfo ha salido victorioso en los llamados *fósforos de seguridad.*

La invención de éstos no es, en realidad, tan reciente como muchos suponen, pues data del año 1848, debiéndose á *Boettger*, de Francfort; lo que sucedió fué que durante muchos años no se vencieron ciertas dificultades en la preparación de las masas, y que la forma en que se ofrecieron dichos fósforos al público resultaba incómoda. En efecto; los fósforos de seguridad se distinguen de los comunes en que la masa de su cabecita no contiene fósforo alguno, sino que se compone de una mezcla que tiene la propiedad de no encenderse por frotamiento contra una superficie cualquiera, y sí sólo contra la de una masa especial que contiene fósforo amorfo. Al principio se vendía separadamente esta masa, extendida sobre pequeños cartones ó tablillas, de modo que resultaba la incomodidad consiguiente á tener que echar mano de dos cosas para poder encender, ó sean la caja de fósforos y la tablilla. Sólo desde 1865, cuando los fabricantes suecos vencieron felizmente dicho inconveniente, extendiendo la masa fosfórica sobre los lados de las mismas cajas de fósforos y perfeccionaron la preparación de ella, compitió ventajosamente el nuevo producto con los fósforos ordinarios, y sigue ganando cada día más terreno. Se han concedido, además, en los últimos años varios privilegios de invención por diferentes preparados químicos enteramente libres de fósforo, que pueden encenderse por frotamiento sobre una superficie cualquiera; pero hasta la fecha los fósforos, digámoslo así, ó las cerillas encabezadas con semejantes masas, no han hallado buena acogida entre el público.

Mientras en el Norte y centro de Europa, desde las islas británicas hasta los Urales, merced á la abundancia de las maderas á propósito, se desarrollaba la fabricación de fósforos de diferentes clases, que allí se emplean principal, cuando no exclusivamente, en vista de su bondad y extraordinaria baratura, en los países del Mediodía de nuestro continente (Portugal, España, Italia, Suiza), donde se carece en general de dichas maderas, arraigóse la fabricación y uso exclusivo de las cerillas, que en esencia sólo se diferencian de dichos fósforos en que su cabecita inflamable está adherida á una vela diminuta, digámoslo así, en vez de á un palillo. En Francia é Inglaterra se fabrican también cerillas excelentes; pero resultan más caras que los fósforos y se consideran más bien como artículo de lujo.

Fabricación de fósforos y cerillas.—La operación más importante en esta industria es el preparado de la masa fosforífera que constituye las cabecitas de dichos objetos tan útiles; y tratándose de los llamados fósforos y cerillas de seguridad ó amorfos, el revestimiento del lado de las cajitas en que éstos se encienden. El fósforo, ora sea el vivo, ora el amorfo, así como las diferentes materias sólidas que entran en la composición de la masa, en forma de polvo fino, necesitan ante todo de un medio de unión, que consiste generalmente en mucí-

lago de tragacanto, cola ó goma del Senegal, disueltos en agua, debiendo tener el líquido la consistencia de un jarabe bastante fluido, en el cual se calienta al baño de María hasta los 80 grados, se disuelve primero el fósforo, añadido en pequeños pedazos y cuidando de batir ó remover continuamente el líquido. Se creía antes que era necesario lo menos de 8 á 10 por 100 de fósforo para obtener una masa de buena calidad; pero la experiencia no tardó en hacer ver que puede emplearse con ventaja mucho menos de dicha sustancia, puesto que, cuando se encuentra con exceso en la cabecita de la cerilla, el ácido fosfórico resultante de la combustión da lugar á la formación de una escoria vítrea que dificulta grandemente la inflamación de la madera ó la cerilla misma. Si en vez de disolver el fósforo en agua de goma se disuelve aparte en sulfuro de carbono, agregando esta disolución á la masa general (el agua de goma con los demás ingredientes), se pueden obtener productos excelentes con muy poco fósforo, ofreciendo además este procedimiento la gran ventaja de poder trabar en frío.

Las materias que se agregan al fósforo en el agua de goma llenan diferentes objetos: algunas, como el clorato de potasa, nitro, hiperóxido de plomo, sulfuro de antimonio, carbón, azufre, pirolusita, ácido nítrico, cromato de plomo, etc., están destinadas á obrar químicamente, descomponiéndose en unión con el fósforo, bajo la influencia del calor (al tiempo de arder la masa) y formando productos combustibles ó que favorecen la combustión; otras, como el vidrio, el pedernal, la galena, la pirita, etc., pulverizadas, tienen por objeto aumentar el rozamiento de la masa al tiempo de encender la cerilla, mientras que otras se emplean para colorear la masa inflamable. Son muchas las sustancias que para este último objeto se hallan á disposición de los fabricantes; pero generalmente se producen los diferentes matices de azul mediante una mezcla de azul de Prusia y creta; el rojo, por medio del minio ú óxido rojo de plomo; el amarillo, con cromato de plomo, y el verde, mediante una mezcla de los pigmentos azul y amarillo.

Según las materias adoptadas por los fabricantes de fósforos y cerillas de diversas clases en diferentes países, y las proporciones tan variables en que se mezclan, resultan multitud de recetas, de las que sólo citaremos algunas.

En Alemania, se compone la masa inflamable de los fósforos comunes, por ejemplo, de 1,5 de fósforo común, 3 de goma del Senegal, 0,3 de hollín de pino, 5 de minio y 2 de ácido nítrico á 40° de Baumé, evaporándose hasta la sequedad la mezcla de los dos ingredientes últimamente nombrados y pulverizando el producto, ó bien se disuelven 8 partes de fósforo común en sulfuro de carbono y se mezcla la disolución con 21 partes de cola disuelta en agua, 24 de hiperóxido de plomo y 24 de nitro potásico; otras veces se mezclan 3 partes de fósforo, 3 de goma del Senegal, 2 de hiperóxido de plomo y 2 de arena esmaltín, finamente molidos. Para una masa inflamable, libre de fósforo, es excelente la fórmula del doctor Wiederhol, que consiste en 52 partes de clorato de potasa,

26 de hiposulfito de plomo y 8 de goma arábiga, disuelta previamente en agua. En cuanto á los célebres fósforos de seguridad suecos, y sus imitaciones alemanas, la masa inflamable de su cabeza contiene materias que despiden oxígeno, como clorato, hipercromato de potasa, nitrato de plomo ó pirolusita; otras combustibles como azufre, sulfuro de antimonio ó carbón; medios de rozamiento como polvos de vidrio, arena, etc., todas unidas por medio de goma ó cola; mientras que los lados de las cajitas, en los que únicamente pueden encenderse dichos fósforos, se revisten con una capa delgada de una pasta compuesta de fósforo amorfo, pirolusita, pirita, polvo fino de vidrio ó piedra pómez con la cantidad correspondiente de cola.

En España, se compone la masa inflamable de las cerillas más ordinarias ó de clase inferior, por ejemplo, de 6 partes de fósforo y 47 de minio quemado, mezcladas con 9 de goma arábiga en 14 de agua. Para la de las llamadas cerillas de ruido se toman 1,5 de fósforo, 5 de clorato de potasa, 6 de vidrio pulverizado, la proporción necesaria de materia colorante, y 4 de goma disuelta en 3,5 de agua. Para las cerillas de clase superior, consiste dicha masa en 4 partes de fósforo, 2 de clorato potásico, 2 de gelatina ó cola fuerte y 7 de goma arábiga, con 0,50 de azul de Prusia; ó bien 4 de fósforo, 10 de nitrato potásico, 6 de gelatina, 3 de ocre y 2 de esmalte, amasadas con el agua necesaria. Se fabrican también cerillas amorfas ó de seguridad, con cabecilla libre de fósforo, que se encienden frotándolas contra una superficie revestida con una masa que contiene fósforo amorfo, y cuya composición hemos dicho más arriba.



FIG. 333 —Colocación de los palillos en los marcos.

La madera empleada en la fabricación de fósforos es generalmente la de abeto; pero también se utilizan á veces las de pino y de chopo temblón, aserrándose primero en tablas de ciertas dimensiones, que luego se dividen en estrechas tiritas redondas ó cuadradas de dos milímetros de grueso, por medio de cepillos mecánicos de construcción especial, cuyas tiritas se cortan en palillos de 5 centímetros de largo, que son los que constituyen el cuerpo del fósforo. Estos palillos se sujetan en gran número en un marco provisto de tornillos, colocándolos paralelamente en hileras separadas por regletas, como indica la fig. 333; y entonces todas las extremidades de un lado se introducen simultáneamente en un baño de azufre fundido, de ácido estearínico ó de parafina, á fin de que el fuego de la masa inflamable se comunique más pronto á la madera. Después de secados, los mismos extremos de los palillos se ponen en contacto con dicha masa, que en estado de jarabe se halla extendida en una fuente poco profunda (fig. 334), y el marco se suspende horizontalmente en un

local calentado, hasta que los fósforos se sequen. Si se quiere revestir las cabecitas con un barniz, hay que repetir la operación referida con un tercer baño; pero en las fábricas mejor montadas, el trabajo de poner la cabeza al fósforo y barnizarlo se verifica hoy más rápida é igualmente por medio de máquinas especiales, que ofrecen además la inmensa ventaja de librar á los operarios de los efectos nocivos del fósforo. Terminada la fabricación, sólo resta sacar los fósforos de los marcos y colocarlos en sus cajas, que, por regla general, tienen la misma forma que las de cerillas que usamos nosotros, siendo de madera sumamente delgada y no de cartón.



Fig. 334.—Modo de poner la cabecita inflamable á los fósforos.

Para dar á nuestros lectores idea de la importancia que tiene la industria fosforera en el extranjero, diremos que en 1880 existían en Alemania 212 fábricas de fósforos, que producían próximamente sesenta mil millones de éstos, ó sean 600.000.000 de cajitas al año; Austria-Hungría cuenta además con 150 fábricas; Suecia y Noruega tienen 43, entre

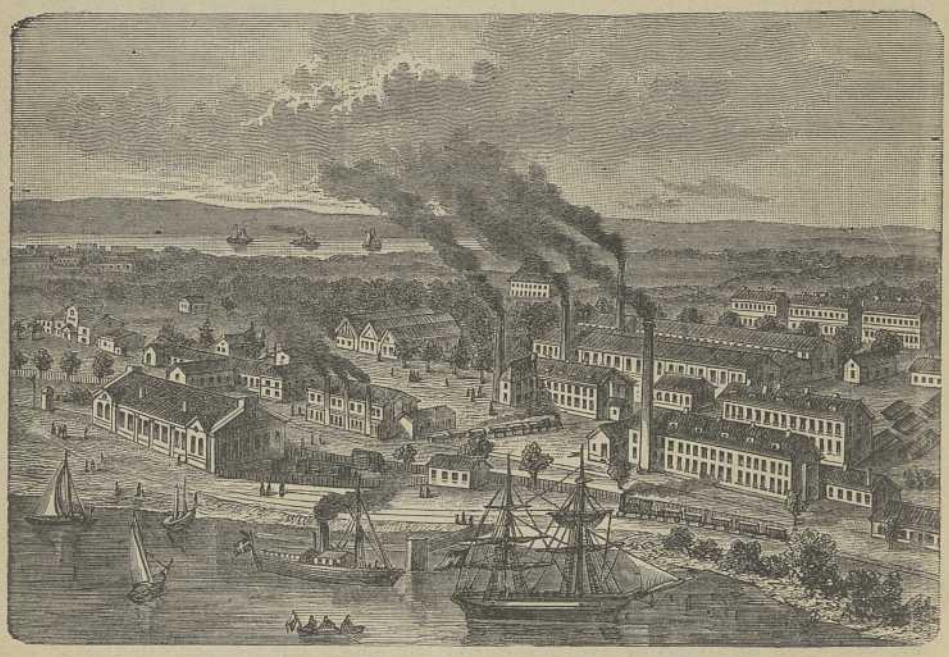


Fig. 335.—Fábrica de fósforos de seguridad en Jönköping (Suecia).

ellas la célebre de fósforos de seguridad en Jönköping (fig. 335), que en 1881 produjo por valor de 4.500.000 pesetas; en Suiza existen 24; en Bélgica y Holanda, 10, y en Dinamarca, 5. Además, Inglaterra hace frente á sus propias

necesidades y exporta gran cantidad de fósforos, mientras que en Francia la fabricación de éstos es monopolio del Estado desde 1872, arrendándose á una

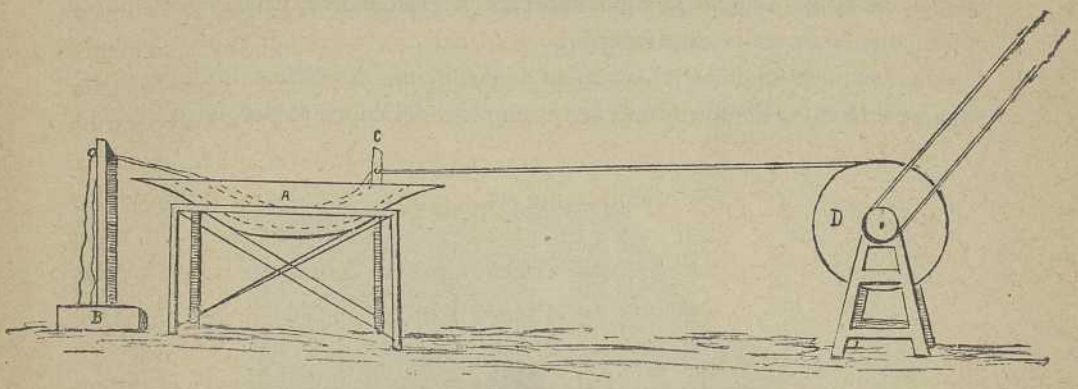


FIG. 336.—Aparato para el baño del algodón de la cerilla.

Sociedad explotadora por 16 millones de francos anuales. Pero veamos á la li-

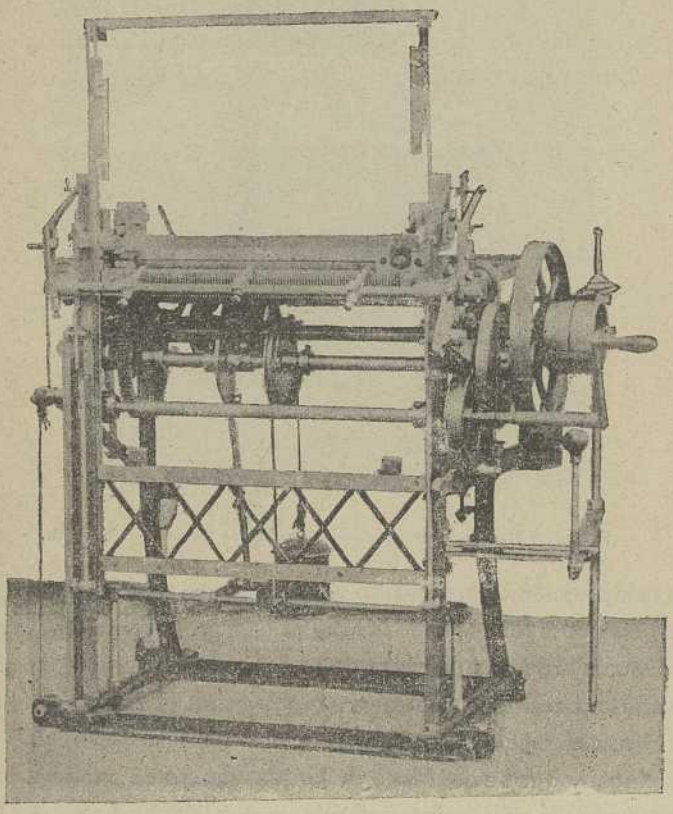


FIG. 337.—Máquina para cortar y plantar cerillas, sistema Calmet é hijos, y Camps y Llovera.

gera cómo se fabrican las cerillas en nuestro país, que cuenta al efecto con más de 80 fábricas. Las materias que se emplean para formar la cerilla propiamente

dicha son el algodón, la estearina, el copal y la colofonia, componiéndose el baño, por regla general, de 20 partes de estearina y 5 de copal para la clase fina; 15 de estearina y 18 de colofonia para la clase media, y 10 de estearina y 20 de colofonia para la clase inferior.

Una vez bien fundidas las materias de cualquiera de dichas fórmulas, para cuya operación es siempre preferible el empleo del vapor al del fuego directo,



FIG. 338.—Plancha de mármol para aplicar la masa inflamable á la cerilla.

se vierte la composición en el depósito *A*, del aparato representado en la fig. 336, el cual tiene un doble fondo lleno de agua, y que debe sostenerse, por medio del vapor de agua, á la temperatura de unos 90 grados para que la composición no se enfríe, pues de lo contrario se malograría el éxito.

El algodón, que viene ya preparado de las fábricas de hilado en grandes mazos circulares, y que se compone de cierto número de madejas sin torcer, se coloca en el cajón, *B*, del aparato referido, y de allí sube hasta el nivel del citado depósito, sostenido por una hembra que se halla sujeta á dos listones verticales. Desde dicha hembra se extiende, á través del depósito *A*, hasta el cilindro *D*, en el que se arrolla, y cuya rotación, promovida por una correa motriz,

determina el movimiento de avance del algodón. A su paso por *A*, se sumerge en la masa fundida de estearina y colofonia, y al salir, completamente bañada por la misma, pasa por el agujero perfectamente redondo de una planchita, *C*, de acero bien bruñido, cuyo diámetro determina el grueso de la cerilla. Según la composición del baño, ó, mejor dicho, según el tiempo que tarde en enfriarse y consolidarse la masa, la distancia que separa el depósito *A* del cilindro *D*, va-



FIG. 339.—Secaderos de las cerillas.

ría entre ocho y doce metros. Después de arrollado todo el algodón, convertido en cerilla, sobre el cilindro, se traslada éste á la llamada máquina de cortar y plantar (fig. 337), colocándose en su parte posterior; la cerilla va pasando por las ranuras que se ven en la misma, y á un golpe de cuchilla quedan cortadas á la medida que se desea, pasando automáticamente á unos cuadros regleteados como el que se nota en la figura, y en los que quedan convenientemente esparcidas unas 4.000 cerillas. Esta operación, en la que sólo interviene el operario para colocar y separar el cuadro de la máquina, no dura más que unos treinta segundos.

De la máquina de cortar, pasan los cuadros llenos de cerilla, á otra parte de

la fábrica para recibir la masa inflamable, cuya composición y modo de prepararla hemos dado á conocer más arriba. Esta operación es muy sencilla, aunque reclama cierto cuidado, y se verifica á mano, no habiéndose introducido todavía en nuestro país, que sepamos, las máquinas especiales que al efecto se emplean hoy en muchas fábricas de fósforos extranjeras, como dijimos oportunamente. Una pequeña cantidad de dicha masa fosfórica, en estado de jarabe, se extiende sobre una plancha de mármol bien nivelada, provista de una depresión de un centímetro de profundidad (fig. 338), y cuyo tamaño es igual al de los cuadros ya referidos. Un operario toma un cuadro entre las dos manos, y bajándolo

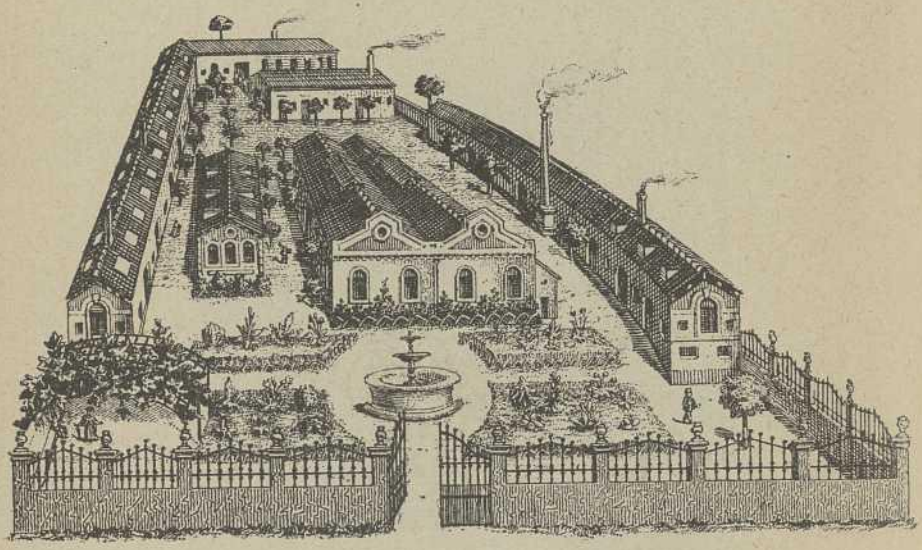


Fig. 340.—Fábrica de cerillas de Gisbert (Alcoy).

horizontalmente hasta que las 4.000 cerillas se introducen por un extremo en la masa (compárese la fig. 334), lo vuelve á levantar. Puestas de este modo las cabecitas inflamables, se colocan los cuadros en los secaderos (fig. 339), donde se dejan durante cinco horas próximamente, expuestos á una corriente de aire que, en caso necesario, se promueve por medio de un ventilador centrífugo. Conviene tener los secaderos aislados en garitas, á fin de reducir en lo posible los efectos desastrosos de un incendio á que pudiera dar lugar la inflamación de una sola cerilla, y disponer la ventilación de manera que se pueda cortar la corriente correspondiente al secadero incendiado.

A este mismo fin de cortar en su principio un incendio, las fábricas de cerillas bien montadas, como la que reproducimos en el grabado adjunto (fig. 340), tienen establecido en todos sus departamentos un sistema de timbres eléctricos, sumamente sensibles al fuego, que señala en un tablero contador el punto donde se haya iniciado el incendio. Hemos tenido ocasión de comprobar la sensibilidad

de los citados timbres encendiendo una cerilla en una de las garitas, y viendo cómo se comunicaba en el acto el aviso al bombero encargado de estas funciones.

La fábrica modelo de D. Agustín Gisbert, de Alcoy, de donde tomamos los datos que anteceden, produce 150.000 cajillas diarias próximamente, pudiéndose calcular en 400 el número de operarios que intervienen en las diferentes operaciones.



DAGUERREOTIPIA
Y
FOTOGRAFIA

Los primeros ensayos para producir imágenes mediante la luz.—Aparato fotográfico.—Daguerreotipia: yodo, bromo, cloro; producción de las imágenes sobre planchas de plata.—Fotografía sobre papel.—Procedimiento al colodio.—Copia y papeles de copiar.—Panotipia, ambrotipia y ferrotipia.—Procedimiento en seco: negativas con emulsiones de colodio y gelatina; fabricación de planchas secas.—Fotografía instantánea.—Diferentes procedimientos para el desarrollo de las imágenes.—Aparato de proyección.—Ampliación de las fotografías.—Procedimiento ortocromático.—Fotografías permanentes.—La fotografía como medio reproductor; procedimiento al carbón, heliografía, fotolitografía, albertotipia.—Procedimientos fotográficos diversos.

Al considerar la indiferencia con que se miran, por lo general, en nuestros días, los maravillosos productos de la fotografía, cual si fueran la cosa más natural del mundo, nos asalta la memoria el dicho de Lessing, de que lo más milagroso en los milagros es que se vulgaricen tanto. Si hace unos sesenta años se hubiera dicho á una persona instruida que sería tal vez posible disponer un espejo de manera que retuviera para siempre la imagen del que se mirara en él, es probable que hubiera contestado: «¡Qué disparate!». Y si alguien

hubiera emitido semejante pensamiento hace dos siglos, sus oyentes se hubieran persignado, sin duda, diciendo que sólo podría realizarse con ayuda del demonio. Se conserva, en efecto, una leyenda de cierto hechicero, que sabía producir la congelación instantánea del agua, de tal modo que quedaba fija en el hielo la imagen de la persona que miraba en el vaso en aquel momento; y aunque semejante cuento sólo demuestra por el pronto que siempre ha habido gentes demasiado crédulas, indica, en el fondo, la existencia en tiempos antiguos de ideas vagas acerca de la producción de imágenes por la luz. Más claras, aunque envueltas en vaguedades poéticas, resaltan semejantes ideas en unos versos del poeta latino Statio (61 á 76 de nuestra Era) intitulados «Cabello de Carino», que se encuentran en su libro «de las Selvas» *(Silvæ)*.

Pero el lenguaje de los poetas carece, naturalmente, de la seguridad y precisión que reclama la ciencia; y sólo dos siglos después que Alberto Magno, en su escrito *Compositum de compositis* (siglo XIII) anunciara que una disolución de plata en ácido nítrico ennegrece la piel, siendo difícil hacer desaparecer las manchas, publicóse el primer dato positivo acerca de la acción de la luz que nos interesa en este lugar; pues en 1565, y en su libro titulado *De rebus metallicis*, Fabricio habla del cambio que sufre la plata córnea (cloruro de plata) bajo la influencia de la luz. Sin embargo, esta observación no tuvo mayor importancia hasta 1777, cuando *Scheele*, de Stralsund (Pomerania), describió exactamente la acción de los colores prismáticos sobre el cloruro de plata, y determinó que su ennegrecimiento se verifica más pronto en los rayos del violeta. Estos experimentos fueron repetidos por *Senebier;* y en 1801 observó *Ritter* que se producía una alteración al lado de la imagen del espectro, es decir, fuera de la misma y á continuación de la extremidad violada, de lo que dedujo que existen en la luz rayos invisibles, los llamados ultraviolados, que también ennegrecen el cloruro de plata. Desde este momento data una nueva ciencia—la fotoquímica—que, como hija legítima de la luz, parece tener empeño en desarrollarse con la rapidez de los rayos maternos. Andando el tiempo, acumulóse una gran copia de observaciones acerca de la acción química de la luz, y pronto se vino en conocimiento de la mayoría de las sustancias actualmente empleadas en la fotografía; pero los sabios de principios de nuestro siglo no se contentaron con demostrar que tal ó cual materia es sensible á la luz, sino que investigaron las influencias diferentes, ejercidas por rayos luminosos de distintos colores; y en el *Tratado de colores*, de Goëthe, indicó el doctor *Seebeck* por vez primera, en 1810, que los diferentes rayos del espectro prestan al cloruro de plata sus propios colores, sentando así la base de la helioquímica.

Las imágenes tan precisas y preciosas de objetos naturales que se producen sobre una superficie plana por medio de la cámara oscura y el microscopio solar, contribuyeron, sin duda, á despertar en la mente de algunos hombres de ciencia y prácticos la idea de la fotografía; pues cualquiera que viese por vez primera

semejantes imágenes creadas por la luz, debió pensar cuán hermoso sería si se pudieran fijar para siempre sobre una plancha de vidrio ó una hoja de papel. El curioso libro intitulado *Giphantia*, que publicó Tiphaine de la Roche en Cherburgo, el año 1760, y en el que se refiere cómo el autor fué llevado durante una tempestad al palacio de los «espíritus elementales», é iniciado por el superior de ellos en sus trabajos y secretos, nos da una idea de cómo se creía entonces poder alcanzar semejante objeto.

«Sabes, dice el espíritu á nuestro autor, que los rayos de luz reflejados producen imágenes sobre superficies brillantes, cual sucede, por ejemplo, en la retina del ojo, el agua y un espejo. Los espíritus elementales se esfuerzan por fijar semejantes imágenes, y han compuesto al efecto una materia muy fina y pegajosa, que se seca con facilidad suma y se vuelve muy dura, y con cuya ayuda producen una pintura en un instante. Revisten con dicha materia un pedazo de lienzo, sobre el cual las imágenes, no sólo se reflejan, sino que quedan adheridas cuando el revestimiento se deja secar en la oscuridad».



Fig. 341.—Joseph Nicéphore Niépce.

En el año 1803, lograron *Wedgwood* y *Davy* producir verdaderas imágenes fotográficas, de otra manera distinta de la soñada por Tiphaine: empaparon con una disolución de nitrato de plata hojas de papel blanco y de cuero y copiaron sobre ellas perfiles de sombras, y también pinturas sobre vidrio; mas como no sabían tornar las hojas insensibles á la luz del día, sólo podían enseñarlas á la luz artificial, á menos de exponerse á que se volvieran del todo pardas. En 1819, descubrió *John Herschel*, el medio, tan anhelado, de fijar las imágenes, ó sea el hiposulfito de sosa; y cuando se propagó la noticia del invento de *Daguerre*, se reanudaron con afán los primeros ensayos, y en las tiendas inglesas de objetos artísticos aparecieron imágenes toscas de hojas de plantas, musgos y cosas parecidas. Estos objetos se colocaban sencillamente sobre hojas de papel preparadas con la disolución de plata, se cubrían con una plancha de vidrio y se exponían á la luz del sol, produciéndose imágenes blancas de la forma ó contorno del objeto, pero sin sus detalles, sobre un fondo pardo. Como se ve, el

invento de la fotografía estaba ya á punto de realizarse; pero el mérito de haber dado felizmente á luz la nueva criatura, pertenece á los franceses.

En aquella época, *Joseph Nicéphore Niépce* (fig. 341), nacido en 1765 en Chalons-sur-Saone, y muerto en 1833, y *Louis Jacques Mandé Daguerre* (figura 342), nacido en Cormeilles, cerca de París, en 1787, y muerto en 1851, perseguían separadamente la misma idea; el primero había alcanzado resultados notables, aunque por métodos muy complicados, mientras que el segundo apenas había adelantado algo, cuando, en 1829, los dos se reunieron. Daguerre acogió con entusiasmo las ideas de Niépce, y sobre su base inventó un procedimiento enteramente nuevo, con arreglo al cual el nuevo arte, tan laboriosamente engendrado, se convirtió en un trabajo relativamente sencillo.



FIG. 342.—Louis Daguerre.

Los ensayos de Niépce, á los que dió lugar la invención de la litografía recién propagada en Francia, se remontan al año 1814: trabajó mucho con resinas, y especialmente con asfalto, descubriendo la propiedad singular de esta materia de hacerse insoluble bajo la influencia de la luz, como dijimos en otra parte de esta obra, al tratar de la fotolitografía (véase el tomo I); y valiéndose de ella llegó á poder obtener en pocas horas reproducciones de grabados en cobre. Además del asfalto, Niépce se sirvió de planchas de plata, que hacía sensibles á la luz por medio de vapores de yodo. Daguerre continuó los ensayos con semejantes planchas, y en 1839 (seis años después de morir su amigo) pudo dar á conocer su invento; siguiendo la recomendación de Arago y Gay-Lussac, el Gobierno francés lo compró, señalando á Daguerre una renta anual vitalicia de seis mil francos, y al hijo de Niépce una pensión de cuatro mil; y entonces, en la sesión de la Academia de Ciencias y Artes, del 10 de Agosto de 1839, Arago dió publicidad al procedimiento en cuestión, ofreciéndolo como regalo al mundo entero; acto de nobleza y generosidad que causó no poca sorpresa, pero que se aplaudió en todas partes.

El invento de Daguerre se limitaba á la producción de imágenes sobre planchas plateadas, y este ramo del nuevo arte, ó sea la *daguerreotipia*, lleva

todavía en su nombre el recuerdo de su autor; mientras que por *fotografía* se entiende, en general, todo el arte de producir imágenes por medio de la luz, sobre vidrio, papel, plata y otras materias. El procedimiento de Daguerre adoleció al principio de dos inconvenientes serios, pero que no se tardó en hacer desaparecer: era el uno el espacio de tiempo, relativamente largo (de veinte minutos) que se necesitaba para producir una imagen y que hacía imposible obtener retratos, hasta que, en 1841, halló *Claudet* en el cloro un apoyo tan poderoso para el yodo, que la sensibilidad de las planchas se aumentó pronto en términos de poder producir una imagen en pocos segundos. Pero las imágenes daguerreotípicas continuaban careciendo de duración, falta que constituía el otro inconveniente indicado más arriba; eran comparables, en efecto, al finísimo polvillo (en realidad escamitas) que cubre las alas de las mariposas, y al cabo de poco tiempo desaparecían si no se conservaban bajo una plancha de vidrio. El químico *Fizeau* (fig. 343) acudió entonces con un remedio, en la forma de clorido de oro, que no sólo fija la imagen daguerreotípica, sino que le priva de gran parte de su brillo vítreo, que antes impedía que se viera claramente. Más de seis meses (Marzo de 1839) antes que Daguerre diera publicidad á su invento, *Fox Talbot* (fig. 344) comunicó á la Real Sociedad (Academia de Ciencias) de Londres su procedimiento para obtener imágenes «fotográficas», expresión que él mismo empleó, y en 1840 lo hizo público, después de perfeccionarlo, bajo el nombre de *kalotipia* (impresión hermosa). Aunque ésta no podía competir con la daguerreotipia respecto precisamente de la hermosura de sus productos, aventajaba al procedimiento francés en que daba imágenes que podían reproducirse ó multiplicarse indefinidamente. Por esta razón cabe señalar la kalotipia como la madre de la fotografía actual; pues como el papel no es bastante fino para reproducir los detalles más delicados de los objetos, hubo de apelarse más tarde á materias más finas, como planchas de vidrio revestidas con albúmina ó colodio, creando así, en cierto modo, un papel sin cuerpo; perfeccionamientos que van asociados á los nombres de *Niépce de Saint Victor*



FIG. 343.—Fizeau.

(1848) en Francia, y de *Archer* y *Fry* (1851) en Inglaterra. Por último, después de haber convertido el rayo luminoso en un hábil dibujante, se le obligó también á ser litógrafo y producir sus imágenes en la piedra, de modo que pudieran imprimirse como las litografías ordinarias.

Pero tan hermosos resultados no hubieran sido posibles si los ópticos no hubiesen puesto algo de su parte; y en este terreno han prestado señalados servicios á la fotografía, tanto los franceses como los alemanes. *Charles Chevalier*, de París, fué el primero que, mediante la combinación de dos lentes acromáticas, no sólo redujo notablemente el tiempo necesario para obtener las imágenes, sino que prestó á éstas mayor delicadeza; aun antes del empleo del cloro, logró hacer retratos en pocos minutos. Los objetivos fotográficos se perfeccionaron después considerablemente á manos del profesor *Petzval*, de Viena, cuyos estudios profundos sobre el particular dieron por resultado la fabricación de los tan celebrados objetivos de *Voigtländer*, con los que rivalizan hoy los instrumentos de otros muchos ópticos. Respecto de la disposición de la cámara oscura y la formación de las lentes sin aberración esférica y cromática, debemos remitir á nuestros lectores al tomo II de esta obra.



FIG. 344.—Fox Talbot.

APARATO FOTOGRÁFICO

No es más, en efecto, que un perfeccionamiento de la cámara oscura, inventada en 1509 por el físico napolitano *Porta* (fig. 345). En la figura 346 reproducimos la cámara fotográfica en su forma más sencilla: la caja *A* enchufa en la *B*, y se puede meter ó sacar más ó menos, corriéndola sobre la tabla *D*,

que forma la continuación de la base *B*, sirviendo el tornillo que se ve en el grabado para sujetar *A* en la posición deseada. El objetivo se encuentra en medio de la cara anterior de *B*, no apareciendo en nuestro grabado, mientras que el fondo de la cámara, ó sea la cara posterior de la caja *A*, está constituído por una plancha de vidrio deslustrado, *C*, sobre la cual se proyectan las imágenes de los objetos del exterior, cuando se destapa el objetivo referido.



Fig. 345.—Bartholomeo della Porta.

Según el uso á que se destinan los objetivos fotográficos, que se fijan delante de la cámara, varían en su construcción, distinguiéndose objetivos para retratos y otros para paisajes, etc. Estos últimos no tienen, por regla general, más que una lente acromática, mientras que los primeros se construyen con dos de estas lentes, que representamos en sección en la fig. 347, indicando con una flecha la dirección de la luz desde el exterior. La fig. 348 reproduce el objetivo mismo, destinado á retratos, en cuyo tubo las dos lentes de la fig. 347 se hallan fijas en los puntos señalados con *A* y *B*. Dicho tubo pasa ajustando en el cuello *G*, que se atornilla á la cara anterior de la cámara (fig. 346, *B*), mediante el anillo *E*, y se halla provisto de una cremallera, por medio de la cual y el tornillo *F* se puede ajustar con precisión la distancia focal. Por último, *H* es un diafragma que se introduce en el objetivo cuando se quieren obtener imágenes mejor definidas; y *D* es la tapa del instrumento, que se coloca sobre su extremo, *C*, cuando se quiere evitar la penetración de la luz en la cámara.

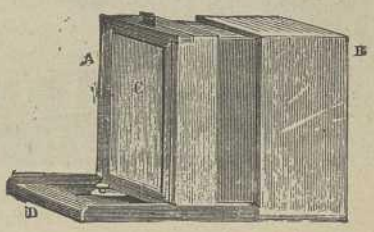


Fig. 346.—Cámara fotográfica ordinaria.

Supongamos ahora que la cámara fotográfica descrita y provista de un objetivo para retratos, se halla montada sobre un trípode, de modo que pueda elevarse ó bajarse y dirigirse con la mayor comodidad posible, y que nos situemos con ella en un local acristalado (fig. 349, *f*), en el que penetra mucha luz del Norte, con el fin de tomar un retrato. No es necesario para nuestro objeto

entrar en pormenores acerca de la disposición de semejantes locales, que muchos de nuestros lectores conocerán por haberse hecho retratar; lo que nos interesa aquí es la manipulación del aparato. Pues bien; después de dirigir el objetivo de la cámara fotográfica hacia la persona que nos proponemos retratar, y quitada la tapa de aquél, al mirar desde la parte posterior la plancha de vidrio deslus-

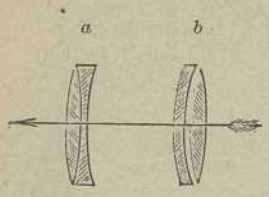


FIG. 347.—Posición de las lentes acromáticas.

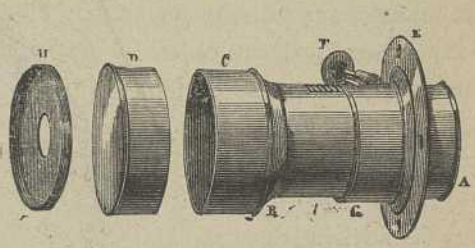


FIG. 348.—Objetivo fotográfico para retratos.

trado, vemos en ella una imagen invertida y reducida de dicha persona. Para que resalte más claramente esta imagen cubrimos nuestra cabeza y la plancha de vidrio con un paño negro, á fin de que la luz general no debilite los rayos que penetran en la cámara; y corriendo hacia adelante ó atrás la parte movible

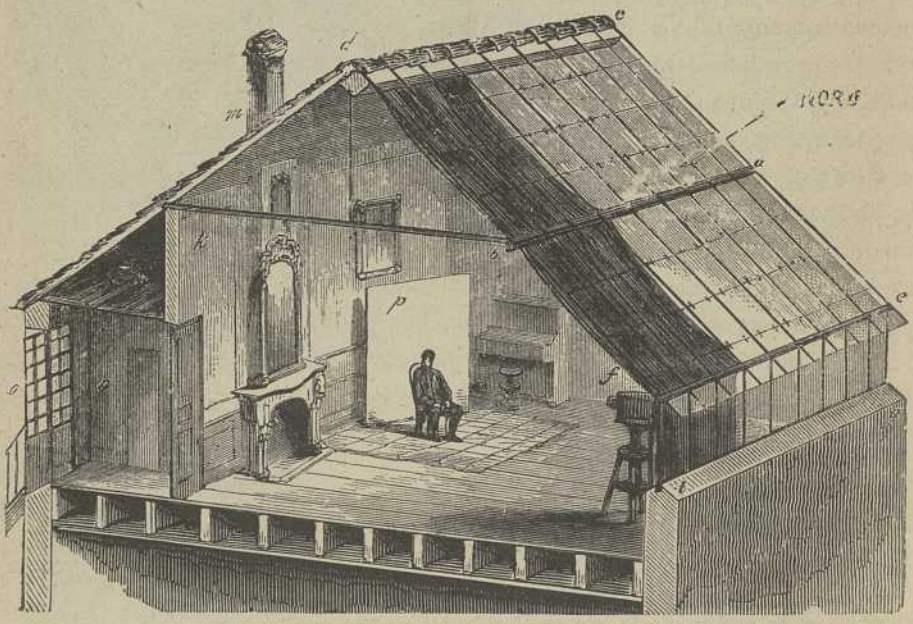


FIG. 349.—Vista interior de un estudio fotográfico.

de ésta (fig. 346, *A*), y haciendo avanzar ó retroceder el objetivo por medio del tornillo de ajustar (fig. 348, *F*), damos á la imagen la definición necesaria.

Hecho esto, y cerrada de nuevo la cámara mediante la tapa del objetivo, no queda más que introducir la plancha fotográfica, que se halla colocada al efecto en una cajita de madera (fig. 450), entre la puertecilla *b* y la tablita movible *a*.

Se levanta ó saca la plancha de vidrio deslustrado de la cámara, introduciendo en su lugar dicha cajita, y todo debe estar dispuesto de manera que la plancha fotográfica sobre la cual ha de producirse la imagen definitiva, venga á situarse exactamente en el punto donde se proyectó la primera imagen sobre el vidrio deslustrado. Según el procedimiento de Daguerre, se emplean planchas metálicas plateadas, mientras que con arreglo á los procedimientos más modernos, las planchas fotográficas son de vidrio. Veamos ahora cómo se procede en la preparación de las planchas daguerreotípicas.

