9759

FONDO ANTIGUO

LOS GRANDES INVENTOS

TOMO SEGUNDO

BENJAMIN FRANKLIN
ALESSANDRO VOLTA
CARL. AUG. STEINHEIL.
C. FRIEDR. GAUSS.
LEURGER

R/45081

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 SEGUNDO

MINISTERIO DE CULTURA
BIBLIOTECA PUBLICA

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

ENRIQUE URIOS Y GRAS

Licenciado en Ciencias y Farmacia, Profesor auxiliar de Física en la Universidad de Zaragoza.

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 SEGUNDO

MADRID
GRAS Y COMPAÑÍA, EDITORES
Plaza de Santa Bárbara, núm. 2.
1888

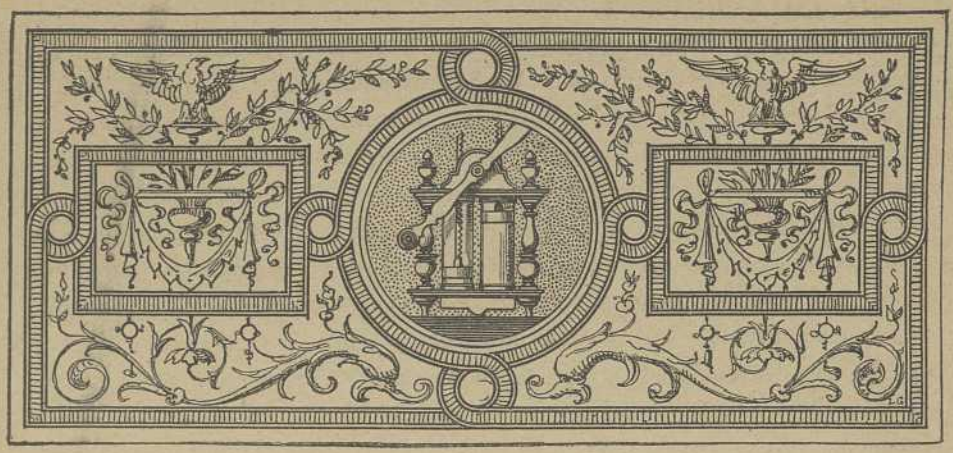
Es propiedad de los Editores, con arreglo á la ley vigente.

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

TOMO SEGUNDO

LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA

Y SU APLICACIÓN



INTRODUCCIÓN

LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA Y SU APLICACIÓN

Transformación de la energía y ley de su conservación.—Cómo debemos imaginarnos el fin del mundo.—Historia de la Física.—Los egipcios, hebreos, etruscos, griegos, romanos, árabes y pueblos occidentales.—Propiedades generales de los cuerpos.—La divisibilidad.—La porosidad.—Fuerzas moleculares.—Elasticidad, compresibilidad.—Acción de las fuerzas.—Paralelogramo de fuerzas angulares.—Veladores misteriosos y varilla mágica.

CONSIDEREMOS un motor de vapor cualquiera, ya el que pone en movimiento las rápidas máquinas de imprimir, los telares de las fábricas de tejidos ó los tornos y cepillos de un taller de construcción de máquinas; ya el que nos transporta, en buque ligero, sobre las rizadas ondas de encantador y silencioso lago. Al penetrar en lo interno de este mecanismo, en apariencia tan complicado, experimentamos gran sorpresa y admiración, comprendiendo la sencillez extraordinaria de las ideas fundamentales, de las que ha surgido tan pasmosa obra. Encontramos allí una caldera en la que el agua está constante, mente mantenida en ebullición por el calor de la combustión producida en el hogar. Desde la caldera, el vapor de agua en ella desarrollado pasa á un cilindro alternativamente por debajo y por encima de un émbolo, que es, por tanto impulsado hacia arriba ó hacia abajo respectivamente; del mismo modo que en el torno de la hilandera ó en las máquinas de coser á pie, el movimiento rectilíneo de vaivén de la varilla del émbolo se transforma en movimiento

circular, utilizándose por medio de ruedas dentadas y otros mecanismos para comunicar su marcha particular á los aparatos accesorios. Bajo este concepto, en nada esencial se diferencian los telares, martillos ó prensas de vapor, de las ruedas de paletas ó de la hélice del buque. Ningún resorte misterioso, ninguna fuerza nueva, nada extraordinario se encuentra en las partes elementales de estos organismos mecánicos. Ruedas dentadas, palancas y tornillos en ingeniosa combinación y puestos en movimiento por una fuerza, realizan los maravillosos efectos que la misma mano del hombre, constructor de las máquinas, no produciría con tanta regularidad ni perfección. Siempre trabajan en la misma forma y bajo las mismas sencillas leyes que diariamente se ofrecen á nuestra observación, como las de la palanca y del plano inclinado en los cascanueces, tijeras y cuchillos.

Regularizando la velocidad de la máquina, encontramos una rueda ó volante que absorbe el exceso de fuerza del émbolo, cuando oscila con demasiada rapidez, y se le devuelve cuando tiende á moverse más lentamente; también vemos en otros casos un regulador de bolas, debido á la idea más ingeniosa de cuantas perfeccionaron la máquina de vapor y cuyas esferas giran más ó menos velozmente, al mismo tiempo que suben y bajan, según la velocidad con que oscila el émbolo, con el cual están directamente en comunicación. Cualquier principiante en mecánica descubriría, al observar la acción de la primera, los mismos principios de inercia y de fuerza viva (así llamada) que se reconocen en el golpe de una pedrada ó en el choque de un martillo, y el segundo está regido en su juego por la fuerza centrífuga que también preside los movimientos de rotación y de traslación de los astros, así como el impulso con que el brazo lanza una piedra por medio de la honda.

Si en vez de observar una máquina de vapor examinamos, por ejemplo, una sembradora, un malacate, una máquina de acuñar moneda ó un reloj, etc., encontraremos siempre que su movimiento obedece á las mismas leyes, sin otra diferencia que la de que la fuerza elástica ó tensión del vapor de agua que actúa como motriz en aquélla, está sustituída en éstos por la fuerza muscular del hombre ó de un animal de tiro, ó por la elasticidad de un resorte que á su vez habría cedido el puesto, cuando el reloj fuera de péndola, á las oscilaciones isócronas que verifica todo cuerpo pesado suspendido de un punto fijo, las cuales fueron observadas continuamente y por doquiera durante miles de años, pero cuya ley no conoció nadie hasta que Galileo, más observador que creyente, siguió con el pensamiento el vaivén de la lámpara pendiente de la bóveda de una iglesia.

Por otra parte, el microscopio nos permite admirar un mundo nuevo, que súbitamente se revela á nuestra vista. La partícula más diminuta de un pedazo de cuarzo, el polvillo raspado de otro de creta, una mínima porción de un sedimento silíceo cualquiera, nos muestran miles y miles de caparazones y es-

queletos de diminutos seres dotados de vida y actividad millones de años antes, hasta que, alcanzados por la muerte, las fermentaciones y putrefacciones destruyeron sus partes orgánicas, agrupándose y soldándose los restos óseos entre sí en masas minerales cada vez más duras y compactas.

La sencillísima propiedad de los rayos luminosos, llamada refracción, en virtud de la cual se desvían de su dirección cuando encuentran en su camino un medio transparente como el agua, el cristal, etc., multiplica en las lentes del microscopio la penetración de nuestro sentido de la vista. Ella pinta también sobre el fondo oscuro de las nubes los brillantes colores del arco iris y da al diamante sus hermosos destellos, así como á la gota de rocío suspendida de las hojas de las plantas aquellos otros que tanto nos encantan. Sin la refracción de la luz, la fotografía nunca hubiera alcanzado su desarrollo actual, y la astronomía apenas habría podido obtener mayores adelantos que los realizados por los antiguos egipcios. Sus progresos se habrían realizado, á lo sumo, en el campo de la especulación solamente, en virtud de teorías é hipótesis que jamás hubieran podido comprobarse; pues así en el anteojo como en el microscopio, las leyes de la refracción y las propiedades de las lentes que de ellas se derivan, son la base en que se funda todo. Cada uno de nuestros ojos contiene también uno de estos aparatos simples llamados lentes ó cristales de aumento, y por consiguiente nuestro aparato visual entra en la numerosa serie de instrumentos ópticos, cuyo principio fundamental estriba en aquella sencillísima propiedad.

Estudiando el telégrafo electro-magnético aprendemos, de un modo análogo, que son unas mismas las leyes que rigen los fenómenos llamados eléctricos y magnéticos, así el de la chispa destructora que surge de las nubes, como el de la dirección de la aguja magnética hacia el polo, que permite al navegante gobernar su buque en alta mar; lo mismo el de la aurora boreal cuyo esplendor conmueve al viajero en las altas latitudes, que el de las notables descomposiciones químicas que en el taller del galvanoplasta reproducen silenciosa é incesantemente verdaderos ejércitos de esculturas, medallas, dorados, plateados, etc.

Y cuando acompañamos al piano una canción, al chocar los macitos sobre las cuerdas del instrumento, como al emitir el sonido de nuestra voz, agotamos todos los fenómenos más importantes y realizamos todas las leyes que sirven de fundamento al reino del sonido, infinitamente rico en los más variados matices.

El universo en conjunto se ofrece á nuestra consideración bajo un aspecto comparable al de un ordenado juego de ajedrez: un campo regularmente dividido, en el cual se mueve un corto número de piezas diferentes entre sí, las cuales en su marcha, perfectamente determinada, desarrollan lo que llamamos fuerzas características. Se comprende, por lo demás, que al actuar estas fuerzas simultánea ó sucesivamente sobre las masas para ordenarlas, encuentran expresión, á cada momento, ideas particulares que varían al infinito, pero que tienen siempre importancia para la inteligencia del hombre.

Los anteriores ejemplos demuestran, y por lo demás es evidente á la más superficial observación, que el conocimiento de los rasgos fundamentales de la naturaleza ha de producir influencia provechosa sobre todas las manifestaciones de la humana actividad, no sólo por cuanto este conocimiento nos permite el aprovechamiento del mundo exterior para satisfacer nuestras necesidades, sino porque también penetra en el proceso de los fenómenos internos del hombre mismo. Esta evidente utilidad es, pues, fruto de la investigación y de las ciencias físico-naturales, como se denomina, en su sentido más lato, el conjunto de los conocimientos adquiridos hasta hoy por medio de la atenta observación de los fenómenos y de los métodos para acrecentarlos, perfeccionarlos y relacionarlos en un todo orgánico.

Toda vez que la naturaleza constituye un hermoso organismo indivisible, la ciencia que la estudia debería formar también, en rigor, un todo armónico; pero la inconmensurable riqueza y la extensión infinita de la materia hace imposible que un solo hombre pueda reunir conocimientos exactos de todo su contenido, por muy profunda que sea su inteligencia y por grande que sea el poder con que se desarrollen en él la constancia y la aplicación. Por consiguiente, se han ido formando especialidades dentro de este campo de estudios, cada una de las cuales se ha desarrollado en lo posible con independencia de las demás.

Esta distinción se refiere, en primer término, á las dos ramas de las ciencias naturales que desde su origen se designan, respectivamente, con los nombres de *ciencias físicas*, ó sean las que tratan de penetrar en la intimidad de los fenómenos é inducir sus leyes, elevándose á la filosofía de las cosas, y de *Historia natural*, ó ciencias naturales propiamente dichas, que reunen y clasifican los seres, señalándolos por caracteres sencillos. Las investigaciones modernas tienden, cada vez más, á borrar esta separación, pues con miras más altas se eleva la Historia natural al campo de la filosofía también, determinando el origen de los fenómenos, cuyos caracteres exteriores solamente estudia, así como los cambios que presentan en distintos casos. La Botánica y la Zoología, coincidiendo con la Fisiología, entran en el dominio de las ciencias físicas, y la Mineralogía, teniendo á éstas por base, invade, en cierto modo, en la Cristalografía, el terreno de las ciencias matemáticas. Tomando al Universo cada vez más en su conjunto, se originan otras dos ramas de la Física: la Geografía y la Astronomía; pues la primera de estas dos ciencias, más que en las arbitrarias limitaciones políticas de los pueblos, tiene su razón de ser en las divisiones geológicas y climatológicas del globo.

En la actualidad todas las ramas de las ciencias naturales se enlazan entre sí; ninguna puede progresar independientemente ó separada de las demás, y, aunque partiendo de distintos puntos de vista que en otros tiempos, nos aproximamos más al ideal de abarcar en una síntesis la Naturaleza, como unidad orgánica; tendencia que ya se reflejó en el concepto que de ella tenían los pue-

blos cultos en las civilizaciones primitivas. También se distinguía antes la parte de las ciencias físicas que se ocupa de las fuerzas naturales, de aquella otra que tiene por objeto las propiedades de las diferentes sustancias y la forma y manera de sus combinaciones, llamándose Física á la una y Química á la otra. Hoy ya es completamente ilusoria esta división; pues todo lo que llamamos propiedades de los cuerpos, inclusas las químicas, no son otra cosa que manifestaciones externas y diferentes de la acción de las fuerzas, cuyo estudio pertenece á la Física.

Así, por ejemplo, un pedazo de oro es duro y tenaz por la atracción de sus partes; es pesado, porque entre ellas y la tierra se ejercen fuerzas atractivas también; es visible y tiene color, porque la luz se refleja de cierto modo en su superficie; su temperatura la toma del exterior, y, en una palabra, no consideramos en él una sola propiedad que no sea debida á la acción de una fuerza distinta de la materia. El descubrimiento de una de las leyes de la Naturaleza más notables y sublimes ha establecido la certidumbre de que las llamadas reacciones químicas no son otra cosa que una manifestación ó forma de la misma fuerza que, ora contrae nuestros músculos, ora es irradiada por el sol en forma de luz y calor; fuerza que actúa otras veces, ya como electricidad, ya como magnetismo. Esta es la ley de la *transformación de la fuerza*, con la que se une íntimamente la otra de la *conservación de la fuerza*, descubierta y claramente demostrada por los alemanes J. R. Mayer, médico eminente, y Helmholtz, célebre físico y gran fisiólogo, y á cuya perfecta inteligencia y popularización han contribuído principalmente en Italia el P. Secchi, en Inglaterra Tyndall, y en España Echegaray.