DAGUERREOTIPIA

La operación empieza por la limpieza y el pulimento de la plancha de cobre plateada, trabajo muy molesto, pero que es preciso hacer con el mayor esmero, empleando primero la tripolita, espíritu de vino y algodón, y después rojo inglés y una gamuza muy fina y blanda, y cuidando de no tocar nunca la superficie de la plancha con los dedos. El último pulimento se da momentos antes de servirse de la plancha, y se procede acto continuo á hacer la plata sensible á la luz; es decir, á producir en su superficie una capa tenue que, bajo la influencia de la luz, se altere rápidamente. Esta propiedad es característica más en especial de las combinaciones de la plata con el yodo, el bromo y el cloro; y todo procedimiento fotográfico (excepción hecha del que se funda en el empleo de la gelatina), ora se trabaje con planchas de metal plateadas, ora con vidrio ó papel, tiene que empezar por la formación de una combinación semejante, ó dos de ellas á la vez, sobre la superficie que ha de recibir la imagen. La única diferencia consiste en que con planchas metálicas, ó sea en la daguerreotipia, se procede por la vía seca, mientras que en los demás procedimientos se opera por la vía húmeda.

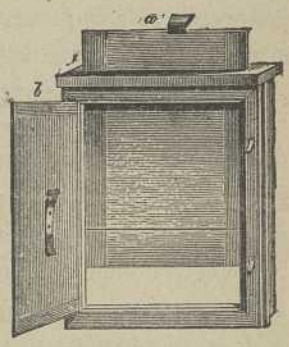


FIG. 350
Caja para introducir la plancha fotográfica en la cámara.

Antes de entrar en materia, consideremos un poco más de cerca los dos elementos químicos mencionados más arriba,—el yodo y el bromo,—ya que hasta aquí no hemos tenido ocasión de estudiarlos.

El *yodo* se encuentra más especialmente en el agua del mar, en plantas y animales marinos, aunque nunca en estado libre ó elemental. Se extrae de las cenizas de dichas plantas (sobre todo del alga llamada *Fucus palmatus*), lixiviándolas con agua, y después de separar por cristalización las sales menos solubles, como el cloruro de sodio y el sulfato de sosa, tratando la lejía madre, que contiene yoduro sódico, con pirolusita (dióxido de manganeso) y ácido sul-

fúrico; de esta manera se volatiliza el yodo y se condensa en vasijas á propósito, purificándolo después por sublimación. En este estado constituye pequeños cristales de color gris negruzco y de brillo metálico, que tienen un olor especial y muy penetrante, porque se volatiliza lentamente á la temperatura ordinaria; es de sabor acre, bastante venenoso, y tiene la capa exterior de color amarillo pardusco, que se puede hacer desaparecer por medio del alcohol, pues el yodo se disuelve fácilmente en éste, así como en éter sulfúrico, y sólo difícilmente en agua. Antes de 1812 no se conocía el yodo, pues fué descubierto en este año por *Courtois*, quien al echar ácido sulfúrico en la lejía madre procedente de la lixiviación de cenizas de algas marinas, observó que se desprendían vapores de color violado; condensándolos, obtuvo unos cristalitos de color gris, en los que Gay-Lussac reconoció un nuevo elemento, dándole el nombre que lleva, en recuerdo de dichos vapores, y se deriva del griego *iodes*, que significa color de violeta. La presencia del yodo se descubre fácilmente por medio de la pasta de almidón, puesto que presta á la misma un color azul.

El *bromo* se descubrió en 1826 por *Balard* en una lejía obtenida por la evaporación del agua del Mediterráneo; pues al saturarla con cloro, observó que tomaba un color rojo; después se ha encontrado en pequeñas proporciones en las aguas del mar en general, y con relativa abundancia en las del mar Muerto, siempre combinado con magnesio, sodio y otros elementos, y se presenta asimismo en plantas y animales marinos y en la sal gema de Inglaterra. Se obtiene en estado elemental de las aguas del mar, después de separadas las sales menos solubles, tratando la lejía madre con pirolusita y ácido sulfúrico; es decir, de la misma manera que para obtener el yodo. Pero, al contrario que éste y todos los demás elementos químicos, salvo el azogue, el bromo se mantiene en estado líquido á la temperatura ordinaria, solidificándose sólo á siete ú ocho grados bajo cero, cuando constituye una masa cristalina de color gris de plomo. En su forma líquida es de color rojo pardusco, muy volátil, sumamente venenoso, de sabor muy acre y de olor inaguantable, semejante al del cloro, pero más fuerte; á este olor debe el bromo su nombre, pues el griego *bromos* significa «hedor». Este elemento se disuelve en agua mucho más fácilmente que el yodo; pero, como éste, se muestra aún más soluble en alcohol y éter sulfúrico, presta á la piel un color amarillo pardusco, y su acción es corrosiva.

El cloro se relaciona íntimamente con el yodo y el bromo, pues los tres elementos se parecen mucho en sus propiedades como en sus combinaciones. A la combinación del cloro con hidrógeno corresponden otras iguales de este gas con el yodo y el bromo; de la misma manera que se forma el cloruro de plata, se producen también el yoduro y el bromuro de este metal; y el potasio, el sodio, el cadmio, el amonio, el litio, etc., se combinan lo mismo con yodo y bromo que con cloro. Las combinaciones de estos tres elementos entre sí, en especial el cloruro de bromo, el cloruro de yodo y el bromuro de yodo, resul-

taron de gran importancia para la daguerreotipia; y es llegado el momento, después de tan larga digresión, de ocuparnos de este procedimiento.

La preparación de la capa sensible, la introducción de la plancha en la cámara fotográfica, el sacarla de la misma después de la exposición, y el desarrollo y la fijación de la imagen, son operaciones que han de verificarse, como es consiguiente, con exclusión de la luz natural. Por esto el artista trabaja en una pieza oscura, débilmente iluminada por una lamparilla ó una vela, ó bien se procura una claridad mayor por medio de ventanas cerradas con cristales amarillos ó rojos, puesto que es casi nula la acción fotográfica de la luz que dan esos colores.

El yodurado de la plancha plateada se practica, por regla general, del modo siguiente: la plancha se coloca sobre una cajita que contiene yodo seco, que, como ya dijimos, se evapora á la temperatura ordinaria, y se deja expuesta á los vapores yódicos durante un número mayor ó menor de segundos, según que se trata de hacer un retrato ó de sacar un paisaje, etc.; la plancha toma sucesivamente los colores amarillo oscuro, rojizo, rojo de cobre, violeta, azul y verde, y del objeto del artista depende si se deja pasar por todas estas fases ó si se interrumpe la operación en un momento dado. Como la plancha tratada únicamente con yodo necesitaría una exposición demasiado larga en la cámara, se somete además, para que resulte más sensible, á la acción de los vapores del bromo, á cuyo efecto se traslada á otra cajita que contiene una capa de cal impregnada con dicho elemento líquido, ó bien una combinación de bromo y cloro. Bajo la acción de los vapores de estas sustancias, la superficie plateada y yodurada pasa por una nueva serie de colores, suspendiendo el artista la operación en el momento que juzgue oportuno, según el objeto que se proponga. Pero de cualquier modo, siempre se vuelve á someter la plancha, por cortos momentos, á la acción de los vapores de yodo antes de servirse de ella.

Hallándose dispuesta la cámara fotográfica, como explicamos más arriba, para la recepción y exposición de la plancha sensible, se coloca ésta en la oscuridad, dentro de la caja correspondiente (fig. 350), cuyas tablitas la resguardan contra los efectos de la luz, y después de metida en la cámara, se levanta la tablita móvil, *a*, se quita la tapa del objetivo y empieza la exposición y la reacción consiguiente. Una de las mayores dificultades del arte fotográfico consiste en saber apreciar, con arreglo á la intensidad de la luz, las materias sensibles empleadas y otros factores, como el número de segundos que deba quedar expuesta la plancha, y los conocimientos necesarios sólo se adquieren á fuerza de práctica; de modo que sólo cabe decir en este lugar que, una vez trascurrido el tiempo que el artista estima suficiente, se vuelve á tapar el objetivo, se baja la tablita de la caja que contiene la plancha sensible y se traslada ésta á la pieza oscura. Al examinar la plancha á la luz de la bujía, ofrece casi el mismo aspecto que antes de la exposición, no viéndose nada, ó sólo los más leves indicios de una

imagen, y es preciso someterla á una nueva operación para desarrollar ó hacer aparecer esta última.

La plancha se coloca al efecto en una caja de madera, sobre cuyo fondo de cobre se halla extendido un poco de mercurio; la superficie con la imagen se pone hacia abajo á una distancia de unos 30 centímetros del fondo, é inclinada de modo que forme un ángulo de 45 grados, á fin de que los vapores del azogue la bañen mejor. Como dicho metal se evapora con lentitud á la temperatura ordinaria, la imagen quedaría desarrollada, por modo natural, al cabo de un par de días; pero se abrevia considerablemente la operación calentando el fondo de la caja por medio de una lámpara de alcohol. En un lado de la caja se encuentra una abertura cristalada, por la que puede observarse lo que pasa en el interior á la luz de una vela, y no parece sino que algún espíritu oculto se está divirtiendo pintando con un pincel invisible; pues poco á poco van apareciendo, como por encanto, los rasgos de la imagen daguerreotípica. Llegado el término de la operación, acerca del cual sólo puede decidir la experiencia, se saca la plancha, que ya no es menester resguardar más contra la luz; en rigor se podría dejar en este estado, pues la imagen, compuesta de infinidad de partículas de azogue, siempre permanecería visible, aun cuando el fondo mudase de color. Pero para realzar el efecto de la imagen es preciso alejar las partes de la capa de yoduro y bromuro de plata no afectadas por la luz, lo que se consigue sumergiendo la plancha en un baño de hiposulfito de sosa. Hecho esto, se lava la plancha con agua destilada y se seca calentándola un poco.

En este estado, la plancha ostenta una imagen natural, aunque invertida, en la que los claros del original aparecen también claros, y los oscuros, oscuros; allí donde la plancha fué herida por los rayos de luz más claros, es evidente que se descompuso más la combinación del yodo con la plata, y, por consiguiente, el mercurio pudo adherirse más fácilmente á la superficie plateada; estos sitios aparecen blancos en virtud de hallarse tan apretadas, una contra otra, las diminutas gotas de azogue. En los puntos correspondientes á las medias tintas, los vapores mercuriales no se depositaron con tanta abundancia; mientras que en las sombras resulta impedida más ó menos semejante deposición de azogue por la capa no descompuesta de yoduro y bromuro de plata. Las medias tintas resultan, pues, de color gris ó pardusco, más ó menos claro y oscuro, y la plata, que aparece en el lugar de las sombras más profundas, después de alejadas aquellas combinaciones por medio del hiposulfito de sosa, resulta negra al lado de las partes restantes de la imagen, siempre que la plancha se incline de modo que no refleje la luz directamente hacia nuestros ojos. Este reflejo, inherente á las imágenes daguerreotípicas, que tanto perjudica su claridad, es una de las razones porque la fotografía al colodio relegó pronto á la oscuridad el procedimiento de que tratamos, por más que las imágenes sobre plata reproducen los detalles del original con una fidelidad que no se ha podido conse-

guir por ningún otro procedimiento. Después del baño de hiposulfito de sosa, la plancha daguerreotípica queda insensible á la luz; pero la imagen no se halla fijada todavía de un modo duradero.

Esto sólo se consigue mediante el procedimiento de dorado ideado por Fizeau, que consiste sencillamente en colocar en sentido horizontal la plancha sobre te de hierro, cubrirla con una disolución extendida de cloruro de oro y calen- un soportarla mediante una lámpara de alcohol hasta que el líquido entra en ebullición. En el momento en que esta empieza se observa que la imagen toma un tinte más claro y agradable á la vista, pues el cloro de dicha combinación se une á la plata, mientras que el oro se precipita en estado metálico, formando una capa protectora sumamente tenue sobre toda la imagen; pero si esta operación se prolongara demasiado, destruiría la imagen en vez de contribuir á su preservación, y por esto se interrumpe al cabo de algunos momentos, dando á la plancha un pequeño empuje que la hace caer en un vaso lleno de agua pura. Después de semejante tratamiento, se puede enjugar y limpiar la plancha con un paño, sin que la imagen sufra daño, conservándose entonces muy bien con el cuidado necesario.

Por medio de la galvanoplastia se pueden obtener copias de semejantes daguerreotipias doradas, sin que padezcan los originales; las reproducciones en cobre resultan naturalmente en sentido inverso que éstos, y tienen muy buen aspecto; tanto, que parece imposible que procedan de una imagen tan íntimamente ligada, incorporada, digámoslo así, á la superficie lisa de una plancha metálica que no ofrece desigualdades perceptibles. Las daguerreotipias sin dorar quedan inutilizadas cuando se someten á la reproducción galvanoplástica. Más adelante tendremos ocasión de hablar de los ensayos encaminados á utilizar las planchas daguerreotípicas en la imprenta después de morderlas con ácido.

FOTOGRAFÍA

Este término se aplica comunmente al arte de producir imágenes por medio de la luz sobre papel, colodio, gelatina y otras materias, en contraposición á la daguerreotipia, que acabamos de considerar; pero en el fondo, los procedimientos, al parecer tan distintos, estriban en los mismos principios teóricos, no siendo en realidad la daguerreotipia más que una rama de la fotografía, como dejamos sentado más arriba.

La fotografía, en la acepción limitada ó usual de la palabra, se vale siempre de la vía húmeda; es decir, que las materias que en ella entran en juego no se aplican en forma de vapores, sino en la de disoluciones. Pero siempre es la plata, combinada con yodo, cloro y bromo, la que desempeña el papel principal; pues al descomponerse dichas combinaciones disueltas bajo la acción de la luz, se

precipita la plata en estado de la división más fina imaginable, y este tenue precipitado constituye precisamente la materia colorante, digámoslo así, de las imágenes fotográficas, prestando igual servicio que el azogue en las daguerreotípicas. El fotógrafo dispone de toda clase de preparados químicos, á cuyos servicios apela en determinados casos, ora para abreviar sus operaciones, ora para reforzar una imagen ó darle otro tono, ó para otros fines especiales; pero, en general, su arte no es tan complicado como pudiera creerse, ni tampoco muy difícil de explicar de modo que se adquiera de él una idea bastante clara.

Cuando se mezclan en una probeta de vidrio algunas gotas de una disolución acuosa de nitrato de plata con un poquito de sal común, se produce en seguida un precipitado blanco y caseoso de cloruro de plata, el cual, al exponerse á la luz, muda de color, pasa gradualmente del blanco al violado y de éste al gris, acabando por volverse negro. Como todo cambio de color de una sustancia es la señal exterior de una transformación que se opera en la sustancia misma, es de suponer que, en el caso referido, el precipitado sufre una alteración material; y, en efecto, la química nos dice que la luz expulsa parte del cloro, dando lugar á que se separe alguna plata en estado metálico ó casi metálico. Esto se comprueba vertiendo sobre el precipitado una disolución de hiposulfito de sosa; pues al hacerlo, vemos desaparecer gradualmente la mayor parte de aquél, lo que demuestra que la influencia de la luz ha sido sólo superficial, y al cabo quedan sin disolver algunas partículas negras correspondientes á las partes del precipitado heridas y descompuestas por la luz.

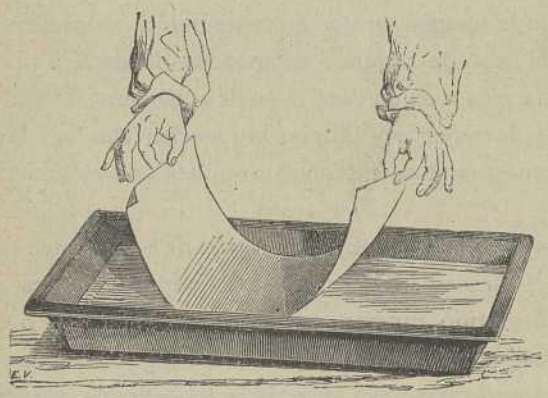


FIG. 351.—Sensibilización del papel fotográfico.

Aquí tenemos, pues, en su forma primitiva, toda la serie de operaciones que se verifican en la producción de imágenes fotográficas, y consisten: primero, en la preparación de una capa sensible á la luz; segundo, en el ennegrecimiento parcial de la misma, y tercero, en el alejamiento de la parte no ennegrecida. Por consiguiente, para producir una imagen fotográfica sobre papel basta, en primer lugar, sumergir una hoja de papel fino y blanco de escribir en una disolución de sal común (1 de sal por 10 de agua), y, después de secada, dejarla flotar sobre una disolución de 3 gramos de nitrato de plata (piedra infernal) en 43 centímetros cúbicos de agua, como indica la fig. 351, con lo cual queda preparada la capa sensible; en segundo lugar, introducir el papel ya seco en la cámara fotográfica, de la misma manera que la plancha daguerreotípica, y exponerla á

la luz procedente de un objeto hasta que se produzca una imagen clara del mismo; y, por último, sumergir el papel en una disolución de hiposulfito de sosa para quitar el cloruro de plata sobrante y no herido por la luz, y fijar la imagen.

Pero el procedimiento tan sencillo que acabamos de describrir resulta sumamente lento, y por esta razón es preciso dividir la segunda operación, ó sea la producción de la imagen, en dos partes, dejando obrar la luz en la primera y apelando, en la segunda, á una reacción química que complete la acción de aquélla. Para que nuestros lectores se penetren bien de lo que decimos, apelaremos de nuevo al experimento, tomando esta vez dos probetas, echando en ambas algunas gotas de nitrato de plata disuelto, y luego (en una habitación oscura) un poco de disolución de yoduro potásico, con lo cual obtendremos en ambas probetas un precipitado amarillo de yoduro de plata. Si dejamos una probeta en la oscuridad, sacamos la otra á la luz dùrante algunos segundos, y después comparamos las dos, no notaremos diferencia alguna en su contenido; pero se produce una muy señalada cuando echamos en ambas probetas algunas gotas de ácido agállico: el contenido de la que permaneció en la oscuridad no sufre alteración, mientras que el de la que expusimos á la luz se ennegrece en el acto. Esto demuestra que la luz sólo había iniciado una transformación del precipitado y que el ácido agállico la ha continuado; y si queremos paralizar la acción de dicho ácido, basta añadir algunas gotas de una disolución de hiposulfito sódico.

Existe gran número de sustancias que obran lo mismo que el ácido agállico; se llaman *reductivas*, y su acción estriba en que todas se asimilan ávidamente el oxígeno donde quiera que lo encuentran. Empero, si se priva de oxígeno á una sal metálica, se convierte, en la mayoría de los casos, en un óxido, y en el caso de los metales preciosos, quedan éstos reducidos al estado de un finísimo polvo metálico, que no sufre alteración ulterior y siempre aparece con un color más oscuro que la sal de que procede. La acción aceleradora del ácido agállico recibe en fotografía el nombre de *desarrollo;* pues así como en la daguerreotipia el azogue hace aparecer la imagen sobre la plancha plateada, del mismo modo el ácido agállico saca á luz, ó desarrolla, la imagen fotográfica sobre el papel sensible, aun cuando éste haya sido expuesto á la luz tan corto tiempo que, al sacarlo de la cámara, apenas se note un indicio de la imagen.

Como todas las sustancias sensibles á la luz se ennegrecen ó vuelven pardas bajo la influencia de ésta, y como no se conoce materia alguna á propósito para la fotografía, que siendo oscura en el origen se vuelve clara al exponerse á la luz, no se puede esperar que del aparato fotográfico salga, de buenas á primeras, una imagen correcta. Al contrario, como las partes más claras del original reflejan más luz sobre el papel sensible, es evidente que han de resultar en éste más oscuras; mientras que las sombras más intensas de aquél aparecerán incoloras en el papel; es decir, que se forma en la cámara fotográfica una imagen *nega-*

tiva, la cual, después de desarrollada y fijada, puede emplearse para producir un número ilimitado de copias, en las que tanto los claros y los oscuros como la posición del original, que también resulta invertida en la negativa, aparecen con arreglo al natural. Semejantes imágenes son las llamadas *positivas*, y no se necesita de una cámara oscura para producirlas, sino que basta al efecto el sencillo aparato de copiar, que describiremos más adelante: en su marco se coloca, á la oscuridad, una hoja de papel sensible, se extiende sobre ésta la imagen negativa, se oprimen una contra otra, mediante una plancha de vidrio, y el marco se expone á la luz, que atraviesa la negativa por modo desigual, penetrando más fácilmente á través de los claros de la imagen, en grado mayor ó menor á través de las medias tintas y quedando interceptada por las sombras más oscuras, de modo que, sobre la hoja que se halla debajo, se produce la imagen positiva deseada, que no hay más que fijar. Como el original negativo no padece en lo más mínimo durante dicha operación, se pueden producir con él centenares de copias, buenas y malas, pues nunca resultan todas iguales. Para poder apreciar el efecto de la luz sobre la hoja positiva, basta darle mayor anchura que la negativa, y entonces pueden observarse cómodamente en la margen que sobresale las consiguientes mutaciones de color.

Procedimiento al colodio.—En obsequio á la mayor claridad y sencillez de nuestras explicaciones, hemos supuesto, en lo que antecede, que la negativa fotográfica es de papel, como en rigor podría serlo; pero aun cuando se promoviera la transparencia del papel impregnándolo con cera ó cosa análoga, siempre resultaría inadecuado para el objeto; pues además de interceptar mucha luz, dificultando su acción, las impurezas y desigualdades de su pasta se reproducirían en la copia, de modo que la imagen positiva siempre sería muy imperfecta. Por esto no se tardó en buscar una base más á propósito para la imagen negativa; en vista de la gran transparencia del vidrio incoloro, hubo de pensarse cómo se le pudiera prestar la propiedad, de que carece, de poder absorber los líquidos químicos y retener los productos de su descomposición. En 1848, *Niépce de Saint-Víctor* cayó en la cuenta de revestir el vidrio con una capa delgada de blanco de huevo, y en 1851 *Scott Archer* salió á la palestra con el colodio, que, como ya dijimos al tratar del algodón-pólvora, es un líquido pegajoso, que resulta de la disolución de dinitrocelulosa en alcohol y éter, y que, extendido en una capa delgada, se seca pronto, dejando como una finísima membrana muy transparente. El procedimiento al colodio ha constituido durante muchos años la base de la fotografía, pues por su medio pueden producirse imágenes muy bien definidas y de delicadeza suma, con mayor facilidad que con el blanco de huevo. Hemos de ocuparnos, pues, con alguna detención de dicho procedimiento, y al hacerlo tendremos ocasión de considerar más de cerca los aparatos y las manipulaciones varias del fotógrafo.

Entre los muchos utensilios que llaman nuestra atención al penetrar en su

estudio, observamos diferentes tinas ó fuentes de porcelana, vidrio ó gutapercha, que sirven para contener los diversos líquidos en que se sumergen las hojas ó planchas fotográficas. Semejantes líquidos se llaman «baños», siendo los principales el llamado baño de plata, el de sosa y el de oro. Luego nos admiramos al notar el cuidado tan escrupuloso que pone el fotógrafo en la limpieza de sus planchas de vidrio: le vemos preparar una especie de nata con polvo de tripolita, espíritu de vino y algunas gotas de amoniaco, mojar en ella un poco de algodón en rama, y frotar las superficies de la plancha durante varios minutos; hecho lo cual, aclara la plancha con agua pura, la enjuga cuidadosamente con un paño muy limpio y un poco de alcohol, y la pulimenta, por último, con papel de seda, hasta que, al soplar sobre ella, el vapor se condensa uniformemente en su superficie, desapareciendo también con la misma igualdad y sin dejar rastro alguno. Semejante limpieza del vidrio es de la mayor importancia para el éxito de las operaciones fotográficas, y las planchas limpias se guardan con cuidado en una caja (fig. 352).

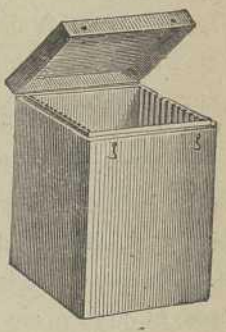


FIG. 352.
Caja para conservar planchas de vidrio.

Si el fotógrafo se sirve del blanco de huevo, toma el de huevos frescos de gallina, lo diluye en un poco de agua, lo bate hasta convertirlo en una especie de nieve, lo deja reposar durante doce horas, y después de filtrarlo á través de un lienzo basto, le agrega cierta cantidad de yoduro de potasio. Con esta mezcla reviste entonces las planchas de vidrio, y después de secarlas las sumerge en el baño de plata, ó sea una disolución del nitrato de este metal; al sacarlas de él las vuelve á secar, en cuyo estado pueden conservarse en la oscuridad bastante tiempo sin deteriorarse, ó bien se pueden introducir inmediatamente en la cámara fotográfica, necesitando en todo caso una exposición muy larga á la luz, antes de que se produzca en ellas la imagen, la cual se desarrolla después con ácido agállico, y se fija por medio de un baño de hiposulfito de sosa, resultando al fin una imagen negativa en condiciones de dar buenas copias. Pero aunque las imágenes obtenidas con el blanco de huevo son por todo extremo excelentes, el procedimiento resulta complicado y lento en demasía, por cuya razón sólo se practica hoy en casos especiales, como, por ejemplo, para producir las fotogramas positivas sobre vidrio para el aparato de proyección. Comparado con él, el procedimiento al colodio es más sencillo y cómodo, y por esto, y porque también da excelentes resultados, es el que ha tenido más aceptación entre los fotógrafos hasta la aparición de otros procedimientos recientes más perfectos.

El colodio empleado en fotografía se produce, como ya dijimos, disolviendo la dinitrocelulosa, ó algodón de colodio, en una mezcla de alcohol y éter sulfúrico; según que en la preparación se empleen estos líquidos en la proporción

de 2 del primero por 3 del segundo, ó en la de 4 á 1 respectivamente, se distinguen el llamado colodio de éter y el colodio de alcohol, el último de los cuales se evapora con más lentitud que el otro, y por ello, así como en vista de otras ventajas que ofrece, se usa casi exclusivamente. El fotógrafo, pues, mezcla 240 centímetros cúbicos de alcohol con 60 de éter sulfúrico, echa en el líquido 4 gramos de dinitrocelulosa, y después de agitar hasta que éste se disuelva, obtiene el líquido cadmio mucoso que llama colodio; entonces agrega dos gramos de yoduro de cadmio y un gramo de bromuro de cadmio, vuelve á agitar hasta la completa disolución de estas sustancias, y después de dejar que el líquido se aclare, puede servirse de él.

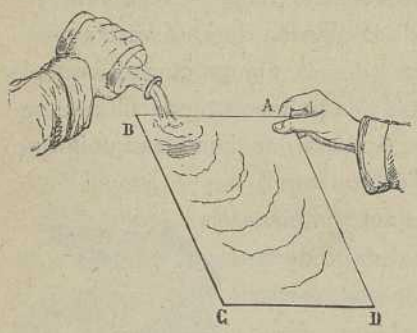
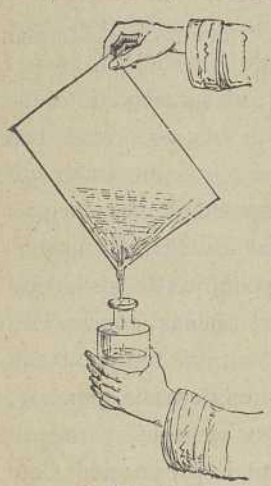


FIG. 353.—Aplicación del colodio.

Al efecto toma en una mano un frasco del mismo, y en la otra una plancha de vidrio perfectamente limpia, reparte sobre la superficie de ésta un poco de colodio, como indica la fig. 353, y enderezando la plancha sobre la boca del frasco (fig. 354), deja escurrir el líquido sobrante. Tan luego como la delgada capa de colodio que cubre la plancha adquiere una consistencia parecida á la de la manteca, el artista, sin detenerse, sumerge la plancha en el baño de plata. Consiste este en una disolución de nitrato de plata, en la proporción de un gramo de la sal por 10 de agua; disolución que se satura previamente con yoduro de plata, dejando en ella durante la noche anterior una plancha de vidrio revestida por ambas caras con el colodio de yodo y bromo, cuya preparación referimos más arriba. Al introducir en semejante baño la plancha que trata de hacer sensible á la luz, el fotógrafo la mueve de un lado para otro, hasta que desaparezca la apariencia grasienta en su superficie, debida á que, en los primeros momentos, el éter rechaza la disolución acuosa. Al sacarse la plancha, la capa de colodio ofrece un aspecto caseoso, que se debe á la formación de yoduro y bromuro de plata, pues en el baño se verifica un cambio de materias: el yodo y el bromo se combinan con la plata, precipitándose el compuesto en la capa de colodio, mientras que el ácido nítrico procedente del nitrato de plata descompuesto, se combina á su vez con el cadmio y óxido de amonio, formando sales que quedan disueltas en el baño.


FIG. 354.
Escurrido del colodio sobrante.

La plancha de vidrio, ó, mejor dicho, su revestimiento de colodio, se halla ya sensible á la luz, y el fotógrafo la coloca entonces en la cajita (fig. 352) para

trasladarla desde el cuarto oscuro á la cámara fotográfica; pues no hay para qué advertir á nuestros lectores que todas las operaciones que acabamos de describir se verifican en una pieza iluminada tan sólo (por las razones ya antes expuestas) mediante una ventana con cristales rojos ó amarillos. Dicha cámara, naturalmente, ha sido colocada y ajustada de antemano para tomar el retrato ó la vista que el fotógrafo se haya propuesto; y después de exponer la plancha sensible en la misma durante algunos segundos, como explicamos más arriba, tapa el objetivo, saca la cajita después de cerrarla, y se vuelve con ella al cuarto oscuro. Al mirar entonces la plancha no ve la señal más leve de la imagen; pero procede seguidamente á desarrollarla, empleando al efecto una disolución de ácido piroagállico ó de sulfato de hierro (caparrosa verde), de los que el último obra con más rapidez y seguridad. Para prepararla se disuelve un gramo, próximamente, del sulfato en 30 gramos de agua, añadiendo unas 20 gotas de ácido acético y 16 de alcohol; éste tiene por objeto facilitar la extensión de la disolución sobre la plancha, mientras que el ácido acético sirve en cierto modo de freno, evitando que la imagen se desarrolle con demasiada rapidez y se borren sus detalles más finos.

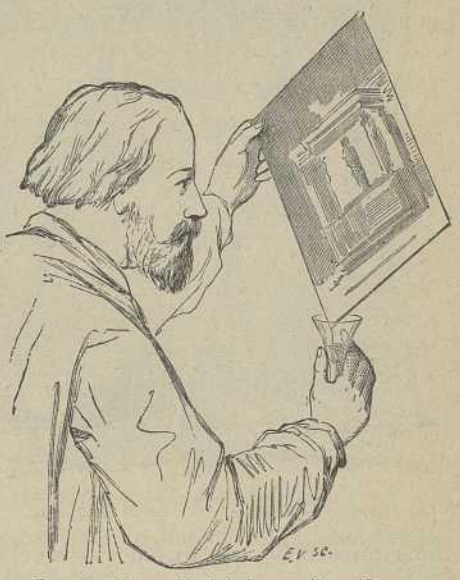


FIG. 355.—Desarrollo de la imagen fotográfica.

Después de verter sobre la plancha el líquido desarrollador, la imagen va apareciendo gradualmente, á medida que el yoduro y bromuro de plata se van reduciendo en los puntos heridos antes por la luz. Si al cabo de algún tiempo el sulfato de hierro no desarrolla bien la imagen, el fotógrafo apela á una disolución de ácido piroagállico con un poquito de nitrato de plata, á fin de reforzar la imagen. De cualquier modo, tan luego como ésta se halla bastante desarrollada (fig. 355), enjuaga bien la plancha con agua destilada, y vierte sobre ella una disolución de ferrocianuro de potasio, ó la sumerge en un baño de hiposulfito de sosa (una parte de esta sal y cuatro de agua). De este modo se disuelven las partes del yoduro y bromuro de plata que no fueron heridas por la luz, y así la imagen queda fijada, puesto que la luz ya no puede producir alteración alguna en ella. Después de sacar la plancha, el fotógrafo cubre la imagen con una capa

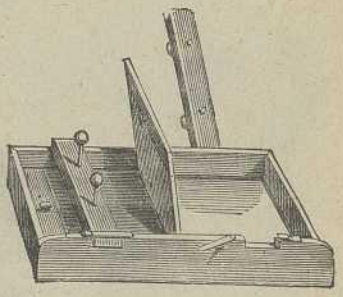


FIG. 356.—Aparato para copiar las imágenes fotográficas.

de barniz para protegerla, y procede entonces á copiarla; es decir, á sacar la imagen positiva. El papel de copiar que emplea al efecto puede ser el de cloruro de plata, cuya preparación referimos anteriormente, el llamado de albúmina, que, al colocarse sobre el baño de plata, se vuelve sensible á la luz, en el mero hecho de formarse una combinación del blanco de huevo con dicho metal, ó bien el papel llamado de bromuro de plata gelatinoso, de que hablaremos más adelante. Para obtener una imagen positiva, pues, el artista cubre la superficie de colodio de la plancha negativa con una hoja de papel sensible, y coloca el conjunto en la cajita ó prensa de copiar, la cual consiste, como indica la fig. 356, en un marco de madera que encierra una fuerte plancha de vidrio pulimentado, y está provista en el lado opuesto de dos listones movibles, con tornillos ó muelles para sujetar el contenido. La plancha negativa se pone directamente sobre el vidrio de la caja, de modo que su imagen, cubierta por el papel sensible, se halle dirigida hacia arriba; sobre dicho papel se coloca una tablita; se oprime ésta por medio de los listones y tornillos, y se expone el aparato á la luz del sol sobre un caballete hecho á propósito, ó bien inclinado sobre el suelo (fig. 357). De cuando en cuando el fotógrafo abre la cajita ó prensa, como indica la fig. 358, para cerciorarse de la marcha del proceso.

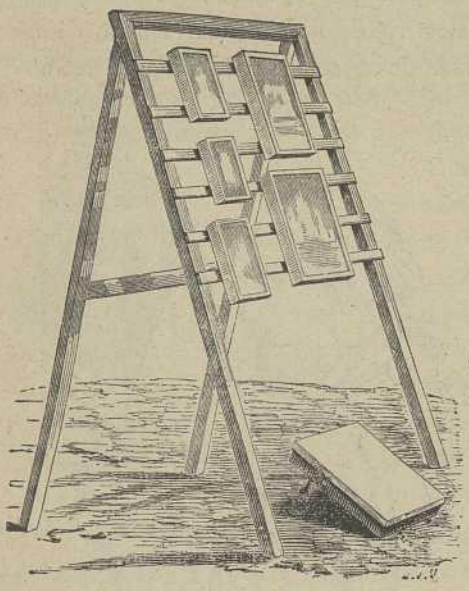


FIG. 357.—Caballete para copia de fotografías.



FIG. 358.—Examen de la imagen positiva.

Lo que sucede durante esta exposición á la luz es lo que referimos más arriba al hablar de las copias con negativas de papel, salvo que, tratándose de negativas sobre vidrio, el resultado es infinitamente mejor. Los rayos luminosos atraviesan las partes más ó menos transparentes de la imagen negativa, produciendo, en las correspondientes de papel sensible, un ennegrecimiento más ó menos intenso, mientras que detrás de los puntos enteramente opacos de aquél

lla, el papel permanece blanco. Para hacer más patente á nuestros lectores la diferencia entre la imagen negativa producida en la cámara oscura, y la positiva que se obtiene copiándola de la manera descrita, reproducimos en la fig. 359 una negativa fotográfica, tal como se ve al trasluz, y en la 360 la positiva respectiva, que representa el objeto tal como se ve naturalmente.



FIG. 359.—Imagen fotográfica negativa.

El aparato de copiar puede dejarse expuesto á la luz hasta que la imagen positiva resulte acabada, ó bien se puede suspender la exposición y acabar de desarrollar dicha imagen en el cuarto oscuro y por modo artificial. El fotógrafo suele apelar á esta práctica cuando quiere acabar pronto un número considerable de imágenes; pero el procedimiento da rara vez los buenos resultados que la copia llevada hasta su término por medio de la luz.

Al sacar la imagen positiva acabada del aparato de copiar, hay que sumergirla en un baño de oro, consistente en una disolución de una parte de cloruro de oro en mil de agua destilada, á fin de hacerla más duradera y de darle al mismo tiempo un tono ó tinte más hermoso. Hecho esto, se fija por medio de una disolución de hiposulfito de sosa en agua, y se aleja entonces el sobrante de esta sal, lavando la imagen durante algunas horas. Después se seca la imagen, se pega en cartón y se pasa entre los cilindros de una máquina satinadora para que resulte perfectamente lisa. Si la negativa no tenía defecto alguno, y la copia se hizo con el cuidado debido, la fotografía queda terminada después de satinar; pero en caso contrario, es preciso subsanar los ligeros defectos que se



FIG. 360.—Imagen fotográfica positiva.

observen por medio del pincel, operación que se llama *retoque*. En muchos casos se retoca, no sólo la fotografía acabada, sino también la imagen negativa antes de proceder á su copia; empléase generalmente al efecto el lápiz, porque imita y completa mejor el precipitado de plata, y obra lo mismo que éste bajo la influencia de la luz al tiempo de formarse la imagen positiva; pero su uso supone mucha experiencia y sentido artístico, si, como debe suceder, no ha de notarse el retoque en la fotografía acabada.

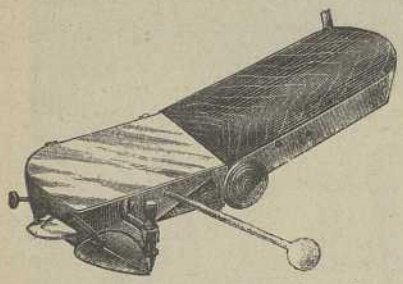


FIG. 361.—Aparato para retocar fotografías.

Debemos mencionar en este sitio el curioso aparato inventado por un norteamericano llamado *Walkup*, que, según afirman los que lo usan, da buenos resultados en el retoque de fotografías sobre papel. La tinta china ó el color, desleídos en agua, se almacena, digámoslo así, en un pequeño instrumento (fig. 361), que se adapta bien al hueco de la mano, y que termina en una especie de pico metálico de construcción especial; por el extremo opuesto, se halla este instrumento en comunicación mediante, un tubo flexible de cautchuc, con un cilindro compresor de aire, de modo que cuando el artista hace funcionar éste por medio de un pedal, como indica la figura 362, el aire comprimido obliga al líquido colorante á salir por el pico referido en forma de finísimo chorro ó lluvia. Al llevar el instrumento sobre la fotografía por retocar, que se halla sujeta al efecto por un bastidor, el artista regula la salida del color por medio de un botoncito que oprime con el dedo, y además las líneas que produce resultan más intensas y definidas, ó más ligeras y vaporosas, según que acerque más ó menos el instrumento á la imagen. Mediante este aparato, de construcción sencilla, como se comprende por esta breve descripción, se puede retocar de tres á seis veces más rápidamente que con el pincel.



FIG. 362.—Modo de usar el aparato de retoque.

PANOTIPIA, AMBROTIPIA Y FERROTIPIA

Cuando la exposición de una plancha sensible en la cámara fotográfica es demasiado corta, la imagen negativa, después de fijada, aparece sumamente débil al mirarse al trasluz; es decir, que falta intensidad á las partes más oscuras, resultando un dibujo vaporoso, falto de definición. Esto se explica fácilmente, pues durante el corto espacio de tiempo que estuvo la plancha bajo la influencia de la luz, claro está que no pudo reducirse una cantidad suficiente de yoduro y bromuro de plata, quedando por el pronto buena parte de estas sustancias sin alteración en la capa de colodio, y siendo disuelta y alejada después

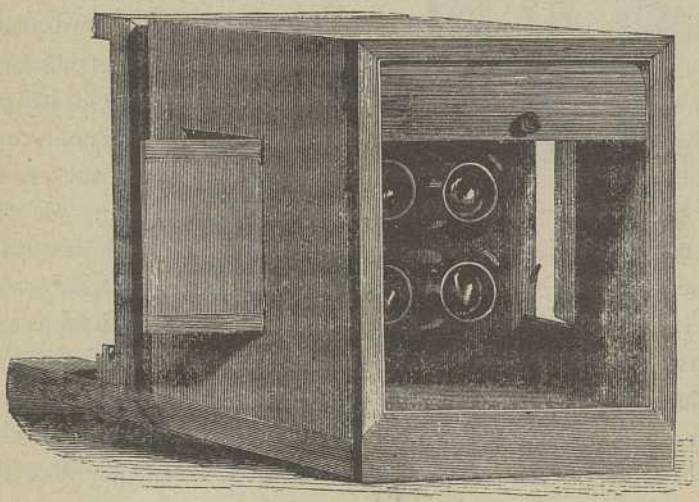


FIG. 363.—Ferrotipias.

en el baño de hiposulfito sódico. Mas si se mira semejante imagen negativa, imperfecta, á la luz incidente, en vez de á la transmitida, y, sobre todo, si se coloca sobre un fondo negro ó muy oscuro, no sólo aparece mucho mejor que antes, sino que, por regla general, resulta excelente, presentándose en forma de una buena imagen positiva; esto es, con los claros y oscuros con arreglo al natural. En efecto; cuando la imagen descansa sobre un fondo negro, sus partes oscuras aparecen claras, porque siendo más ó menos opacas, tapan el negro, que por el contrario, se ve con toda su intensidad á través de la capa transparente decolodio en los puntos claros de la negativa.