TRANSFORMACIÓN DE LA FUERZA

Todos sabemos que, al frotar rápidamente con la mano una superficie áspera notamos una sensación de calor; que el eje de las ruedas de un carro se calienta por el frotamiento, al girar dentro del cubo; que más de un molino ha sido pasto de las llamas porque las espigas de sus piedras ó muelas no se habían engrasado lo suficiente para evitar la elevación de temperatura por el frotamiento. Ahora bien: ¿de dónde procede este calor? ¿Se origina acaso espontáneamente? Si así fuera, tendríamos un medio de engendrar fuerza sin límite, un manantial de energía permanente. No hay tal: lo que sucede es que la fuerza mecánica de los músculos en el primer caso, y, en los otros, la de las ruedas del carro ó de la muela del molino, desaparece como tal y reaparece bajo el aspecto de fenómeno físico en forma de calor.

Del mismo modo, cuando por medio de martillazos rápidos y continuados llegamos á poner en estado de incandescencia un hierro, ó cuando por el cho-

que del pedernal con el acero arrancamos de éste chispas de fuego, este calor no existía ni en aquéllos ni en éstos cuerpos, sino que surge por la transformación de una parte de su fuerza mecánica durante el choque. Podríamos citar centenares de ejemplos de esta transformación de la fuerza mecánica en calor. También, y reciprocamente, es posible la transformación del calor en fuerza mecánica, hecho que se verifica diariamente en nuestras máquinas de vapor.

En general, el calor tiene la propiedad de dilatar los cuerpos, y esta propiedad ofrece numerosos ejemplos de su transformación en fuerza mecánica. En una de las paredes del Conservatorio de Artes de París se abrió, en cierta ocasión, una grieta profunda, que hizo temer la ruina del edificio; con objeto de evitar la catástrofe, se fijaron en las partes de la pared que habían cedido, gruesas tuercas que se unieron por medio de fuertes y largos tirantes de hierro, previamente calentados al rojo. Al enfriarse estos tirantes se acortaron, y su contracción desarrolló tal esfuerzo, que las porciones de la pared separadas volvieron á aproximarse, desapareciendo la grieta. La fuerza aquí utilizada no procedía de otra cosa que del calor que antes había alargado la barra, el cual, más tarde, se transformó en un trabajo mecánico.

El calor vaporiza el agua en la superficie de nuestros ríos y mares, elevándola sobre la cúspide de las más altas montañas. De aquí que, cuando hacemos mover, por ejemplo, nuestros molinos por medio de los saltos de agua, no empleamos, en realidad, sino la fuerza del calor solar, comunicado ántes á la misma. Una cosa análoga tiene lugar con los vientos, cuya causa es el calentamiento desigual de la tierra y del aire.

Que el calor puede originar fenómenos luminosos, lo demuestra cualquiera barra de hierro incandescente, y hasta cierto punto también el hecho de que nosotros utilizamos nuestra fuerza muscular para engendrar luz, ó, lo que es igual, que podemos transformarla en luz. Más difícil es demostrar la transformación reciproca de la luz en fuerza mecánica: los esfuerzos encaminados á dicha demostración no han dado resultados hasta ahora. Podemos, sin embargo, admitirla como comprobada, pues hay cierto número de reacciones químicas que, al verificarse, desarrollan una considerable fuerza exterior, y, si bien no se realizan exclusivamente por efecto de la luz, reciben al menos de esta fuerza el primer impulso. Ahora bien: dichas reacciones consisten en movimientos de las últimas partículas de los cuerpos, ó sea de los átomos; luego el impulso que la luz da para semejantes movimientos debe ser idéntico á los mismos, esto es, idéntico y transformable en un trabajo mecánico, por más que su valor sea todo lo pequeño que se quiera. Fenómenos semejantes se realizan en las plantas, cuyos órganos sólo crecen y se desarrollan por la acción de los vivificadores rayos solares; sus productos, que ya sirven para la alimentación del hombre y de los animales, ya como combustible, son fruto, tanto del calor como de la luz solar, á cuyas energías se debe la combinación química de los átomos que los com-

ponen; así es que cuando comemos pan ó quemamos leña en nuestras estufas, realmente ingerimos ó arrojamos al hogar los rayos solares transformados, para aumentar con ellos la fuerza de nuestros músculos ó la tensión del vapor del agua.

Los fenómenos eléctricos, como los caloríficos, pueden también originarse por frotamiento, y el calor mismo desarrolla á su vez tensiones eléctricas en los metales, la turmalina, etc. Las enormes cantidades de electricidad de las tempestades no tienen probablemente otro origen que la energía del calor solar que, en virtud de circunstancias especiales, se nos muestra en esta forma tan particular y característica.

Admitiendo, pues, que electricidad y magnetismo se refieren á la misma causa, lo cual encuentra confirmación plena, al mismo tiempo que útiles aplicaciones en los electro-imanes y aparatos dinamo-eléctricos, se ofrecen á nuestra consideracion, íntimamente ligadas entre sí, toda la serie de las fuerzas naturales: fuerza mecánica, calor, luz, electricidad y magnetismo. Y pues está en nuestras manos transformarlas unas en otras, traer á la realidad cualquiera de estas apariencias fenomenales de la fuerza, podemos con fundamento considerarlas todas como coincidiendo en su esencia, todavía mejor, como formas exteriores distintas de una fuerza única. Indudablemente quedará reconocido que toda la vida de la materia, tan rica en formas y accidentes, es la consecuencia de una fuerza única, cuando logremos someter al mismo criterio la llamada afinidad, causa de las reacciones químicas; lo cual, sobre ser muy racional, queda suficientemente demostrado por innumerables hechos, desde la simple combinación del hidrógeno y el cloro, para formar el ácido clorhídrico, que se verifica instantáneamente, en cuanto un rayo directo de luz solar hiere la mezcla de ambos gases, hasta el crecimiento de las plantas y la maravillosa circulación de la materia en los seres organizados, en la cual juegan probablemente el papel más importante la luz, el calor y la electricidad. Podemos admitir, para nuestra comodidad, que esta fuerza única, á la cual referimos todas las otras formas de la energía, sea el calor, sin que en rigor pretendamos atribuir á ésta una verdadera prioridad. Daríamos ciertamente un gran paso hacia el conocimiento profundo de las cosas si llegáramos á determinar los movimientos interiores de los átomos, causa de sus acciones atractivas y repulsivas, como el origen y la esencia de la fuerza; más para nuestro objeto, basta con que nos penetremos bien de la idea de que todas las fuerzas naturales pueden convertirse en calor, y de que igualmente esta forma de la energía puede transformarse en las otras, luz, electricidad, etc.