La industria del hombre no ha dejado sin aprovechar este fenómeno, pues se producía antes, y de propósito, un sinnúmero de semejantes negativas imperfectas, no con el objeto de copiarlas, pues para esto no sirven, sino para desprender de las planchas de vidrio, después de fijadas las imágenes, las tenues

capas ó membranas de colodio y pegarlas sobre hojas de hule negro. Las imágenes positivas obtenidas de este modo se llamaron *panotipias* (del latín *pannus*, «tela»); mientras que á otras del mismo género, que en vez de hule recibían una base de vidrio ó de palastro, se les dieron los nombres de *ambrotipias* y *ferrotipias* respectivamente. El procedimiento, que es esencialmente el mismo en los tres casos, ofrece tan pocas dificultades y es tan rápido, que la persona que se hace retratar recibe su imagen acabada al cabo de pocos minutos, y de aquí la gran aceptación que halló al principio entre el público; sin embargo, á medida que se fué perfeccionando la fotografía sobre papel, y después de la introducción de las llamadas «tarjetas» ó fotografías de tamaño reducido, el procedimiento de que hablamos cayó en desuso.

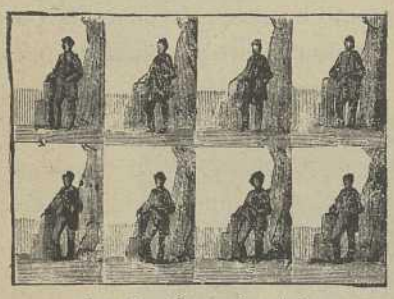


FIG. 364.—Camara ferrotipica.

De algunos años á esta parte ha vuelto á renacer la *ferrotipia* en una forma perfeccionada, y es el procedimiento que practican, entre otros, los fotógrafos ambulantes de las ferias, etc. Empléanse en él delgadas láminas ú hojas de hierro cubiertas con un baño sensible, cuya invención tuvo su origen en los Estados Unidos; y para obtener de una vez varias copias, sin que sea necesario cambiar de plancha y sin que la persona retratada se mueva de su sitio, se construyen cámaras con cuatro, seis ó más objetivos (fig. 363). Durante la exposición se corre la cajita que contiene la lámina sensible de hierro, de modo que con un aparato de cuatro objetivos, por ejemplo, se obtienen en pocos instantes ocho imágenes reunidas (fig. 364), que se desarrollan, fijan, recubren con laca de bencina y luego cortan con una tijera. También se pueden colorear estas ferrotipias obteniendo efectos bastante bonitos, que recuerdan los de las miniaturas sobre marfil.

PROCEDIMIENTOS FOTOGRÁFICOS EN SECO

Por muy excelentes que sean los resultados obtenidos mediante el empleo del colodio líquido, y por más sencillas y cómodas las manipulaciones descritas en el estudio del fotógrafo, el procedimiento consabido es por todo extremo enojoso cuando se practica durante excursiones y viajes con el objeto de tomar vistas. No sólo se hace preciso transportar la cámara fotográfica, cierto número de planchas de vidrio, una cantidad proporcional de colodio, nitrato de plata, hiposulfito de sosa y otros preparados químicos, y además una porción relativamente grande de agua destilada, con las tinas neeesarias para disponer los baños correspondientes, sino que es indispensable también llevar un cuarto

oscuro portátil, cuyo transporte, montaje y desmontaje supone la ayuda de uno ó más compañeros de viaje. Además, el fotógrafo, por buenas que sean las disposiciones tomadas, siempre se halla expuesto, en este caso, á que sus preparados químicos y aparatos se echen á perder ó sufran desperfectos por el camino; el colodio puede alterarse bajo la influencia del calor, los vidrios están expuestos á romperse, etc.; y aunque no se produjesen semejantes peripecias, una ráfaga de viento podría derribar en mala hora su tienda de campaña, y comunicándose la llama de su vela al colodio, tan inflamable, dar lugar á una verdadera desgracia.

En vista de estos inconvenientes, se venía pensando desde hace tiempo en la posibilidad de emplear planchas sensibles secas, preparadas, por ejemplo, por la tarde ó noche, antes de servirse de ellas, y que pudieran llevarse al campo, cada cual en su cajita oscura correspondiente, para ser desarrolladas y fijadas las imágenes en casa con toda comodidad después de regresar de la excursión. En 1853, practicó *Carré* ensayos con planchas secas bañadas con colodio y nitrato de plata, según el modo ordinario; pero halló que eran muy poco sensibles y que sólo podían servir después de quitar, por medio de un lavado con agua, la parte de la sal de plata que quedaba adherida á la superficie del colodio. El abate *Desprats* prosiguió dichos experimentos, y publicó en 1856 los resultados obtenidos: preparaba sus planchas, como de costumbre, con colodio yodurado, las colocaba en el baño de plata, y al sacarlas las sumergía seguidamente en agua destilada, dejándolas cosa de un minuto; luego las secaba, y en este estado podían conservarse algún tiempo antes de emplearlas; después de expuestas en la cámara fotográfica, las colocaba en un baño de plata al 4 por 100, y entonces desarrollaba las imágenes con ácido piroagállico. Como se comprende, la sensibilidad de las planchas padecía mucho con semejante tratamiento.

Por otra parte, se trató de conservar la estructura pososa ó esponjosa del colodio, que pierde al secarse, agregándole sustancias como melaza, miel, azúcar, etc., lo cual representa desde luego un progreso. En 1855 recomendó *Taupenot* un procedimiento que consistía en revestir la capa de colodio ordinaria con otra de blanco de huevo yodurado, colocar la plancha después de seca en un baño de plata conteniendo un poco de vinagre, y luego lavarla con agua; y así, mediante la feliz combinación de colodio y blanco de huevo, se llegó á preparar planchas secas que permanecieron sensibles más de un año. En 1858 introdujo *Fothergill* una modificación en el empleo del blanco de huevo, mientras que *Norris* recomendó la gelatina en lugar de dicha sustancia, y *Lyte* la llamada metagelatina.

Sin embargo, estos procedimientos no dejaron ofrecer de inconvenientes, y tuvieron que ceder el puesto en 1861 al inventado por *Russel*, y llamado *procedimiento al tanino*, que gozó de mucha aceptación durante varios años. Con arre-

glo á él, la plancha de vidrio se reviste primero con gelatina ó gutapercha á fin de promover la adhesión del colodio, ó bien se barnizan sus márgenes, en cuyo caso puede aplicarse el colodio como de costumbre. Después de hacer sensible la plancha en el baño de plata, se lava bien con agua para alejar el nitrato libre, y en seguida, es decir, en estado todavía húmedo, se reviste con una disolución de tanino, que se deja secar naturalmente, ó se seca al calor artificial. Las planchas preparadas de dicha manera pueden servir en seguida, ó bien después de mucho tiempo; producen imágenes uniformes y buenas, pero necesitan una exposición de minuto y medio próximamente. Para que nuestros lectores se formen una idea acerca de la acción del tanino en el procedimiento referido, diremos que dicha materia (que se extrae de las agallas) tiene la propiedad de estimular la sal sensible de yodo contenida en el colodio; es decir, que sin hacerla precisamente más sensible de lo que es, la excita, digámoslo así, de modo que recibe en la cámara fotográfica una impresión mucho más profunda. Además, el tanino ejerce una influencia mecánica muy favorable, en el mero hecho de mantener abiertos los poros del colodio, facilitando la penetración y acción del líquido desarrollador de la imagen.

Existe toda una serie de materias que, lo mismo que el nitrato de plata, se combinan fácilmente con el yoduro de este metal, aumentando su sensibilidad á la luz. Semejantes sustancias «sensibilizadoras», como se llaman, son, por ejemto, además del tanino ya referido, el acetato de morfina, la albúmina, la gelalina, la goma arábiga, los extractos de café y te, etc.; se han empleado todas, con mejor ó peor éxito, para la preservación de las planchas fotográficas secas, siendo el extracto del café el que mejores resultados ha dado. Para completar esta breve reseña, debemos mencionar el modo de preservación recomendado por *Schnaus;* consistente en revestir la capa de colodio sensible, después de alejado con agua el nitrato sobrante, con una decocción de pasas en agua, y desarrollar la imagen mediante álcalis; otro de *Stuart Wortley*, que propuso empezar el desarrollo alcalino con mucho amoniaco y poco ácido piroagállico; y, por último, el de *Constant* (1878) con albúmina y ácido agállico que tuvo muy buena acogida entre los fotógrafos. Pero ocupémonos ahora de los procedimientos fotográficos en seco que más resonancia han tenido y tienen, y se fundan en el empleo de emulsiones de colodio y gelatina.

Procedimiento con emulsión de colodio.—Hemos explicado cómo, según el procedimiento con colodio líquido, se hace sensible la plancha de vidrio; después de revestida con aquél (debidamente preparado con yoduro y bromuro de cadmio), se sumerge en el baño de nitrato de plata, á fin de que el yodo y el bromo se combinen con este metal, y el ácido nítrico con el cadmio. Es evidente que semejante procedimiento se simplificaría mucho si pudiera prescindirse de dicho baño y las manipulaciones á que da lugar, incorporando previamente al colodio el nitrato, yoduro ó bromuro de plata, esto es, preparando desde luego

un colodio sensible á la luz antes de extenderlo sobre las planchas; y de hecho hubo quien tuvo este pensamiento dos años después de emplearse el colodio en la fotografía, pues el francés *Gaudier* escribió en 1853: «El porvenir de la fotografía parece que se halla en el empleo de un colodio sensible á la luz, que pueda conservarse en frascos y verterse sobre vidrio, papel, etc., de modo que puedan producirse con él imágenes negativas ó positivas, seguidamente ó después de algún tiempo.» Ocho años más tarde, en 1861, el mismo investigador describió en la revista *La Lumière* una mezcla que llamó *fotógeno*, y que no era más que un colodio sensible á la luz; es decir, impregnado con nitrato de plata. He aquí, pues, la primera idea respecto de la producción de una emulsión de colodio; y explicaremos en este punto que se entiende por «emulsión», en sentido fotográfico, un líquido capaz de mantener en suspensión, durante mucho tiempo, una materia no disuelta y en estado de división muy fina; una emulsión de colodio al bromuro de plata es, pues, un colodio en el cual se halla suspendido dicho bromuro, de modo que pueda ser extendido uniformemente sobre una superficie (generalmente vidrio ó papel), y adherirse á ella después de secarse.

Las ventájas que ofrece el empleo de la emulsión de colodio, comparado con el del colodio líquido propiamente dicho, son, en lo esencial, las siguientes: las planchas revestidas con la emulsión se pueden conservar durante años, debidamente protegidas contra la luz; se evita, con su empleo, la sumersión en un baño de plata y las molestias consiguientes; las imágenes negativas obtenidas por medio de la emulsión son más hermosas, tanto en los claros como en los oscuros, que las que resultan en el procedimiento húmedo; y las planchas revestidas con emulsión se prestan mejor á la producción de negativas grandes sobre la base de pequeñas fotogramas vítreas positivas. A estas ventajas hay que agregar que la preparación de las planchas con la emulsión es sumamente sencilla.

Es verdad que el procedimiento de que tratamos no nació acabado, como dicen que salió Minerva armada de la cabeza de Júpiter; al contrario, sólo al cabo de ensayos laboriosos, y después de sustituído el desarrollo ácido (físico) de las imágenes por el alcalino (químico), y el yoduro de plata por el bromuro, pudo alcanzar dicho procedimiento su grado actual de perfección, que se debe más especialmente á los trabajos de *Sayce* y *Bolton*, en Inglaterra, *Liesegang*, en Alemania y *Carey Lea*, en los Estados Unidos. Las planchas revestidas con la emulsión de colodio no resultan, á la verdad, tan sencillas como las preparadas con emulsión de gelatina, de que hablaremos más adelante; pero á este respecto son muy superiores á las de colodio ordinarias ó antiguas, y están en su lugar tratándose de casos en que no precisa una gran sensibilidad, como, por ejemplo, para las reproducciones y para tomar vistas. Por consiguiente, aunque su empleo se ha restringido mucho desde la aparición sobre la escena fotográfica del procedimiento con emulsión de gelatina al bromuro de plata, sigue

teniendo partidarios en los casos en que da resultados más hermosos que este último.

Como dijimos más arriba, el procedimiento en cuestión se distingue del antiguo, en que el colodio se hace sensible á la luz antes de emplearlo. Esto se consigue tomando un colodio preparado con bromuro de litio, y agitándolo violentamente con una disolución de nitrato de plata, por cuyo modo se forma bromuro de plata insoluble, que, en presencia de nitrato de plata ó de otras sales solubles de este metal, y la influencia de la luz solar, toma un color oscuro. La emulsión resultante constituye un líquido lechoso, que va ganando en sensibilidad durante los primeros ocho días después de preparada; mas si se quiere que alcance al mayor grado de sensibilidad de que es susceptible, es preciso someterla á un lavado con agua á fin de librarla de todos sus componentes secundarios inútiles y que en muchos casos resultan perjudiciales. Este lavado se continúa hasta que una gota de ácido clorhídrico no produce un precipitado en una prueba del agua; es decir, hasta que no quede nitrato de plata libre en la emulsión referida; y entonces ésta, que ha tomado entretanto la forma de una masa fluecosa, se traslada sobre una hoja de papel secante y se deja secar en la oscuridad. En este estado puede conservarse durante meses, protegida, naturalmente, contra la luz; y cuando se quiere emplear en la preparación de planchas sensibles, basta tomar una porción de ella, agitarla bien con alcohol y agregarle éter sulfúrico; el líquido lechoso que se vuelve á formar de este modo, se filtra á través de una tela fina de hilo y se conserva en frascos de vidrio negro ó amarillo. Sin embargo, no se debe usar la emulsión líquida hasta pasados cuatro ó cinco días, porque antes no tiene la consistencia deseada; las planchas de vidrio deben estar perfectamente limpias y se deslustran en sus bordes por medio de una lima fina ó papel de esmeril, á fin de que la delgada capa de colodio se adhiera bien alrededor, ó bien se revisten previamente las planchas con alúmina, como dijimos anteriormente.

Procedimiento con emulsión de gelatina.—Con la emulsión de colodio habíase dado un gran paso en la técnica fotográfica; tanto, que no faltaron entusiastas que creyeran firmemente que semejante adelanto representaba el último progreso posible en el arte. Pero para un edificio como la fotografía, levantado con tanto trabajo é ingenio, y que tiene por piedra angular la ciencia siempre juvenil de la química, no se ha sacado aún de la cantera la llave de su bóveda; y por más que pueda ponérsele un techo provisional, acuden y seguirán acudiendo nuevos arquitectos y albañiles, edificando pisos y más pisos sobre los ya construídos, hasta una altura que no podemos siquiera entrever.

Así, pues, y al cabo de veinticinco años de una regencia ilimitada, ha sonado para el colodio la última hora, no ya de su existencia, pero sí de su poder absoluto, habiéndole salido un rival potente—la gelatina,—también con pretensiones de autócrata. El ideal que se venía persiguiendo en la preparación de

las planchas fotográficas, ó sea su mayor duración combinada con una sensibilidad extrema, y que ya se creía haber alcanzado con la emulsión de colodio, se ha realizado por fin desde el invento del procedimiento gelatinoso. Con una satisfacción rayana en orgullo, el artista encanecido en su estudio contempla hoy el extenso campo de un arte que, nacido modestamente hace cincuenta años con el carácter de un juguete, cuenta ya entre sus vasallos, digámoslo así, á casi todas las ramas de la industria, del comercio y de la ciencia. Es verdad que algunos, acostumbrados desde su juventud al colodio, se resisten á acudir de nuevo á la escuela para iniciarse en los misterios de un procedimiento nuevo; pero éste es en el fondo tan sencillo y ofrece tantas ventajas sobre el antigno, que bien merece la pena de hacer semejante esfuerzo, especialmente cuando, de permanecer pasivos, se corre el riesgo de quedar con el negocio á la luna de Valencia.

En efecto: el procedimiento fotográfico con emulsión de gelatina al bromuro de plata sa ha difundido ya de una manera verdaderamente maravillosa, cuando se considera el tiempo relativamente corto de su existencia. Esto constituye, como se diría en estilo bíblico, «un signo de los tiempos»; prueba evidente de que el procedimiento responde á las exigencias de nuestra sociedad tan progresiva, y que, respecto del modo dicho al colodio, representa un adelanto análogo al de la sustitución del vapor como fuerza motriz por la electricidad.

Acerca del empleo de la gelatina en fotografía, se encuentra una ligera noticia en una Memoria que escribió *Niépce de Saint-Victor* en 1847, y cuatro ó cinco años más tarde *Poitevin* hizo algunos experimentos con gelatina y yoduro de plata sobre vidrio; pero quedaba reservado al médico inglés *R. L. Maddox* aficionado á la fotografía, el iniciar, en 1871, la nueva manera. Florecía á la sazón el procedimiento con emulsión de colodio que dejamos descrito más arriba, y Maddox, que lo practicaba, tuvo un día la idea de sustituir el colodio líquido con una disolución de gelatina; los ensayos de otros investigadores habían demostrado ya anteriormente que por medio de la gelatina, en combinación con el yoduro de plata, se podían preparar planchas fotográficas muy sensibles; pero hasta entonces no se había descubierto el medio á propósito para transformar la sal de yodo en yoduro de plata, y, por consiguiente, dichos ensayos habían pasado más ó menos inadvertidos, sobre todo cuando la mayor parte de los fotógrafos se hallaban preocupados con la emulsión de colodio. Los resultados tan favorables que obtuvo Maddox, y después otras personas, con la gelatina, despertaron, sin embargo, el interés más vivo, y en 1873 ya se había perfeccionado el nuevo procedimiento á tal punto, que se entregaban al comercio planchas preparadas con gelatina, tan sensibles como las de colodio. Desde aquel momento, los investigadores más asiduos en el campo de la fotografía dedicaron su atención preferente al nuevo procedimiento, y á los trabajos de hombres como *Abney*, *Andra*, *Bolton*, *Carey Lea*, *Eder*, *Edwards*, *Liesegang*,

Lohse, *Monckhoven*, *Obernetter*, *Schumann*, *Stolze*, *Vogel* y *Warnerke* debe su actual importancia la emulsión de gelatina al bromuro de plata.

El trabajo del fotógrafo con planchas secas de gelatina resulta tanto más sencillo que con la emulsión de colodio, cuanto que dichas planchas son actualmente objeto de una fabricación en grande, de modo que se pueden comprar en disposición de poderse introducir, sin más preparación, en la cámara fotográfica. Esto es altamente ventajoso para un artista muy ocupado, pues nada hay más fácil que tener almacenado cierto número de planchas de diferentes tamaños, y pedir otras á la fábrica á medida que la existencia se va agotando. Es verdad que la preparación de las planchas por el fotógrafo mismo ofrece la ventaja de que, conociendo exactamente las propiedades de sus planchas, trabaja con mayor seguridad, amén de resultarle algo más baratas; en cambio, dicha preparación, si ha de repetirse con frecuencia, supone necesariamente la inversión de mucho tiempo, y la adquisición y disposición conveniente de aparatos y demás medios. Así es que, si bien no faltan fotógrafos que preparan por sí mismos sus planchas de gelatina, la mayoría se surte de ellas en las fábricas. Penetremos, pues, en una de éstas, y veamos cómo se practica en grande dicha preparación.

Al entrar en el primer taller nos parece que nos hallamos completamente á oscuras; pero pasados los primeros momentos, observamos que desde un lado del local penetra un poco de luz muy debil á través de una ventana cubierta por una tela doble de color amarillo. En este taller no debe penetrar el rayo más leve de luz blanca ó azulada, pues la gelatina al bromuro de plata es mucho más sensible á la luz perjudicial que una plancha preparada con colodio, y es preciso, si no han de malograrse las operaciones, cerrar la entrada á semejante luz hasta por debajo de las puertas y por el ojo de una cerradura. Antes se creía que la luz roja de rubí era la mejor para la iluminación débil de los cuartos oscuros del fotógrafo; pero la experiencia ha demostrado que la luz amarilla surte el mismo efecto y tiene la ventaja de no cansar tanto la vista como la roja. Como en el taller en que nos hallamos se trabaja también en invierno después de puesto el sol, y también en vista de que varía continuamente la claridad del día, se han tomado las disposiciones oportunas para iluminarlo un poco artificialmente, á cuyo efecto sirve lo mismo el gas del alumbrado que el petróleo ó las velas, con tal de que las luces se rodeen con globos de vidrio rojo ó amarillo

En dicho local se prepara la emulsión. Hemos explicado ya, al hablar del procedimiento al colodio, lo que en la acepción fotográfica se entiende por emulsión; sólo que allí se trataba de la de colodio al bromuro de plata, mientras que en el caso presente nos referimos á la emulsión de gelatina al bromuro de plata. La diferencia entre ambas consiste sencillamente en que el líquido en que se halla suspendido el bromuro de plata es, en el primer caso, colodio, y en el segundo, una disolución acuosa de gelatina, y no necesitamos recordar á nuestros lectores que esta última sustancia es cola muy purificada.

El bromuro de plata es una sal del elemento bromo, de que hablamos anteriormente (pág. 782). Se prepara sometiendo una plancha plateada á la acción de vapores de bromo, ó bien mezclando el bromuro de sodio, potasio ó amonio con nitrato de plata. Constituye una sustancia insoluble en agua, de color amarillento, que se disuelve en amoniaco concentrado, en cloruro de amonio, y más fácilmente aún, en hiposulfito de sosa y en cianido de potasio.

Para que nuestros lectores se hagan bien cargo de la preparación del bromuro de plata para las emulsiones, supondremos que tenemos delante dos probetas á medio llenar de agua, en una de las cuales disolvemos algunos gramos de nitrato de plata, y en la otra un poco de bromuro potásico. Si mezclamos las dos disoluciones, se produce en el acto un precipitado amarillento de bromuro de plata, mientras que, por otra parte, se forma nitrato de potasa, una sal que no se ve en este caso, porque queda disuelta en el agua. La mezcla de aquellas primeras materias tiene que efectuarse, para los fines de la preparación de emulsiones fotográficas, en una proporción determinada, ó sean 11 gramos de nitrato de plata por 6,5 de bromuro de potasio; pues sólo con arreglo á ésta se convierte todo el nitrato de plata en bromuro. Un exceso de dicho nitrato resulta sin aprovechar porque queda sin descomponer en la emulsión; pero una porción un poco mayor de bromuro de potasio, con tal que no pase de cierto límite, no es perjudicial, sino que favorece, según las observaciones de Wilson, la sensibilidad del bromuro de plata.

En la fabricación de que hablamos, la disolución de las sales referidas se verifica á la par que la de la gelatina, cuya sustancia, como el colodio en el procedimiento antiguo, es la destinada á servir de base á las imágenes fotográficas. No se puede utilizar al efecto una gelatina cualquiera, pues muchas de las que se producen contienen alguna grasa, y una emulsión grasienta da margen á planchas imperfectas. Por esta razón, y en vista del gran desarrollo del nuevo procedimiento, existen ya fábricas destinadas exclusivamente á producir gelatina á propósito para la fotografía.

El preparado de la emulsión se verifica aún en muchos casos del modo siguiente: disuélvese primero en una botella una cantidad determinada de bromuro de potasio ó de amonio èn agua, se echa en la disolución la porción correspondiente de gelatina, y se coloca la botella en un cubo lleno de agua caliente, á fin de que se disuelva la sustancia última nombrada, lo que sucede al cabo de una hora, si se agita con frecuencia la botella. Entonces se disuelve separadamente en agua una cantidad, también proporcional, de nitrato de plata, y se vierte muy despacio esta disolución en la anterior, removiendo bien el líquido al mismo tiempo. Después de agitar fuertemente el contenido de la botella, se coloca ésta en una caldera llena de agua de 32 grados, y allí se deja durante algunos días, cuidando de mantener dicha temperatura sin variación; esta inmersión se prolonga tanto más, cuanto más sensible ha de resultar la emul-

sión, y, como se comprende, debe verificarse á oscuras, lo mismo que las operaciones anteriores; una vez terminada, se enfría la botella, con lo cual su contenido se convierte en una masa rígida. Como dijimos más arriba, al par que se precipita el bromuro de plata, se forma nitrato de potasa, que queda en la disolución; mas como su presencia perjudicaría la sensibilidad de la emulsión, es preciso eliminarlo, á cuyo efecto se somete la masa cuajada en la botella á un lavado en agua fría, operación que supone unas doce horas de trabajo. Hecho esto, es decir, eliminadas las sales solubles de la emulsión, no hay más que fundir ésta para que tome la consistencia de un líquido poco fluido y blanco como la leche, en cuyo estado se emplea para revestir las planchas de vidrio.

Con arreglo á los nuevos procedimientos, adoptados ya en varias fábricas, se evita la prolongada digestión de la emulsión, ó sea la inmersión referida de la botella en agua de 32 grados durante seis á siete días, cociendo aquélla un espacio, ó bien agregando amoniaco á la misma; por cuyos medios no sólo se gana un tiempo precioso, sino que el producto resulta aún más sensible á la luz que por el modo exclusivamente en boga antes.

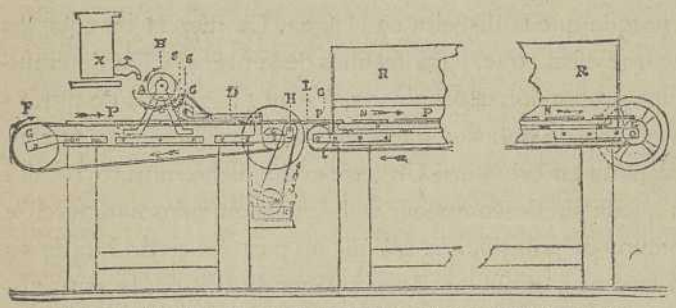


FIG. 365.—Máquina para revestir las planchas con la emulsión de gelatina.

Desde el taller en que se practican todas las operaciones descritas, pasamos á otro inmediato, y también oscuro, en el que tiene lugar el revestimiento de las planchas de vidrio con la emulsión líquida. Aquí encontramos en marcha, á impulso de un motor de gas, una máquina de construcción especial, sumamente ingeniosa, inventada al efecto por *Edwards*, de la que reproducimos una sección vertical en la fig. 365. Desde el depósito *X* fluye la emulsión, en la medida conveniente, al recipiente semicilíndrico *A*, dentro del cual gira continuamente el rodillo horizontal *B*, que obliga á la emulsión á rebosar por el borde anterior del recipiente y bajar extendiéndose sobre el plano inclinado *C;* debajo de éste circula continuamente una ancha cinta sin fin, tendida sobre dos rodillos, *G G*, en los extremos de la máquina, y sobre la cual se van colocando, en *F*, las planchas de vidrio *P P*, de modo que, al pasar éstas por debajo de *C*, reciben una capa de la emulsión; la cual resulta tanto más gruesa, cuanto más lento sea el movimiento de la cinta, y tanto más delgada, naturalmente, cuanto más de prisa avanza. Para que la emulsión cuaje ó se solidifique lo más pronto posible sobre las planchas, la cinta cargada con éstas pasa luego entre dos planchas de piedra, dispuestas paralelamente en un depósito prolongado, *R R*, cuyos espacios superior é inferior se hallan siempre llenos de hielo; y al salir la cinta en el

extremo opuesto, donde emprende su camino de retorno, las planchas se deslizan suavemente, una tras otra, por un plano inclinado, que no aparece en nuestra figura. Con semejante máquina se pueden revestir con emulsión en un día un número considerable de planchas de diferentes tamaños.

Al salir de la máquina, se trasladan éstas á otro local para que se sequen, á cuyo efecto se colocan sobre largos estantes, expuestas simplemente al aire del local bien ventilado, en cuyas condiciones se secan perfectamente durante una noche. Como se comprende, dicho local se mantiene oscuro, y sólo en los casos más urgentes puede penetrarse en él con una linterna provista de cristales rojos ó amarillos. Cuanto más completamente se resguardan las planchas durante su preparación, etc., contra la luz, tanto más sensibles resultan después en la cámara fotográfica.

El empaquetado de las planchas secas tiene lugar en otro local, debidamente oscurecido. Las más pequeñas se envuelven, por lo general, en tiras de papel libre de celulosa, y luego se juntan en número de seis para formar un paquete, con papel negro, impervio á la luz, que se coloca en una cajita de cartón. Las planchas mayores se empaquetan de dos en dos, volviendo sus caras preparadas una contra otra, pero separándolas por medio de un ligero marco de cartón, y envolviéndolas luego en papel negro.

Durante los últimos años se ha montado en el extranjero gran número de fábricas como la que acabamos de describir, desarrollándose de este modo una rama completamente nueva de la industria, que proporciona ya el sustento á muchos centenares de operarios diversos, amén de favorecer á otros varios ramos industriales y comerciales. Los productos de la mayoría de dichas fábricas son buenos y *de confianza*, como suele decirse, en lo que cabe; pues es sumamente difícil preparar con la misma emulsión una serie de planchas que resulten de propiedades enteramente iguales. El grado de sensibilidad es lo que más suele variar en semejantes planchas; pues las hay que resultan sólo diez veces más sensibles que las de colodio, mientras que otras lo son cincuenta veces más; y si bien los fabricantes tienen cuidado de determinar el grado de sensibilidad de las planchas que entregan, no pueden evitar pequeñas discrepancias, que á veces resultan perjudiciales para las negativas fotográficas.

Para cerciorarse de la igualdad ó diferencia de sensibilidad de dos ó más planchas gelatinosas, se emplea un instrumento llamado *sensitómetro*, inventado por *Warnerke*, de Londres. Consiste en una cajita, dentro de la que se hallan fijadas, en un lado, una plancha de vidrio dividida en 25 pequeños campos numerados de gelatina de color; y en el lado opuesto, otra plancha revestida con el conocido color luminoso de Balmain; mientras que entre ambas planchas se encuentra una tablita movible que intercepta la luz. Los diferentes campos ó cuadros de la primera plancha son transparentes, aunque en diverso grado; es decir, que el señalado con el núm. 1 es de un color claro, cuya claridad va

disminuyendo gradualmente en los cuadros sucesivos hasta el 25, que es el más oscuro. El color luminoso de la segunda plancha tiene la propiedad de fosforecer después de haber sido iluminada ésta por una luz intensa. Se introduce, pues, la plancha gelatinosa cuya sensibilidad se quiere determinar, delante de la primera plancha de la cajita, y después de quemar un pedacito de cinta de magnesio delante de la segunda plancha para que se vuelva luminosa, se retira la tablilla móvil, dando paso á la luz; de modo que ésta hiere aquella plancha fotográfica á través de la de cuadros, cuyos números aparecen luego en ella cuando se procede al desarrollo. Pero la claridad ó definición de los diferentes números no puede ser igual, en razón de la diversa transparencia de los cuadros, y en las planchas de sensibilidad media los números del 20 en adelante nunca resultan visibles. Los fabricantes han adoptado la escala del sensitómetro para designar el grado de sensibilidad de la emulsión de gelatina al bromuro de plata; y al decir que una plancha tiene 18 ó 19 grados de Warnerke, quieren indicar que es nueve ó doce veces más sensible que una preparada con colodio líquido. Semejantes planchas bastan para los usos ordinarios del fotógrafo, y cuestan en Alemania: las del tamaño llamado de «tarjeta» (9 por 12 centímetros) 25 céntimos de peseta cada una, y las de tamaño dicho «americano» (13 por 18 centímetros) 44 céntimos; pero mediante la observancia de las mayores precauciones se preparan también planchas de 25 grados de Warnerke, ó sean unas 68 veces más sensibles que las de colodio.

Una de las consecuencias más inmediatas del nuevo procedimiento con la emulsión de gelatina ha sido el notable perfeccionamiento y desarrollo de la *fotografía instantánea*, ó sea la producción de imágenes en un espacio de tiempo más corto del necesario para la percepción de los objetos por nuestro órgano de la vista. Los primeros ensayos del género se hicieron hace unos treinta y cinco años, cuando Daguerre y Talbot se esforzaban para fotografiar personas en el acto de andar; pero, como se comprende fácilmente, dada la imperfección de los materiales, los resultados no pudieron ser satisfactorios, y sólo después de introducido el procedimiento al colodio, con lo cual el tiempo de exposición de las planchas se redujo notablemente, tuvieron un éxito relativamente bueno las nuevas tentativas. Recordamos á este propósito las imágenes estereoscópicas de Ferrier y Soulier, de París, así como las fotografías sorprendentes de Wilson, de Aberdeen (Escocia), que se produjeron por medio de las planchas de colodio húmedas. Pero la aspiración principal de los investigadores y fotógrafos de entonces era la de obtener planchas secas de colodio (por medio del tanino, etc,), á propósito para la fotografía instantánea, y en 1862 la Sociedad fotográfica de Marsella ofreció un premio de 500 francos al que resolviera el problema. Posteriormente el inglés Sampson logró producir, por medio de semejantes planchas secas de colodio, vistas bastante buenas de calles llenas de gente en movimiento, buques navegando, etc.; pero las imágenes más acaba-

das del género, principalmente de animales en movimiento, con planchas de colodio, las produjo el norteamericano *Muybridge*, si bien resultaban en forma de siluetas. La fig. 366 es reproducción de un trabajo de este artista, representando los movimientos consecutivos de un caballo lanzado á galope, con las posiciones correspondientes del jinete; el caballo corría por delante de un muro blanqueado, á 16 metros del cual se hallaban colocadas en fila 24 cámaras foto-

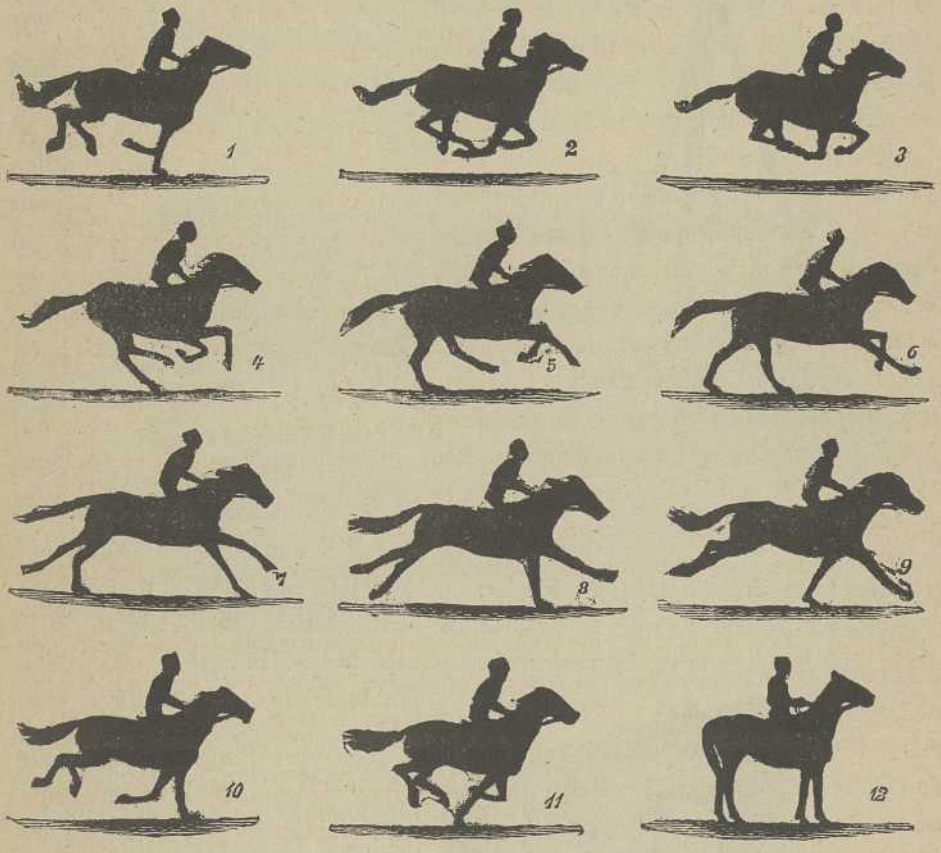


FIG. 366.—Fotografía instantánea: movimientos del caballo á galope.

gráficas, cuyos objetivos se descubrían y tapaban sucesivamente por medio de un aparato eléctrico automático.

La aparición de las planchas secas de gelatina al bromuro de plata dió inesperado impulso á la fotografía instantánea, y apenas habrá rama del arte fotográfico en la que se hayan realizado desde entonces progresos tan notables como en ésta. Las planchas de gelatina, tan sensibles, crearon una técnica nueva; se necesitaron aparatos de distinta construcción y medios mucho más rápidos para interceptar la luz; originánronse nuevas prescripciones y reglas; en una palabra, hubo de contarse con factores enteramente nuevos.

Las cámaras y aparatos de cierre de diversa construcción, ideados especial-

mente para la fotografía instantánea y que se emplean en la actualidad, se cuentan por centenares, sin exageración alguna; en su mayoría son prácticos é ingeniosos, y sus precios son, en general, tan módicos, que los ponen al alcance de muchas personas, ora sean fotógrafos de oficio, ora aficionados. Un aparato completo, como el representado en la fig. 367, compuesto de cámara portátil con objetivo provisto de cierre instantáneo, trípode ligero, cajitas para conservar las planchas preparadas, medios para desarrollar las imágenes, aparato para copiar, etc., con los estuches portátiles correspondientes, cuesta de 150 á 300 pesetas, según el tamaño máximo de las imágenes que produce la cámara.

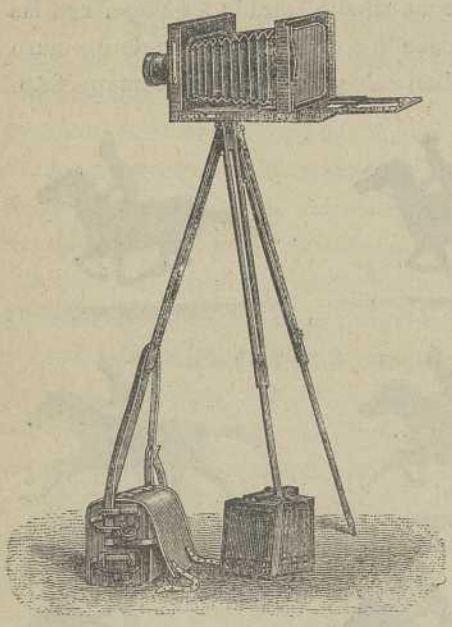


FIG. 367.
Aparato portátil para fotografía instantánea.

No todos los objetivos se prestan para sacar fotografías instantáneas, siendo los mejores los provistos de lentes de gran diámetro, pero de corta distancia focal, como los objetivos con dos lentes acromáticas empleados para retratos (compárese fig. 348).—El cierre del objetivo es un detalle de la mayor importancia. Mientras que, tratándose de una exposición relativamente larga de la plancha fotográfica, basta descubrir y tapar la lente por medio de una simple tapadera que se quita ó pone con la mano, la exposición instantánea reclama un medio mucho más rápido, sin el cual se malograría desde luego la operación. Por esto se han inventado cierres mecánicos de la construcción más diversa, consistentes: unos en la combinación de chapaletas que caen de repente, en virtud de su propio peso; en otros, dos pequeñas compuertas dirigidas por ranuras, que después de separarse para la exposición, se juntan de pronto á impulso de un muelle, y otros en una serie de anillos concéntricos que se deslizan rápidamente uno sobre otro por medio de un mecanismo. Todos estos pequeños aparatos, destinados á procurar que pueda descubrirse y cerrarse

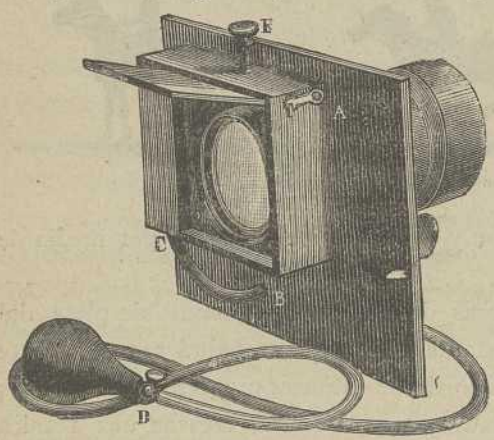


FIG. 368.—Aparato para el cierre instantáneo.

lo más rápidamente posible el objetivo, se colocan, por regla general, detrás de éste, en la cara interna del extremo anterior de la cámara. La fig. 368 representa uno de los cierres instantáneos más eficaces, y se compone esencialmente de un marco que se sujeta á la parte posterior del objetivo por medio del tornillo *F* y un anillo de cautchuc, y una chapaleta, digámoslo así, de terciopelo negro, que puede levantarse, como indica la figura, por medio de la presión del aire producido por un pequeño fuelle de cautchuc, *D*, que el operador oprime con una mano, y cuyo tubo flexible atraviesa la parte anterior de la cámara, en *B*, desembocando en *C* en el interior del marco; en el momento de cesar la presión del aire cae el terciopelo, cubriendo la lente interna del objetivo. Mientras el

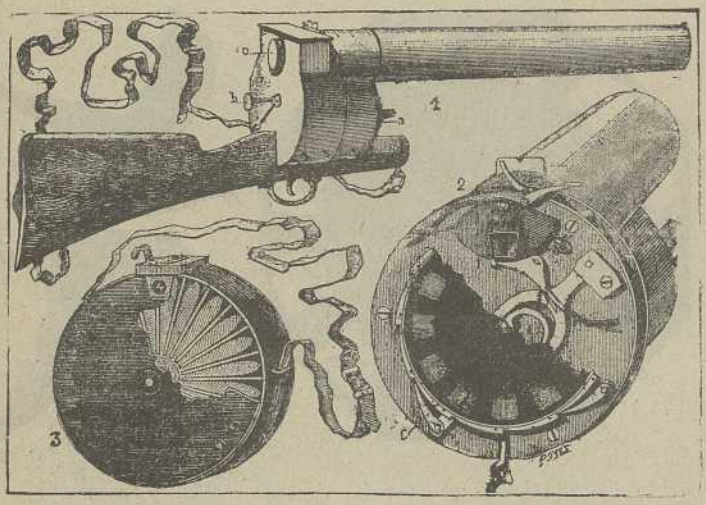


FIG. 369.—Escopeta fotográfica de Maury.

artista se halla ocupado en ajustar la cámara y enfocar el objeto que trata de fotografiar, aquella tapa se mantiene levantada por medio del ganchito *A*, y después, si se quiere que la plancha fotográfica sufra una exposición relativamente larga, después de alzar la tapa por medio del fuelle, basta oprimir un botoncito, *D*, que impide el retroceso del aire en el tubo.

Todo cierre mecánico, si ha de surtir efectos prácticos, debe permitir una exposición de mayor ó menor duración, á voluntad del artista, pues ésta varía, naturalmente, según el objeto que se trata de fotografiar. Por ejemplo, un hombre que camina á razón de cuatro kilómetros por hora, adelanta 1,11 metros en un segundo, mientras que un pájaro de vuelo rápido avanza á razón de 88 metros en tan corto espacio de tiempo; si, pues, al fotografiar el pájaro volando la exposición de la plancha durara tanto como al fotografiar el hombre andando, la imagen resultaría completamente inservible.

No ha tanto tiempo se hubiera tenido por imposible fotografiar aves al vuelo; pero el profesor *Maury*, de París, lo ha conseguido perfectamente por

medio de un aparato de su invención, en forma de escopeta (fig. 369). El objetivo se encuentra en el cañón, y al interior del disco rotatorio que cierra la recámara cilindrica se coloca una plancha seca de gelatina, muy sensible; al apuntar al pájaro, cual si se tratara de matarlo, el operador oprime el gatillo, y entonces, durante la exposición, un mecanismo de reloj hace girar la plancha de manera que, en el espacio de un segundo, verifica una revolución entera, con doce paradas cortísimas, que duran tan sólo $\frac{1}{720}$ de segundo cada una; entre ellas la luz queda interceptada, de modo que resultan en la plancha sensible doce pequeñas imágenes, dispuestas circularmente á intervalos iguales, como indica la fig. 370, que representa una gaviota volando, y como el animal daba á la sazón tres

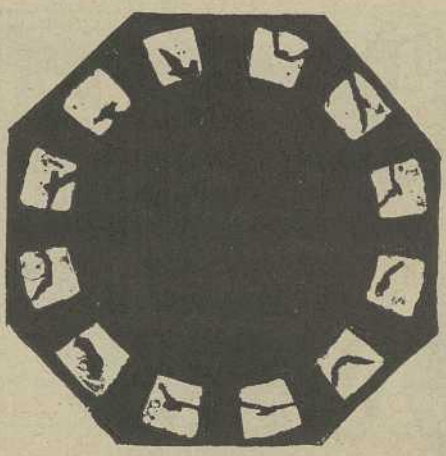


FIG. 370.



FIG. 371.

Fotografía instantánea con la escopeta de Maury.

golpes de ala por segundo, hallamos entre las doce imágenes cuatro posiciones distintas de las alas, que se repiten; al principio las alas están levantadas, luego se inclinan, en la tercera imagen se encuentran vueltas hacia abajo, en la cuarta tornan á enderezarse, y así sucesivamente. Al ampliar semejantes fotografías, como explicaremos más adelante, se obtienen imágenes como las estampadas en la fig. 371, que representan el comienzo y el fin del batimiento de alas. El fotógrafo *Anschutz*, de Lissa (Prusia), se ha dedicado, con fruto, en los últimos años á la fotografía instantánea de animales en movimiento, no con la escopeta de Maury, sino por medio de la cámara ordinaria, y muchos de sus trabajos llevan un sello verdaderamente artístico, siendo al mismo tiempo, por su realismo, de gran valor para el naturalista. En las figuras 372 y 373 reproducimos dos fotografías de dicho artista, que representan un nido de cigüeñas: en la primera está preparándose el macho para abandonar el nido, y en la segunda se le ve en el acto de lanzarse al aire.

La fotografía instantánea es también de gran valor para tomar retratos,

pues es evidente que, reduciéndose la exposición á un corto número de segundos, durante los cuales la persona más nerviosa no tiene lugar de cansarse, la expresión de la fisonomía resulta mucho más natural que cuando, como sucedía antes, se veía aquélla precisada á mantenerse perfectamente inmóvil de treinta á cincuenta segundos, fijando la vista en un punto determinado. Basta comparar los retratos que hoy se hacen por medio del nuevo procedimiento con los que se hacían antes, para que resalte á primera vista el progreso realizado en tal concepto.

Pero en el campo científico es donde se han alcanzado, con las planchas tan

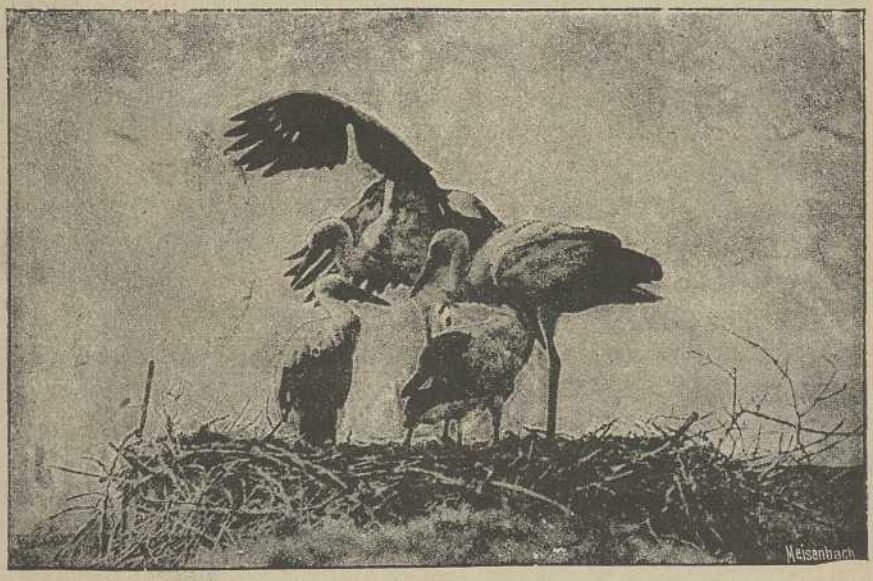


FIG. 372.—Fotografía instantánea de Anschütz.

sensibles de gelatina, los resultados más sorprendentes. Sin hablar de los realizados en la esfera de la astronomía, ó sea la obtención de imágenes fieles de fenómenos como los que acompañan al eclipse total del sol, al paso de un cometa, al tránsito de Venus, los espectros de la luz de las estrellas, etc., debemos señalar más especialmente la fotografía del rayo durante una tempestad, la de las corrientes y remolinos del aire producidos al atravesar la atmósfera el proyectil lanzado por un cañón, y la de los fenómenos que se verifican en un chorro de líquido, iluminado á su paso por la luz eléctrica. Mediante éstas y parecidas fotografías se arroja mucha luz sobre determinados problemas de la física, y la del rayo ha venido á disipar completamente la ilusión secular de que esas enormes descargas eléctricas que se desarrollan durante las tempestades entre las nubes, ó entre éstas y la tierra, formen trazos luminosos en ziszás, es decir, marcados por ángulos bien definidos; es verdad que el camino que recorren es muy irre-

gular, pero la fotografía no acusa el más leve indicio de ángulos, y sí sólo ondulaciones suaves de mayor ó menor amplitud; hay que condenar, pues, por inexactas, las representaciones del rayo hechas hasta hoy en cuadros y grabados. También podríamos extendernos en consideraciones interesantes acerca del valor de las planchas sensibles de gelatina, sobre todo en su aplicación á la fotografía instantánea, para la medicina, la zoología, la química y otros ramos de las ciencias naturales; pero tiempo es ya de que volvamos á nuestro tema principal.

Después de lo referido al tratar del procedimiento fotográfico al colodio,

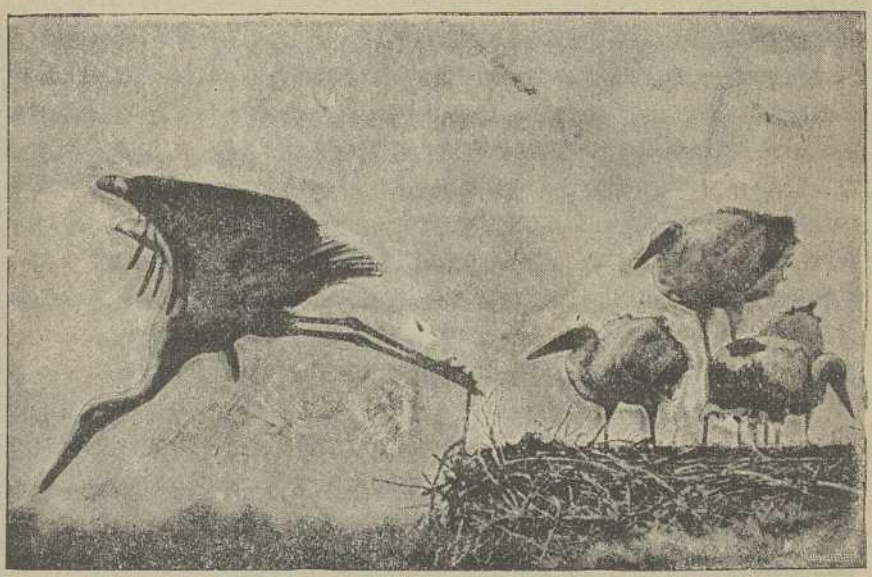


Fig. 373.—Fotografía instantánea de Anschütz.

recordarán nuestros lectores que, después de la exposición de la plancha en la cámara, hay que desarrollar la imagen todavía invisible, y que al efecto se somete laplancha á la acción de ciertos preparados químicos. En el procedimiento á la gelatina se verifica el desarrollo de las imágenes de diversos modos, siendo los más comunes los llamados *al hierro* y *alcalino piroagállico;* el primero es especialmente recomendable por su sencillez, mientras que con el segundo el precipitado resulta más fino y no es necesario tener preparadas grandes cantidades de las disoluciones que se empleen.

El efecto químico de dichos medios desarrolladores es enteramente el mismo que el del medio usado con las planchas de colodio. En virtud de la acción de la luz en la cámara fotográfica, las planchas gelatinosas al bromuro de plata, lo mismo que las de colodio, adquieren la propiedad, en todos los puntos heridos por aquélla, de poder atraer ó absorber la plata en estado de polvo finísimo

ó precipitado, que el medio desarrollador está llamado á producir, y que viene á constituir las partes oscuras ú opacas de la imagen negativa. Pero respecto de su composición, los medios desarrolladores empleados en las planchas preparadas al colodio líquido difieren esencialmente de los que sirven para las de gelatina al bromuro de plata: mientras que los primeros son de los dichos *ácidos*, es decir, que contienen una cantidad preponderante de ácido, los segundos son los llamados *alcalinos*, por predominar en ellos la propiedad especial de los álcalis.

Para desarrollar las planchas de gelatina «al hierro», como se dice, se emplea una mezcla de disoluciones de sulfato de hierro y oxalato de potasa; con la cual, y mediante las modificaciones y manipulaciones adecuadas, se pueden obtener imágenes negativas de todos grados, desde las más suaves hasta las más duras. Dicha mezcla se halla generalmente en uso en Alemania y Francia; pero en la patria del procedimiento con emulsión de gelatina, ó sea en Inglaterra, y también en los Estados Unidos, se practica más comunmente el desarrollo alcalino. El líquido empleado es una mezcla de las disoluciones de ácido piroagállico y de bromuro de amonio con amoniaco líquido y agua; cuanto más concentrado esté, tanto más duras ó pronunciadas resultan las imágenes negativas, mientras que, en la medida en que se diluye, éstas resultan cada vez más suaves y armoniosas. Además de los medios referidos, suelen emplearse otros varios, como el sulfito sódico, y el *hidroquinon* (que se extrae de la corteza de la quina y de las hojas de muchas plantas).

Las manipulaciones correspondientes al desarrollo de las imágenes sobre gelatina son análogas á las que describimos anteriormente al hablar del colodio. La plancha expuesta en la cámara se saca de su cajita en el cuarto oscuro y se sumerge, con la capa sensible hacia arriba, en la disolución consabida, moviéndola de un lado para otro, á fin de que el líquido corra igualmente sobre su superficie. Si la exposición tuvo lugar en condiciones normales, la imagen se desarrolla gradualmente al cabo de veinte segundos, mientras que dentro de tres minutos resulta perfectamente definida. Desde el momento en que la plancha se halla bajo la acción del medio desarrollador, no es preciso que el cuarto sea tan oscuro como antes, pudiéndose dejar penetrar sin cuidado la luz de color rojo de rubí.

Una vez desarrollada la imagen, hay que fijarla; á cuyo efecto se introduce la plancha, después de lavada con agua fresca, en la disolución de hiposulfito sódico, de que también hablamos anteriormente, dejándose en ella hasta que todo el bromuro de plata no alterado por la luz resulte completamente disuelto. Como la gelatina retiene la sosa mucho más tenazmente que el colodio, y como, de no eliminarse completamente dicha sal, se cristaliza luego en la superficie de la plancha, echando á perder la imagen, es preciso someter las planchas de gelatina (después de fijadas) á un lavado con agua mucho más prolongado (dos á

tres horas) del que necesitan las de colodio. Terminada esta operación, la negativa se deja secar naturalmente, es decir, sin emplear calor artificial, y, por último, se reviste con una capa de barniz como medio de protección.

Con las negativas sobre gelatina se obtienen las imágenes positivas de la misma manera que con las negativas sobre colodio; es decir, colocando un papel sensible debajo de las mismas y exponiéndolas á la luz, como explicamos más arriba. Pero se dan casos en que es preciso que la imagen positiva se forme sobre una masa transparente, por ejemplo, sobre vidrio, y semejantes fotogragramas positivos constituyen las llamadas *imágenes diapositivas*, que se emplean á los fines de la proyección, ó para ampliaciones.

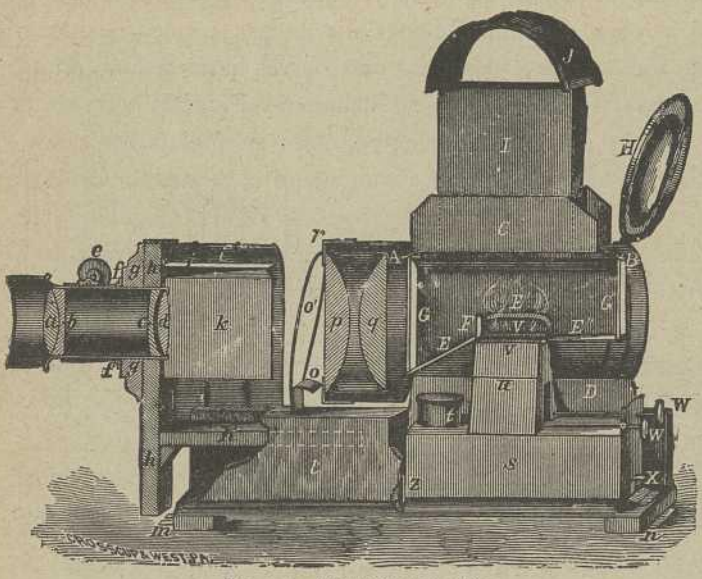


FIG. 374.—Aparato de proyección.

Llámase *proyección* á la imagen aumentada de un objeto pequeño, intensamente iluminado por la luz del sol ó una artificial. Para producir semejante imagen se emplea el aparato de proyección comúnmente conocido con el nombre de *linterna mágica*, y que en su forma más sencilla y barata sirve casi exclusivamente de juguete; pero en los últimos tiempos, y especialmente desde que se ha apelado á la fotografía para producir imágenes á propósito y el aparato en cuestión ha sufrido mejoras notables, el arte de la proyección viene desempeñando un papel importante como medio educador é instructivo. En la fig. 374 reproducimos un aparato de proyección, de construcción bastante sencilla y económica, que goza actualmente de mucha aceptación: el medio iluminador es una lámpara de petróleo, cuyo depósito *S* se halla en la base de la linterna, y cuyo mechero se ve en *E*; *p* y *q* son las lentes condensadoras que concentran la luz de la lámpara sobre la imagen transparente, que se coloca detrás del muelle *OO'* mientras que *a b c d e f g* señalan el objetivo que produce la imagen aumentada sobre el lienzo suspendido al efecto, ó sobre una pared blanca.

Como el lector comprenderá, las imágenes empleadas en semejantes aparatos tienen que ser transparentes, á fin de que los rayos que proceden de la fuente luminosa puedan atravesarlas; y cuanto mayor sea la transparencia de la ima-

gen, tanto más hermosa resulta su proyección sobre el lienzo. Muchas imágenes se dibujan ó pintan directamente sobre planchas de vidrio; pero los efectos más hermosos se obtienen por medio de los fotogramas de vidrio, ó imágenes diapositivas arriba mencionadas; las cuales se preparan de diferentes maneras, siendo muy recomendable el procedimiento á la albúmina, descrito en la pág. 789, porque las imágenes resultan sumamente delicadas; pero, por regla general, las diapositivas (como se llaman á secas) se producen hoy por medio del procedimiento gelatinoso al bromuro de plata.

En primer lugar, hay que procurar una negativa fotográfica del objeto de que se trata; debajo de ella se coloca una plancha de gelatina al bromuro de plata, encerrándose el conjunto en un marco de copiar, lo mismo que si se tratara de producir una imagen positiva ordinaria sobre papel. Pero el aparato no

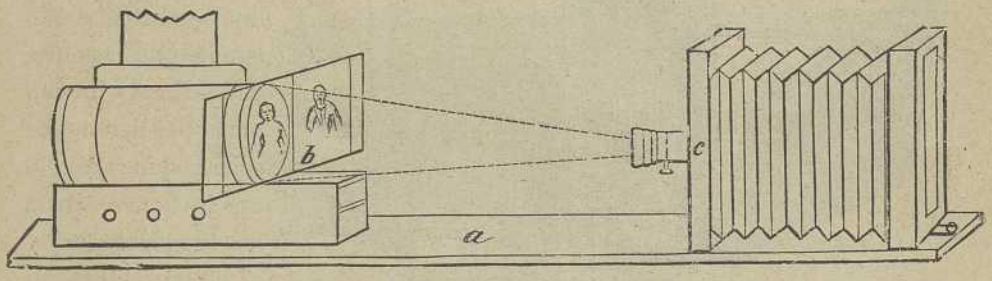


FIG. 375.—Producción de una imagen diapositiva.

se puede exponer á la luz del sol, porque las planchas de gelatina son demasiado sensibles, y es preciso iluminar con luz artificial, empleándose generalmente la de petróleo, con la que basta ya una exposición de uno á dos segundos. La imagen diapositiva se desarrolla entonces con la disolución antes referida de sulfato de hierro y oxalato potásico, pero bastante diluida, y después de agregarle un poco de bromuro de potasio, á fin de que la imagen resulte de un tono más suave y agradable. Se pueden obtener tonos diversos mediante el empleo de otros medios desarrolladores. Si la diapositiva ha de resultar más grande ó más pequeña que la negativa, la reproducción tiene que efectuarse en la cámara: la negativa se aplica, con su cara gelatinosa hacia adelante, contra las lentes condensadoras de un aparato de proyección, desprovisto de su objetivo, como indica la fig. 375, y enfrente de éste, á la distancia conveniente, se situa la cámara con una plancha sensible de gelatina, á la que hieren entonces los rayos de la lámpara de petróleo á través de la negativa.

La *ampliación* de las fotografías no se practica sólo á los fines de la proyección, sino que constituye una rama importante y muy cultivada de la fotografía ordinaria. Son pocos los retratos de tamaño natural de los que hoy se ven en todas partes, que se hayan tomado directamente con tales dimensiones; la mayoría de ellos resulta de la ampliación de negativas pequeñas, pues es mucho

más fácil obtener negativas buenas de tamaño reducido que de marca mayor; mientras que, siendo también siempre más perfectas aquéllas que éstas, su ampliación produce retratos grandes más hermosos que los que salen directamente de la cámara.

Son diversos los procedimientos en boga para la ampliación de que tratamos, y sólo describiremos el más usual, que se funda en el empleo de la llamada *cámara solar*, y con arreglo al cual la imagen positiva ampliada se obtiene sobre papel sensible, directamente de la negativa pequeña. Dicho aparato, ideado por *Woodward*, y que reproducimos en la fig. 376, se compone de un espejo plano, móvil (á la izquierda en el grabado), una gran lente condensadora, fija en un extremo de la cámara, y un objetivo acromático, en el extremo opuesto. La negativa, que se coloca en la cámara, se ilumina por los rayos solares que refleja el espejo á traves de la lente condensadora, y el objetivo proyecta la imagen en escala mayor sobre una hoja de papel sensible, sujeta á un bastidor y colocada en un cuarto oscuro. Este papel, cuya sensibilidad se debe á un baño de plata, se ennegrece bajo la influencia de la luz en todas las partes correspondientes á los claros de la negativa, y de este modo resulta una imagen positiva ampliada. En lugar de los rayos solares se emplea con ventaja la luz eléctrica con este aparato, como medio iluminador, puesto que es menos variable que la luz del sol. En vista de lo costoso de los aparatos necesarios, son pocos los fotógrafos retratistas que se dedican á ampliaciones; la mayor parte de ellos envían las negativas correspondientes á los establecimientos especiales, destinados exclusivamente al procedimiento en cuestión, y de los que existen muchos en el extranjero, recibiendo de ellos las imágenes ampliadas y acabadas.

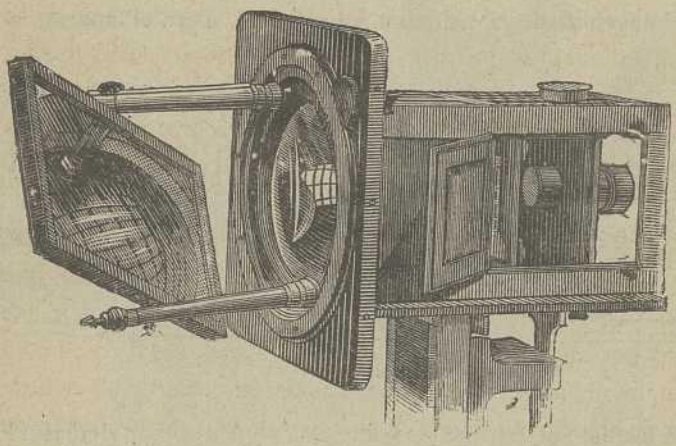


Fig. 376.—Cámara solar para ampliaciones fotográficas.

Es un hecho singular que, en medio de los muchos y grandes progresos realizados en el terreno negativo, digámoslo así, de la fotografía, la obtención de imágenes positivas por la copia de las negativas siga practicándose de la misma manera que en los albores del arte. Para la mayor parte de las fotografías que se producen actualmente, continúa empleándose el papel de albúmina, que, ora ostente una superficie brillante ó mate, ora aparezca blanco ó entonado, casi

siempre alberga en su seno el germen de una muerte prematura. La imagen fotográfica positiva se compone en parte de oro, que se precipita en sus contornos al someterse al baño de cloruro de oro, en parte de plata, también en estado de finísima división. Si después de fijada dicha imagen no se lava con el mayor cuidado, cosa que sucede rara vez, quedan en la capa superficial de papel pequeñas cantidades del hiposulfito sódico, que se descompone con el tiempo, dando lugar á la formación de un sulfuro amarillo de plata; de aquí que la mayoría de las fotografías hechas hace diez ó doce años, ora se hallen expuestas en las paredes de una habitación, ora se conserven en un álbum, aparecen pálidas y amarillentas al lado de las más recientes, y es fácil que al cabo de otros diez años concluyan las imágenes por desvanecerse completamente. Es verdad que no han faltado ensayos encaminados á obtener fotografías más duraderas, y se conocen diferentes procedimientos que dan resultados bastante satisfactorios; pero por desgracia su influencia se nota poco en el ramo de los retratos fotográficos, porque para el corto número de éstos que, por regla general, pide cada persona, el procedimiento antiguo con el papel de albúmina resulta siempre más económico.

Uno de dichos procedimientos para la producción de las imágenes positivas, ó sea la copia de las negativas, es el llamado *al colodio de cloruro de plata*, que supone el empleo de un papel especial, que se encuentra en el comercio, y que se hace sensible á la luz por medio de cloruro de plata disuelto en colodio, á cuyo efecto se mezclan, momentos antes de la aplicación, una disolución de nitrato de plata y otra de hipoclorito de cal. Las fotografías que se obtienen de este modo resultan algo más duraderas que las ordinarias, tienen un hermoso brillo, y reproducen con fidelidad los pormenores más delicados de las negativas, pero son más caras que las obtenidas por el procedimiento común.

La reciente introducción del llamado *papel rápido* señala un notable adelanto en la copia de negativas. Dicho papel se produce de un modo análogo al de las nuevas planchas sensibles, es decir, revistiéndolo con emulsión de gelatina al bromuro de plata, y es, por lo mismo, sumamente sensible á la luz, pudiendo emplearse, tanto para copiar en el aparato ordinario como para obtener ampliaciones. Cuando se copia con aquel marco, se ilumina la negativa, por regla general, artificialmente; por ejemplo, mediante el gas del alumbrado ó el petróleo, porque de tal modo se trabaja con mayor seguridad que con la luz del día; pero aun así conviene reducir el efecto de la luz, colocando entre ella y el marco de copiar una plancha de vidrio deslustrado. En este caso, la exposición dura de quince á treinta segundos, según la densidad de la negativa, mientras que si se prescinde del vidrio deslustrado, la imagen positiva se produce al cabo de medio segundo á tres segundos; de cualquier manera, como se ve, resulta una gran economía de tiempo cuando se compara este método con el ordinario.

Un procedimiento de copiar que da imágenes positivas realmente durade-

ras ó permanentes, consiste en la llamada *platinotipia*, inventada por *W. Willis*, de Londres; muy sencilla en la práctica, da también excelentes resultados, y, sin embargo, apenas la utilizan los fotógrafos de oficio, porque al público no le gustan las imágenes de superficie mate, ó sea sin brillo, y hay que bajar la cabeza ante el gusto general. En cambio, la platinotipia está muy en boga entre los fotógrafos por afición, gracias á su sencillez, pues el papel especial, cuyo empleo supone, se halla en el comercio, y con él se prescinde por completo del baño de oro, de la fijación de las imágenes y su lavado prolongado, necesitándose también pocos preparados químicos y utensilios.

El papel, que, como hemos dicho, se compra ya preparado, se halla saturado con oxalato de hierro y cloruro de platino y potasio, debiéndose evitar cuidadosamente su contacto con la humedad, á cuyo fin se conserva en cajas cilíndricas de hojalata. Se copia con él de la misma manera que con papel de albúmina, salvo que hay que obrar con mayor precaución, porque la operación se verifica tres ó cuatro veces más rápidamente que con este último. Antes de servir, el papel es de color amarillo de limón; pero durante su exposición en el marco de copiar, las medias sombras de la imagen resultan de color gris pardo, y las sombras más oscuras anaranjadas; después del desarrollo aparece la imagen de un negro puro, con las sombras más fuertes aterciopeladas, las medias sombras delicadas y las partes más claras de un blanco muy puro. En virtud de la acción de la luz, el peróxido de hierro del precipitado ferruginoso queda reducido á protóxido, que se disuelve instantáneamente, durante el desarrollo, en la disolución caliente de oxalato de potasio; al mismo tiempo, éste opera la reducción de la sal de platino en las partes del papel heridas antes por la luz, cuyo metal queda fijado en forma de finísimo polvo negro. Por esto, es decir, porque se componen de platino las fotografías en cuestión, resultan tan permanentes. Después de desarrolladas, se dejan estas imágenes en agua hasta que se haya disuelto el último resto de sales ferruginosas, y entonces se secan; en este estado, es decir, acabadas, son enteramente sin brillo, y recuerdan los grabados al agua fuerte. Existe en Londres una Compañía para la explotación comercial de la platinotipia, que también ha hallado propagandistas entusiastas en Viena.

LA FOTOGRAFÍA COMO MEDIO REPRODUCTOR

Aunque al principio se hallaba limitada la fotografía á la producción de retratos y vistas tomadas del natural, no podía tardarse mucho en utilizar los recursos de semejante arte en el terreno de la reproducción. Las pinturas y los grabados sobre cobre y madera se reproducían antes principalmente por medio del grabado en acero y la litografía, de cuyas ramas artísticas hemos tratado en el tomo I de esta obra; pero la fotografía las aventaja en rapidez y fidelidad,

pues reproduce en breve tiempo, y con la mayor exactitud, todos los pormenores característicos del original; y no es de extrañar que los fotógrafos de talento y editores de productos artísticos pensaran pronto en sacar partido de tales ventajas. En el año 1853 el célebre fotógrafo *Disdéri*, de París, propuso en un conocido libro la publicación extensa de reproducciones fotográficas de pinturas y esculturas célebres de todas las naciones y épocas, á fin de propagar el gusto por las bellas artes en las diferentes esferas sociales, desde el palacio á la humilde choza; y en 1855 añadió el ejemplo práctico al precepto, dando á luz su *Álbum de Versailles*. Su iniciativa no tardó en hallar imitadores en otros países cultos, y muchos fotógrafos de oficio y aficionados se dedicaron con afán á reproducir los tesoros artísticos que les eran accesibles. Sin embargo, una circunstancia vino á desconcertar á estos entusiastas, á saber: la reproducción tan singular de los colores por los preparados fotográficos; pues hallaron, por ejemplo, que el rojo de cinabrio y el de rubia, cuya mezcla da un mismo color, producen en la negativa fotográfica tonos enteramente distintos; que el amarillo, el rojo y el verde resultan en las reproducciones fotográficas demasiado oscuros, mientras que el azul, el violeta y el añil salen demasiado claros. En esto, es decir, en la representación de los efectos del color de las pinturas, la fotografía se mostraba deficiente; pero semejante inconveniente ha quedado al fin vencido, gracias á los esfuerzos de laboriosos investigadores.



FIG. 377.—Joseph Albert.

Los que más se han distinguido en este terreno son el doctor *Albert* (figura 377) y el profesor *Vogel*, en Alemania; el capitán *Abney*, en Inglaterra, y el norteamericano *F. G. Ives*; sus investigaciones han tenido consecuencias tan brillantes como inesperadas, y actualmente se encuentran en el comercio planchas preparadas con arreglo al llamado *procedimiento ortocromático*, que son de un valor incalculable para las reproducciones fotográficas, así como para la fotografía directa de vistas y objetos en los que campean diversos y vivos colores. Con semejantes planchas se obtienen los diferentes colores, aun los que antes no podían reproducirse, cada cual con el tono que le corresponde, con sólo

colocar delante del objetivo de la cámara fotográfica, durante la exposición, una plancha de vidrio amarillo. Tanto las planchas de colodio, como las de gelatina, pueden hacerse ortocromáticas, esto es, sensibles á los colores, bañándolas con la disolución de una materia colorante amarilla vegetal, como, por ejemplo, el extracto de cúrcuma, la eosina ó fluoresceína, la azalina, la clorófila, etc.; ó bien mezclando dicha materia colorante con la emulsión al tiempo de preparar ésta. Por o demás, el trabajo con semejantes planchas es el mismo que con las ordinarias.



FIG 378 —Reproducción fotográfica de una cromolitografía, según el procedimiento antiguo.



FIG. 379.—Reproducción fotográfica de una cromolitografía, según el procedimiento ortocromático.

Para que nuestros lectores se formen idea de los efectos que se consiguen por medio del procedimiento ortocromático, reproducimos en las figuras 378 y 379 dos copias fotográficas de una misma cromolitografía, la primera hecha por el procedimiento antiguo y la segunda con arreglo al nuevo, ó, para precisar más, con una plancha bañada con clorófila disuelta. Como se ve, la diferencia es notable: en la primera de estas imágenes (fig. 378), el sombrero de color escarlata, la pluma purpúrea, el abrigo de piel amarillo pardusco, el vestido azul oscuro y las carnes rosadas del original, se hallan todos reproducidos casi con el mismo tono oscuro y uniforme, sin que pueda distinguirse un color de otro; mientras que en la segunda imagen (fig. 379) cada color aparece con el tono especial que le corresponde, resaltando muchísimo mejor los detalles.

¡Qué triunfo para la fotografía, qué ventaja tan inmensa para la reproduc-

ción! De hoy más quedan derribadas sus barreras, y la vista se pierde por el campo que le está abierto; pues no sólo la fotografía por sí, sino también todos los procedimientos impresores que en ella estriban, sacan provecho de tan notable progreso. Las creaciones artísticas de nuestros maestros más insignes podrán reproducirse en toda su hermosura, y por mediación de la fotografía los tesoros de arte acumulados en Museos y Bibliotecas penetrarán en el seno de las familias; aparecerán publicaciones fotográficas de que no sólo gozará la generación presente, sino que servirán para que la posteridad sepa de lo que en nuestra época éramos capaces. Verdad es que, tratándose de generaciones venideras, es de la mayor importancia que semejantes fotografías ortocromáticas sean permanentes, esto es, que con el tiempo no palidezcan, pues esto las perjudicaría mucho más que á las ordinarias. Pero es el caso que, aun prescindiendo de la platinotipia, se producen ya fotografías realmente permanentes, si bien no son imágenes de plata, sino que consisten en pigmentos, carbón y tinta tipográfica. La impresión de semejantes imágenes no se verifica en el aparato de copiar, sino en la prensa, y de aquí la inmensa ventaja de que, además de su permanencia, estas imágenes pueden producirse en masa.

En el año 1856 ofreció el duque de Luynes un premio de 10.000 francos al que ideara un medio práctico para transformar las imágenes fotográficas en planchas capaces de servir para la impresión en la máquina tipográfica; y desde entonces se ha realizado por completo el pensamiento, mediante el procedimiento al carbón y los diversos métodos fotográficos como la heliografía, la albertotipia, etc.

Fox Talbot, el inventor de la talbotipia, se fijó en la particularidad que tiene el bicromato de potasa de formar con sustancias orgánicas, como gelatina, albúmina, goma, etc., y bajo la influencia de la luz, una combinación insoluble. *Poitevin* aplicó este descubrimiento á la preparación de papeles sensibles, saturándolos con disoluciones de sustancias orgánicas y de una sal de cromo. Después de seco el papel, se exponía á la luz detrás de una negativa fotográfica, y luego se revestía con tinta tipográfica; al sumergirse el papel en agua, soltaba la tinta en las partes no heridas por la luz, mientras que en las que habían sufrido la acción de ésta, quedaba la tinta adherida tanto más, cuanto más intensa había sido dicha acción. El procedimiento al carbón, de *Pouncy*, se funda en principios análogos; pues consiste en mezclar una disolución saturada de bicromato potásico con goma arábiga y carbón vegetal, finamente pulverizado, extendiendo la mezcla, mediante un pincel, sobre papel, que, después de exponerse á la luz bajo una negativa, se lava con agua. En todos los puntos donde la luz no ha obrado, se disuelve la mezcla y es arrastrada por el agua, mientras que en las partes iluminadas resulta insoluble y retiene el polvo de carbón. Posteriormente *Swan*, *Sawyer* y *Liesegang* han perfeccionado notablemente este procedimiento que en el célebre establecimiento fotográfico de Braun y Compañía, de Dornach (Alsacia) se practica con los mejores resultados.

En este *procedimiento al carbón* se emplea un papel especial que hoy se encuentra en el comercio, y se prepara revistiendo un papel fuerte, hecho á mano, con una mezcla de gelatina disuelta y un finísimo polvo de carbón de tinta china; operación que se verifica por medio de una máquina especial. En lugar del carbón, puede mezclarse la gelatina con una materia colorante orgánica cualquiera, según que se desee obtener una copia azul, verde, parda ó roja, siendo muy á propósito los colores de la anilina; semejantes papeles se llaman *papeles de pigmento*, los cuales, lo mismo que el de carbón propiamente dicho, se pueden conservar mucho tiempo después de secos, tornándose sensibles á la luz tan luego como la gelatina se combina con una sal á propósito, como el bicromato de potasa, el cromato de sosa y el de amoniaco á cuyo efecto es lo general emplear el primero.

El procedimiento mismo de que tratamos, consiste en lo siguiente: se prepara primero una disolución de 10 gramos de bicromato potásico en 250 gramos de agua destilada, se corta un pedazo del papel de carbón ó de pigmento del tamaño de la imagen de cuya copia se trata, y se sumerge por espacio de quince á veinte segundos en la disolución referida, con lo cual dicha sal penetra en la pasta, volviendo soluble la gelatina. La hoja de papel se fija entonces sobre una tabla por medio de chinches, y se deja secar en la oscuridad; después, y siempre en el cuarto oscuro, se coloca sobre la negativa fotográfica, con la superficie preparada vuelta hacia ésta, y se expone á la luz en el marco de copiar, de la manera ya descrita al hablar de las fotografías ordinarias. La duración de la exposición se reduce, por lo general, á la cuarta parte del tiempo necesario con el nitrato de plata; y á fin de determinarla de un modo práctico, se expone á la luz, al mismo tiempo, una tirita de papel de cloruro de plata; cuando ésta ha tomado un color achocolatado, puede darse por terminada la operación; pero también se emplean al efecto fotómetros de construcción especial, que indican con la mayor precisión cómo adelanta el proceso. Bajo la influencia de los rayos directos del sol, puede durar la exposición de cinco á ocho minutos; pero á la luz normal de un día claro se necesitan de veinticinco á cuarenta minutos.

En todos los puntos del papel de pigmento heridos por la luz á través de los claros de la negativa, se produce al cabo de la exposición una combinación sólida, insoluble en agua, de color gelatina, y bicromato potásico, mientras que en los puntos correspondientes á los oscuros de la negativa, la masa gelatinosa del papel queda más ó menos soluble, siéndolo completamente allí donde no penetra hasta ella luz alguna. Por consiguiente, una vez terminada la exposición, se somete el papel á un lavado que tiene por objeto disolver y alejar todas las partes de aquella masa que han quedado solubles, dejando aisladas las partes insolubles que constituyen la imagen. Para esto, se traslada el cuadro de copiar al cuarto oscuro, se saca el papel expuesto y se sumerge, con la cara preparada

hacia abajo, en un baño de agua fresca, á fin de que se sature con ésta y pueda adherirse á una plancha pulimentada de vidrio, sobre la que se extiende luego, oprimiéndola por medio de un pedazo de cautchuc. En realidad, el papel, ó, mejor dicho, la preparación gelatinosa con que se halla revestido, no se adhiere directamente al vidrio; pues por la razón que diremos luego, éste se reviste previamente con una capa muy tenue de cera disuelta en éter sulfúrico, ó de otra sustancia grasienta fina, que se recubre con otra capa de colodio. En la superficie de ésta, pues, queda adherida la cara preparada del papel en cuestión y entonces se sumerge la plancha en agua caliente á unos 46 grados; al cabo de algunos minutos se saca y se prueba con gran cuidado separar el papel, lo que se consigue fácilmente tan luego como aparece en torno del mismo una masa negra pegajosa, que procede de las partes solubles de la preparación. Después se aclara cuidadosamente con agua la plancha de vidrio, hasta alejar por completo la gelatina soluble, y de este modo acaban por quedar en la superficie del colodio las partes solubles de la masa que forman la imagen.

La última operación consiste en fijar definitivamente la imagen sobre papel ú otra materia, desprendiéndola de la plancha de vidrio, y las capas de cera y colodio de que se reviste ésta al principio, como dijimos más arriba, tienen por único objeto facilitar semejante trabajo. En efecto: una hoja del papel dicho de «reporte», que se encuentra en el comercio, se extiende sobre la imagen y oprime fuertemente para que se adhiera bien á su masa gelatinosa, y después de dejarla secar algunas horas, se puede retirar con facilidad, con la imagen firmemente fijada á ella. Las partículas de plata, procedentes del revestimiento del vidrio, que pueden aparecer en la superficie de la imagen, se quitan por medio de una esponja fina mojada en esencia de trementina. Las diferentes operaciones referidas consienten varias modificaciones, á cuyo pormenor no podemos descender; sólo añadiremos que las imágenes al carbón pueden fijarse definitivamente, no sólo sobre papel, sino también sobre otras muchas materias, como madera, cuero, seda, mármol, plata, etc.; hecho que permite aplicar este procedimiento á muchas ramas de la industria.