Por consiguiente, todos los fenómenos de la Naturaleza son manifestaciones, de la fuerza, y vienen, por lo mismo, á resolverse en movimiento de la materia, toda vez que la fuerza consiste en pequeñísimas oscilaciones de las menores partículas ó de los átomos de los cuerpos. Antes de haberse originado estas oscila-

ciones, no existían en el espacio infinito forma ni limitación alguna, no se producía ningún cambio, accidente ó fenómeno. El mundo, antes de la creación era el reposo absoluto, el estado mismo del equilibrio, que hubo de ser perturbado previamente para que pudiera surgir algo objetivo. En cuanto á esta causa creadora, este impulso inicial de todo movimiento y destructor del equilibrio de la materia inerte, no hay para qué decir que nos es completamente desconocido.

Volviendo al principio de la unidad de la fuerza, aunque por sólo su reconocimiento adquirimos un punto de vista verdaderamente importante para la concepción de la Naturaleza, es más importante y transcendental todavía, por cuanto parece que, guiada por él nuestra mirada, penetra en la economía interior del universo, y que, identificándonos con su propia manera de ser, nos permite descubrir, no sólo lo pasado, sino también lo por venir. Materia y movimiento, elementos del mundo sensible, nos ofrecen una misma ley fundamental. La primera de estas verdades, si así podemos llamar á la generalización de un principio experimental, es la que se deduce de las relaciones ponderales constantes, según las cuales se verifican todas las transformaciones químicas. Ella expresa que en todas las combinaciones ó descomposiciones de los cuerpos jamás se pierde nada, no desaparece la cantidad más mínima de materia, así como tampoco se origina ninguna materia nueva. *La suma total de la materia existente es una cantidad determinada é invariable.* Los métodos de la Física en el siglo actual han permitido comprobar también, con respecto á la energía, el mismo principio que ya antes se había revelado como una necesidad lógica al genio de Mayer, el perspicuo médico de Heilbronn. *Así como ninguna partícula material puede perderse ó aniquilarse, tampoco puede desaparecer parte alguna de la energía* que, sin poder confundirse con la materia, reside en ella, y cuyas modalidades activas particulares se manifiestan en el calor, la luz, la electricidad, etc. La Naturaleza no es, pues, nunca ni más pobre ni más rica, á no ser en formas, en cuya producción y transformación manifiesta cada día una variedad infinita.

La misma materia que hace cien mil años constituía ya el mundo con sus tierras, sus aguas, sus plantas, sus animales, etc., etc., lo constituye también hoy, y la misma cantidad de energía por la cual adquirían entonces vida sus fenómenos, subsiste en el mundo actual. Claro es que, al decir el mundo, no nos referimos sólo á los fenómenos terrestres, sino que incluímos á todo cuanto existe, lo mismo al lejano Sirio que á nuestro propio cuerpo; pues todo se encuentra en recíproca comunicación, á través de los espacios más inconmensurables, y así como la tierra irradia su calor y contribuye á elevar la temperatura del espacio, llegan hasta nosotros los débiles rayos luminosos de la más lejana nebulosa.

Admitido que el calor se convierte en trabajo mecánico, éste en electricidad, la electricidad en magnetismo, el magnetismo otra vez en trabajo mecánico, calor y luz, y todos juntos, por diversos modos, en fuerzas químicas, y vice-

versa, surge ahora la cuestión de si una cantidad determinada de calor corresponde también á cantidades determinadas de luz, de fuerza eléctrica, etc. Esta cuestión tuvo su origen con ocasión del conocido hecho de que, para elevar la tensión de una máquina de vapor, hay que aumentar la cantidad de combustible, que permanece siempre en relación constante con aquélla. Y siendo la tensión la que determina la capacidad del trabajo mecánico, existe relación cuantitativa definida entre el calor y la fuerza mecánica; de modo que una cantidad dada de calor origina siempre la misma cantidad de fuerza mecánica, ó, mejor dicho, puede originarla si se emplea completa y exclusivamente en ello; es decir, si no se da también origen á alguna otra forma de energía, ó no se pierde inútilmente por radiación.

Lo que queda expuesto referente á la equivalencia del calor y de la fuerza mecánica, puede hacerse extensivo á la de la electricidad y dicha fuerza; pero hasta ahora está por determinar todavía ésta, de modo que solamente en sentido hipotético puede hacerse tal afirmación, si bien la ciencia la considera ya como verdad no comprobada.

La Física moderna resuelve este problema por la aplicación de sus delicadísimos métodos de medidas absolutas de las fuerzas; pues referidos estos valores absolutos á unidades comunes, las transformaciones que se hayan de verificar tienen que ser entre cantidades del mismo valor absoluto. Lo que cambia efectivamente es la forma, no la cantidad de la fuerza. Así, pues, si á una cierta cantidad de calor equivale una cierta cantidad de fuerza mecánica, le corresponderán también cantidades fijas de electricidad, magnetismo, etc., y á su vez todas éstas serán equivalentes entre sí.

Tal vez al observador superficial de los complejos procesos naturales de transformación le parecerá en muchos casos que no siempre se producen los mismos efectos por las mismas causas; pero esto es sólo una apariencia debida á que, en general, la sensibilidad de nuestros medios de investigación es insuficiente para permitirnos reconocer y apreciar las partes, á veces mínimas, de la energía que, en sus diferentes formas, se difunde en todas direcciones, según las circunstancias. En los casos bien definidos, se ha demostrado por medidas directas que no hay ninguna pérdida, y lo que demuestra la experiencia para casos particulares por medio del peso y la medida, recibe expresión general y legítima en las matemáticas, constituyendo la ley de la conservacion de la energía, cuyo transcendental descubrimiento es sólo comparable, por su importancia, al de la ley de la gravitación universal; y así, el nombre de Mayer merece figurar al lado del inmortal de Newton.

Julio Roberto Mayer (fig. 1.ª) nació en Heilbronn el 25 de Noviembre de 1814. Educado en el gimnasio de su ciudad natal, después en Schönthal, estudió más tarde medicina en Tubingen, luego en Munich y París, é hizo en 1840, como médico naval, un viaje á las posesiones holandesas del Asia. Su permanencia de

algunos meses en Batavia le ofreció ocasión de observar que en los climas cálidos la sangre arterial difiere menos, por su color, de la sangre venosa que en los fríos, y esta observación fué motivo para el descubrimiento de la gran ley á que antes nos hemos referido. En efecto, el joven médico dió una explicación de esta disminución en los cambios de la sangre, admirable por su sencillez. Lo elevado de la temperatura exterior exige menor cantidad de calor producido en nuestro cuerpo, y por tanto la combustión de una cantidad menor de carbono é hidrógeno. Capacidad de trabajo y combustión de carbono se ofrecieron á su mente en cierta relación, cuya determinación se propuso como problema cuando en 1841, de regreso hacia Wurtemberg, se detuvo en Heilbronn. Sus primeras publicaciones pasaron inadvertidas; pero la obra titulada *Observaciones sobre el equivalente mecánico del calor*, publicada en 1851 y en que resumía sus trabajos, abrió los ojos á los físicos, particularmente á Helmholtz, á cuyas discusiones matemáticas y brillantes desenvolvimientos casi puede decirse que deben su existencia, como principios fundamentales, las leyes llamadas de la transformación y de la conservación de la energía.