Constituye una combinación del procedimiento al carbón con la impresión metálica, el foto-relieve, inventado casi simultáneamente por *Woodbury* y *Swan*, pero perfeccionado más especialmente por el primero, por cuya razón se llama *woodburytipia*. Con arreglo á este procedimiento, se emplean como base hojas ó láminas bien pulimentadas de mica transparente que se pegan provisionalmente sobre una plancha de vidrio humedecida; la mica se reviste de una mezcla de gelatina disuelta en agua (1 de gelatina y 5 de agua) y una disolución acuosa de bicromato de amoniaco; y luego de seca la capa se separa la hoja de mica del vidrio, exponiéndola á la luz con la negativa fotográfica. Después de disueltas las partes de gelatina crómica no heridas por la luz, por medio de agua templada, queda en la hoja de mica una imagen bien definida y en relieve,

de la que puede obtenerse un cliché oprimiéndola fuertemente contra una plancha de metal blando, por medio de una prensa hidráulica; pues al cabo de la exposición, tal preparación resulta dura como la piedra. Con semejantes clichés y una gelatina coloreada con tinta china, obtenía Woodbury de 30.000 á 40.000 impresiones sobre papel por semana. Pero desde entonces ha modificado dicho inventor su manera de preparar los clichés, prescindiendo por completo de la prensa referida: extiende sobre la imagen en relieve de la lámina de mica una hoja finísima de estaño (alinde), y mediante un cepillo fino y suave la obliga á adaptarse á todas las desigualdades de aquélla; luego, por medio de un depósito galvánico de cobre ó una capa de resina fundida sobre la superficie de estaño, obtiene un cliché que, después de separado de la imagen, puede emplearse del modo usual en la máquina tipográfica. A este procedimiento modificado se le da el nombre de *estanotipia*.



Fig. 380.—Niépce de Saint-Victor.

Los procedimientos referidos producen imágenes permanentes, es verdad, pero que no tienen la definición y los tintes hermosos de las de cloruro de plata. A éstas se aproximan más las imágenes de urano de *Niépce de Saint-Victor* (fig. 380), sobrino del inventor de la fotografía, y dotado del mismo espíritu de investigación. Nacido el año 1806 en Saint-Cyr, cerca de Chalons-sur-Saone, entró pronto en el ejército, y en medio de la vida aburrida del cuartel vino un leve accidente á abrirle nuevo campo para el ejercicio serio de sus facultades.

Es el caso que cierto día una gota de limón produjo una mancha en sus pantalones teñidos con rojo de rubia, y después de probar en balde diferentes medios para quitar la mancha, logró restablecer el color primitivo del paño mediante una gota de amoniaco. Esto le llamó mucho la atención, impulsándole á estudiar más de cerca la acción de los ácidos sobre las materias colorantes, y poco tiempo después le pusieron los conocimientos adquiridos en condiciones de prestar un buen servicio, en virtud del cual el Gobierno economizó más de 100.000 francos. Tratábase de cambiar el color de los galones y cuellos del uniforme de trece regimientos de caballería, y los industriales pedían seis francos

por cada uniforme, cuando Niépce propuso un medio enteramente nuevo, mediante el cual se reducía el gasto á cincuenta céntimos; no le concedieron otra recompensa que la promesa de ser trasladado á París, y con esta esperanza prosiguió sus estudios, llegando á saber bastante de química para poder continuar las investigaciones de su tío. Sin embargo, le faltaban libros y otros medios que sólo podía ofrecerle la capital, y únicamente cuando, al cabo de tres años de espera, obtuvo el traslado tan anhelado, comenzaron sus descubrimientos, que deben considerarse como otros tantos sillares puestos al grandioso edificio de la fotografía.

Entre esos sillares contamos la *uranografía*. El papel empleado en este procedimiento no necesita preparación especial; pero antes de servir es preciso guardarlo algunos días en la oscuridad. Para hacerlo sensible á la luz se extiende durante breves minutos sobre una disolución de nitrato de urano en agua, mojando con ésta una de sus caras, y entonces se seca en la oscuridad, pudiéndolo conservar bastante tiempo. Al exponer á la luz una hoja de este papel, en unión con una negativa fotográfica (de diez minutos á una hora, según los casos) aparece una imagen positiva débil, que puede reforzarse sumergiéndola en un baño de acetato de plata ó de clorido de oro; después se fija la imagen mediante un simple lavado en agua fresca. El proceso químico es el mismo que en los casos anteriormente referidos; es decir, que las partes de la sal de urano heridas por la luz se tornan insolubles, mientras que las demás no se alteran. Las imágenes de urano son inalterables por medios químicos, resistiendo hasta una disolución de cianuro potásico en ebullición; pero por el procedimiento que nos ocupa se obtienen difícilmente imágenes fuertes; y como no está probado que el agua disuelva el último resto de sal soluble, no se puede afirmar con certeza absoluta que las imágenes sean en realidad permanentes.

Antes de Niépce, el inglés *Burnett* (1857) había empleado el urano, agregando su nitrato al colodio con que bañaba ó revestía el papel, y en vista de los datos de este investigador, el fotógrafo *Wothly*, de Aquisgrán, ideó un procedimiento interesante que se llamó *wothlytipia*. El papel empleado se satura primero con *arrowroot* (la fécula muy fina de los tubérculos de diferentes especies de *maranta*), luego se satina, y se reviste entonces con colodio, que contiene disueltos los nitratos de urano y de plata. Después de la exposición á la luz, se baña la copia con ácido acético diluido para desarrollar la imagen, se lava con agua y se sumerge en un baño de oro, y luego se fija la imagen por medio del hiposulfito de sosa, del que no es posible prescindir como al principio creía el inventor. De aquí que, aun resultando tan hermosas, las wothlytipias sean menos permanentes que las uranotipias de Niépce. Existe además toda una serie de procedimientos que llenan más ó menos el objeto; pero ninguno de sus productos alcanza la hermosura de las imágenes obtenidas con el cloruro de plata y el procedimiento con albúmina, y en muchos casos resultan además muy desiguales entre sí los de una misma manera de proceder.

Pero el procedimiento con colodio al cloruro de plata sólo puede sostenerse para ediciones ó tiradas demasiado reducidas en las que tenga cuenta hacer gastos de mayor cuantía y la copia por medio de papel de albúmina, aun prescindiendo de otras desventajas, resulta demasiado lenta. Es preciso, pues, recurrir á la imprenta, y en la reproducción en masa de las imágenes fotográficas por medio de la máquina litográfica está el porvenir de la fotografía.

Esto lo había ya reconocido Niépce, el viejo, cuyos esfuerzos se encaminaron al principio á producir imágenes útiles para la imprenta. Al efecto, revestía las planchas metálicas que le servían de base, con asfalto ó betún de Judea, cuya sustancia, después de expuesta á la luz y en virtud de los cambios químicos que esta opera en su masa, se torna insoluble, resistiendo entonces á los líquidos que lo disolvían antes de semejante exposición. Entre estos líquidos se cuentan más especialmente ciertos aceites volátiles, como, por ejemplo, el de alhucema, en el cual se disuelve con facilidad el asfalto; pero después de sometido parcialmente á la acción de la luz, el aceite no ataca ya las partes heridas por ella, disolviendo tan sólo las que quedaron protegidas contra la influencia luminosa. Este fenómeno, del que dicho inventor supo primero sacar partido, constituye todavía el fundamento de un procedimiento importante de la heliografía moderna. Niépce hacía transparente la imagen que trataba de reproducir, mediante un baño de barniz, hecho lo cual la extendía sobre una de sus planchas preparadas con asfalto, y exponía el conjunto á la luz del sol, la cual penetrando á través de los claros del dibujo ó grabado, impresionaba las partes correspondientes del asfalto, haciéndolas insolubles, mientras que todas las correspondientes á las líneas y puntos, ó sea al dibujo mismo que interceptaba la luz, quedaban solubles por no haber sufrido la acción de ésta. Por consiguiente, al untar después el asfalto con aceite de alhucema, sólo se disolvían las partes últimamente nombradas, de modo que el dibujo ó la imagen se hallaba representada por líneas ó puntos del metal de la plancha, que quedaban al descubierto. Por medio del agua fuerte era fácil morder el metal en sus partes libres, y de este modo, después de quitar el asfalto insoluble, Niépce obtenía planchas á propósito para la impresión en la prensa del grabador. Sin embargo, los resultados fueron tan poco satisfactorios, que el inventor acabó por abandonar semejantes ensayos.

Durante el transporte de alegría que acogió y siguió al invento de Daguerre, nadie se ocupaba ya de la heliografía, cuando cierto día cundió la noticia de que el doctor *Donné* había logrado preparar una plancha daguerreotípica para la impresión, mordiéndola con ácido. Naturalmente, esto hubo de llamar mucho la atención; pero por el pronto las grandes esperanzas despertadas fueron prematuras, pues si bien Donné había conseguido atacar la plata por medio de ácido hidroclórico diluído, sin dañar la imagen de mercurio, produciendo una plancha capaz de servir en la imprenta, la suma delicadeza de la

capa mercurial impedía un mordido en regla, es decir, relativamente profundo, de modo que al cabo de imprimir un número muy corto de ejemplares, la plancha quedaba inútil. Otro investigador francés, llamado *Fizeau*, obtuvo después resultados mucho más satisfactorios, dorando galvánicamente la plancha antes de morderla con el ácido, y revistiéndola, después de mordida, con un depósito galvánico de cobre, á fin de hacer la imagen más resistente en la imprenta; pero semejante procedimiento tenía el inconveniente de ser demasiado complicado é inseguro, y no halló aplicación en la práctica. *Berra*, de Viena, hizo por entonces ensayos análogos, pero sin alcanzar mejor éxito.

Niépce de Saint-Victor fué más afortunado que su tío en sus ensayos heliográficos, y en 1859 publicó los resultados de sus investigaciones en forma de un tratado práctico. Su procedimiento puede resumirse en los siguientes términos: revestía una plancha limpia y pulimentada de acero con un barniz compuesto de bencina, aceite ó esencia de cáscara de limón y betún de Judea, y después de seca la tenue capa, la cubría con un fotograma positivo de la imagen que trataba de reproducir, y exponía el conjunto á la luz. Después disolvía las partes del barniz no alteradas por la luz con una mezcla de nafta y bencina, la aclaraba con agua y la secaba, con lo cual terminaba la primera parte del procedimiento. Procedía luego al mordido de la plancha por medio de ácido nítrico, muy diluído con agua y alcohol, ó bien mediante una disolución saturada de yodo en agua, la cual surtía mejor efecto en determinados casos; y cuando el mordiente había obrado el tiempo necesario, lavaba con agua la plancha, dejándola lista para la imprenta. De esta manera logró Niépce preparar planchas que daban impresiones excelentes sin ser retocadas por el grabador.

El inglés Fox Talbot, que mencionamos también anteriormente, ideó un procedimiento análogo, sólo que, en lugar del betún de Judea, empleaba el bicromato de potasa en combinación con gelatina. Después de la exposición, se mordía la imagen en el acero por medio de una disolución acuosa de clorido de hierro; las partes de la gelatina crómica heridas antes por la luz, formaban naturalmente una combinación insoluble, que rechazaba el mordiente, de modo que éste sólo atacaba el metal en los puntos donde la gelatina había quedado sin alteración. Las hermosas estampas expuestas por Talbot en la Exposición de 1862. demostraron lo práctico de su procedimiento.

Por otra parte, *Pretsch*, de Viena, se esforzaba por alcanzar el mismo resultado combinando las dos artes de la fotografía y la galvanografía. Revestía una plancha de vidrio con una mezcla de bicromato de potasa y gelatina, y producía en la superficie una imagen mediante la acción de la luz. A fin de obtener un relieve, utilizó la propiedad que tiene la gelatina de hincharse al absorber agua; propiedad que pierde cuando, mezclada con bicromato potásico, se expone á la luz. Mojaba, pues, su plancha con agua; las partes de la capa correspondientes á la imagen no sufrían alteración, mientras que las demás, no influidas por la

luz, se elevaban. Después moldeaba la imagen con gutapercha, obteniéndola así en relieve, salpicaba la superficie de esta materia con polvo finísimo de carbón, á fin de prestarle la conductibilidad eléctrica de que carece, y, por último, revestía dicha superficie con un precipitado de cobre, produciendo gálvanos á propósito para la imprenta. De la bondad de este procedimiento también pudo cerciorarse el público que visitó la referida Exposición londonense de 1862.

Todos los procedimientos heliográficos, considerados desde el punto de vista de su aplicación práctica, pueden clasificarse en tres grupos, según que la plancha destinada á la prensa se obtengan por medio de mordientes, por el moldeado ó por la reacción físico-química entre dos materias. Con arreglo al primer modo, la imagen de cuya reproducción se trata queda grabada en la plancha metálica por medio de un ácido; en el segundo caso, la imagen en relieve, obte-



FIG. 381.—Imagen tipográfica producida con una plancha de Baldus.

nida mediante la exposición de una capa de gelatina crómica bajo una negativa, y la disolución parcial consiguiente se moldea por medio del precipitado galvánico ú otro modo análogo, obteniéndose una imagen exactamente igual, pero en rebajo; los procedimientos heliográficos correspondientes al tercer grupo se fundan en el principio de la litografía.

Al primer grupo, en el que el ácido desempeña el papel del buril, pertenecen los procedimientos ya referidos de los dos Niépce, tío y sobrino, así como el de Talbot. Otro muy original é ingenioso se debe á *Baldus*, que se funda, en primer término, en el empleo de una sustancia muy sensible á la luz, compuesta principalmente de cromo y amoniaco. Con ella se reviste una plancha de cobre, y en estado todavía húmeda la capa se expone á la luz, durante algunos minutos, bajo una negativa fotográfica; los rayos del sol secan en el acto la capa en los puntos que hieren, dejando una imagen débil de color pardo claro; pero al mismo tiempo dichos puntos sufren una alteración, merced al proceso químico que camina á la par que el secamiento, es decir, que las partes sombreadas se cristalizan, prestando mayor ó menor porosidad á la imagen y poniéndola en disposición de sufrir el mordido con una disolución de clorido de hierro. Las heliografías producidas de este modo por Baldus, se parecen á grabados al agua tinta, distinguiéndose por la delicadeza de sus medios tonos. También pueden obte-

nerse por dicho procedimiento planchas en relieve para la imprenta, como lo demuestra la fig. 381.

En la Exposición parisiense de 1867 mereció un primer premio una preciosa estampa heliográfica que representaba el castillo de Maintenon; no se diferenciaba de un grabado al aguatinta, y se debía á un procedimiento nuevo ideado por *Garnier*, quien supo sacar partido de una particularidad de ciertas capas semifluidas, en cuya composición entra por mucho la miel ó la melaza; particularidad que consiste en que dichas mezclas absorben la humedad del aire mientras permanecen solubles. Si, después de hacerla sensible á la luz por medio de una sal de cromo ó cosa análoga, se expone una capa semejante bajo una negativa fotográfica, los puntos heridos por los rayos solares, es decir, los correspondientes á los claros de la negativa, se endurecen al cabo de algún tiempo, mientras que los no influidos por la luz conservan su estado higroscópico; y si entonces se salpica la capa con resina finamente pulverizada, es evidente que el polvo se adherirá á las partes húmedas, mientras que las restantes lo rechazarán más ó menos, según el grado en que fueron heridas por la luz. En este estado, se calienta un poco la plancha metálica que sirve de base á la capa en cuestión, á fin de que la resina se funda y adhiera mejor, y entonces se procede á morder con ácido las partes más ó menos libres de resina; hecho lo cual, y disuelta esta última sustancia por medio de un aceite ó esencia volátil, queda una plancha metálica con una imagen útil para la prensa del grabador.



FIG. 382.—Heliografía de Poitevin.

Según el procedimiento de *Poitevin*, se reviste una plancha de cobre con una capa de gelatina crómica, y se expone á la luz bajo una negativa en el marco de copiar; las partes de la capa influidas por la luz se hacen insolubles, y basta llevar la plancha á un cuarto oscuro y lavarla con agua caliente para disolver las partes solubles, dejando el cobre al descubierto en los puntos correspondientes á la imagen. Una disolución de clorido de hierro vertida sobre la

plancha obra como mordiente, atacando el metal donde no se halla protegido por la gelatina; y después de quitar ésta por un medio mecánico, se puede entintar la plancha mordida como un grabado en cobre ordinario, y proceder á la estampación (fig. 382).

En la imprenta imperial de Berlín se practica todavía una modificación de este procedimiento, que se funda en el dicho al carbón, descrito anteriormente (página 822). Se espolvorea nna plancha de cobre con asfalto finamente pulverizado, que se fija mediante el calor de manera que el metal presenta una superficie graneada. Con la negativa fotográfica que se trata de reproducir, se prepara primero una imagen positiva sobre vidrio, la que se copia sobre papel preparado con gelatina de carbón, mediante una nueva exposición á la luz; el papel se sumerge entonces en agua fría para ablandarlo, y se oprime contra la superficie preparada de la plancha de cobre. Para desarrollar la imagen, todavía invisible, se moja el papel con agua caliente, con lo que se disuelven las partes gelatinosas no heridas por la luz; de modo que, al retirarse el papel, queda adherida á la plancha una imagen negativa de gelatina crómica. En este estado se procede al mordido con la disolución de clorido de hierro, empleando al principio un baño concentrado y después disoluciones cada vez más diluídas; el mordiente empieza por corroer sólo las partes de la plancha relativamente libres de gelatina y que corresponden á las sombras más fuertes de la imagen; pero al introducirse la plancha en el baño diluido, penetra el líquido á través de las partes relativamente espesas de la gelatina, produciendo los semitonos, mientras que donde la gelatina se encuentra más densa, el metal queda protegido. Las planchas preparadas del modo descrito no consienten, sin embargo, un mordido profundo, y, por lo mismo, sólo se prestan á la estampación de corto número de ejemplares.

El procedimiento del moldeado, que caracteriza los llamados heliográficos, ó del segundo grupo, se practica en el ya descrito de Pretsch. La particularidad repetidamente mencionada de la gelatina crómica no se utiliza en semejantes métodos para morder la plancha, sino para obtener un molde de yeso, cobre galvánico, etc. La imagen en relieve de dicha gelatina que sirve de base ó modelo, se puede producir de dos maneras: bien sumergiendo la capa, después de la exposición á la luz, en agua fría, por cuyo medio las partes más ó menos protegidas contra la influencia luminosa se hinchan proporcionalmente, ó bien introduciendo la capa en agua caliente, que disuelve y aleja dichas partes. En el primer caso se obtiene una imagen en relieve, mientras que en el segundo resulta una en rebajo. Pretsch y Poitevin fueron los primeros que se ocuparon del desarrollo de este procedimiento del moldeado, y á ellos siguió *Placet*, cuyas estampas merecieron los mayores elogios; quienes durante los últimos años lo han llevado hasta la mayor perfección, han sido Scamoni, Goupil y el Instituto imperial geográfico-militar de Viena.

Scamoni, empleado en el establecimiento imperial de San Petersburgo para el grabado y la estampación de títulos de la Deuda y papeles análogos, había observado que una negativa fotográfica ordinaria no presenta una superficie enteramente llana, sino que sus partes oscuras aparecen más ó menos realzadas sobre el vidrio, constituyendo un relieve muy poco pronunciado. Trató, pues, de dar á éste mayor realce, lo que consiguió tratando la negativa recién tomada y desarrollada con ácido piroagállico y una disolución de plata, es decir, promoviendo la precipitación de nuevas porciones de plata en polvo sobre la imagen primitiva, que quedaban adheridas á ella, hasta obtener un relieve casi tan alto como las depresiones de un grabado en cobre. Este relieve negativo se reviste, según el procedimiento de Scamoni, con una tenue capa de grafito, que sirve de conductor eléctrico, y entonces se produce en el aparato galvánico la deposición de la correspondiente capa de cobre; operación que, según el espesor que se quiere dar al metal, dura de tres á seis días. Las líneas, ó sea el dibujo, de la plancha galvanoplástica aparecen en rebajo, y, por lo tanto, ésta sólo puede emplearse directamente en la prensa del grabador; para producir la imagen correspondiente en relieve para la máquina tipográfica hay que proceder con arreglo á la quimigrafía, de que hablamos en el tomo I de esta obra, al tratar del grabado sobre madera.

La célebre imprenta artística de *Goupil* (hoy Boussod, Valadon y Compañía). en Asnières, cerca de París, cuyas estampas son de las más acabadas que se producen, forma sus relieves con gelatina crómica, á la que se agregan, según los casos, diferentes materias en forma de finísimo polvo, procediendo con arreglo al modo de Woodbury, de que hablamos más arriba. Los clichés de plomo obtenidos por medio de la prensa hidráulica, y que resultarían demasiado blandos para la estampación, se convierten en planchas de cobre por medio de la galvanoplastia. En la Exposición de Bellas Artes de Viena, de 1883, llamaron extraordinariamente la atención los *heliograbados de color*, procedentes del establecimiento de Goupil; pero si bien son dignos de los mayores elogios y representan la mayor perfección alcanzada hasta aquí en el género, no nos interesan tanto en este lugar, puesto que los colores al óleo se extienden á mano sobre la plancha heliográfica acabada, y el éxito no depende de ningún procedimiento especial, sino únicamente de la habilidad y experiencia del estampador.

También el Instituto Geográfico Militar de Viena, bajo la dirección tan ilustrada del teniente coronel *Volkmer*, se dedica á la heliografía, según los procedimientos de Goupil, pero aplicándola más especialmente á la reproducción de los mapas topográficos del Estado Mayor. La inmensa economía en tiempo y dinero que de tal modo se consigue, se desprende del hecho de que, desde 1872 á 1884, produjo el Instituto cerca de 3.000 planchas heliográficas, de las que unas 550 corresponden al nuevo mapa de Austria-Hungría en la escala de 1 por 75.000 de haberse querido ejecutar por medio del grabado en cobre, y dada la esca-

sez de grabadores capaces, semejante trabajo duraría varias generaciones.

Los procedimientos heliográficos del tercer grupo son aquellos en que la impresión no es un proceso puramente mecánico, sino la consecuencia de una reacción físico-química entre dos materias, cual sucede con la litografía. Las grasas y resinas fluidas se adhieren una á otra; pero rechazan el agua pura ó el agua de goma cuando se ponen en contacto con ellas. En la litografía, como tuvimos ocasión de explicar en el tomo I de esta obra, se dibuja la imagen con un lápiz grasiento, ó con creta, sobre una piedra caliza porosa, que absorbe la humedad en el acto; se cubre entonces con una disolución de goma y ácido nítrico diluídos, y después de seca se lava con esencia de trementina, desapareciendo seguidamente de la piedra; mas si ésta se humedece con agua y se pasa sobre ella el rodillo con tinta, reaparece la imagen con todos sus detalles. Este fenómeno estriba en que, al pasar la esponja, las líneas grasientas del dibujo rechazan el agua, mientras que, al entintar la piedra, las partes intermedias, saturadas de agua, rechazan á su vez la tinta grasa. En este principio se fundan los diferentes procedimientos heliográficos llamados «de reacción», y en primer lugar la *fotolitografía.*

La piedra litográfica se empleó ya en 1852 en ensayos heliográficos, es decir, antes de que se pensara en utilizar planchas de acero y cobre en la reproducción de fotografías. Muchos investigadores célebres, entre ellos Poitevin, se ocuparon de fotolitografía; pero al principio no dieron sus ensayos resultados satisfactorios. *John Osborne*, de Melbourne (Australia), fué el primero que resolvió el problema, en el año de 1859: untó papel albuminado con una disolución de bicromato de potasa y gelatina, y la imagen resultante de la exposición á la luz la trasladó á la piedra. El mismo procedimiento, ó al menos uno que coincide esencialmente con el de Osborne, fué inventado independientemente por *E. J. Asser*, de Amsterdam; y como ha hallado una aplicación importante en la fotocincografía del coronel James, parécenos del caso describirlo sucintamente.

Asser reviste papel sin encolar con una disolución de almidón en agua, y luego de secarlo, lo extiende sobre una disolución acuosa de bicromato potásico. Después de seco el papel en un cuarto oscuro, lo expone á la luz detrás de una negativa fotográfica bien desarrollada, obteniendo una hermosa imagen de color pardo sobre un fondo anaranjado, que fija lavándola con agua; hecho lo cual extiende la hoja sobre una plancha de mármol fuertemente calentada, poniéndola de este modo en condiciones de admitir con facilidad la tinta tipográfica. Después de humedecer un poco la hoja y entintarla, la coloca con la tinta hacia abajo sobre una piedra litográfica, haciendo pasar ambas por la prensa, de cuya operación resulta en la piedra una imagen bien definida, que puede reproducirse de la manera ordinaria, esto es, como una litografía común. El año 1860 se adoptó este procedimiento por la Comisión del gran mapa topográfico de la Gran

Bretaña, y desde entonces se ha modificado y perfeccionado notablemente. El reporte de la imagen no se verifica hoy sobre la piedra litográfica, sino sobre una plancha de cinc, en cuya superficie se muerde ó graba por medio de una disolución de ácido fosfórico en agua de goma. La primera aplicación práctica de la *fotocincografía*, como se llama al procedimiento modificado, se debe al coronel *James*, director de dicho Instituto topográfico; y la fig. 383 ofrece un ejemplo de sus productos, siendo la copia, hecha en 1863, de un grabado en cobre.



FIG. 383.—Fotocincografía del coronel James.

Los procedimientos referidos hasta aquí, de la heliografía, la fotolitografía y fotocincografía, han alcanzado importancia para las Bellas Artes y la ciencia, en el hecho de ofrecer medios rápidos para la reproducción fiel de dibujos y grabados. Pero hasta recientemente no se podía imitar la suavidad de los tintes fotográficos, la transición natural entre luces y sombras, la delicadeza de los semitonos, por medio de la fotolitografía ó la fotocincografía, cuyos procedimientos sólo se prestaban á la reproducción de imágenes compuestas de rasgos, líneas ó puntos, sin presentar sombras ó tonos (manchas) continuos. Pero también este problema de la reproducción, mediante la piedra litográfica, de los semitonos ó las medias tintas, ha sido felizmente resuelto en los últimos tiempos; pues por el nuevo procedimiento de *Angerer y Goeschl*, de Viena, se reproducen litográficamente fotografías tomadas del natural, lo mismo que copias de pinturas, aguadas, etc., grabados y dibujos de todas clases y «maneras», conservando con la mayor fidelidad todos sus caracteres. Las estampas ostenta un grano tan fino, que no molesta la vista en lo más mínimo, y, por lo demás, resultan de una claridad y definición extraordinarias. La casa de Sprague y Compañía, de Londres, practica hace tiempo un procedimiento análogo, bajo el nombre de *ink-photo*; pero no da resultados tan satisfactorios como el de Viena.

Los procedimientos fotolitográficos y fotocincográficos aventajan á los

demás medios de reproducción por la prensa, por su mayor baratura, al menos tratándose de grandes tiradas; y por esto, lo mismo que en vista de la excelencia artística de sus productos, prestan señalados servicios á los editores de publicaciones ilustradas. Es lástima, sin embargo, que en el acto del reporte, pierda la imagen fotográfica su caracter original, y que las estampas nos revelen á primera vista que proceden de la piedra y no son más que copias. Pero existe un procedimiento—la llamada *albertotipia*—cuyos productos conservan el carácter de las fotografías originales hasta el punto de que es difícil, en determinados casos, distinguirlos de éstas.

Muchos y laboriosos ensayos de investigadores como Mungo Pontou, Becquerel, Fox Talbot, Tessié du Motay y Maréchal, fueron necesarios para prestar á este procedimiento condiciones de vida; pero quien más contribuyó á dárselas fué el fotógrafo *José Albert,* de Munich, que en 1866 sorprendió al mundo artístico con los primeros productos del método que lleva su nombre. No tardaron en propagarse las maravillas de la albertotipia, y de todas partes acudieron fotógrafos á la capital bávara para ser iniciados por el inventor, á trueque de sumas cuantiosas, en los misterios del nuevo procedimiento. Al principio no fué difícil guardar el secreto; pero después que lo hubieron adquirido personas de diversas nacionalidades y que empezó á practicarse en muchas partes, acabó por ser conocido de todos los que se ocupan de las artes reproductoras.

En el fondo, la albertotipia estriba también en el principio de la litografía; pero, con arreglo á ella, la estampación no tiene lugar mediante la piedra ó el metal, sino directamente sobre la base del relieve de gelatina. Una mezcla de sales crómicas con gelatina, después de expuesta á la luz, tiene, además de la insolubilidad, la propiedad de absorber colores grasos, en una medida exactamente proporcional á la de la influencia luminosa sufrida, y de cederlos, digámoslo así, al papel, en la misma proporción, cuando se hace pasar por la prensa litográfica. Si una plancha de vidrio pulimentado se reviste en la oscuridad con una disolución de semejante gelatina crómica, secándose luego y exponiéndose á la luz detrás de una negativa fotográfica, los rayos luminosos, atravesando con mayor ó menor intensidad las diferentes partes de la negativa, producen las modificaciones consiguientes en la capa gelatinosa, y, por ende, una imagen positiva correspondiente en un todo á aquélla.

El revestimiento de gelatina crómica se compone, para la albertotipia, de dos capas, que se preparan del modo siguiente: la plancha de vidrio pulimentado se reviste primero con una mezcla de gelatina, bicromato potásico y agua destilada, á la que se añade previamente, bajo una temperatura de 50 á 60 grados, 80 gramos de blanco de huevo bien batido. La capa se extiende uniformemente por medio de un pincel fino y ancho de pelo, y se seca colocando la plancha en una caja metálica, caliente hasta los 50 grados. Después de seca, la cara inferior ó libre de la plancha se expone á la luz del día, sin negativa, durante

unos diez minutos, consiguiendo de este modo que la parte inferior de la capa gelatinosa se adhiera fuertemente al vidrio, mientras que su superficie conserva una consistencia todavía bastante pegajosa, para unirse con la segunda capa de gelatina, destinada á recibir la imagen, y que se extiende sobre la plancha en el cuarto oscuro. La disolución empleada para esta segunda capa contiene, además de gelatina y agua destilada, varias sustancias orgánicas é inorgánicas en proporciones determinadas, como resina benzoica, bálsamo de tolú, lupulina, bromuro de cadmio y yoduro de amonio. Esta segunda capa se seca igualmente en la caja referida, protegiéndola con cuidado contra la influencia de la luz, y entonces se expone á ésta bajo una negativa fotográfica, hasta que empiezan á aparecer en la superficie de la gelatina contornos débiles de la imagen. En este estado, se sumerge la plancha en cuestión en agua templada hasta que, hinchándose las partes correspondientes (no iluminadas) de la gelatina, se produce un relieve de la imagen; la capa se vuelve á secar, y posee entonces la propiedad ya referida de tomar la tinta tipográfica en la misma medida en que fué influida por la luz á través de la negativa. Además, al sacarse del agua, dicha capa ha perdido toda su blandura primitiva, constituyendo una masa tan dura como la piedra; de modo que no sólo puede entintarse impunemente con el rodillo ordinario, sino que resiste la estampación en la prensa litográfica.

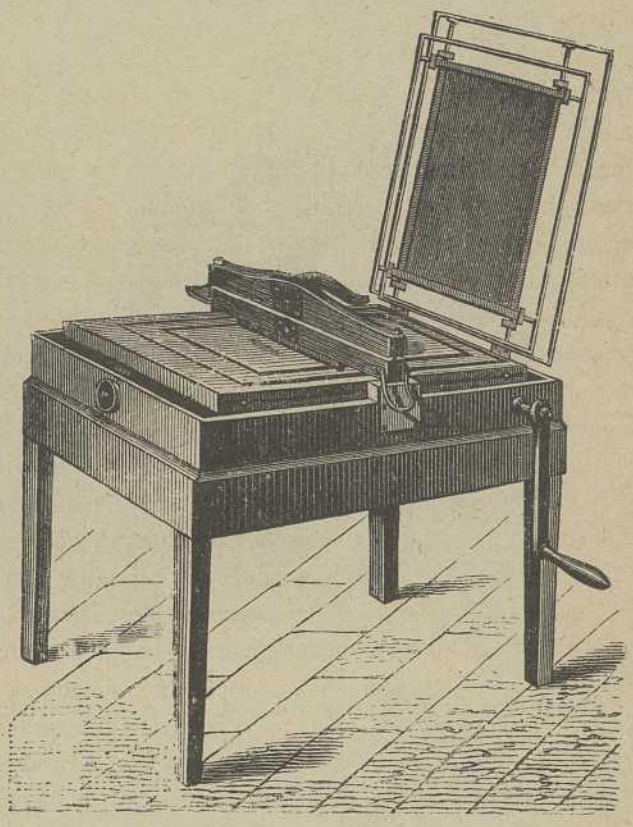


FIG. 384.—Prensa albertotípica de mano.

Para poder proceder á ella sin temor de romper la plancha de vidrio, se adhiere ésta herméticamente, mediante algunas gotas de agua, á la superficie de otra plancha de vidrio de igual modo pulimentada y fija con yeso sobre una piedra litográfica; el conjunto se coloca en la prensa y la capa gelatinosa se entinta por medio de un rodillo de cuero, procediéndose entonces á la estampación, para la

que basta una presión moderada. Recomiéndase como la mejor tinta una mezcla de añil, carbón de hueso finamente pulverizado, carmín y sebo, cuyas sustancias, en la proporción debida, reproducen el conocido tono violado de las fotografías. También pueden emplearse en la estampación colores solubles en agua, que se hacen más espesos por medio de goma arábiga; pero en tal caso no imprimen las partes de la gelatina crómica que la luz ha hecho insolubles, como sucede con la tinta grasa, sino las partes hinchadas no iluminadas; y para obtener con semejantes colores una imagen positiva en la estampa, es preciso que la capa gelatinosa se haya sometido á la acción de la luz detrás de una imagen diapositiva, y no bajo una negativa. Además, puede emplearse en este género

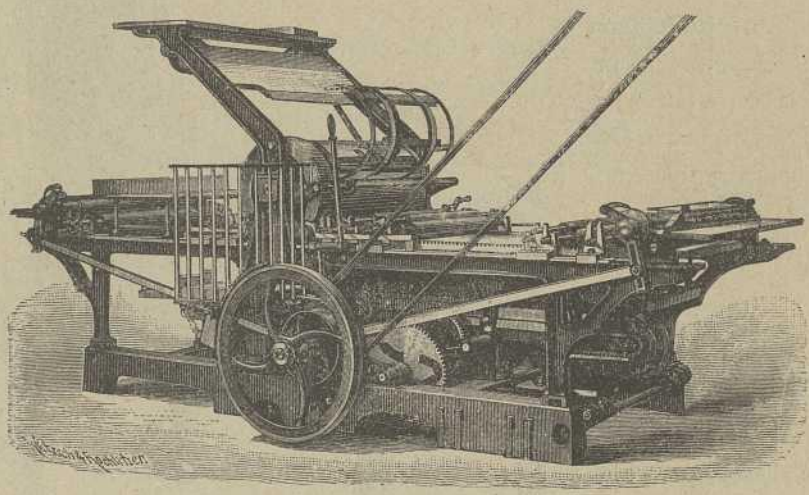


FIG. 385.—Máquina albertotípica.

de estampación otras clases de colores, y recientemente, mediante la combinación de la albertotipia con la cromolitografía, se han producido láminas de color de la mayor hermosura, que acabarán, sin duda, por relegar completamente al olvido los cromos hechos de la manera ordinaria. Véanse, si no, las preciosas albertotipias de color que hoy producen Albert y Obernetter, de Munich, León Vidal, de París, y Troitsch, de Berlín.

Para la estampación de las albertotipias se construyen hoy prensas litográficas modificadas, en las que la operación se verifica más bien por la presión que por el frotamiento. La fig. 384 representa una prensa de mano, tal como se emplea en los establecimientos más célebres de este género, como el de Obernetter, en Munich; pues si bien no estampan rápidamente, producen las láminas más perfectas. Pero tratándose de grandes tiradas para ilustraciones que no reclaman tanto esmero, se emplea la máquina albertotípica especial (fig. 385), cuya invención se debe en gran parte al mismo Albert, y con la cual se obtienen de 800 á 2.000 estampas diarias. En esta máquina no se produce la presión

por medio de un frotador de madera, como en la prensa de mano, sino mediante un cilindro rotatorio.

Respecto de los medios de preparar, mediante la fotografía, planchas á propósito para la imprenta, remitimos á nuestros lectores á los procedimientos fotográficos descritos en el tomo I de esta obra, limitándonos en este lugar á algu-



Fig. 386.—Grabado en madera, hecho sobre una reproducción fotográfica.

nas consideraciones relativas á la aplicación de la fotografía al grabado en madera. Casi todos los ensayos encaminados á sustituir el dibujo ordinario por una imagen fotográfica producida en la superficie de la madera que se trataba de grabar, fracasaron en virtud de la acción química de los preparados fotográficos sobre dicha materia; acción que dificultaba sobremanera el trabajo del grabador, impidiéndole que viera claramente lo que hacía. Este inconveniente se venció en gran parte con el empleo del colodio al urano, de que hablamos

anteriormente; pero el método más seguro y eficaz para el reporte de imágenes fotográficas sobre la madera es el ideado por *Leth*, de Viena. La fotografía misma se produce sobre una plancha de vidrio revestida con una disolución de bicromato potásico mezclada con goma y miel; la imagen, poco aparente, se refuerza salpicando la plancha con hollín de pino requemado ú otro polvo colorante, cuyas partículas son retenidas por las partes de la capa no heridas por la luz. Entonces se reviste la imagen con colodio, que absorbe dichas partículas colorantes, mientras que las de la sal de cromo se alejan por medio de un baño de ácido clorhídrico diluído, que separa al mismo tiempo el colodio del vidrio. Para trasladar la membrana de colodio con la imagen á la superficie de la madera, basta extenderla sobre una disolución acuosa de azúcar, y mientras está flotando, aplicar ligeramente la madera contra ella, retirándola del líquido. Después de seca, la imagen queda adherida firmemente á la madera, destacándose con claridad sobre el fondo blanqueado, tan luego como se disuelve el colodio por medio de éter sulfúrico. De la eficacia de este método puede juzgarse en vista de la fig. 386, que es un grabado en madera hecho sobre una reproducción fotográfica de una conocida estampa de Albert Dürer.

DIVERSOS PROCEDIMIENTOS FOTOGRÁFICOS

Entre las muchas aplicaciones de la fotografía, una de las más curiosas é interesantes es, sin duda, la que consiste en utilizarla en sustitución de la pintura sobre porcelana y vidrio, á lo que se presta admirablemente. Esta nueva rama del arte se llama *pirofotografía*, y consiste en lo esencial en trasladar imágenes fotográficas, convenientemente preparadas, á la superficie de los objetos de porcelana ó vidrio que se trata de adornar, é incorporarlas á las masas respectivas por medio del fuego, esto es, en el horno.

La preparación y el reporte de semejantes imágenes se verifican de dos maneras distintas. Recordarán nuestros lectores que las imágenes fotográficas ordinarias se componen de plata, en estado de finísima división, sobre una base de colodio, el cual constituye como una membrana que puede separarse de la plancha de vidrio en cuya superficie se formó. Pues bien; el método de *Gruene*, de Berlín, consiste sencillamente en someter dichas imágenes de plata sobre colodio á la acción química de ciertas disoluciones metálicas, y luego trasladar el producto á la porcelana ó al vidrio y fijarlo al fuego. Si, por ejemplo, la membrana de colodio con la imagen fotográfica, después de desprendida de la plancha de vidrio, se sumerge en una disolución de clorido de oro, el cloro se combina con la plata de la imagen, mientras que en todos los contornos de ésta se precipita el oro metálico en forma de un polvo azul sumamente fino. Con las debidas precauciones puede reportarse esta imagen de oro sobre un objeto de

porcelana ó vidrio, y basta entonces incorporarlo á su masa mediante el calor del horno ó de la mufla correspondiente, resultando una imagen de oro mate, que se puede pulir con el bruñidor de acero. Si en vez de la disolución de oro se emplea una de clorido de platino, resulta en la porcelana una imagen negra de este metal, de cuyo modo reproduce Gruene perfectamente retratos, vistas, etc. Pero también pueden obtenerse imágenes de un hermoso tinte violado empleando una disolución que contenga los dos metales referidos, oro y platino; mientras que mediante disoluciones de urano, hierro y manganeso, se producen diversos matices de pardo y negro.

Con arreglo al procedimiento pirofotográfico de *Poitevin*, perfeccionado notablemente por Joubert, Obernatter y Leth, una capa compuesta de goma, miel y bicromato potásico se expone á la luz detrás de una imagen fotográfica positiva, con lo cual las partes de dicha mezcla, heridas por los rayos luminosos, se endurecen, mientras que las demás permanecen pegajosas; al salpicar la capa (en la oscuridad) con un fino polvo colorante cualquiera, se obtiene una imagen compuesta de este pigmento, puesto que se adhiere á las partes pegajosas de aquella capa, y lo rechazan las partes secas. Si la imagen crómica se ha producido directamente sobre la porcelana ó el vidrio que se trata de adornar; es decir, si se toma el objeto correspondiente (y plano para el caso) como base de la capa pegajosa, después de salpicada ésta con el pigmento, puede incorporarse desde luego la imagen en el horno. Pero tratándose de objetos de superficie curva, como vasos, etc., la imagen se produce sobre una plancha de vidrio y el pigmento se cubre con una capa de colodio que, después de seca, se reporta sobre el objeto en cuestión, como lo hace Leth para los grabados en madera (véase pág. 838). De este modo los artistas referidos, así como Carnarsac, de París, y otros, producen vistas y adornos preciosos sobre diferentes objetos de porcelana y vidrio.

En la representación de objetos microscópicos, tal como se ven, con mayor ó menor aumento, bajo el microscopio, presta hoy la fotografía los servicios más señalados, tanto á los hombres de ciencia como á los industriales, pues por su medio se obtienen imágenes de los objetos sujetos á examen, mucho más fieles, en la mayoría de los casos, que por medio del dibujo. Semejantes *microfotografías* se utilizan, naturalmente, para la ilustración de los textos, reproduciéndolas por medio de la heliografía, la albertotipia ó la xilografía, como hemos tenido ocasión de hacer notar en diferentes partes de esta obra, y se verá especialmente en el tomo V.

Pero nuestros lectores se hallarán, sin duda, más familiarizados con las llamadas *micrografías*, que, al contrario que las ampliaciones fotográficas de objetos microscópicos de que acabamos de hablar, no son otra cosa que fotografías microscópicas de otras mayores. Como original, se emplean imágenes negativas ordinarias, que se reducen á positivas microscópicas sobre vidrio y

colodio de plata por medio de un objetivo provisto de pequeñas lentes de distancia focal muy corta; depués se recortan las imágenes de vidrio y se fijan en diminutos tubos de metal, provistos de una pequeña lente; de modo que, cuando se miran al trasluz, se ven claramente ampliadas. Semejantes tubitos se fijan en toda suerte de objetos de bisutería, empuñaduras de bastones, mangos de cortaplumas, etc., constituyendo un mero juguete, que ha caído en descrédito por haber servido tantas veces para la reproducción de imágenes obscenas. Pero durante el sitio de París, en 1870, la fotografía microscópica, cuya invención se debe á *Dagron*, en 1862, desempeñó un importante papel, pues por su medio y el de las palomas mensajeras consiguieron los sitiados mantenerse en comunicación con el exterior: las cartas, documentos é impresos que se querían transmitir se fotografiaban microscópicamente sobre colodio, y las capas ó membranas de esta sustancia, desprendidas del vidrio, se arrollaban y colocaban en canutillos de pluma de ave, que se ataban á las palomas. Semejantes membranas de colodio contenían á veces hasta 1.500 despachos diferentes, y en el punto de destino se desarrollaban, y se leían y transcribían por medio de un aparato de proyección ó linterna mágica; de este modo estuvo París durante seis meses en comunicación diaria con el exterior.

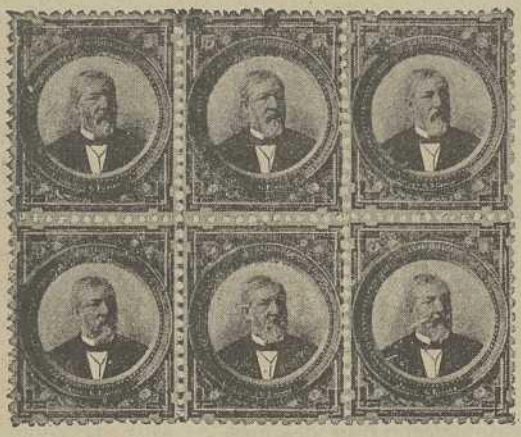


FIG. 387 —Sellos de correo, fotográficos.

También se relacionan con la fotografía microscópica, por la manera de producirse, los llamados «sellos de correo fotográficos», tan en boga actualmente en los Estados Unidos, y de los que ofrecemos un ejemplo en la fig. 387. Semejantes retratos se reproducen en número de 100, por el precio ínfimo de cinco pesetas, sobre una sola hoja de papel, que se entrega engomada y perforada como las de los sellos ordinarios de correo.

Las llamadas *fotografías mágicas* han pasado ya de moda; pero diremos, sin embargo, en qué consistían. Las fotografías ordinarias de plata, libres de oro, es decir, que no habían sido sometidas al baño de este metal, se sumergían en una disolución de clorido de mercurio (sublimado corrosivo), con lo cual la plata de la imagen se convertía en cloruro blanco, quedando, por lo mismo, invisible sobre el papel blanco, mientras que el cloruro de mercurio formado al mismo tiempo, también era invisible en razón de su blancura. En este estado se vendían dichas fotografías, juntamente con una hojita de papel, impregnada de hipo-

sulfito de sosa; sobre la fotografía invisible se extendía esta hoja, humedeciéndola con agua y la sal disuelta desarrollaba de nuevo la imagen, que aparecía de pronto como por encanto. También solían pegarse semejantes fotografías invisibles sobre boquillas de cigarros, y la imagen se desarrollaba á medida que se fumaba y pasaba sobre ella el humo, en virtud del amoniaco que éste contiene.

En los últimos años, y en vista de las facilidades cada vez mayores para pro-

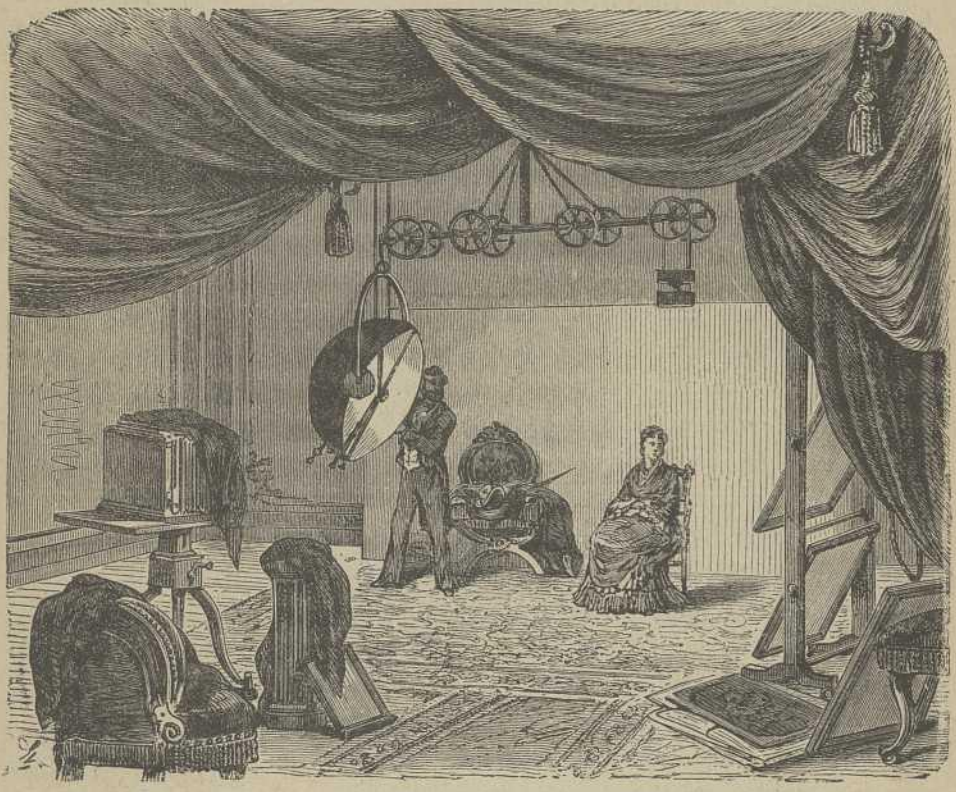


FIG. 388.—Aplicación de la luz eléctrica á la fotografía.

ducirla en condiciones ventajosas, se ha aplicado la luz eléctrica al estudio del fotógrafo. En muchas partes, y especialmente en el Norte y en determinadas estaciones del año, no se puede contar todos los días con luz suficiente para las operaciones fotográficas, y aun en los días más despejados nunca produce dicha luz iguales efectos á todas horas. También es muy molesto, tanto para los fotógrafos como para el público, tener que subir, en las ciudades, hasta los pisos más elevados en busca de elemento tan necesario; de modo que, mediante una disposición inteligente de los respectivos aparatos (fig. 388), no tardará el otógrafo, en muchos casos, en hacerse más ó menos independiente de la luz del sol.

Antes de terminar este capítulo debemos dedicar algunas palabras á la llamada *fotografía con colores naturales*, que significa la representación de los diversos objetos con sus colores originales, única y exclusivamente por medio de la acción de la luz. Muchos han sido los ensayos encaminados á la realización de este ideal, y de hecho se ha conseguido ya producir imágenes coloreadas por la influencia química de los rayos solares; pero desgraciamente el mismo agente destruye pronto su propia obra, y hasta la fecha no se ha hallado el medio de fijar semejantes fotografías.

El hecho de que el cloruro de plata expuesto á los rayos del espectro solar toma hasta cierto punto los colores de éste, lo reconoció primero el profesor *Seebeck*, de Jena, en 1810, y más tarde, después del invento de la daguerreotipia, *John Herschel* y *Becquerel* volvieron á ocuparse del asunto. Herschel logró obtener imágenes coloreadas, aunque imperfectas, del espectro solar, por medio de papel saturado con una disolución de cloruro y nitrato de plata; mientras que Becquerel empleó al efecto planchas de plata que clorurizaba, es decir, en cuya superficie producía una capa de cloruro de plata, por medio de ácido clorhídrico y una batería galvánica. Con semejantes planchas obtuvo buenas imágenes del espectro solar, pero no resultaron bastante sensibles para fijar imágenes de objetos en la cámara fotográfica. *Niépce de Saint-Victor*, que desde 1851 á 1867 prosiguió con ardor estos interesante ensayos, trabajó también con planchas plateadas, que clorurizaba sumergiéndolas en una disolución de los cloridos de cobre y hierro; pero calentándolas fuertemente, logró hacerlas diez veces más sensibles que las de Becquerel, de modo que pudo obtener con la cámara fotográfica imágenes de bronces, flores, vidrieras pintadas y hasta de plumas de pavo real con sus colores naturales y brillo especial. También aumentó la sensibilidad y duración de sus planchas por medio de una capa de dextrina y disolución de cloruro de plomo; y, por último, exhibió en la Exposición de 1867 varias fotografías coloreadas naturalmente, y que se conservaron durante una semana en cajas semiabiertas, es decir, en las que no podía penetrar mucha luz.

Desde la muerte de Niépce (1870), *Poitevin*, *Zencker* y *Simpson*, en París, Berlín y Londres respectivamente, se han ocupado de la fotografía con colores naturales. Los dos primeros han vuelto al empleo del papel, saturándolo primero con sal común (cloruro sódico), sensibilizándolo luego con un baño de nitrato de plata, y exponiéndolo entonces á la luz en una disolución de cloruro de estaño á fin de obtener el cloruro de plata violado. Semejante papel por sí es poco sensible á los colores; pero esta sensibilidad especial aumenta considerablemente cuando se somete á la acción de una disolución de bicromato potásico y sulfato de cobre, de modo que con él se pueden copiar fácilmente imágenes coloreadas y transparentes; pero los colores de estas copias nunca resultan tan vivos como los originales, siendo los matices rojos los que mejor se reproducen. Mediante

un lavado con agua, resultan semejantes fotografías menos sensibles á la luz, y en este estado pueden conservarse bastante tiempo en un sitio relativamente oscuro, y mirarse á la luz artificial; pero, como ya dijimos, no se ha encontrado todavía el medio de fijarlas de un modo definitivo; el hiposulfito de sosa que se emplea al efecto para fijar las fotografías ordinarias no sirve para el caso, pues destruye los colores en el acto.

Sin embargo, acostumbrados como estamos á presenciar la solución de problemas científicos de todas clases, y caminando diariamente de sorpresa en sorpresa, descansamos en la confianza de que, con el tiempo, dicho medio se descubrirá, y que la fotografía con colores naturales permanentes será al fin un hecho. No olvidemos que también los primeros ensayos en el terreno de la fotografía ordinaria fracasaron precisamente por falta del medio para fijar las imágenes, que descubrió Herschel diecisiete años después.



LOS COLORES

Y SU FABRICACIÓN

Introducción.—Colores de bronce.—Colores de hierro: cianógeno, ferrocianuro y ferricianido potásicos, azul de Prusia, etc.—Colores de plomo: masicote y minio; albayalde y sus sustitutos.—Colores de cromo.—Colores de cobre: cardenillo, azul mineral, azul de Bremen, verde de Schweinfurt, etc.—Sulfuros colorantes: cinabrio y cinabrio de antimonio; amarillo de cadmio.—Lapislázuli y ultramarino artificial.—Colores de laca; carmín.—Colores de pastel.—Lapiceros.

El gusto ó sentido de los colores, si vale la expresión, es más ó menos innato en el hombre, tanto en su estado bárbaro como en el civilizado, y sus exigencias han dado lugar, andando el tiempo, al desarrollo de muchas ramas especiales de la industria. La pintura de la piel, y en especial el tatuaje (véase la Introducción general á esta obra, tomo I, pág. 74) fueron probablemente las primeras aplicaciones hechas por el hombre, de materias colorantes naturales, como ciertas tierras, jugos vegetales y productos animales (sangre, bilis, sepia, etc.). Semejantes prácticas respondían, sin duda, en tiempos remotos, como obedecen todavía hoy, en parte al gusto del adorno, en parte al deseo de inspirar temor y respeto; pero también la pintura de la piel entre muchos pueblos bárbaros constituye, en cierto modo, una protección, una especie de abrigo, y

no parece sino muy natural que, cuando el hombre supo valerse de otros medios para resguardarse contra la inclemencia del tiempo, esto es, cuando empezó el uso de prendas de vestir, dejara de colorear su propia epidermis para pintar ó teñir las materias con que hiciera dichas prendas.

La producción industrial de materias colorantes tuvo, sin duda, su origen en la teñidura del vestido, y la tintorería debió seguir de cerca la invención del arte de tejer, cuya antigüedad se pierde en la oscuridad de los tiempos prehistóricos. Por esto entre los antiguos egipcios, fenicios, persas é indios, había alcanzado ya la tintorería un desarrollo notable en una época en que el arte del dibujo apenas había nacido, y cuando la pintura, como indican ciertos monumentos egipcios, se reducía aún á la producción de contornos toscos sobre fondos de color uniforme. Los griegos siguieron á los egipcios en este género de pintura, empleando tan sólo durante mucho tiempo, el rojo, el amarillo, el blanco y el negro; pero desde la época de Alejandro Magno se fué perfeccionando la pintura griega y los productos de su policromia se veían en las paredes de sus templos y en las imágenes de sus divinidades.

La fuente casi exclusiva de los colores que empleaba el pintor en la antigüedad era, sin duda, el reino mineral, pues en éste la Naturaleza misma ha producido diferentes materias colorantes que sólo requieren, para su empleo, una preparación muy sencilla; y si bien es verdad, generalmente hablando, que estas sustancias minerales no son tan brillantes como los colores vegetales y artificiales, en cambio son desde luego mucho más duraderas, y algunas de ellas, como la llamada tierra de Siena, el asfalto y el ultramarino natural (lapislázuli), las aprecian todavía mucho nuestros pintores. Diferentes especies de ocre y arcillas ferruginosas dan diversos matices del pardo, el rojo y el amarillo, cuya variedad se puede aumentar mediante la calcinación de las primeras materias á diferentes temperaturas; en ellas el principio colorante es el óxido de hierro. La llamada tierra verde contiene una combinación natural de protóxido de hierro y sílice; el hierro con ácido fosfórico produce á veces combinaciones azules, como la lazulita; la malaquita y la azurita ofrecen materias cobrizas para la producción de hermosos colores verdes y azules, mientras que el amarillo crómico, el oropimente (de color parecido) y el rejalgar rojo, tienen sus representantes en la Naturaleza; allí donde se encontraron el mercurio y el azufre, se produjo el cinabrio, que es un mineral de color tan vivo que no pudo pasar inadvertido, y de hecho se empleó en la pintura desde los tiempos históricos más remotos.

Si, como es evidente, la extracción y preparación de semejantes materias colorantes naturales constituye una de las manifestaciones más antiguas de la industria humana, también es verdad que durante miles de años se hallaron sujetas á conocimientos puramente empíricos; pero aun cuando no son de ningún modo despreciables las enseñanzas cuyo origen se remonta á ese largo período experimental, ó que se derivan de la mera casualidad, como, por ejemplo,

el descubrimiento del azul de Prusia y de la afinidad entre el estaño y la cochinilla, y si bien se practican todavía en la técnica de los colores procedimientos que la química teórica no hubiera podido indicar siquiera, es el hecho que el verdadero y tan sorprendente desarrollo de semejante industria se debe al progreso reciente de la ciencia química. Merced á ésta ha sido posible en varios casos imitar á la Naturaleza, produciendo artificialmente en gran cantidad, y por lo tanto con relativa baratura, colores como los del cromo y el cinabrio, más hermosos que los naturales, y, sobre todo, el ultramarino, que en su estado natural es tan raro y costoso. Pero la química, apoyándose en un rico tesoro de experiencias, se ha presentado también, digámoslo así, como creadora, alumbrando ricos manantiales de colores en parajes al parecer áridos y desiertos; siendo el ejemplo más reciente y elocuente del género los colores del alquitrán. Pero á pesar de la actividad extraordinaria que en nuestros tiempos viene desplegándose en la técnica de los colores, y á pesar de los triunfos ya conseguidos, mucho queda todavía por hacer, tanto respecto del descubrimiento de nuevos medios como para mejorar la calidad, aumentar la duración y abaratar aún más los productos ya conocidos.

Mucho fuera de desear, por ejemplo, que nos libráramos del empleo en los colores de sustancias nocivas ó venenosas, como el cobre, el plomo, el azogue y el arsénico; pero aún no ha llegado el caso de poder prescindir por completo de sustancia tan peligrosa como el verde arsenical, por no haberse encontrado todavía otra que la iguale en hermosura.

La procedencia y la naturaleza de las materias colorantes, así como su empleo, son tan variados, que no nos pareció conveniente en una obra como ésta tratar de todas ellas en un mismo capítulo; por esto, al ocuparnos del cobalto, del vidrio y de la porcelana, dijimos lo necesario acerca de los colores correspondientes, y reservamos los de anilina y otros, principalmente usados como tintes, para el capítulo del tomo V que trata de la tintorería y la estampación de telas. En este lugar consideraremos, pues, los pigmentos ó materias colorantes secas, en cuanto son objeto de una fabricación especial.

Esta fabricación puede consistir en la producción de combinaciones particulares, ó bien reducirse á una mera preparación ó transformación de una sustancia natural en un pigmento. Algunos metales, algunos carbones y ciertas tierras y minerales metalíferos pueden emplearse directamente como colores después de reducidos á polvo fino y mezclados con un medio aglutinante, digámoslo así, á propósito; en cambio otras materias colorantes tienen que producirse por vía artificial, en la que los procedimientos químicos desempeñan el principal papel. Estas últimas ofrecen desde luego el mayor interés; pero no debemos por esto pasar las primeras completamente por alto, y dedicaremos, por lo tanto, en primer lugar algunos párrafos á los colores dichos de bronce, que se componen en su esencia de finísimas partículas de metales ó aleaciones.

COLORES DE BRONCE

La fabricación de estos productos, que se practica principalmente en Munich, Nürenberg y Fürth, y también en Inglaterra, cuenta poco más de cien años de existencia. A mediados del siglo pasado, un albañil de Fürth, llamado *Huber*, tuvo la idea de recoger los desperdicios de la fabricación de panes de oro falsos y reducirlos á polvo mediante una muela, con el objeto de vender el producto como color metálico; más tarde creció la aplicación de semejante color cuando *Holzinger*, fabricante de papel dorado, cayó en la cuenta de calentar las partículas de latón, etc., de modo que se empañaran ó empavonasen, y mediante el empleo de diferentes grados de calor logró obtener polvos metálicos de diferentes matices, imitando perfectamente los de las varias clases de bronce; y desde entonces ha tomado tal incremento dicha industria, que sólo en Baviera se eleva anualmente el valor de sus productos á cerca de millón y cuarto de pesetas.

A medida que aumentaba la producción de los colores de bronce, escaseaban, como era natural, los desperdicios referidos con que se contaba antes para fabricarlos, y hubo necesidad de preparar panes metálicos exclusivamente para el nuevo objeto. Esto sigue haciéndose en gran parte á mano, de la misma manera que se producen los panes de oro y plata, y que dejamos descrita en el capitulo correspondiente al oro. Pero también se verifica dicha operación por medios mecánicos: en 1833, *Cristian Reich* inventó una máquina de batir metal, y en 1841 *Lauter* construyó otra sumamente ingeniosa, en la que la cajita que contiene las hojas y venzas se movía y volvía automáticamente, ventaja que también ofrecen otros aparatos de invención posterior; pero las máquinas que mejor responden al objeto en cuanto al batido y al triturado de los metales se refiere, son las ideadas por *Budweiss*, de Fürth, en las que los martillos y frotadores se mueven al vapor.

Dicha trituración de los panes tiene que efectuarse de un modo especial, pues el metal no debe reducirse á polvo, sino mantenerse en estado de laminitas ó escamitas, cual sucede, por ejemplo, con la mica cuando se machaca ó muele; pues de lo contrario, el producto no responde á los fines de la pintura. Por esto los desperdicios del batido ordinario constituyen siempre la primera materia más á propósito para los colores de bronce. Se han probado al efecto las máquinas desgastadoras, tan en boga hoy en los talleres de construcción mecánica, y mediante las cuales puede reducirse el metal á finísimas laminitas ó virutas; también se ha tratado de operar la división sometiendo las aleaciones en estado fundido á la acción de la fuerza centrífuga, ó bien preparando amalgamas y luego expulsando el aozgue mediante una corriente encendida de

gas de petróleo, con lo que se obtiene el metal en forma de masa esponjosa. Por otra parte, se han producido precipitados metálicos más ó menos adecuados por la vía química ó galvánica, y es posible que uno ú otro de semejantes procedimientos acabe por sustituir completamente la trituración mecánica, que es, entre tanto, la que sigue practicándose casi exclusivamente.

Las escamitas así obtenidas se obligan á pasar á través de una criba de tela metálica por medio de un cepillo de alambre; y luego, mezcladas con aceite, se someten á otra manipulación bajo una muela ó en una máquina de frotamiento, á fin de dividirlas y adelgazarlas todavía más. Entonces se caldean en una caldera de hierro para que se empañen adquiriendo matices determinados, en cuya operación hay que regular la temperatura con cuidado, si se quiere obtener productos de un color homogéneo. Según el matiz que se desea, se emplean aleaciones de cobre y cinc en proporciones diversas: con un 99 por 100 de cobre resulta un color de bronce violado ó rojizo; con 95 por 100, se obtiene un color anaranjado, y con 81,5 á 82,6 por 100, diferentes matices de amarillo de latón.

No hay que confundir semejantes colores de bronce con el llamado *oro musivo*, el cual es una combinación química y cristalizada de estaño y azufre (bisulfido de estaño), que se obtiene por sublimación del sulfido amorfo de estaño, ó una mezcla de amalgama de estaño (12 de estaño y 6 de azogue) con azufre y sal amoniacal. Sin embargo, con los hermosos colores de bronce metálicos que hoy se producen por el procedimiento arriba descrito, ya no puede competir el oro musivo. Además se fabrica el llamado *bronce de cromo*, que es un clorido crómico violado, y el *bronce de cobalto*, de hermoso matiz sanguíneo, á cuyo empleo más general sólo es obstáculo su precio relativamente elevado. También se han introducido en el comercio los llamados *bronces de tungsteno*, de diversos matices de amarillo de oro y de hermoso brillo metálico, que son composiciones de ácido túngstico con óxido de tungsteno y sosa, que se producen agregando estaño al tungstato ácido de sosa, ó calentando esta sal en hidrógeno seco; cuyo gas, lo mismo que el estaño, tiene por misión privar al ácido túngstico de parte de su oxígeno, á fin de producir cierta porción de óxido de tungsteno.

COLORES DE HIERRO

Desde el punto de vista de la inocuidad, es de lamentar que el hierro—el único de los metales pesados que, no sólo no es nocivo para nuestro organismo, sino, alcontrario, beneficioso en muchos casos,—no contribuya más al inventario de los colores de lo que en realidad sucede. En los ocres naturales amarillos y pardos, el hierro, en diferentes estados de oxidación, constituye, como dijimos más arriba, el principio colorante; mediante la calcinación, los ocres amarillos

adquieren un color rojo, merced á un mayor grado de oxidación del hierro. Semejantes productos naturales tienen cierta importancia en la pintura al óleo, y el óxido de hierro, tal como se forma en la fabricación del ácido sulfúrico humeante, por ejemplo, es un polvo de color pardo-rojizo, muy útil en la pintura ordinaria. Bajo la influencia de una temperatura elevada, el color de dicho óxido se transforma, aproximándose cada vez más al violeta, matiz que no existe por sí entre las sustancias minerales, sino que sólo se produce mediante su mezcla. Pero no nos detengamos más con semejantes preparados, cuyo valor es relativamente escaso, y pasemos á ocuparnos del *azul de Prusia*, que es la única materia colorante de verdadera importancia que constituye el hierro en combinación con otras sustancias. Su descubrimiento se debe á una mera casualidad; y fué tanto más interesante para la ciencia, cuanto que por él se vino en conocimiento del *cianógeno*, abriéndose, digámoslo así, un nuevo é importante distrito en el vasto campo de la química.

Refiérese que en los años de 1704 á 1707 un fabricante de colores de Berlín, llamado *Diesbach*, quiso preparar laca de Florencia con una decocción de cochinilla, alumbre y sulfato de hierro, y hubo de utilizar para realizarla una potasa que había servido antes al alquimista *Dippel* en la destilación de un aceite animal que llevaba su nombre. Este aceite, que Dippel extraía de sangre desecada, mediante una destilación seca, pero que lo mismo se extrae de la carne, el cuerno, el hueso, la lana, el cuero y otras materias animales, es una mezcla de sustancias aceitoso-empireumáticas y amoniacales que contiene, además de carbono, una cantidad relativamente considerable de nitrógeno, que es lo que más nos interesa en este lugar. Grande fué, pues, la sorpresa de Diesbach al operar con la potasa referida, cuando obtuvo, en vez de un precipitado encarnado de laca de cochinilla, uno de color azul. También se refiere el caso de otro modo, diciendo que el mencionado fabricante hubo de notar la impureza de la disolución de potasa que se proponía emplear, y que la tiró al patio de su casa, en un sitio donde antes había vertido una disolución de sulfato de hierro, y que al momento las losas del piso se tiñeron de un hermoso color azul. Pero sea de un modo ó de otro, el hecho es que la casualidad sacó á luz por vez primera este azul singular, que se produce tan fácilmente al reunirse los elementos correspondientes. Dippel creyó reconocer en el fenómeno un efecto particular de la sangre, y simplificó el procedimiento caldeando sangre con potasa y mezclando la lejía extraída de la masa con sulfato de hierro (caparrosa verde). Esta receta para la producción de azul de Prusia la guardaron los descubridores para sí; pero un inglés, llamado *Woodword*, logró desentrañar el misterio y reveló el secreto el año 1724.

En cuanto á la constitución química de la nueva sustancia, nada podía precisarse por entonces, dadas las deficiencias de la ciencia; pero los químicos mostraron gran empeño en resolver el problema, y poco á poco consiguieron su ob-

jeto. Reconocióse primero que, en la fabricación del azul de Prusia, podía sustituirse la sangre por otras materias animales; en 1752 descubrió *Macquer* que el azul se descomponía al cocerse con potasa, depositándose óxido de hierro en estado sólido y resolviéndose en la llamada lejía de sangre primitiva, de la que pudo obtener, por evaporación y cristalización, la sal especial que contenía; mas con esto no estaba resuelto, ni con mucho, el problema de la naturaleza química de esta sal, ni el de la del azul de Prusia. En 1782 logró *Scheele* separar el ácido de la sal en cuestión, que se llamó ácido azul ó prúsico; y, por último, en 1815 descubrió *Gay Lussac* el *cianógeno*, que es el fundamento, no sólo del azul de Prusia, sino de toda una serie de productos químicos, y la piedra angular, digámoslo así, de una importante ala del gran edificio químico.

El carbono y el nitrógeno, que son los dos componentes principales de nuestros alimentos y de nuestro propio cuerpo, constituyen, en la proporción ponderable de 12 á 14, la materia gasiforme, incolora y sumamente venenosa que llamamos cianógeno, que no se presenta libre en la naturaleza, y cuya virulencia sube de punto en algunas combinaciones, como el ácido prúsico ó cianhídrico (cianógeno con hidrógeno) y el cianido de potasio, mientras que desaparece en otras, como el ferrocianuro de potasio (aquella sal descubierta por Macquer) y el azul de Prusia. El cianógeno ofrece además la particularidad de comportarse, en sus combinaciones con otros elementos, enteramente como un cuerpo simple, á pesar de componerse de dos elementos distintos, pudiendo clasificarse entre los cuerpos haloideos, ó sean cloro, yodo, bromo, etc. Así como cada uno de éstos constituye con otros elementos, dos series de combinaciones (cloruros y cloridos, yoduros y yodidos, etc.), según la proporción en que se unen á los metales, del mismo modo el cianógeno se combina con éstos, formando, ora cianuros, ora cianidos. Pero tanto los unos como los otros se muestran también muy propensos á unirse químicamente entre sí, formando combinaciones dobles, como, por ejemplo, el llamado ferrocianuro de potasio, que es una combinación de cianido de potasio con cianido de hierro.

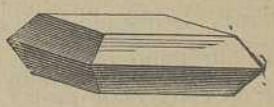


FIG. 389.
Cristal de ferrocianuro de potasio.

Esta sal doble, que es de la mayor importancia para la química industrial, se presenta generalmente en forma de grandes cristales tableados (fig. 389), de hermoso color amarillo, que al calentarse pierden agua de cristalización, se vuelven blancos y se desmoronan. El cianógeno no se produce con sólo mezclar y calentar materias que contienen carbono y nitrógeno, ó, si se forma, se descompone en el acto; mas si aquéllas se calientan en presencia de álcalis, el cianógeno se combina con éstos. En la destilación de la hulla, ó sea en la fabricación del gas del alumbrado, se forma un poco de cianógeno como producto secundario, que se une á una parte del amoniaco formado al mismo tiempo; ambos constituyen el cianido de amonio, que sólo se mira hoy como una impureza, de

la que hay que librar dicho gas. Cuando de propósito se quiere producir cianógeno, debe darse lugar siempre á que pueda combinarse con potasio.

Con arreglo, pues, á lo expuesto, la fabricación del ferrocianuro potásico supone las primeras materias siguientes: sustancias orgánicas ricas en nitrógeno, una sal de potasio, siendo la más á propósito el carbonato, y hierro, ora en estado metálico, ora en el de óxido. Las sustancias orgánicas que se emplean son de las más diversas, pues consisten en sangre, toda clase de residuos de las industrias que elaboran cuernos, pelos y cuero, los desperdicios de las carnes y lanas, trapos de lana y seda, zapatos viejos, plumas, tripas, cuernos y pesuñas, pescado seco é insectos. También se utilizan á veces los hongos, en vista de su riqueza en nitrógeno. Pero por muy diferentes que parezcan las sustancias orgánicas empleadas, todas se convierten, mediante el calor, en un carbón ampolloso ó poroso, llamado comunmente carbón animal, que, aparte de otras propiedades, se distingue del carbón ordinario por un contenido de 3 á 5,5 por 100 de nitrógeno, que es lo esencial para la fabricación del ferrocianuro de potasio. Esta conversión de las materias orgánicas en carbón se verifica en algunas fábricas mediante una destilación seca en retortas de hierro, condensándose y aprovechándose las sustancias volátiles que contienen mucho carbonato de amoniaco, de lo que resulta una economía considerable. En tal caso, la fusión del carbón obtenido con los demás ingredientes constituye una operación aparte; pero en otras fábricas se mezclan desde luego y calientan juntas las sustancias orgánicas, el carbonato potásico y el hierro en forma de limaduras, etc., fundiéndolos en las mismas vasijas, después de carbonizadas aquéllas.

La fusión se verifica en calderas de hierro, dispuestas en un horno de reverbero; y cuando las sustancias orgánicas se carbonizan separadamente, se empieza fundiendo sólo el carbonato de potasa, al que se agregan luego el carbón animal y el hierro, comenzando entonces las diferentes reacciones químicas entre el carbonato y sulfato de potasa, el carbón nitrogenado y el hierro. El álcali desprende oxígeno, que se asimila el carbón, produciéndose óxido de carbono que escapa, y quedando potasio y sulfuro potásico; al mismo tiempo parte del carbono y el nitrógeno se reunen formando cianógeno, que se combina en el acto con el potasio libre, constituyendo el cianido correspondiente; también el potasio del sulfuro referido abandona el azufre para asociarse con el cianógeno, y el azufre se reune con el hierro. Por consiguiente, la masa fundida—que, sea dicho de paso, debe revolverse bien todo el tiempo con exclusión del aire—no contiene al fin el ferrocianuro de potasio ya formado, como antes se creía, sino que consiste principalmente en cianido de potasio y un poco de sulfuro de hierro, mezclados con algún carbón y carbonato de potasa sin descomponer, de los que último se puede extraer luego mediante la evaporación de la lejía madre, y aprovecharse de nuevo.

La masa fundida, después de enfriada, se tritura y trata con agua, y sólo

entonces se forma el ferrocianuro de potasio, entrando el hierro, bajo la influencia de la humedad, en combinación con el cianógeno y el potasio; combinación que no puede existir sin una cantidad determinada de agua. Una vez disueltas todas las sustancias solubles, y depositadas las insolubles en el fondo de la vasija, la lejía clara, de un color amarillo sucio, se traslada á las grandes tinas de hierro, en las que se calienta y evapora hasta que resulta el punto de cristalización correspondiente á los 32 grados del areómetro de Baumé. Entonces se traslada caliente á otras vasijas, en las que se verifica la cristalización durante el enfriamiento gradual del líquido, siendo el producto un ferrocianuro potásico bastante impuro; la lejía se vuelve entonces á evaporar hasta los 40 grados de Baumé, obteniendo un ferrocianuro todavía más impuro que el primero; y, por último, la lejía madre restante se evapora hasta la sequedad para obtener el resto de carbonato de potasa, como indicamos más arriba. Los dos productos primeros se disuelven en agua caliente; se deja clarificar y se filtra la disolución, que en tal estado se traslada caliente á las tinas de cristalizar, donde se deja enfriar lo más lentamente posible, á fin de obtener cristales grandes. Para promover la operación se suspenden en la lejía pedazos de bramante, en cuyo extremo se atan pequeños cristales de ferrocianuro potásico, que sirven de puntos de partida para la cristalización de la sal contenida en el líquido. Al cabo de diez ó doce días, todos los bramantes, así como las paredes de las tinas, se hallan revestidos con costras de preciosos cristales amarillos, que constituyen el ferrocianuro de potasio del comercio, que nuestros lectores habrán visto, sin duda, en los escaparates de las boticas y droguerías.

El ferrocianuro potásico es la materia con que se preparan todas las demás combinaciones de cianógeno empleadas en la ciencia y la industria; aun el cianido de potasio, de composición más sencilla que aquél, y que se usa tanto en la galvanoplastia para dorar y platear, se prepara por medio de dicho ferrocianuro de potasio; el cual se emplea también por sí en diferentes industrias, como, por ejemplo, en el acerado superficial del hierro, la preparación de ciertas pastas inflamables para fósforos, la fabricación de la pólvora blanca de Braconnet, etc. Para producir el ácido prúsico basta destilar una disolución acuosa de ferrocianuro de potasio en presencia de ácido sulfúrico, pues para entrar en combinación con éste, el hierro de dicha sal se oxida á costa del agua, desprendiéndose hidrógeno, que se combina en el acto con el cianógeno, formando el ácido cianhídrico ó prúsico, que en su estado anhidro, constituye un líquido incoloro, que entra en ebullición á los 27 grados, y es sumamente venenoso, conservando esta propiedad aun después de diluído con agua. Es el mismo ácido que se produce mediante la acción del agua sobre almendras amargas machacadas, ó las pepitas de los huesos de melocotones y albaricoques, como explicaremos en el tomo V de esta obra.

Pero el valor industrial del ferrocianuro de potasio estriba principalmente en

su propiedad de producir, con disoluciones de hierro, precipitados azules, que, según los casos, pueden variar de composición química; propiedad que se utiliza bastante en la tintorería. Pero también en presencia de otros metales produce la sal en cuestión precipitados de colores diversos; de modo que constituye un importante reactivo en la química analítica para la determinación de aquéllos, complementándolo en este terreno el ferrocianido potásico.

Esta sal, de hermoso color rojo, resulta al privar al ferrocianuro potásico de una cuarta parte de su potasio, cuya porción correspondiente de cianógeno se asocia al cianuro de hierro, convirtiéndolo en cianido. Para operar esta transformación se hace pasar una corriente de cloro gasiforme á través de una disolución del ferrocianuro de potasio, formando con ella el clorido consiguiente, mientras que los componentes que quedan se combinan entre sí de distinto modo, para constituir el ferrocianido potásico. Se emplea éste con frecuencia para teñir la lana, así como en la estampación de telas, á cuyo efecto los fabricantes entregan sencillamente la disolución referida con su contenido en clorido potásico, que no es perjudicial, ó bien evaporan la disolución y dejan cristalizar la sal, que de semejante modo se separa de dicho clorido, por ser éste mucho más soluble, y quedar, por lo tanto, en la lejía madre. También se efectúa la conversión del ferrocianuro de potasio, pulverizándolo, extendiendo el polvo en capas delgadas en una cámara, é introduciendo el cloro en ella; el polvo absorbe el cloro y se opera en él la misma transformación que en la disolución acuosa, entregándose al comercio con su contenido en clorido potásico. Un procedimiento de origen reciente para obtener la sal roja consiste esencialmente en tratar la amarilla con manganato de barita.

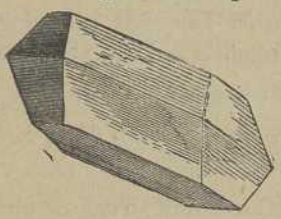


FIG. 390.
Cristal de ferrocianido de potasio.

Observando ciertas precauciones, se puede obtener el ferrocianido de potasio en forma de hermosos cristales de color rojo rubí (fig. 390); pero por regla general, se presenta en masas verrugosas, parecidas (salvo el color) á la coliflor. Tiene la particularidad de no producir ni precipitado ni coloración azules en presencia de una disolución de peróxido de hierro, como sucede con el ferrocianuro potásico; verdad es que al mezclar la sal roja con la disolución férrica se producen descomposiciones; pero las combinaciones resultantes son todas solubles en agua, y por esto no se precipitan en forma sólida, como sucede con el azul de Prusia; en cambio, si la disolución contiene el hierro en el estado de protóxido, se obtiene un precipitado azul, lo mismo con la sal roja que con la amarilla. El comportamiento de las dos sales en presencia de disoluciones ferruginosas puede resumirse concretamente en los términos siguientes: la sal amarilla con disoluciones de protóxido de hierro da un precipitado blanco, si se opera con exclusión total del aire, y en presencia de éste, uno de color azul claro, que se convierte gradualmente en azul oscuro; con las disoluciones de peróxido

de hierro, produce dicha sal en el acto un precipitado azul oscuro. La sal roja, con disoluciones de protóxido, da un precipitado azul oscuro, mientras que con las del peróxido no da ninguno, sino una coloración pardo oscura del líquido. El precipitado blanco que, con exclusión del aire, se produce en el primer caso, es cianuro de hierro, mientras que los precipitados de color azul oscuro son combinaciones de cianuro y cianido de hierro en diferentes proporciones. La diferencia en la composición de los dos precipitados azules oscuros se traduce en una ligera variación del color; el que resulta con la sal amarilla ó ferrocianuro de potasio y una disolución de las sales del peróxido de hierro, es el llamado *azul de Prusia;* mientras que el que produce la sal roja ó ferrocianido potásico con una disolución de las sales del protóxido de hierro, se llama *azul de Turnbull* ó *de París*. Si en la preparación se emplean el ferrocianuro ó el ferrocianido potásico en exceso, se obtienen precipitados que, al lavarse con agua, se van disolviendo poco á poco, prestando á los líquidos un color azul; semejantes precipitados constituyen el llamado *azul de Prusia soluble;* pero si á su disolución se agrega la de una sal de protóxido de hierro, resulta un precipitado insoluble de azul de París.

En la fabricación del azul de Prusia ordinario se emplean siempre el ferrocianuro potásico (sal amarilla) y el sulfato de hierro (caparrosa verde) en vista de su baratura. Se forma al principio un precipitado casi blanco, que al agitarse y en virtud del aire (oxígeno) contenido en el agua, adquiere pronto un color gris ó azul sucio que, al cabo de algún tiempo, se convierte en un hermoso azul oscuro, debido á la transformación, por oxidación, de parte del cianuro de hierro en cianido. Para determinados objetos, y especialmente tratándose de obtener un hermoso verde por mezcla del azul de Prusia con amarillo de cromo, es preciso cuidar de la pureza de las primeras materias y partir de la formación de un precipitado muy blanco. Como el producto azul obtenido por la sola acción del aire es soluble en agua pura (lo que constituye un inconveniente para muchos usos) se emplean medios oxidantes más enérgicos, como el ácido nítrico, el cromato de potasa y el cloro, mediante los cuales el precipitado toma rápidamente su color azul y resulta insoluble en agua. El hermoso color del azul de Prusia es indestructible por ácidos, pero lo destruyen los álcalis cáusticos y no puede emplearse en las pinturas de paredes recién encaladas; pues merced á la separación de óxido de hierro, se convierte en un color pardusco. El ácido oxálico disuelve el azul de Prusia, y esta disolución constituye una de las tintas azules más comunes.