FIG. 1.ª—Julio Roberto Mayer.

Por lo demás, la justicia exige confesar que, antes de ser expresadas concretamente estas grandes leyes, habían sido ya vislumbradas por gran número de filósofos é investigadores. Y no podía ser de otro modo: hoy al menos, sería inconcebible para el hombre pensador la suposición de que no fueran ciertas, Pero este presentimiento que sobresale, no sólo en las obras de Newton, Descartes, Huyghens, Bernouilli y otros genios matemáticos, sino hasta en algunos pasajes de los escritos de Cicerón, permanece en todos ellos vago é indeterminado, ni más ni menos que como presentimiento, aunque justificado, de la armonía de la Naturaleza. Y aun en aquellos casos en que, como en las obras de Federico Mohr, alcanzó dicho presentimiento una expresión bien determinada, nunca se llegó á reconocer en él un verdadero axioma de la Naturaleza. Mayer

fué el primero que con plena conciencia le definió después de haber determinado el equivalente mecánico del calor, y él fué, por consiguiente, el que por primera vez estuvo en condiciones para deducir de dicho principio las consecuencias que rigen, no sólo los fenómemos naturales que se verifican actualmente, sino también los que han de sucederles en lo porvenir.

A continuación surge el problema siguiente: si en el universo no se pierde nada de materia ni de fuerza, si nada desaparece, ¿podremos creer que siga el mundo existiendo siempre con su actual variedad de acciones, con su vida actual? En otros términos: ¿tenemos fundamento para creer en el fin del mundo? Y en caso afirmativo, ¿cómo podrá ser éste? En virtud de las consideraciones anteriores, la respuesta, en principio, es muy sencilla. No pudiendo desaparecer nada de materia, no podemos aceptar la idea de un aniquilamiento completo de lo existente, que entrañaría la de un inmenso vacío, la de la nada absoluta. Podrá pensarse en una destrucción de las formas; pero como ésta no dependería de la anulación de la fuerza, el fin del mundo será, según esta hipótesis posible, de tal suerte, que llevará en sí el germen de una resurrección en momento oportuno.

En cambio, esta clase de muerte de la Naturaleza se impone como consecuencia forzosa de las leyes mismas que rigen su vida actual, supuestas permanentes, de tal modo, que cada día que pasa nos acerca á ese fin. En efecto, las fuerzas sólo producen movimiento exterior, en tanto que hay desequilibrio. Un cuerpo cambia de volumen, por ejemplo, y puede realizar por ello fenómenos, mecánicos, eléctricos, luminosos, etc., mientras varía su temperatura, de modo que reciba ó transmita calor á otros. Cualquiera que sea su temperatura, cualquiera que sea la cantidad de calor que contenga, si los cuerpos que le rodean están igualmente calientes, de suerte que no haya ninguna variación, ninguna alteración en sus temperaturas, en sus cantidades de calor respectivas, en tal caso no podrá tampoco producir todo este calor ningún trabajo. Este sólo puede ser fruto del calor por el desequilibrio entre el cuerpo más caliente y el que lo está menos. Una cosa análoga sucede con la luz, que sólo produce sus fenómenos donde hay oscuridad. La electricidad manifiesta sus efectos característicos cuando se unen sus dos formas positiva y negativa, y, por último, en el magnetismo se observa también la misma oposición entre los dos polos.

Supongamos ahora que toda la fuerza del mundo quedara transformada en calor. Cuando toda la materia adquiriera una misma temperatura, cuando ya no hubiera espacios más calientes ni más fríos, desaparecería por completo todo movimiento aparente, toda alteración, toda vida en el universo. No existiría ya la atracción recíproca entre los cuerpos celestes, puesto que se habría convertido en calor. Cesaría, por la misma razón, el movimiento de las estrellas, así como la atracción molecular, en virtud de la cual tienen todos estos cuerpos consistencia. La materia habría perdido sus formas, se habría convertido en un

polvo atómico. Tampoco vibraría ningún rayo de luz en aquella oscura noche; todo sería calor, y éste sería inactivo. Su último efecto, el equilibrio establecido, destruiría todo resto de heterogeneidad en el espacio, reinando entonces una tranquilidad completa, un reposo absoluto en el mundo.

Esta desaparición de toda vida corpórea la podemos prever como cosa fija; pues del mismo modo que la Tierra está perdiendo continuamente calor, por radiación á los espacios interplanetarios, si bien esta pérdida se compensa con el calor que recibe del sol, éste lo va perdiendo también, por la misma causa, en mayor proporción y sin que ninguna acción exterior pueda compensarle, debiendo, por tanto, agotarse al fin su manantial de actividad, su enorme provisión de energía calorífica. De igual forma que el calor solar, se difundirá necesariamente el almacenado en las demás estrellas, el de las fuerzas vivas, correspondiente á los movimientos de las grandes masas siderales y á la atracción de las partículas de los cuerpos. Los fenómenos eléctricos, magnéticos, luminosos, las reacciones químicas, la vida y crecimiento de los séres orgánicos, todas las varias manifestaciones de aquella fuerza única que antes hemos considerado como calor, se harán también más y más débiles, desapareciendo al fin por completo, en cuanto el espacio todo posea una temperatura uniforme.

El tiempo que ha de transcurrir antes que llegue la muerte de la Naturaleza en este sentido, ni remotamente podemos calcularlo. Durante más de dos mil años no se ha podido comprobar una variación de $\frac{1}{100}$ de grado en la temperatura de la Tierra; y por lo tanto, la duración verosímil de la vida de ésta excede los límites de cuanto podemos concebir, y, en todo caso, la mirada del naturalista, al penetrar en el más remoto porvenir, lejos de deprimir su espíritu, mostrándole como segura la muerte de todo lo existente, le eleva más bien, dándole á conocer, como consecuencia de las grandes leyes de la naturaleza, infinidad de transformaciones por que la vida del mundo tiene que atravesar antes de llegar al reposo eterno. La muerte, en este caso, podría compararse á Aquiles, que no podia alcanzar á la tortuga, á pesar de las figuradas alas de sus talones. Por lo demás, si nos hemos permitido, aun á riesgo de molestar al lector, estas lucubraciones, ha sido sólo como ejemplo de la alta importancia y utilidad de la ciencia cuyas aplicaciones á la vida nos proponemos reseñar en el presente tomo. La Física es la ciencia fundamental de todo el mundo sensible; ella transporta nuestro espíritu á las regiones más remotas del espacio y del tiempo, con la misma seguridad con que pone á disposición del artífice mecánico las leyes del tornillo y de la palanca. A ella se deben los mayores progresos de la humanidad en la última centuria.