Como se comprende, y hemos indicado ya, es preciso, tratándose de la fabricación de colores hermosos ó de primera calidad, que las primeras materias empleadas sean de la mayor pureza, y se hallen libres más especialmente de metales extraños. Como el empleo de la caparrosa verde da lugar á la formación ulterior de óxido de hierro que perjudica el color azul, se extrae dicho óxido por

medios disolventes, como los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Con el azul de Prusia ordinario no sólo se prescinde, en general, de semejante purificación, sino que suele adulterarse el producto para aumentar su volumen; así, por ejemplo, á la disolución de caparrosa verde se agrega alumbre, que se descompone por medio de carbonato de sosa, dando un precipitado de alúmina; otras sustancias empleadas al mismo efecto son la barita, la tierra de porcelana, el blanco de cinc, la magnesia, la creta y el almidón, que, lo mismo que la alúmina, disminuyen, naturalmente, la pureza é intensidad del color azul. Semejantes productos adulterados reciben el nombre genérico de *azul mineral.*

El precipitado de azul de Prusia, producido de uno ó de otro modo, se lava con mucha agua fría y se filtra; luego se somete á una presión para exprimir el agua, y la pasta húmeda se corta entonces en chapitas que se secan completamente al aire, ó por medio de un calor artificial moderado. En este estado la masa se convierte difícilmente en finísimo polvo como el precipitado primitivo, y en vista de ello, se entrega también al comercio, para determinados usos, en forma de pasta húmeda. El azul de Prusia se emplea menos en la pintura al óleo que en la á la aguada, con ó sin cola, y en la fabricación de los papeles pintados se usa como color de imprenta. Respecto de su empleo en la tintorería, remitimos á nuestros lectores al tomo V de esta obra. Además, el azul de Prusia tiene cierta importancia como componente de uno de los colores verdes más usados, ó sea el llamado *cinabrio verde*, que consiste en una mezcla mecánica de dicho azul con amarillo de cromo; los dos polvos se revuelven bien en agua, y entonces se mezclan más íntimamente por medio de un molino. Caldeado al aire en una caldera de hierro sobre una lumbre, hasta el rojo incipiente, el azul de Prusia toma un hermoso color pardo, y en tal estado se emplea también mucho en pintura.

COLORES DE PLOMO

Siendo el plomo uno de los metales conocidos de los antiguos, no es extraño que varios de sus preparados tengan un alto abolengo. Plinio y Vitruvio nos hablan del albayalde como color, describiendo el modo de prepararlo con plomo y vinagre; los árabes del tiempo de Geber (siglo VIII) conocían además el acetato ó azúcar de plomo y los óxidos de plomo amarillo y rojo, ó sean el masicote y el minio, cuyas materias se empleaban entonces en la pintura. Los iluminadores de manuscritos en la Edad Media recibieron el nombre de *miniatores*, en vista del uso tan común que hacían del minio (en latín *minium*), y de aquí el término «pintura en miniatura». Pero en aquellos tiempos no se tenía la idea más remota de los procesos químicos á los que se debe la transformación del plomo en dichos productos de color blanco, amarillo y rojo, y aun en el siglo XVIII se creía que el albayalde se componía de plomo y vinagre. Después

del descubrimiento del oxígeno no ofrecía ya dificultad la química del plomo, y pronto se distinguieron: el subóxido con una porción mínima de oxígeno; un óxido que, según se obtiene por fusión ó sin fundir, se llama *litargirio* ó *masicote;* un superóxido de color pardo, que contiene doble cantidad de oxígeno que el anterior, y una combinación del óxido con el superóxido, que ocupa un puesto intermedio entre ambos, y es el llamado *minio.*

El *masicote* ó *amarillo del rey* que se encuentra en el comercio ha perdido mucha de su importancia, como otros varios colores amarillos minerales, desde la aparición del amarillo de cromo, de que nos ocuparemos más adelante. Se obtiene masicote ordinario fundiendo plomo á la temperatura más baja posible, y dejando que se oxide bajo la influencia del aire; pero el masicote más hermoso resulta cuando se somete el albayalde á un calor moderado, suficiente para expulsar el ácido carbónico y el agua, de modo que deje sólo el óxido de plomo, que toma en este caso el color amarillo. Si se prolonga el calentamiento y se eleva la temperatura, dicho óxido absorbe más oxígeno y se vuelve rojo, y, por lo tanto, pueden producirse muy bien el masicote y el minio en diferentes puntos de un mismo horno, donde predominan temperaturas distintas. El minio se produce comunmente por la oxidación del plomo, y su calidad depende mucho de la pureza del metal, así como de la dirección y duración de la operación; pero el minio más hermoso se obtiene oxidando el masicote procedente del albayalde, y constituye el producto conocido con el nombre de *rojo de París*, que, en vista de su precio relativamente elevado, sólo se emplea en la pintura artística más fina.

Aunque el óxido de plomo puede emplearse por sí como color amarillo, ofrece mayor utilidad en sus combinaciones, de las que algunas, como el cromato de plomo ó amarillo de cromo ya referido, se caracterizan por hermosos matices amarillos. El pintor al óleo no puede servirse de dicho cromato porque se vuelve pardo al mezclarse con sustancias orgánicas fácilmente descomponibles. En su lugar se vale con preferencia del llamado *amarillo de Nápoles*, cuyo color es muy hermoso y duradero, y que se compone de antimoniato de plomo; se produce de diferentes maneras, siendo la mejor la que consiste en fundir una mezcla de tártaro emético (tartrato de antimonio y potasa), nitrato de plomo y sal común, y tratar la masa fundida con agua, que extrae las sales solubles, dejando el amarillo en cuestión en forma de un polvo finísimo. También se obtiene el amarillo de Nápoles oxidando en un horno de reverbero un plomo rico en antimonio, caldeando el óxido con sal común y lavando el producto con agua. El *amarillo inglés* y el llamado *de Cassel*, que son colores bien conocidos y apreciados, consisten en clorido básico de plomo, es decir, clorido plomizo en combinación con más ó menos óxido de plomo; semejantes combinaciones son blancas en su origen, pero al calentarse pierden el agua y toman un hermoso color amarillo.

Las sales de plomo insolubles, que son las únicas que pueden considerarse como materias colorantes, constituyen siempre sustancias blancas, salvo cuando su ácido contenga un principio colorante; pero no todas pueden utilizarse como blanco en la pintura, porque no pueden extenderse bien con el pincel y no cubren uniformemente las superficies. El óxido hidratado de plomo, esto es, el combinado con agua, tal como se obtiene de las disoluciones de sales de plomo por precipitación con álcalis, es un producto blanco, pero inservible por las razones expuestas; y lo propio puede decirse del clorido de plomo. El blanco de plomo que mejor responde á las exigencias del pintor, y que se conoce y emplea desde tiempos muy antiguos, es el *albayalde*, ó carbonato básico de dicho metal.

Si se mezcla la disolución de una sal de plomo, el acetato por ejemplo, con la de un carbonato, como el de sosa, se produce un precipitado de carbonato de plomo (albayalde), mientras que se forma una sal nueva (acetato de sosa en el caso supuesto), que queda disuelta. Pero tratándose de la fabricación en grande del albayalde se procede de un modo más económico, evitando la formación de una nueva sal. Dos son los procedimientos actualmente en boga para dicha fabricación, ó sean el antiguo llamado holandés, y el moderno francés, ó de Thenard; pero por muy diferentes que parezcan, ambos descansan en el mismo principio, cual es la exposición de plomo metálico ó su óxido á la acción del vinagre y del ácido carbónico; por mediación del vinagre, el oxígeno del aire oxida el metal, el óxido se disuelve en el vinagre, y parte de él se combina seguidamente con ácido carbónico, que descompone parcialmente la disolución. El hecho de que el ácido carbónico descomponga la disolución de una sal metálica, cosa que, por regla general, no es capaz de hacer por sí solo, estriba en la capacidad del plomo para formar las llamadas sales básicas, con más la circunstancia favorable de que el acetato básico de plomo es soluble en agua, mientras que otras combinaciones básicas de dicho metal son insolubles en ella. Cuando el ácido acético, ó sea el vinagre, se ha saturado con óxido de plomo, su capacidad disolvente no cesa por eso, sino que el mismo líquido disuelve todavía cierta cantidad de óxido, siendo este exceso el que se halla, digámoslo así, á disposición del ácido carbónico, y constituye con él el albayalde. Efectuadas estas combinación y precipitación, sólo queda una disolución neutra de acetato de plomo, que puede disolver una nueva porción de óxido de plomo y cederlo al ácido carbónico; proceso que se repite hasta cierto punto con la misma cantidad de ácido acético.

El antiguo procedimiento de fabricación se llama *holandés*, porque en otros tiempos floreció más especialmente en Holanda. Se toma el plomo más puro posible, fundiéndolo y moldeándolo en forma de pequeñas planchas del grueso de un cartón delgado, ó bien, como sucede generalmente en Inglaterra, en forma de pequeñas rejas ó planchas caladas (como indica la fig. 391), que presentan

una superficie mayor á la acción de los gases. En un local á propósito, se apilan estas planchas ordenadamente en unión de pequeñas ollas con vinagre y capas de estiércol, de manera que queden intersticios para la debida circulación del aire y demás gases: sobre el suelo se forma primero una capa de estiércol bien apisonada, ó bien de casca de curtidores ya usada, en la que se colocan series paralelas y yuxtapuestas de aquellas ollas, bien vidriadas por dentro, cada una de las cuales recibe un poco de vinagre ordinario ó de madera, mezclado con jiste ó cosa análoga; además, en cada olla se coloca una de las planchas de plomo referidas, arrollada en espiral, apoyándola contra un borde sobresaliente dentro de ella, á fin de que no esté en contacto con el vinagre; entonces se colocan sobre las ollas cuatro capas de planchas de plomo, separadas por listoncitos de madera, cubriéndose el conjunto con tablas, sobre las que se extiende otra capa de estiércol, una nueva tanda de ollas y planchas de plomo, y así sucesivamente, hasta formar un montón de seis pisos. Donde, en lugar de las planchas continuas de plomo, se emplean las caladas, la formación del montón se verifica de la misma manera (fig. 391), salvo que las ollas son más bajas ó menos profundas y no reciben plomo en su interior, mientras que las planchas caladas se sobreponen directamente unas á otras sin necesidad de listones, que sólo tienen por objeto facilitar la circulación de los gases. De esta manera se distribuyen á veces en un solo montón unos cien quintales métricos de plomo, empleando de 3.000 á 4.000 ollas.



Fig. 391.—Fabricación del albayalde por el método holandés.

La fermentación del estiércol da lugar al desarrollo continuo de ácido carbónico, y de un calor que sube considerablemente en un principio para mantenerse luego entre los 35 y 60 grados, y que promueve la evaporación del vinagre y las reacciones químicas, en las que toma parte el aire que circula por todas partes. Terminado el proceso químico por consunción total del vinagre, lo que puede tardar de uno á cuatro meses, se descubre el montón, encontrando las planchas ó rejas de plomo más ó menos corroídas, es decir, transformadas total ó parcialmente en albayalde; por regla general no se ha descompuesto más de la mitad del plomo, y después de separar el albayalde, se vuelven á fundir los núcleos metálicos para formar nuevas planchas. Dicha separación se verificaba antes á mano, golpeando las planchas; pero en vista de lo perjudicial del polvo para la salud de los operarios, se efectúa hoy, en todas las fábricas bien montadas, por medio de cilindros trituradores. Una pequeña parte del albayalde producido de este modo se entrega directamente al comercio en estado

de polvo más ó menos basto; pero la mayor parte se muele finamente con agua, llenándose con la pasta pequeños vasos cónicos de arcilla sin vidriar; al cabo de un par de días tiene el producto la consistencia suficiente para ser sacado de los vasos, y los pequeños panes cónicos se secan entonces natural ó artificialmente. Las diferentes materias con que suelen adulterarse las clases inferiores de albayalde, ó sean el sulfato de plomo, la barita y la creta, se agregan al producto al tiempo de molerlo. En vista del trabajo que cuesta reducir á polvo los panes de albayalde, algunos fabricantes entregan su producto al comercio en forma de polvo fino, ó bien amasado con aceite de linaza en forma de una pasta espesa. Para producir un albayalde de calidad superior es preciso someter el producto ordinario á un lavado, por cuyo medio se separan las partículas de plomo metálico y otras impurezas que perjudican el color.

En Austria se fabrica el albayalde del modo siguiente: las pequeñas planchas de plomo sin calar se doblan por medio en ángulo agudo, dejándolas como las tapas de un libro entreabierto, y se suspenden mediante listones en cajas de madera embreadas, que se llenan hasta la altura de seis á ocho centímetros con vinagre, solo ó mezclado con heces de vino, sin que el líquido llegue hasta los bordes inferiores de las planchitas. Las cajas se tapan por medio de hojas de papel, cuyos bordes se pegan á la madera, y entonces se colocan, en número de 80 á 100, en cámaras de mampostería, cuya temperatura interior se mantiene á la altura de 30 ó 40 grados por medio de tubos, en los que circula vapor de agua; al mismo tiempo se da entrada en las cámaras al aire necesario, así como al ácido carbónico producido por la combustión de carbón vegetal ó de cok, y al cabo de tres semanas queda el plomo convertido en albayalde. Este procedimiento se practica más especialmente en las grandes fábricas de Carintia, y da un producto muy hermoso, que se debe en gran parte á la pureza de los plomos de aquella región; el albayalde carintio más duro y fino, constituye el tan celebrado *blanco de Krems.*

Un modo nuevo de fabricación del albayalde, que puede considerarse como una modificación mecánica del procedimiento holandés, es el ideado por *Grueneberg;* ofrece la gran ventaja de ser mucho menos perjudicial para los operarios que los procedimientos ya descritos; pero es preciso que se perfeccione si ha de dar productos tan buenos ó superiores como éstos. El plomo se emplea en forma granulada, echándose en cilindros horizontales huecos y provistos interiormente con costillas, que se hacen girar rápidamente por medio de un motor; durante la rotación penetra el aire en los cilindros por dos aberturas reservadas en sus extremos, mientras que por medio de sus árboles huecos se introducen cantidades determinadas de los ácidos acético y carbónico. Merced al continuo rozamiento de los granos de plomo, así como á la acción química, se desarrolla pronto el calor necesario, y la conversión del metal en albayalde procede tan rápidamente, que en ocho días se obtiene tanto como en dos meses

por el procedimiento holandés propiamente dicho. De cuando en cuando se separa el albayalde ya formado del metal todavía sin transformar, inyectando en el cilindro una disolución de acetato de plomo, y el producto sale en estado de división tan fina, que puede entregarse desde luego al comercio.

El procedimiento *francés*, cuya invención se debe á *Thénard*, estriba en la precipitación del albayalde en una disolución de acetato básico de plomo por medio de una corriente de ácido carbónico. Aunque el producto no responde tan bien á las exigencias de la pintura como el del procedimiento holandés, el modo en cuestión ha alcanzado un desarrollo considerable en Francia, que es casi el único país en que se practica. Es verdad que en la célebre fábrica de Ozouf, en Saint-Denis, se pone un cuidado especial en producir un albayalde igual por su composición química al que resulta por el procedimiento antiguo; cosa que se consigue mediante la graduación más exacta del ácido carbónico introducido en la disolución de plomo. Dicho ácido se prepara al efecto por la combustión de carbón ó la calcinación de piedra caliza, y se conduce á los depósitos en que se encuentra la disolución de azúcar ó acetato de plomo, introduciéndose en ella por medio de gran número de tubos; la disolución de acetato neutral de plomo que queda después de precipitado el albayalde, se separa de éste y se disuelve en ella cierta cantidad de litargirio, á fin de que vuelva á formarse el acetato básico y pueda repetirse la precipitación por el ácido carbónico.

Con arreglo al procedimiento de Thénard, todas las operaciones se verifican en aparatos de construcción sumamente ingeniosa, merced á la cual se evita en lo posible el esparcimiento del polvo de albayalde, tan perjudicial para la salud de los operarios; el producto ó precipitado pastoso se seca en cilindros giratorios de hierro, calentados por medio de gas del alumbrado y sin la intervención del operario, pues el cilindro está montado de manera que, al girar en torno de su eje, arrastra la pasta húmeda hacia su interior y la suelta, completamente seca, en el extremo opuesto. En vista de la inocuidad de este procedimiento, comparado con el antiguo, es de sentir que su práctica no se haya generalizado en otros países.

Diremos, por último, que, según Tourmentin, se puede producir albayalde mezclando el clorido básico de plomo (obtenido con sal común y litargirio) con agua, introduciendo en la mezcla una corriente de ácido carbónico, y cociéndola luego con creta en una caldera de plomo, hasta que una prueba filtrada no se ennegrece por el sulfuro de amonio.

SUSTITUTOS DEL ALBAYALDE

A pesar de que los preparados de plomo, especialmente en forma de polvo, ejercen una influencia venenosa en nuestro organismo, y de que la pintura blanca plomiza tiene el inconveniente de volverse parda en una atmósfera que contiene hidrógeno sulfurado, como, por ejemplo, la que procede de los cuartos excusados, no se ha logrado hasta la fecha sustituir completamente el albayalde por otro medio colorante, pues ninguna de las materias blancas conocidas se deja extender tan bien sobre las superficies, ni se combina con aceite ó barniz para formar una masa tan firme como lo hace dicho carbonato de plomo.

Sólo se emplean actualmente dos materias como sustitutos del albayalde, á saber: el espato pesado, ó sulfato de barita, llamado *blanco permanente* en el comercio, y el óxido de cobre, ó *blanco de cinc*. En un capítulo anterior de este tomo (véase la pág. 215) nos hemos ocupado detenidamente de la fabricación de este último producto; de modo que sólo nos resta hablar del blanco permanente, que se fabrica hoy en diferentes países.

El sulfato de barita es una de las combinaciones más constantes, no disolviéndose en ácido alguno; pero tal como se encuentra en la Naturaleza, esto es, en forma del mineral llamado espato pesado, es rara vez bastante puro para servir, después de pulverizado, en la pintura. Por esto se caldea fuertemente con alquitrán ó carbón para privarle de su oxígeno y convertirlo en sulfuro de bario, el cual se disuelve entonces en ácido clorhídrico diluído, de lo que resultan clorido de bario y gas hidrógeno sulfurado; por último, á la disolución de clorido de bario se agrega ácido sulfúrico ó una disolución de sulfato sódico, que precipitan el blanco permanente en forma de finísimo polvo, que se separa con facilidad del líquido. La fabricación resulta más sencilla cuando se dispone del carbonato natural de barita, ó sea el mineral llamado *witherita*, pues en tal caso las operaciones se reducen á disolver éste en ácido clorhídrico, sin caldeo previo, y precipitar con ácido sulfúrico.

El blanco permanente se emplea principalmente en la pintura á la aguada, con ó sin cola; pero no surte buen efecto mezclado con aceite ó barniz. Por esto los fabricantes de papeles pintados, naipes, ropa blanca, etc., son los principales consumidores de dicho producto, tanto más cuanto que por su blancura y el brillo ó pulimento de que es susceptible, no es inferior al blanco de Krems, y resulta naturalmente más barato que éste.

PREPARADOS DE CROMO Y MANGANESO

En la parte metalúrgica de este tomo hemos dejado de tratar de dos metales—el cromo y el manganeso—por la sencilla razón de que nunca son objeto del beneficio metalúrgico, no hallando empleo alguno en estado metálico; sólo mezclados con hierro suelen utilizarse en forma de acero crómico y mangánico, como tuvimos ocasión de explicar al tratar de la siderurgia. Ambos metales se igualan por su gran afinidad química para con el oxígeno, razón por la cual nunca se encuentran en estado nativo en la porción conocida en el globo terrestre. El manganeso se presenta en la Naturaleza aun en estado de hiperóxido, esto es, combinado con dos veces el oxígeno que los óxidos ordinarios, y este mineral (la pirolusita) se utiliza, por lo mismo, en la fabricación del vidrio, la producción del cloro, etc., como dijimos en capítulos anteriores.

El cromo fué descubierto en 1797 por *Vauquelin*, y como su nombre se deriva del griego *chroma*, que significa «color», no parecía sino que era lógico tratar de él en un capítulo dedicado á los colores. En efecto: los óxidos y las sales de cromo encierran un verdadero tesoro de colores del que sabe aprovecharse el hombre, no sólo en la pintura al óleo, á la aguada y el barnizado ordinarios, sino en la pintura sobre porcelana y vidrio, en la fabricación de vidrios de color, y especialmente en la tintorería.

Con oxígeno, constituye el cromo cuatro combinaciones distintas: el protóxido de cromo, el óxido, el ácido crómico y el ácido hipercrómico, de los que algunas pueden combinarse entre sí; la primera y la última sólo ofrecen un interés científico, de modo que prescindiremos de ellas en este lugar. El óxido de cromo es más especialmente importante para la pintura sobre porcelana y vidrio, pues según el modo de emplearlo produce diferentes matices de verde, mientras que, mezclado con óxido de hierro ó de cinc, da un color negro, y con óxido de manganeso ó cobre, uno pardo. Se obtiene siempre por reducción de sales de cromo, bien por la vía húmeda, bien por la seca; de la primera manera se separa de las disoluciones correspondientes en combinación con agua, esto es, en el estado de óxido hidratado ó hidróxido de cromo, de color verde claro; el óxido anhidro se obtiene por caldeamiento del hidratado, y es de color verde oscuro. El óxido de cromo más hermoso y apreciado se obtiene caldeando el cromato de mercurio, es decir, la combinación del protóxido de este metal con ácido crómico; el mercurio y parte del oxígeno se volatilizan, y el óxido de cromo queda en la retorta. Merced al caldeamiento, dicho óxido resulta insoluble, aun en los ácidos más fuertes, y es una de las pocas materias colorantes capaces de resistir la temperatura más elevada del horno de porcelana, pudiendo fijarse al fuego debajo del vidriado. Pero también se ha logrado utilizar el óxido de cromo para la

pintura ordinaria y la estampación de telas, y hoy se encuentran en el comercio diferentes polvos verdes, llamados verde de esmeralda, de Mittler, de Pannetier, de Plessis, de Dingler, etc., que se componen esencialmente de dicho óxido por sí sólo ó en combinación con ácido bórico ó fosfórico, ó bien mezclado con otras sustancias; algunos, de matices más claros, consisten simplemente en hidróxido de cromo. Para la estampación de las telas y del papel ha alcanzado un considerable desarrollo en los últimos años la fabricación del llamado *verde de Guignet*, en la que se utilizan los residuos de la preparación del violeta de anilina, de aldehyd, etc.. para la cual se emplea mucho ácido crómico.

Las disoluciones ácidas del óxido de cromo aparecen, según los casos, de color verde ó violeta; el violeta se deja convertir en verde con sólo calentar la disolución, y el verde se transforma fácilmente en violeta por medio de un poquito de ácido nítrico. Semejantes combinaciones, violetas ó verdes, constituyen las sales de cromo, en las que el óxido de cromo desempeña el papel de base. Entre ellas debemos mencionar, como importante para la tintorería, el *alumbre de cromo*, sal doble compuesta de sulfato de cromo y sulfato de potasa, de color rojo de granate, que se emplea, entre otros usos, como mordiente en la estampación de telas de algodón y para producir un color gris perla. Se puede obtener dicho alumbre en preciosos cristales octaédricos, suspendiendo, mediante un hilito de seda cruda, un pequeño cristalito del mismo en una disolución saturada de la sal, en la que crece rápidamente.

Cuando el cromo tiene ocasión de combinarse con mayor cantidad de oxígeno de la contenida en su óxido, se produce el ácido crómico, que se combina con bases como otros ácidos, formando sales, ora solubles, ora insolubles y coloreadas. Estas sales son los cromatos, que difieren por entero de las anteriormente referidas. El ácido crómico mismo se deja separar de sus combinaciones por medio de ácidos más fuertes, empleándose por lo general al efecto el bicromato de potasa y el ácido sulfúrico; pero semejante separación es tan complicada, que el ácido crómico siempre resulta relativamente caro. Los efectos de este producto estriban en lo principal en la facilidad con que se desprende de oxígeno, y son, por consiguiente, oxidantes, blanqueadores ó descolorantes, como los del cloro, aunque menos violentos; para utilizar dichos efectos en la estampación de telas de algodón, no es necesario emplear el ácido crómico puro, sino solamente la mezcla de cromato de potasa y ácido sulfúrico, que contiene ácido crómico libre.

El primero de los cromatos que reclama nuestra atención es el *cromato de potasa*, no sólo porque es susceptible por sí de diferentes aplicaciones industriales, sino también porque constituye la madre, digámoslo así, de todos los demás preparados de cromo; su consumo es, por lo mismo, de consideración, y bastantes fábricas se ocupan de producirlo en masa. Empléase al efecto, como primera materia, la cromita ó hierro crómico, el único mineral que se presenta

con bastante abundancia para que tenga cuenta beneficiarlo por cromo. Antes se traía dicho mineral de los Estados Unidos; pero de algunos años á esta parte se han descubierto depósitos de él en Europa, especialmente en Bohemia, Silesia, Galitzia y Estiria, que hacen ya innecesaria dicha importación. La cromita es de color negro pardusco; consiste en una combinación de óxido de cromo y peróxido de hierro, y con ella se fabrica directamente el cromato de potasa. El mineral, finamente molido, se mezcla muy bien con carbonato potásico y cal viva, y se caldea el compuesto en un horno de reverbero, resultando un producto compuesto de cromato potásico, cromato de cal y óxido de hierro; el oxígeno necesario para la formación del ácido crómico procede del aire, pues si bien podría emplearse al efecto el nitro, no se hace por resultar demasiado caro. La masa fundida se lixivia con una disolución caliente de sulfato de potasa, á fin de transformar el cromato de cal en sulfato calizo y cromato de potasa; y entonces éste se separa de dicho sulfato y del óxido de hierro, disolviéndolo con agua.

Semejante disolución contiene el cromato de potasa simple ó neutro, de color amarillo; y como su empleo es l imitado, se transforma en su mayor parte en sal ácida ó *bicromato de potasa*, que, como indica el nombre, contiene doble cantidad de ácido crómico que la sal neutra. Se obtiene privando el cromato simple de la parte correspondiente de potasa, mediante el agregado de ácido sulfúrico; la disolución se vuelve entonces de color amarillo oscuro, y contiene sulfato de potasa, además del bicromato deseado, el cual se separa por medio de la evaporación del líquido, obteniéndose en cristales grandes, duros, de color rojo de fuego. El bicromato potásico sirve principalmente para preparar otros cromatos, ó bien el óxido de cromo y sus sales; estos últimos se obtienen frecuentemente como productos secundarios, aprovechando las lejías, más ó menos ricas en cromo, que resultan de diversas operaciones químico-industriales.

Si se mezcla una disolución de bicromato potásico con la de una sal de plomo, se produce en el acto, y en virtud de la reacción química consiguiente, un hermoso precipitado amarillo de cromato de plomo, que constituye el ya referido *amarillo de cromo*. Este es, sin duda, el preparado crómico más importante en sentido industrial, fabricándose hoy en masa, y que sustituye ya en gran parte á los colores amarillos antes en boga, como el de Nápoles, Cassel, etc. Aunque en el fondo la preparación del amarillo de cromo es muy sencilla, hay que observar en ella ciertas precauciones y usar de ciertas mañas si se desea obtener un producto duradero y de un matiz determinado y uniforme; pues según los casos , el precipitado puede resultar de diferentes matices de amarillo, y hasta anaranjado. Si se emplea una disolución básica de plomo, se obtiene siempre un producto de hermoso color anaranjado; y lo propio sucede cuando, en unión con la sal de plomo, se agrega potasa cáustica á la disolución

del cromato; el amarillo de cromo ya preparado puede convertirse siempre en producto anaranjado por medio de la disolución de un álcali cáustico, el cual sustrae de dicho amarillo algún ácido crómico, estableciendo una relación distinta entre ácido y base, y determinando, por ende, la variación del color.

Se obtiene por la vía seca un hermoso cromato básico de plomo, de color de cinabrio, llamado, por lo mismo, *cinabrio de cromo*, echando amarillo de cromo en nitro fundido hasta que cese de producirse la efervescencia, y tratando entonces la masa fundida con agua la que disuelve cromato neutro de potasa dejando el cinabrio de cromo en forma de polvo. Lo que sucede es que la potasa del nitro descompuesto se asimila parte del ácido crómico, de modo que tenemos aquí la misma acción y el mismo resultado que en el caso anterior. Se aprecian más especialmente los cromatos plomizos procedentes de Colonia y conocidos en el comercio bajo los nombres de granate y carmín de cromo.

Las clases inferiores de amarillo de cromo suelen adulterarse con materias blancas, como el sulfato y el clorido de plomo, el sulfato de barita (espato pesado), etc. Diremos, por último, que calentando una disolución clorido de hierro, en la que se ha echado cierta cantidad de bicromato potásico, se produce un precipitado de color amarillo muy vivo, que se emplea en la preparación del llamado *amarillo de siderin*, color apreciado por los pintores.

El *manganeso*, que mencionamos antes de pasada, es un metal cuya presencia en la pirolusita fué reconocida, en 1774, por *Scheele*, y que *Gahn* logró separar algunos años después en su forma elemental. Empléase el óxido, ó, mejor dicho, el hiperóxido de manganeso, en su estado natural (pirolusita) como materia colorante en la fabricación de vidrios violados y negros, y también en la pintura sobre vidrio y porcelana, como ya dijimos en otros capítulos del presente tomo. Por lo demás, el papel que desempeña el manganeso en la industria de los colores es bastante modesto. El *permanganato de potasa*, que es una sal de brillo metálico y color rojo violeta muy intenso, que se disuelve fácilmente en agua, se emplea como mordiente para la madera y para teñir el algodón de color pardo, pues el ácido permangánico rojo se descompone en tales operaciones, convirtiéndose en hiperóxido hidratado de manganeso, que es de color pardo. Tanto éste como el óxido propiamente dicho, que se presenta en la Naturaleza en forma del mineral llamado *braunita*, se emplean en pintura, como colores pardos, bajo el nombre de *bistro mineral;* y en años recientes se ha lanzado al comercio un color verde manganesífero llamado *verde de barita*, que consiste en manganato de barita y se emplea en la pintura ordinaria y en la fabricación de papeles pintados.

COLORES DEL COBRE

El cobre, que se presta á tantas aplicaciones, tiene también su importancia como base de varios colores, si bien la calidad venenosa de semejantes preparados justifica el deseo de verlos sustituídos por otras materias menos nocivas. Las dos sales de cobre más generalmente conocidas, ó sean la caparrosa azul y el cardenillo, muestran los dos colores principales, el azul y el verde, que puede producir el cobre; pero el fabricante de vidrios de color sabe producir además un rojo hermoso, mediante el protóxido de dicho metal.

La *caparrosa azul,* ó sulfato de cobre, se presenta disuelta en las aguas naturales que se han hallado por más ó menos tiempo en contacto con minerales sulfurosos de cobre descompuestos, cual sucede, por ejemplo, en las minas de Ríotinto, y se produce en grandes cantidades por evaporación y cristalización de semejantes disoluciones naturales ó de otras análogas, procedentes de diferentes industrias metalúrgicas y químicas, resultando, por regla general, más ó menos mezclado con sulfato de hierro. Se obtiene perfectamente puro por la oxidación del sulfuro de cobre, que resulta de agregar azufre al cobre candente en un horno de reverbero.

El *cardenillo,* ó acetato cobrizo, es el producto de la combinación química del óxido de cobre con ácido acético, pudiendo constituir una sal neutra cristalizable, ó bien una sal básica, en la que la base se halla en exceso respecto del ácido; no es cristalino y sólo parcialmente soluble en agua. El cardenillo común, que forma pequeñas masas más ó menos compactas, de color más bien azulado claro que verde, es, según los químicos, una mezcla de diferentes acetatos básicos de cobre. El acetato neutro cristalino constituye cristales bien formados de color verde oscuro, y es completamente soluble en agua. Para convertir el cardenillo común en acetato cristalino, basta disolverlo, mediante el calor, en vinagre fuerte, evaporar la disolución hasta que se forme una costra en su superficie, y entonces dejar que la sal se cristalice. La disolución del acetato neutro constituye una materia colorante verde, que emplean los iluminadores.

La producción industrial del cardenillo común se practica hace tiempo en los distritos vinícolas del Mediodía de Francia, no en fábricas especiales, sino por los viticultores mismos, de los que casi todos tienen su propia «bodega de cardenillo». Las mujeres son las que generalmente se encargan de la fabricación, que tiene mucha analogía con la del albayalde, y consiste, en sustancia, en promover la reacción entre cobre y ácido acético. Empléase al efecto el orujo (hollejo de la uva exprimida), que, después de fermentado hasta cierto punto en vasijas cerradas, se dispone en grandes ollas de barro cocido en capas, alternando con tiras de plancha de cobre, de modo que las capas inferior y superior

sean de orujo; dichas tiras se amartillan bien sobre un yunque para que resulten densas y lisas, y se calientan en fuego de carbón al tiempo de meterlas en las ollas, las cuales, que pueden contener cada una de 15 á 20 kilogramos de cobre, se cubren entonces con esteras. Al cabo de dos ó tres semanas las tiras de cobre se hallan cubiertas con una tenue capa de cristalitos brillantes como la seda, y en este estado se sacan de las ollas, se inmergen en agua y se colocan de canto en la bodega, apoyadas una contra otra, sobre tablas; todas las semanas se repite la inmersión en agua, hasta seis ú ocho veces, merced á cuyo tratamiento se promueve la formación de la sal básica, que acaba por constituir una costra, y se separa entonces del cobre por medio de un cuchillo; cada olla produce de 2 á 3 kilogramos de cardenillo, que dichos particulares venden á los comerciantes, volviendo á emplear las tiras de cobre hasta que resultan demasiado delgadas.

En Alemania, Inglaterra y otras partes, se practica un procedimiento más racional, que consiste primero en disponer, en capas alternas, planchas de cobre y pedazos de bayeta saturados con vinagre; después se repite la saturación de las bayetas cada tres días, y quitándose al cabo de dos semanas, se sigue humedeciendo periódicamente las planchas solas con agua durante seis ú ocho semanas; entonces puede procederse á la separación del cardenillo, que, por ser más rico en ácido que el francés, aparece realmente de color verde, y no azulado.

Hay también productos cobrizos naturales que pueden servir como materias colorantes. El mineral llamado *malaquita*, que se compone de carbonato de cobre y óxido hidratado del mismo, tiene un hermoso color verde claro y podría emplearse en la pintura. La *azurita*, que consiste en las referias materias, pero que tiene doble cantidad del carbonato de cobre, es de precioso color azul celeste, y en algunas partes, especialmente en el Tirol y la región de Lyon (Francia), se muele y lava, convirtiéndola en el llamado *azul mineral* del comercio, nombre, sin embargo, que se aplica, con frecuencia, á diversos preparados artificiales.

La sustancia de los colores cobrizos azules, como los verdes, la constituye generalmente el óxido hidratado ó hidróxido de cobre, mezclado también con otras materias térreas, que le prestan más cuerpo y producen diferentes matices del azul. El hidróxido obtenido de una disolución de acetato ú otra sal de cobre por precipitación con sosa cáustica, es de color azul verdoso pálido, que se puede convertir en diferentes matices por medio de sencillos procedimientos. Con sólo lavar repetidamente en agua, toma el precipitado un color verde azulado, y en este estado se conoce con el nombre de *verde de Brunswick;* en cambio adquiere un hermoso color azul en contacto con cal viva, y entonces suele llamarse *azul mineral artificial;* también se desarrolla el color azul por medio de los álcalis cáusticos. Cuando se mezcla una disolución de sulfato de cobre con leche de cal y un poco de sal amoniacal, se produce un

precipitado de hidróxido de cobre y yeso, cuyo hermoso color azul se debe al amoniaco libertado. Otras recetas se fundan en la formación de un carbonato básico de cobre.

Un azul de índole enteramente distinta lo constituye el sulfuro simple de cobre, que se presenta en la Naturaleza en forma del mineral *covellina*, y también se prepara artificialmente para la pintura al óleo. El procedimiento consiste en calentar óxido de cobre con azufre y sal amoniacal, hasta que la masa negra se torna azul; operación durante la cual hay que revolver continuamente la mezcla, agregando de vez en cuando más azufre y sal amoniacal. Ya terminada, se aleja el resto de esta sal por medio de agua, y el del azufre cociendo la masa en lejía potásica, y se obtiene, por ende, un pigmento de color azul violado hermoso y duradero.

Un preparado cobrizo muy usado es el llamado *azul ó verde de Bremen*, pues se puede emplear á voluntad como color verde ó azul. Constituye un polvo azul claro muy suelto y ligero, que conserva su color azul en la pintura á la aguada, con ó sin cola, pero que, usado con aceite ó barniz, resulta, al cabo de veinticuatro horas, de un hermoso verde, merced á una especie de saponificación entre él y el medio grasiento. Al respecto químico, el azul de Bremen se compone simplemente de hidróxido de cobre, y se obtiene de diferentes modos, basados todos en el empleo de una disolución de clorido de cobre, y la producción en la misma, mediante un álcali, de un precipitado, que se lava y seca con cuidado; sólo después de seco perfectamente queda por completo desarrollado el color.

El verde cobrizo más hermoso, pero también el más peligroso en razón de su calidad venenosa, es el que se obtiene con ayuda del arsénico. Como color al óleo que se adhiere firmemente á la superficie pintada, no ofrece cuidado; pero nunca debiera emplearse en la pintura á la aguada, con cola ó con cal, ni mucho menos para teñir telas, flores artificiales, papeles pintados, etc.; pues no sólo el finísimo polvo que de tales pinturas ó coloraciones se desprende envenena á las personas que lo aspiran, habiendo dado lugar en muchos casos á la muerte de los infelices que lo han aspirado, sino que de los papeles pintados con semejante verde, si recubren paredes algo húmedas, se desprende un gas hidrógeno arsenical sumamente nocivo.

Este color venenoso se conoce, por lo general, con el nombre de *verde de Schweinfurt*, por haberse fabricado principalmente en esta ciudad de Baviera desde 1814, si bien se había preparado antes en Austria por un fabricante llamado Mitis. El procedimiento se mantuvo en secreto hasta el año 1822, cuando lo explicó Liebig, y es, en el fondo, muy sencillo, basándose en la mezcla de disoluciones calientes de sulfato de cobre y arsenito potásico, al reunirse las cuales se produce arsenito de cobre en forma de un precipitado fluecoso de color verde oliva. Entonces se agrega al líquido cierta cantidad de ácido acético, bajo

cuya influencia el precipitado voluminoso se estrecha, se vuelve cristalino y va tomando gradualmente el color verde tan vivo, característico del preparado en cuestión; transformación que se debe á que el precipitado primitivo pierde una parte de su ácido arsenioso, tomando en cambio ácido acético, de modo que el verde de Schweinfurt debe considerarse como una sal doble de arsenito y acetato de cobre. Cuanto con más lentitud proceden la conversión y cristalización del precipitado, tanto más brillante resulta el color. El producto se mezcla frecuentemente con otras materias blancas ó amarillas, recibiendo entonces diferentes nombres, como *verde de Neuwieder*, *de Viena*, *de Kirchberger*, *verde imperial*, *de papagayo*, etc.

En vista de los peligros asociados á los colores cobrizo-arsenicales, los químicos se han esforzado por inventar otros menos nocivos que pudieran emplearse en su lugar; pero todas las demás materias colorantes verdes propuestas carecían de la brillantez que distingue al producto de Schweinfurt, al que sólo se aproxima el *verde de Rinman*, que se obtiene caldeando una mezcla de protóxido de cobalto y óxido de cinc, precipitados químicamente, pero que sólo sirve como color fino. Sin embargo, el problema quedó resuelto en 1865 por *Casselman*, cuyo preparado verde constituye un verdadero sustituto del verde de Schweinfurt, y fué premiado como tal en la Exposición parisiense de 1867. Se obtiene mezclando disoluciones muy calientes de sulfato de cobre (caparrosa azul) y acetato de potasa, en cuyo acto se produce un precipitado de hermoso color verde, consistente en sulfato básico de cobre, que no hay más que secar y moler.

Mencionaremos, por último, el *borato de cobre* (combinación del óxido de este metal con ácido bórico), que se emplea en la pintura al óleo y sobre porcelana, siendo susceptible de ser preparado con diferentes matices verdosos agradables. La combinación resulta al mezclarse las disoluciones de bórax y sulfato de cobre, y después de lavar y secarse se calienta para expulsar el agua de hidratación, y se muele finamente.

SULFUROS METÁLICOS COMO MATERIAS COLORANTES

Algunas combinaciones del azufre con metales se distinguen por la hermosura de sus colores, y ocupan puestos importantes entre los materiales del pintor. El bisulfuro de estaño, en la forma de *oro musivo*, imita al oro y puede clasificarse entre los colores que nos ocupan; pero los compuestos que más reclaman nuestra atención en este sitio son los del azufre con el azogue, el antimonio y el cadmio.

El sulfuro simple de mercurio, con 86,2 por 100 de metal y 13,8 de azufre, constituye el *cinabrio*, que se empleaba ya como color en la antigüedad, y pro-

cedía de nuestras minas de Almadén. Pero el producto natural es rara vez tan puro y de color bastante hermoso para que pueda emplearse directamente en la pintura con sólo molerlo, y la mayor parte del cinabrio que se usaba antiguamente, y se usa todavía, es un producto artificial obtenido mediante la reunión del azogue metálico con azufre, ora por la vía seca, ora por la húmeda. El procedimiento en seco se practica desde muy antiguo y constituyó más tarde, en Holanda, una industria considerable, que aún se distingue por la hermosura y baratura de sus productos y al que sólo supera en calidad el cinabrio inmejorable fabricado en China. En cuanto á la duración del color de esta materia, buena prueba ofrecen de ella las pinturas murales de los antiguos, así como las iluminaciones de manuscritos de la Edad Media, en las que también se empleaba al lado del minio.