HISTORIA DE LA FÍSICA

El hombre siente estímulo constante hacia la observación de la Naturaleza; así es que ha debido ocuparse en ella desde las primeras generaciones. Pero pertenece á un grado bastante elevado de cultura la necesidad intelectual de agrupar los resultados con cierto orden y, más aún, la de pasar del conocimiento de los hechos al de sus causas. Desde la más remota antigüedad, el hombre hizo uso inconsciente de las leyes físicas en la construcción de sus sencillos instrumentos; más tarde fué aumentando sucesivamente el caudal de hechos conocidos. Sin embargo, la primera organización científica de estos materiales no se remonta mucho en los pasados tiempos.

Entre los egipcios es donde por vez primera encontramos indicios que nos permiten considerará este pueblo, cuna de la civilización griega, como patria también de la prístina ciencia con respecto á las Matemáticas, la Física, la Astronomía y la Química. Sin embargo, las naciones que estuvieron más en contacto con los egipcios no parece que ofrecieron al entendimiento terreno muy abonado para que diera fruto allí la semilla de las ciencias naturales. Los pueblos comerciantes del Asia tenían otros objetivos. Entonces la navegación estaba muy desarrollada entre los fenicios y sus colonias, y sus expediciones comerciales les comunicaban conocimientos exactos de lejanos países, particularmente de las costas del Norte de África (Cartago). Tales costumbres aminoraban necesariamente las condiciones para realizar grandes adelantos en las investigaciones científico-naturales. Algunos conocimientos que se atribuyen á este laborioso pueblo (salitre, vidrio, ambar amarillo, etc.), deben considerarse más bien como hijos de la casualidad que como resultado de investigaciones metódicas, y no pueden, por tanto, influir en nuestra apreciación de las fases por que ha atravesado la génesis y progreso de las ciencias físicas. La historia de Moisés nos dice que el pueblo hebreo aportó de Egipto gran copia de conocimientos; pero la crítica moderna desmiente este aserto, demostrando que este pueblo, por su carácter inquieto y sus especiales condiciones políticas, no pudo llevar á cabo nada útil ó provechoso en el estudio de la Naturaleza. Más asiduamente y con mejores resultados parece que se dedicaron los etruscos, dotados de carácter serio, á la investigación de la esencia secreta del mundo.

Pero el inmediato continuador, propiamente dicho, de los egipcios, fué el espiritual pueblo griego. Sus hombres más notables completaban su educación en Egipto; sus grandes viajes les suministraron multitud de observaciones directas, y la viveza de su ingenio penetraba, mediante soluciones intuitivas, en los más profundos problemas: de aquí que, si bien los egipcios dieron poderoso impulso al desarrollo inicial científico, no puede menos de atribuirse también al pueblo

griego una formación original de las ciencias naturales en particular, como en general de todas las demás ciencias.

Comenzó á ejercitarse su sentido filosófico en la explicación de la constitución del mundo (Cosmogonía), que hacían los griegos admitiendo partes constituyentes ó elementales. Empedocles triunfó de todas las teorías expuestas anteriormente con su hipótesis de los cuatro elementos, fuego, agua, aire y tierra; y la creencia en este dogma se conservó muy arraigada durante largo tiempo. Desgraciadamente, en esta época tan abundante en talentos profundos (próximamente quinientos años antes de Jesucristo) aún no se había reconocido el valor de la observación. Una idea ingeniosa y algunas coincidencias casuales bastaban para preocupar la atención y poner en juego la imaginación, estableciendo un nuevo sistema del mundo. Así, hombres notables y de gran ilustración no reportaron á la humanidad y á la ciencia los beneficios que sus facultades hubieran podido producir.

Con Demócrito de Abdera (muerto 404 años antes de Jesucristo), Sócrates y Aristóteles, se inauguró un nuevo período. Los dos primeros, si bien no contribuyeron directamente á enriquecer la ciencia con nuevos datos, establecieron, frente al sofisma, métodos rigurosos de investigación, de resultados muy provechosos; pero el filósofo de Stagira, provisto de innumerables medios auxiliares por el poder y riqueza de su gran discípulo, Alejandro, ensanchó extraordinariamente los conocimientos experimentales é hizo con esto de la ciencia de la Naturaleza una ciencia independiente, como no había sido hasta entonces. En cuanto á lo que se relaciona con la Física fueron objeto de investigaciones, los movimientos que ofrecen á nuestra observación las estrellas; la Geografía física se desarrolló paralelamente á la Astronomía, y ya Eratósthenes de Cyrena (228 antes de Jesucristo) intentó la primera medida de la circunferencia de la tierra. A los fenómenos de la luz á los de la electricidad (que observaron los griegos en el ambar amarillo, *elektron)* y á las atracciones y repulsiones de los imanes, que tambien les eran conocidas, aplicaron interpretaciones simbólicas; y si no fuera demasiado atrevida la tentativa de Schweigger de considerar la Mitología toda como una concepción simbólica de la Naturaleza, tendríamos ciertamente que conceder á los iniciados en aquellos estudios, grandes conocimientos científico-naturales.

Los romanos tomaron sus conocimientos sobre la Naturaleza, como, en general, toda su civilización, del pueblo griego, el preferido de los dioses; pero ya hemos hecho notar en otro sitio (1) cómo y por qué este pueblo no pudo hacer un cultivo adecuado de las ciencias físicas. Solamente las Matemáticas y algunas de sus ramas de aplicación al arte de la guerra (fortificación, construcciones, etc.), recibieron impulso; y aunque ciertos asuntos científico-naturales fue-

(1) Introducción al tomo 1.º de la obra.

ron objeto de notables desenvolvimientos poéticos, faltó á este pueblo espíritu de investigación, propiamente dicho. Aun los dos Plinios y el notabilísimo Strabón tuvieron más bien prurito de erudición que vocación para el estudio de las leyes físicas.

Los árabes, en cambio, aparecen como verdaderos fomentadores de las ciencias naturales, y por sus costumbres se encontraron en condiciones para familiarizarse libremente con algunas de sus ramas, la Astronomía y la Meteorología principalmente. Figuraban, entre ellos, en lugar preferente, las ciencias Matemáticas, á las cuales hicieron avanzar largo camino; también se encuentra en este pueblo el origen de la Química, que se propagó desde España al Oriente de Europa con ocasión de las Cruzadas. Si investigamos sobre la causa de este éxito, la descubriremos en la proporcionalidad de la labor adecuada á estas ciencias y en el medio social que las permitió desarrollarse. Siglos hacía que todas ellas habían sido objeto de ingeniosas discusiones, cantadas en odas; pero el resultado de método tan impropio fué impedir y retrasar el desarrollo de sus gérmenes. La Astronomía estaba confundida con la Astrología, y hasta los descubrimientos realizados por Kepler no se vió libre de esta indigna impedimenta. La Química estaba reducida á la condición de Alquimia. Afortunadamente, la energía de la verdad se mostró al fin, produciendo el abandono de aquel concepto mezquino de la Naturaleza. La popularización de sus fenómenos y leyes hizo libre al pensamiento, y, una vez arrancado por Copérnico y Galileo el primer jirón, rasgóse por completo el tupido y odioso velo de la ignorancia y la superstición, extendido sobre los pueblos de la antigüedad por la teocracia.

Alberto Magno (muerto en 1280), Rogerio Bacón (1294), el óptico Vitellión (1280), Conrado de Meyemberg (1349), Raimundo Lulio (muerto en 1315), Tomás de Aquino (1274), Juan de Gmünden (1442), Jorge de Peurbach (1461) y Juan Müller Regiomontanus (nacido en 1436 y muerto en 1476), son nombres que se pronunciarán en todos tiempos con el mayor respeto. Ya por el año de 1300 Teodorico de Apolda dió una explicación del arco íris. El anteojo apareció próximamente por esta época, debiéndose acaso este descubrimiento á Alejandro de Spina, y algunos años antes había sido descubierta por Flavio Gioja, de Amalfi, la aguja magnética. La navegación, cuyos horizontes se ensancharon por la aplicación de la brújula, permitió á Colón descubrir la línea sin declinación magnética y reconocer también la diminución de temperatura en las capas superiores de la atmósfera. Uno de los físicos más eminentes del siglo XV fué Leonardo de Vinci, quien no sólo cultivó la óptica, cuyos límites determinó con acierto, así como formuló la teoría de la visión, sino también la hidráulica, inventando multitud de ingeniosas máquinas, é introduciendo asimismo puntos de vista sencillos en la Meteorología, hasta entonces huérfana de todo fundamento científico. Sus ideas generales sobre los fenómenos natura-

les y sus metódicos trabajos le presentan lleno del mismo espíritu que más tarde introdujo Bacón de Verulam en las investigaciones científicas. Hacia la segunda mitad del siglo XV aparece Regiomontanus (fig. 2), inventor de los espejos parabólicos ustorios y autor del cálculo decimal. Construyó también globos geográficos terrestres y celestes, observó la libración de la Luna y la oblicuidad de la eclíptica, ejerciendo con sus investigaciones tal influencia sobre Copérnico, que su nombre va unido á la gloria del descubrimiento del sistema formulado por éste, base actual de la Astronomía.

Fig. 2.—Juan Müller, llamado Regiomontanus.

Los primeros acontecimientos notables desde que Copérnico (muerto en 1543) hubo establecido su sistema del mundo, fueron el descubrimiento de las leyes que rigen los movimientos de las estrellas, por Kepler, y el de las leyes del péndulo, por su no menos eminente contemporáneo Galileo. Estos iniciaron una nueva época, á partir de la cual las únicas autoridades indiscutibles en la investigación científica fueron la observación exacta y las consecuencias que se inducen clara y directamente de la misma. Kepler descubrió también el llamado anteojo astronómico, debido á sus investigaciones ópticas, y desarrolló la teoría de las funciones del ojo, sobre la base de las conocidas leyes de la refracción de la luz. El nombre de Dióptrica que lleva esta rama de la óptica es suyo, y, así como lo fué Regiomontanus de Copérnico, fué Kleper precursor de aquél que descubrió las leyes de la gravitación universal, del gran Newton; tanto lo fué, que, de haberlo querido el destino, sus ideas sobre la atracción de los cuerpos hubieran podido anticipar la posesión de aquel grandioso descubrimiento. Por esta época Gilbert hizo estudios sobre electricidad y magnetismo, siendo el primero que dió un tratado ordenado de todos los fenómenos observados en este terreno. El barómetro fué descubierto en cuanto Torricelli reconoció la presión atmosférica y su causa, desterrando del pensamiento el supuesto «horror al vacío». Se inventó el microscopio y el anteojo de larga vista, y si añadimos el termómetro, ideado por Drebbel en 1638, encontramos, en el transcurso de este cuarto de siglo, enriquecida la experimentación física con sus más importantes instrumentos.

El genial Bacón de Verulam (fig. 3), nacido en 1561 y muerto en 1626, había ya preparado, con su estilo convincente, la revolución iniciada en las ciencias físicas por Kepler y por Galileo, y Descartes había dado importancia al cálculo matemático, aplicándolo á la resolución de los problemas físicos, y adquiriendo estos nuevos métodos tal arraigo con los trabajos de Huyghens, descubridor del péndulo de segundos y de su aplicación á la medida del tiempo, y muy especialmente con los de Newton (nacido en 1642 y fallecido en 1727), que parecen destinados á servir largo tiempo de guía á la humanidad en el estudio de la Naturaleza. Los fenómenos considerados hasta entonces como de mayor complicación, fueron explicados de la manera más sencilla, y el reconocimiento de la armonía entre los hechos y leyes naturales produjo los más abundantes y provechosos frutos. Newton, sin embargo, no aplicaba el cálculo matemático con el exclusivismo que Descartes, sino que trataba más bien de encontrar directamente la solución de los problemas, como el de la naturaleza de la luz, etc., por experiencias exactas y delicadas, que no han sido mejoradas hasta el día; reservando al cálculo matemático, tanto en éstos como en los problemas mecánicos relativos exclusivamente á las leyes del movimiento, el papel de comprobante, y previniendo así, por la exacta coincidencia con los resultados de la observación, el peligro de perderse en lucubraciones remotas, sin fundamento real, á las cuales se abandonaban con frecuencia los antiguos filósofos, y fueron tambien del gusto de los mismos Kepler y Descartes. En el capítulo de la luz consignaremos la parte que tuvo Newton en el progreso de la Física, tanto por su descubrimiento de las leyes de la gravitación, como por sus investigaciones de óptica.

FIG. 3.—Bacón de Verulam, según la estatua erigida en Londres.

Antes que él, y en su tiempo, figuraron también Otto de Guerike (nacido en 1602, y fallecido en 1686); Pablo de Fermat (fallecido en 1665); Blas Pasca

(nacido en 1623, fallecido en 1662; Mariotte (fallecido en 1686), que descubrió la importantísima ley de su nombre, relativa á las presiones y volúmenes de los gases; los Bernouillis, y el que sobresale á todos, Christian Huyghens (fallecido en 1695). Huyghens descubrió la polarización que experimenta un rayo de luz cuando atraviesa un cristal de espato de Islandia, observación transcendental, origen de la teoría de las ondulaciones, que luego estableció sobre sólidas bases. Después Malus encontró la polarización por reflexión en el año de 1808, y tres años más tarde, Arago la polarización cromática. Hoock y Grimaldi habían observado ya, en 1665, fenómenos de interferencia que, como los de polarización, sólo podían explicarse por la hipótesis de las ondas luminosas; pero no aprovecharon en tal sentido sus observaciones, y, por tanto, hay que seguir atribuyendo á Huyghens la gloria de haber establecido, con dicha teoría, una de las más sublimes de la Física. Entre los primeros partidarios de este principio, mal recibido por lo pronto, según el cual todos los fenómenos luminosos se reducen á movimientos ondulatorios de un fluido particular, el éter, encontramos á Euler; mientras que Newton, que investigó y discutió de la manera más notable todos los fenómenos en cuestión y proporcionó con ello nuevos datos que sirvieron de apoyo á la teoría naciente, se abstuvo, sin embargo, de tratar directamente la cuestión de la naturaleza de la luz.