El mercurio y el azufre se combinan, ya con sólo juntarlos, agitarlos ó frotarlos, ó bien calentándolos moderadamente; pero el producto no es cinabrio, sino una masa negra, y lo propio sucede con los precipitados que se obtienen de disoluciones mercuriales mediante el hidrógeno sulfurado y reactivos análogos. Siempre se hace preciso un tratamiento especial para producir el color rojo, que estriba en la transformación del sulfuro de mercurio en el estado cristalino.

La fabricación del cinabrio por la vía húmeda se funda precisamente en que el sulfuro negro se deja transformar en la modificación roja cristalina, por medio de una disolución acuosa de sulfuro alcalino. Si á una mezcla de 300 partes del azogue con 68 de azufre, en una caldera de hierro, se añaden 160 partes de potasa cáustica disuelta en agua, y se calienta moderadamente la caldera, removiendo de continuo su contenido, adquiere éste, al cabo de dos horas, un color rojo pardusco; y si entonces se baja un poco la temperatura, el color encarnado se va señalando cada vez más, acabando á veces repentinamente por tomar el matiz más intenso ó vivo; desde este momento la masa se deja enfriar con lentitud, y no hay sino lavar y secar el cinabrio.

El procedimiento por la vía seca empieza con la mezcla íntima del azogue con el azufre, operación que se efectúa en Idria por medio de cilindros giratorios, en los que se revuelven los componentes hasta que resulte un polvo negro, sin gota alguna visible de azogue. Según el procedimiento holandés, dicha operación preparatoria se verifica calentando el azufre en una caldera de hierro hasta que empieza á fundirse, y añadiendo entonces gradualmente la cantidad correspondiente de azogue, removiéndolo bien todo el tiempo. En uno y otro caso, la mezcla negra se somete entonces á una sublimación en retortas de hierro, en las que se verifica la transformación consabida, condensándose el cinabrio sublimado en vasijas á propósito, en cuyo interior forma costras de color rojo oscuro. Después de separar algunas partes negras de este producto, que se vuelven á sublimar, se entregan desde luego al comercio los pedazos de color más hermoso, mientras que lo restante se muele, se lava y luego se afina cociéndolo con lejía potásica,

á fin de separar el azufre libre que pudiera contener y mejorar el color. El cinabrio de superior calidad se conoce en el comercio bajo el nombre de *bermellón*.

Las combinaciones del azufre con antimonio demuestran asimismo cuánto depende el color de la forma. La proporción más sencilla en que se combinan dichos elementos es la de tres átomos de azufre por dos (ó sea un equivalente) de antimonio; el compuesto natural, es decir, el mineral *antimonita*, forma agujas prismáticas de brillo metálico y color gris plomo; producido por la vía húmeda, esto es, mezclando una disolución antimonial (de clorido de antimonio ó tártaro emético por ejemplo) con hidrógeno sulfurado ó un reactivo análogo, la misma combinación aparece en forma de un precipitado de color anaranjado, mientras que, mediante un procedimiento adecuado, se obtiene el mismo compuesto de hermoso color rojo, llamándose entonces *cinabrio de antimonio*.

Esta materia colorante, que se adapta más especialmente á la pintura al óleo ó con barnices, y que no se altera bajo la influencia de la atmósfera y de la luz, se conocía ya en el siglo pasado, y se produce en forma de precipitado al calentar la mezcla de un hiposulfito con una disolución antimonial, en cuya operación se asimila el antimonio la mitad del azufre de aquella sal. En la fabricación de este producto se emplean el hiposulfito de cal y el clorido de antimonio, mezclando las disoluciones en cubos de madera calentados al vapor, y suspendiendo la operación cuando el precipitado ha adquirido el matiz más hermoso, pues la coloración empieza con el amarillo pálido, pasando gradualmente por el anaranjado al rojo vivo, y acabaría en pardo casi negro si el calentamiento se prolongara demasiado. El precipitado rojo se lava bien y se seca, mientras que el líquido clarificado se trata con sulfuro alcalino y calizo, por cuyo medio se obtiene de nuevo hiposulfito de cal, que se vuelve á utilizar.

El *amarillo de cadmio*, ó *jaune brillant* de los franceses, es otro sulfuro metálico que se distingue por la hermosura y duración de su color, siendo muy apreciado por los pintores. Se obtiene mezclando una disolución de cadmio con un líquido saturado de hidrógeno sulfurado, y es simplemente el precipitado de sulfuro de cadmio. Por desgracia resulta bastante caro, y si bien se presenta en la Naturaleza en forma de *greenockita*, es tan raro este mineral, que, de querer prepararlo como color, resultaría aún más caro que el ultramarino natural.

ULTRAMARINO

Con este nombre se designa un color azul, procedente del reino mineral, que se distingue de todos los demás azules por su intensidad y fuerza, y que antes se producía exclusivamente con la *lazurita*, ó *lápislázuli*. Este mineral se trae á Europa desde China y Tartaria, y constituye una masa de precioso color azul celeste intenso, que se presenta en la piedra caliza; es susceptible de un

pulimento bastante bueno, y por esto, así como porque encierra diminutos cristales de pirita de hierro, que al pulirse brillan como el oro, se emplea desde antiguo como piedra de adorno en mosaicos y otros objetos artísticos y de bisutería.

Para preparar el ultramarino natural se escogían los pedazos más puros y de color más oscuro de dicha piedra, que se caldeaban moderadamente en un crisol durante una hora, y se enfriaban de repente en agua fría, después de lo cual se dejaban reducir fácilmente á polvo fino, el cual se fundía entonces con una mezcla de pez de Borgoña, cera blanca, aceite de linaza y resina blanca, con el objeto de separar en lo posible las impurezas del mineral; pues cuando la torta resinosa se echaba después en agua caliente, se disolvía la resina blanca y se desprendían primero partículas de ultramarino, las cuales constituían el color de primera calidad, obteniéndose luego más ó menos impuro amasando la masa resinosa en el agua y obligándola á soltar el polvo, que resultaba cada vez de color más claro.

Dada la rareza del lapislázuli y lo complicado del modo de preparación arriba descrito, el ultramarino se vendía á precios elevadísimos, que lo ponían fuera del alcance de la mayoría de las industrias; pero hace unos sesenta años se logró producirlo artificialmente, y hoy se fabrica en grande, de calidad muy superior al del producto natural, y á muy bajo precio; de modo que apenas hay materia colorante inorgánica que pueda competir con él. Empléase en gran cantidad en la fabricación del papel, la pintura, la estampación de telas y de papeles pintados y el refino del azúcar, no sólo para prestar á los diferentes productos el hermoso color azul, sino también para neutralizar ó evitar las coloraciones amarillas, que se presentan con frecuencia en las pastas de papel y azúcar; aplicación tanto más racional, cuanto que el ultramarino artificial es un compuesto enteramente inofensivo.

Respecto de su composición química, la lazurita consiste en 45,5 por 100 de sílice, 31,6 de alúmina, 9,1 de sosa, 5,9 de ácido sulfúrico, 2 de azufre y 1 de hierro; el 4,9 por 100 restante consiste en materias extrañas, como carbón, agua, etc. A pesar de las investigaciones y análisis más minuciosos de los químicos, no se ha logrado todavía determinar la constitución química del ultramarino; es decir, la manera cómo se hallan ordenados en él los átomos del aluminio, sodio, silicio, azufre y oxígeno. Sólo se sabe que el azufre, ó cuando menos la mayor parte de él, se halla combinado, formando sulfidos, y que el sodio se puede sustituir con otros álcalis, como potasio y litio, así como con plata, cinc, etc., por cuyo medio se obtienen ultramarinos amarillos, rojos ó blancos. También se ha conseguido sustituir el azufre con selenio y teluro.

El primero que fabricó el ultramarino artificial fué *Guimet*, en Toulouse (Francia); pero el modo de hacerlo parece que surgió dos años antes (1826) en la mente de *Gmelin*, profesor de química en Tubingen, quien en 1827 comu-

nicó su descubrimiento á Gay-Lussac, en París. De aquí que en Francia se atribuya el invento á Guimet, mientras que los alemanes la atribuyen á Gmelin. Sea de ello lo que fuere, lo cierto es que en ambos países la fabricación de dicho producto se ha desarrollado grandemente, mucho más que en otras naciones; pues de los 10 millones de kilogramos de ultramarino artificial que en la actualidad se producen en Europa al año, 6.580.000 corresponden á Alemania, y á Francia 2.500.0000, La fig. 392 ofrece una vista de la fábrica más considerable

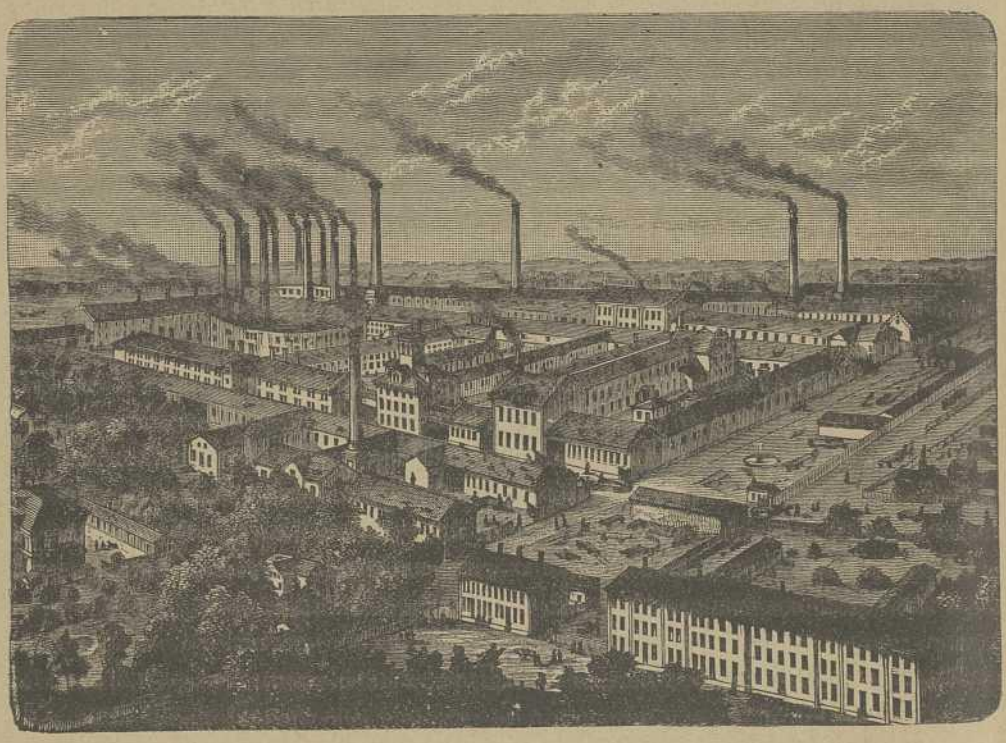


FIG. 392.—Fábrica de ultramarino artificial de Leykauf y Zuner, en Nürenberg.

del género que existe, y fué fundada en Nürenberg el año 1838, por Leykauf y Zeltner, extendiéndose durante los veinte años siguientes en términos tales, que en 1860 ya cubría una superficie de 3,6 hectáreas, y contaba 200 molinos diversos, movidos á vapor, habiéndose invertido en ella un capital de más de tres millones de pesetas.

Mientras Guimet guardó el secreto de su procedimiento, Gmelin hizo público el suyo, que consistía en lo siguiente: se procuraba sílice pura, preparando con cuarzo incoloro y carbonato de sosa un vidrio de agua, del que separaba la sílice por medio de ácido clorhídrico. También preparaba alúmina pura, por precipitación, en una disolución de alumbre. Disolvía entonces la sílice en una lejía de sosa cáustica; por cada tres partes del líquido agregaba dos de alúmina hidra-

tada seca, evaporando la mezcla hasta la sequedad, y después de moler el residuo, lo mezclaba con igual cantidad de carbonato de sosa y flor de azufre, caldeando rápidamente el conjunto en un crisol tapado de arcilla. La masa caldeada tenía un color amarillo verdoso; pero después de triturarla, Gmelin la volvía á caldear en presencia de aire, obteniendo entonces el color azul, cuya hermosura dependía esencialmente de la temperatura y de la cantidad de aire que penetraba en el crisol.

Merced á los estudios de Hoffmann, Wilkens, Fuerstenau, Gentele y otros, el expresado procedimiento se ha mejorado notablemente de treinta años á esta parte, evitándose ya por completo la preparación de la sílice y la alúmina puras. En su lugar se emplea directamente un silicato de alúmina natural, de la mayor pureza posible, prefiriéndose el kaolín, ó tierra de porcelana, mientras que las demás materias primeras consisten en sulfato de sosa calcinado, sulfuro de sodio, carbonato de sosa calcinada, azufre y polvo de carbón vegetal ó mineral, según los diferentes procedimientos actualmente en boga. En uno de éstos se agrega también cierta cantidad de sílice pura, y el producto se llama ultramarino silíceo.

La fabricación del ultramarino parece la cosa más sencilla del mundo cuando se oye que, con arreglo al método de Nürenberg, basta caldear una mezcla de kaolín, sulfato de sosa y carbón en las debidas proporciones, lixiviar y lavar el producto verde que resulta, y luego caldearlo nuevamente con flor de azufre y en presencia de aire para convertir el color verde en el azul definitivo. Pero el procedimiento no debe ser tan liso y llano, puesto que muchos fabricantes se han visto obligados á pasar por un largo período de ensayos antes de obtener el resultado apetecido. El hecho es que mucho depende todavía de la casualidad, y supone la observancia de precauciones al parecer triviales, y la razón es obvia: mientras no se tenga una idea precisa acerca de la naturaleza ó constitución química del ultramarino; esto es, mientras no se sepa fijamente si es una combinación doble de silicato de alúmina y de los compuestos de azufre, ó bien si consiste en una combinación especial de este último elemento, al lado de la cual el silicato desempeña un papel meramente secundario, no se podrá determinar cuál es la parte esencial del ultramarino, y, por consiguiente, lo que en su fabricación deba tenerse en cuenta y lo que pueda descuidarse. En semejante estado de ignorancia relativa no es extraño que los fabricantes sigan procedimientos más ó menos distintos, y observen un gran sigilo respecto de sus experiencias particulares en la materia; y por lo mismo, nuestros lectores comprenderán la imposibilidad en que nos hallamos de ser más explícitos. Sólo añadiremos que á veces se interrumpe la fabricación á la mitad del camino; esto es, después del primer caldeo ó fusión de los ingredientes, pues el producto de esta operación resulta en ocasiones de un color verde tan hermoso, que puede utilizarse como tal, y se vende, en efecto, bajo el nombre de *ultramarino verde*.

El ultramarino propiamente dicho, de la mejor calidad, constituye un polvo fino, de un azul precioso, que debe emplearse tal como sale de la fabrica; pues de molerse de un modo más fino, siempre se perjudica el color, no pareciendo sino que los diminutos granitos sólo ostentan un azul intenso en su superficie, hallándose peor coloreado el interior de su masa. El ultramarino resiste perfectamente las influencias atmosféricas, y no lo perjudica tampoco un caldeo moderado; en cambio lo descomponen los ácidos concentrados, bajo cuya acción desprende hidrógeno sulfurado, mientras que su hermoso color se convierte en un blanco amarillento sucio. Encuentra aplicación en todos los casos en que puede extenderse con aceite, cola ú otro medio análogo, y para tales usos ha relegado casi por completo al olvido al azul de cobalto. Pero éste mantiene su puesto en la fabricación del vidrio y la pintura sobre porcelana, porque el ultramarino no es susceptible de combinarse por fusión. En la vida doméstica, y muy especialmente en el lavado de la ropa blanca, se emplean grandes cantidades de ultramarino artificial para neutralizar el matiz amarillento que de otro modo tomarían las telas blancas y produce un efecto desagradable.

COLORES DE LACA-CARMÍN

Las raíces, la madera, la corteza y las flores de muchas plantas contienen materias colorantes, á veces muy hermosas, que se disuelven con facilidad y desempeñan, por lo mismo, un papel importante en la tintorería y la estampación, pero que no pueden utilizarse directamente en la pintura, como los colores de que nos venimos ocupando. Sin embargo, entre la mayoría de dichas materias colorantes vegetales y ciertos óxidos metálicos y bases térreas, existe una afinidad química particular y muy pronunciada, en virtud de la cual pueden aplicarse aquéllas al revestimiento de superficies.

Cuando en una decocción de semejantes sustancias vegetales se disuelve alumbre, por ejemplo, y luego se agrega la disolución de un álcali cáustico ó carbonatado, se produce un precipitado de alúmina combinada con el principio colorante de la deccoción; combinación que resulta á veces tan completa, que, después de depositarse el precipitado sobre el fondo de la vasija, aparece el líquido completamente incoloro. Semejante precipitado, debidamente lavado y seco, constituye lo que se llama un *color de laca* ó *de barniz*, y puede considerarse como un producto químico legítimo, en el cual la materia colorante desempeña el papel de un ácido. Como base de los colores de laca pueden emplearse casi todos los óxidos metálicos y térreos insolubles que forman precipitados blancos; pero la práctica se contenta generalmente con dos de ellos, ó sean la alúmina y el óxido de estaño; la primera se precipita de una disolución de alumbre, y el segundo de una disolución de clorido de estaño, por medio de

carbonato potásico ó sódico; con el óxido de estaño resultan los colores de la mayor hermosura; pero, por razones económicas, los fabricantes se contentan generalmente con agregar un poco de la disolución de estaño al alumbre.

Existen también colores de laca falsos, es decir, que en rigor no merecen tal nombre; como, por ejemplo, los que se obtienen agregando creta, cal ó arcilla pulverizadas á una decocción colorante, cuyas materias sólo toman el color de un modo mecánico, ó sea por absorción. A esta categoría pertenecen asimismo ciertos colores empleados en pintura y en la fabricación de papeles pintados, que se producen simplemente tiñendo la creta pulverizada ú otra materia blanca análoga, con una disolución de anilina ó de otros colores del alquitrán.

Los colores de laca amarillos legítimos pueden producirse con muchas materias colorantes vegetales, tanto indígenas como exóticas, por ejemplo, el fruto del espino cerval, la quercitrina ó corteza de *Quercus tinctoria* (una especie de roble), y el palo amarillo de Cuba y el Brasil. Los colores de laca rojos, que son los más usados, se preparan con rubia, palo rojo de Pernambuco, la cochinilla, los desperdicios de la fabricación del carmín, etc., y reciben en el comercio diferentes nombres, como *laca de Florencia*, de *París*, de *Viena*, de *Venecia*, etc.

Aunque el pocedimiento fundamental para la preparación de los referidos colores es muy sencillo, hay que vencer muchas dificultades en la práctica si se quiere obtener productos realmente hermosos, y no son pocas las diferentes recetas que se recomiendan, en especial tratándose de la laca de rubia, que es la más apreciada, por ser la más duradera. En ella el principio rojo de la rubia se halla combinado con alúmina; pero no es fácil extraer dicho pigmento con toda su hermosura de la raíz de aquella planta, y es más difícil aún obtenerlo de un matiz determinado, puesto que varía el color según las diferentes condiciones de su crecimiento. Por esto los fabricantes se valen de mordientes especiales, produciendo, por ejemplo, los matices más claros, hasta el color de rosa más delicado, por medio de un albayalde muy fino. Pero hoy se obtienen más fácilmente semejantes matices por medio de la alizarina y la purpurina artificiales.

La laca de carmín se produce cociendo primero la cochinilla con alumbre y un poco de disolución de estaño en mucha agua, clarificando entonces el líquido y agregándole una cantidad determinada de una disolución de carbonato sódico, y removiéndolo bien todo el tiempo de la operación; el precipitado rojo se reune sobre un filtro, y al líquido todavía coloreado que se desprende, se le añade una nueva porción de disolución sódica, obteniendo un segundo precipitado de color más claro, y así sucesivamente, produciendo de tal manera lacas de diversos matices. El color de laca escarlata vivo que resulta del empleo de una disolución muy pura de estaño con alumbre, se llama *carmín de China*, que se distingue del carmín propiamente dicho por aproximarse más al violeta, y porque no se disuelve, como éste, en amoniaco.

La cochinilla, como ya sabrán nuestros lectores, es un pequeño insecto, del orden de los hemípteros, originaria de Méjico, pero que se halla aclimatado en Canarias, Andalucía y las Baleares, que vive sobre las hojas de una nopalera ó higuera de pala *(Opuntia coccinellifera)*, y se cría hoy en plantaciones especiales; tanto, que ya no se conoce en el comercio el insecto silvestre. El principio colorante (carmín) se encuentra en los jugos de dicho insecto en forma de corpúsculos microscópicos, que flotan en un líquido incoloro como los glóbulos de nuestra sangre. Pero aunque el carmín es un producto animal, su acción química es enteramente análoga á la de las materias colorantes vegetales, tiene el carácter de un ácido flojo, y se presta, por lo tanto, en unión con bases, á la formación de colores de laca.

Dicha sustancia colorante extraída de la cochinilla constituye, en su estado más puro, el tan apreciado *carmín*, que es un polvo delicado de color encarnado vivo, que se emplea en la pintura en miniatura, en el tinte de las flores artificiales y en los productos del confitero, mientras que, disuelto en amoniaco, da la tinta roja más fina. El modo más sencillo para extraer el carmín de la cochinilla, y que da también el producto más hermoso, consiste en cocer el polvo de dicho insecto con agua muy pura en una caldera estañada, filtrar el líquido coloreado, agregarle un poco de alumbre y dejarlo quieto en un vaso de porcelana tapado; al cabo de algunos días el carmín se deposita en el fondo del vaso, y después de filtrarlo, puede aprovecharse el líquido, todavía coloreado, para preparar un color de laca.

Según los diferentes usos á que se destinan los colores de que ha sido objeto este capítulo, se mezclan ó amasan con diversas materias, que sirven como medio de unión de las diminutas partículas y permiten extender los colores sobre las superficies que se pintan, en forma de una capa delgada que después de seca se adhiere firmemente á ellas. Según la naturaleza de dicho medio, se distinguen colores al agua, á la miel, á la cola, al óleo, al barniz, etc. La naturaleza química de estos medios ejerce á veces sobre la materia colorante una influencia especial, á tal punto que es preciso prescindir de ciertos colores en determinados géneros de pintura, sencillamente porque se descomponen en contacto con el respectivo medio de unión. No podemos entrar en más pormenores, ni ocuparnos de los procedimientos que siguen los pintores mismos en la preparación de los colores al tiempo de usarlos; pero debemos dedicar algunas palabras á los colores al pastel, y terminaremos nuestro trabajo con algunas noticias interesantes acerca de la fabricación de los lapiceros, que constituye hoy una industria muy importante.

COLORES AL PASTEL Y LAPICEROS

En la pintura ó el dibujo al pastel se emplean los colores en forma de varillas, con las que se trabaja en seco, frotando la superficie del papel ó cartón, de modo que la obra puede borrarse, á menos que se fije después por medio de alguna sustancia gomosa ó albuminosa. Dichas varillas se componen sencillamente de los colores correspondientes, azul de Prusia, cinabrio, amarillo del rey ó de Nápoles, carmín, etc., y de una materia que les da cuerpo, consistente, por regla general, en arcilla de pipas, con cuidado preparada, y según la proporción de la cual, respecto de la cantidad del color, se producen matices más ó menos claros. Estos materiales se muelen de modo que el polvo resulte lo más fino posible, se mezclan íntimamente en seco y se amasan con un mucílago de traganto hasta obtener una pasta plástica, con la que se forman las varillas en pequeños moldes, secándolas después al calor artificial, pero moderado. Un fabricante célebre de París emplea, en lugar del mucílago referido, una disolución de goma laca y esencia de trementina en alcohol, y se sirve para formar las varillas de una prensa especial, cuyo émbolo entra ajustado en un cilindro hueco de cobre, obligando á la pasta á salir por una serie de agujeros reservados en el fondo; de este modo, que recuerda la fabricación de los fideos, se producen varillas de longitud indeterminada, que se cortan á la medida deseada, y se secan. Las varillas de color al pastel más gruesas, se emplean sin más protección que una cubierta de papel pegada en torno de ellas; pero se fabrican otras mucho más delgadas, que se encajan entre dos piezas de madera, formando lapiceros de color, como los negros ordinarios.

Lapiceros.—Puede darse por seguro que en la Edad Media no se conocían los lapiceros en su forma actual, aunque los dibujantes de entonces ya se servían de ligeras varillas compuestas de una aleación de estaño y plomo, á las que llamaban *stile*, y cuya invención es de origen italiano. La materia negra que constituye la esencia de nuestros lapiceros modernos es el *grafito* (vulgo lápiz-plomo), una modificación del carbono; esto es, la misma sustancia que el diamante y el carbono más puro, bajo una forma distinta; se encuentra con mayor ó menor abundancia en diferentes rocas, ora diseminado en su masa, ora constituyendo criaderos explotables en varias localidades de Baviera y Austria, Francia é Inglaterra, en Benahabis (Málaga), Molina de Aragón, algunos puntos de Granada, Toledo, Soria, Asturias y los Pirineos, en el Canadá, India, Ceilán y Siberia.

La industria lapicera se debe al descubrimiento, hecho el año 1664 cerca de Borrowdale, en Cumberland (Inglaterra), de un depósito de grafito de calidad superior, que podía utilizarse para dibujar ó escribir sin preparación alguna. Al

año siguiente aparecieron en Inglaterra los primeros lapiceros, que hallaron desde luego una aceptación general, y poco después se estableció en Londres un mercado especial para el grafito, en el que se vendía en pública subasta el producto de la mina de Borrowdale, dándose casos en que el quintal inglés (51 kilogramos) llegó á pagarse á 168 libras esterlinas (4.032 pesetas). Pero dicha mina no resultó inagotable, y á pesar de que se prohibió la exportación del grafito bajo las penas más severas, llegó al fin el día en que hubo necesidad de buscar otros criaderos. A pesar de las diligencias más activas, no pudo encontrarse en el país sino un grafito de calidad inferior, como el que se presenta en otras partes de Europa; y los ingleses, que antes surtían al mundo de los mejores lapiceros, se vieron obligados á fabricarlos como en otras partes.

La elaboración de los lapiceros ingleses era en un principio tan sencilla, que apenas merecía llamarse «fabricación»; se reducía, en efecto, á dividir los bloques de grafito macizo, con sierras muy finas, en delgadas varillas, que se colocaban entre tablitas de madera que se pegaban con cola. Cuando comenzó á escasear grafito macizo, se apeló al recurso de pulverizar el producto menudo de Cumberland, y convertir el polvo en planchas, mediante una fuerte presión hidráulica y la aplicación de la bomba neumática para alejar el aire; planchas que se aserraban entonces como antes los bloques naturales. Existe todavía en Inglaterra una fábrica que elabora de esta manera el grafito de Cumberland, aunque de un modo mucho más perfecto, produciendo lapiceros de todos grados de dureza y de calidad tan buena, por lo menos, como los antiguos.

Aparte de Inglaterra, la industria lapicera se desarrolló pronto sobre análogas bases, si bien los productos dejaban mucho que desear, en razón de la inferioridad del mineral. El centro principal fué Baviera, que contaba con un depósito abundante de grafito en Oberzell, cerca de Passau, y la fabricación empezó hacia el año 1735, en el pueblo de Stein, junto á Nürenberg, donde Kaspar Faber fundó en 1761 el establecimiento que tanta celebridad ha alcanzado bajo sus descendientes (véase lámina XXII). Aquí, y más tarde en otros puntos de Baviera, se elaboraba en otro tiempo grafito macizo de Cumberland, por medio de la sierra; pero los lapiceros se hacían, en su mayor parte, con el grafito inferior y desmoronadizo de Oberzell, que se pulverizaba y amasaba con un medio aglutinante (goma ó cola), produciendo una pasta húmeda, con la que se formaban las varillas en una prensa; ó bien se fundía el grafito en polvo con cierta cantidad de azufre ó de sulfuro de antimonio, obteniendo una masa compacta, que se podía aserrar como el grafito macizo. Este último procedimiento daba, sin embargo, un producto demasiado duro, que sólo servía para los lapiceros bastos usados en la carpintería; mientras que la masa preparada con cola ó goma tenía el inconveniente de absorber la humedad, de modo que los lapiceros hechos con ella se desmoronaban.

Entretanto, es decir, á fines del siglo pasado, el francés *Condé*, que con su



Fábrica de lapiceros de A. W. Faber.

cuñado Humblot-Condé se dedicaba á la fabricación de lapiceros, descubrió que el mejor medio de convertir el grafito ordinario, terroso ó pulverulento, en una masa compacta, consistía en amasarlo con arcilla, y que, variando la proporción de esta materia y caldeando las varillas formadas, podía dárseles los grados más diversos de dureza, amén de producirlas más económicamente. De haberse hecho un análisis químico exacto del célebre grafito de Cumberland, cualquiera hubiera caído en la misma cuenta, pues dicho mineral no era un grafito puro, ni mucho menos, sino que contenía 36 por 100 de arcilla y cal. Los lapiceros de Condé ocuparon un puesto de honor en la primera de todas las Exposiciones industriales nacionales, que se celebró en París el año 1798, y no tardó en cundir la noticia de su invento, que acabó por poner á la industria bávara en un grave aprieto. Sin embargo, merced á la intervención del Gobierno, que fundó una fábrica de lapiceros en Oberzell, el año 1816, y más especialmente á la energía de Lothar Faber, que logró enterarse del procedimiento de Condé, los productos alemanes volvieron á competir ventajosamente con los franceses. Es verdad que fué un francés llamado *Alibert* quien, en 1847, descubrió y adquirió del Gobierno ruso los célebres criaderos de grafito de Batougol, en Siberia, cerca de la frontera china, á cuyo inmejorable producto debemos hoy los mejores lapiceros; pero dicho descubrimiento no resultó en beneficio de la industria francesa, pues Faber se asoció en seguida con Alibert, de modo que toda la producción de aquellos ricos criaderos se elaboró y elabora únicamente en su fábrica. Desde entonces se ha descubierto un grafito aún más puro que el sibérico, en la isla de Ceilán, y con él se surten, no sólo las fábricas inglesas, sino otras varias de nuestro continente.

A pesar de que el grafito de Batougol, como el de Ceilán, se obtiene en bloques compactos y puros, no se asierran éstos según el procedimiento antiguo, sino que se pulverizan y mezcla el polvo con arcilla ú otras materias, produciendo una pasta más ó menos plástica, con la que se forman las varillas por presión, pues de este modo siempre resultan masas más homogéneas, cuya dureza se puede graduar con mayor seguridad.

Pero también se ha aprendido á afinar ó purificar las clases inferiores de grafito tratándolas en vasos de loza de piedra con ácido sulfúrico, que disuelve parte de las impurezas, dejando el grafito en un estado de división muy fina. Después del lavado correspondiente, se mezcla íntimamente este grafito con arcilla ú otras sustancias, y la masa, en forma de pasta, se convierte en varillas por medio de prensas análogas á las empleadas en la fabricación de macarrones y fideos, y provistas del mecanismo necesario para que salgan aquéllas perfectamente rectas. Por último; las varillas se someten en cajas de arcilla ó hierro, herméticamente cerradas, á un caldeo en un horno, y reciben su envoltura de madera. No necesitamos entrar en pormenores respecto de esta operación, pues basta examinar la extremidad de un lapicero nuevo para ver que se com-

pone de dos listoncitos muy bien ajustados, y que la masa grafítica se halla encajada en una ranura reservada en los mismos; según la calidad de la masa se emplean maderas diversas, más ó menos finas, siendo muy á propósito la de una especie de enebro norteamericano *(Juniperus Virginiana)*, que imita al cedro.

El centro más importante de la industria lapicera es Nürenberg y sus alrededores, donde existen 25 fábricas del género, que emplean 5.500 operarios, y producen anualmente 250 millones de lapiceros, por valor de diez millones de pesetas. La más considerable, no sólo de Nürenberg, sino del mundo, es la de *Faber*, que puede producir semanalmente más de 360.000 lapiceros, y emplea 500 operarios, á pesar de utilizar el vapor y los medios mecánicos hasta el límite de lo posible. Otra fábrica de la mayor importancia es la de *Rehbach*, en Regensburgo (también en Baviera), que se distingue por lo perfecta de que es maquinaria, y cuya producción anual excede de 18 millones de lapiceros, en los que se emplean grafito bávaro por valor de 27.000 pesetas, y maderas diversas por cerca de 100.000.

FIN DEL TOMO CUARTO

INDICE

PÁGINAS

Introducción 7
Historia de la química 9
Conceptos fundamentales de la química 52
Los elementos ó cuerpos simples. . 55
Sobre la naturaleza de la materia.. 57
Aparatos y métodos químicos... .. 69
Reacciones y reactivos 79

—

Preparación mecánica de menas y procedimientos metalúrgicos 87
Importancia de los metales 87
Las menas y su preparación mecánica 90
De los procedimientos metalúrgicos en general 105
Calcinación y condensación de productos volátiles 106
Fusión 110
Destilación y sublimación 114
Procedimientos por la vía húmeda.. 115

—

El hierro y su industria 119
Apuntes históricos 120
Hierro y carbono 127
Minerales de hierro 130
Fusión de las menas de hierro 133
Producción del hierro dulce 140
Producción del hierro maleable, directamente de las menas 150
Elaboración del hierro dulce 151
Producción del acero 156
Acero bruto ó pudelado 160
Acero de cementación 161
Procedimiento de Bessemer 163
Procedimientos de Uchatius y Martín 167
Acero fundido 168
Acero indio 176
Fabricación de objetos de hierro colado 177
Estañado, cincado, niquelado y esmaltado del hierro 187

PÁGINAS

Producción del hierro: datos estadísticos 192
Aplicaciones del hierro 195

—

Cinc, cadmio, cobalto, níquel, antimonio y bismuto 199
Cinc: propiedades y aplicaciones... 199
Beneficio metalúrgico de las menas de cinc 204
Fabricación de objetos de cinc fundido 213
Fabricación del blanco de cinc 215
Cadmio 218
Cobalto y níquel 221
Minerales de cobalto y su beneficio. 223
El níquel y sus minerales 228
Beneficio de los minerales de níquel. 231
Metal blanco y demás aleaciones del níquel 236
Antimonio 241
Bismuto 246

—

Cobre 249
Apuntes históricos 250
Minerales de cobre 251
Beneficio de las menas de cobre 253
Neutralización y condensación de los humos ácidos 261
Producción de cobre: datos estadísticos 265
Propiedades y aplicaciones del cobre 266
Bronce 270
Fundición de campanas 274
Fundición de cañones 279
Fundición de bronces artísticos 282
Latón 292

—

Plomo, estaño y azogue 299
Plomo: apuntes históricos y estadísticos 299
Minerales de plomo 301

PÁGINAS

Beneficio de los minerales de plomo. 303
Desplate del plomo 309
Aplicaciones del plomo: fabricación de planchas, tubos, etc..... 313
Estaño.. 318
Minerales de estaño y su beneficio.. 320
Aplicaciones del estaño..... 324
Azogue 329
Menas de azogue y su beneficio.... 331
Aplicaciones del azogue, amalgamas, etc..... 336

—

Plata..... 341
Datos históricos y estadísticos..... 341
Minerales de plata..... 344
Beneficio de menas argentíferas.... 345
Propiedades, combinaciones y aplicaciones de la plata..... 354
Plateado..... 357
Elaboración de los metales preciosos..... 360
Fabricación de la moneda..... 362

—

Oro, platino y metales análogos..... 383
Oro: apuntes históricos y estadísticos..... 383
Modo de presentarse el oro en la Naturaleza..... 386
Beneficio de los aluviones auríferos. 389
Beneficio de criaderos primitivos y de menas auríferas compuestas... 400
Afino del oro..... 401
Propiedades y aplicaciones del oro. 404
Batido del oro..... 408
Dorado..... 411
Platino: historia y producción..... 415
Beneficio de las arenas platiníferas. 417
Propiedades y aplicaciones del platino 419
Paladio, iridio, osmio, etc..... 421

—

Aluminio, magnesio y las piedras preciosas artificiales... 423
Alúmina, glucina y magnesia..... 423
Fabricación de piedras preciosas... 425
El aluminio y su fabricación..... 428
Propiedades y aplicaciones del aluminio..... 433
Magnesio 435

—

Cerámica..... 439
Apuntes históricos acerca del arte del alfarero..... 440
Materiales de la cerámica..... 445
Fabricación de ladrillos..... 448
Clasificación de los productos de la cerámica..... 457

PÁGINAS

Terracotta..... 458
Alfarería y fabricación de las lozas. 461
Mayólica, fayenza y loza..... 467
Loza de piedra 481
Porcelana..... 485
Invención de la porcelana en Europa..... 487
Fabricación de la porcelana..... 502
Fabricación de botones de porcelana 512
Pintura sobre porcelana..... 514

—

Cal, cemento, yeso, barita y estroncianà.. 519
Abundancia y distribución de la cal en la naturaleza..... 519
Calcinación de la caliza..... 523
Morteros ó argamasas..... 527
Cal hidráulica y cemento..... 529
Yeso 536
Barita y estroncianà..... 540

—

Alcalis, alumbre, nitro, etc..... 543
Los álcalis en la Naturaleza..... 543
Carbonato de potasa..... 546
Alumbre..... 551
Extracción del alumbre..... 553
Carbonato de sosa..... 558
Fabricación del carbonato de sosa y del ácido clorhídrico..... 560
Nitro y su extracción..... 572
Nitro sódico y su transformación en nitro potásico..... 578
Acido nítrico y su fabricación..... 580
Acido clorhídrico y cloro..... 586

—

Fabricación y elaboración del vidrio..... 589
Importancia é historia del vidrio... 589
Naturaleza y propiedades del vidrio..... 609
Fabricación del vidrio..... 619
Soplado del vidrio..... 627
Vidrio fundido en planchas; fabricación de espejos..... 634
Tubos de vidrio 642
Cuentas y perlas de vidrio. 643
Millefiori y petinet..... 647
Elaboración del vidrio con el soplete 649
Vidrio templado..... 651
Adorno y talla de los objetos de vidrio.. 655
Mosaicos de vidrio y vidrios pintados. 666
Vidrio de agua..... 677

—

Las industrias del azufre..... 681
Importancia del azufre y su presencia en la Naturaleza..... 681

Páginas

Beneficios de las menas de azufre.. 684
Aplicaciones del azufre..... 690
Azufre y oxígeno: ácido sulfuroso y sulfúrico y su fabricación..... 691
Sulfuros alcalinos y metálicos, hidrógeno sulfurado, sulfuro de carbono y cloruro de azufre..... 709

—

La pólvora y demás materias explosivas.. 713
Importancia de la pólvora é historia de su invento..... 713
Fabricación de la pólvora..... 716
Inflamación y combustión de la pólvora..... 721
Fuegos artificiales..... 724
Algodón-pólvora..... 724
Pólvora de barita, de picrina, etc.. 727
Dinamita y nitroglicerina..... 729
Dualina, gelatina de minas, metadinitrobenzol, melinita, etc..... 731
Medios de pegar fuego á la pólvora, etc..... 733

—

Medios de producir fuego: el fósforo.... 737
Fuego y llama, fuentes de calor.... 738
Instrumentos para producir fuego.. 741
El fósforo y su fabricación..... 751
Fósforos y cerillas..... 761

—

Daguerreotipia y fotografía..... 773
Los primeros ensayos para producir imágenes mediante la luz.... 773

Páginas

Aparato fotográfico..... 778
Daguerreotipia..... 781
Fotografía..... 785
Procedimiento al colodio..... 788
Panotipia, ambrotipia y ferrotipia. 795
Procedimientos fotográficos en seco. 796
Emulsión de colodio..... 798
Emulsión de gelatina..... 800
Fotografía instantánea..... 806
Ampliación de las fotografías..... 815
Platinotipia..... 818
La fotografía como medio reproductor..... 818
Procedimiento ortocromático..... 819
Talbotipia..... 821
Procedimiento al carbón..... 822
Woodburytipia..... 823
Heliografía..... 826
Fotolitografía..... 832
Fotocincografía..... 833
Albertotipia..... 834
Procedimientos fotográficos diversos..... 838

—

Los colores y su fabricación..... 845
Colores de bronce..... 848
Colores del hierro..... 849
Colores de plomo..... 856
Sustitutos del albayalde..... 862
Preparados de cromo y manganeso. 863
Colores del cobre..... 867
Sulfuros metálicos como materias colorantes..... 870
Ultramarino..... 872
Colores de laca-carmín..... 876
Colores al pastel y lapiceros..... 879

PLANTILLA PARA LA COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS

DEL TOMO IV

Láminas		Páginas
I	En la página	51
II	En la página	148
III	En la página	152
IV	En la página	156
V	En la página	165
VI	En la página	173
VII	En la página	181
VIII	En la página	194
IX	En la página	204
X	En la página	274
XI	En la página	274
XII	En la página	321
XIII	En la página	392
XIV	En la página	395
XV	En la página	396
XVI	En la página	477
XVII	En la página	500
XVIII	En la página	513
XIX	En la página	532
XX	Vidriera en color de la iglesia de Santa Gúdula, en Bruselas: en la página	672
XXI	En la página	672
XXII	En la página	880

REULEAUX

LOS GRANDES INVENTOS

4

9761