Además de los grandes descubrimientos ya citados (de la gravitación universal, de la presión atmosférica, de la naturaleza de la luz, etc.), se verificaron en esta época los de la máquina neumática y la llave de compartimientos, los hemisferios de Magdeburgo, la máquina eléctrica, la linterna mágica y el calidoscopio, de cuyos dos últimos dió la primera noticia el sabio P. Kircher, y también el péndulo de reloj y el escape de áncora del mismo (Huyghens), el telescopio especular, el manómetro, el nonius, los higrómetros, etc. En esta época se tuvo indudablemente la primera idea de la máquina de vapor; pero hasta el siglo inmediato no obtuvo amplio perfeccionamiento y aplicación práctica.

Correspondientes al siglo XVIII, y hasta nuestros días, podríamos consignar una larga serie de nombres y descubrimientos; pero seguramente no daríamas con esto idea, ni siquiera incompleta, del estado actual de la ciencia. Robusta, avanza por nuevos derroteros, y en particular se enriquecen las nociones sobre la electricidad y el magnetismo, cuyo estudio ha recibido en nuestros días un impulso febril. La acústica, el tratado del sonido, aunque fué bien estudiado por Euler, quedó, sin embargo, en retraso con respecto á las otras ramas de la Física; mientras que la teoría de los gases y vapores recibió de Priestley un brillante desenvolvimiento, Pertenecen al siglo pasado Wat, Gray, Nollet, Franklin, Picard, Muschenbroeck, Galvani, Volta, Young, Malus, Œrsted, Faraday, Fresnel, Arago, Brewster, Biot, Melloni y Daniell; mientras que Ampère, Seebeck, De la Rive, Regnault, Gay-Lussac, Fechner, Pfaff, Guillermo Weber, Gauzz, Mayer, Pogendorf, Tyndall, Riezz, Pouilet, Jolly, Clausius, Mag-

nus, Dove, Kirchhoff, Bunsen, Helmholtz, Foucault, Lisajous, Plücker, Wiedemann, König, Siemens, Edison y otros muchos, participan de la gloria que se ha conquistado la Física del siglo XIX.

Si ahora nos proponemos determinar el momento culminante del siglo XVIII bajo el punto de vista de los inventos ó descubrimientos físicos, señalaremos sin vacilar el de la invención de la máquina de vapor, de ese aparato por medio del cual, con sólo calor, podemos obtener á voluntad fuerza mecánica. La máquina de vapor, que ha contribuído más que ninguna otra conquista de la humanidad, más que la expedición de Alejandro Magno á la India, más que el descubrimiento de América, á estrechar las relaciones entre los hombres; que ha hecho desaparecer las distancias; que ha borrado los límites de las nacionalidades y las fronteras de la política; la máquina de vapor, que multiplica y abarata la fuerza para nuestras industrias, que transforman las primeras materias en objetos útiles; que impide también en cierto modo la miseria, pues actúa como niveladora, transportando aquellos productos que abundan en un punto adonde hay escasez de ellos; que acrecienta el tesoro más preciado de nuestra corta vida, el tiempo, y, por último, que eleva el nivel moral del hombre, relevándole de los depresivos trabajos corporales á que antes, en unión de las bestias, estaba condenado, la máquina de vapor no tiene realmente sino poco más de cien años de vida. Fué inventada en el año 1769 por James Watt, y no por casualidad, como descubre el negro la preciosa piedra que ve brillar en las arenas de los departamentos diamantíferos del Brasil, sino por intuición sutil y profunda, fundada en el conocimiento de las propiedades del vapor de agua. Ya Hero de Alejandría había observado, dos mil años antes, algunas de estas características propiedades, y, fundado en ellas, había construído un ingenioso aparato. Faltaba muy poco, sin duda; pero ni el cilindro con el émbolo movible, ni por otra parte la turbina, de cuyo principio se dió, sin embargo, la primera idea en aquel antiguo aparato, llegaron á ser conocidos en aquellos tiempos.

Aún es anterior á la máquina de vapor el pararrayos (1752). De buen grado se pueden atribuir á algunos sabios griegos, conocimientos exactos sobre electricidad, y no menos cierto es que, para preservar de la chispa destructora los templos de sus dioses, plantaban alrededor grandes árboles; pero el incontestable mérito de este gran descubrimiento pertenece al gran ciudadano Benjamín Franklin. A principios del siglo XVIII se descubrió la relación causal de los fenómenos eléctricos, y sólo con esta base fué posible reconocer la naturaleza de las tempestades y encontrar un medio de evitar sus desastrosos efectos. Todos los demás descubrimientos sobre electricidad y magnetismo se hicieron en época posterior; pues sin establecer las verdades fundamentales y principios teóricos de una ciencia, no es posible deducir de ella consecuencias ni hacer aplicaciones.

Desde la más remota antigüedad se hicieron variadas tentativas para tele-

grafiar. La rendición de Troya fué comunicada por Agamenón á su esposa Clitemnestra en la misma noche, y á una distancia de más de cien leguas, por medio de fogatas convenidas de antemano. Pero por más que la necesidad de comunicarse á lo lejos ha seguido acosando continua y poderosamente en todos tiempos á la humanidad, la telegrafía no pudo adquirir el admirable desarrollo que hoy alcanza hasta que, descubierto el electro-magnetismo á principios de este siglo, verificaron sobre él sus notabilísimas investigaciones los Ampère, los Gausz, los Weber, etc., y por nuevas observaciones é ingeniosas deducciones de las de los anteriores, otros hombres no menos notables, como Steinheil, Morse, etc., inventaron y perfeccionaron las aplicaciones prácticas.

Los termómetros para medir las temperaturas, barómetros para medir la presión atmosférica, manómetros para las tensiones de los gases y vapores, electrómetros para las cantidades de electricidad, etc., en una palabra, todos los aparatos inventados para medir las fuerzas y sus efectos con el fin de comparar éstos entre sí, datan del siglo XVII. Sólo la balanza es de invención más antigua; pero, en cambio, ha recibido tales perfeccionamientos y tal extensión en sus aplicaciones, que podemos muy bien admitir una segunda invención de ella como instrumento físico, en la época de la Revolución francesa. El alma de la Física moderna está en este método de aplicar la medida á todos los fenómenos objeto de nuestras investigaciones. De este modo adquieren éstas una significación absoluta, independiente de la incertidumbre que acompaña á las impresiones de nuestros sentidos, y sólo así es posible reproducir con exactitud todos aquellos fenómenos cuya observación reviste interés científico. ¿Como de otro modo podríamos establecer, por ejemplo, que el agua se congela y se funde el hielo siempre á una misma temperatura, si no tuviéramos otra medida para el calor que las sensaciones de nuestros nervios? Unicamente los instrumentos y métodos de medida pueden hacernos inteligible la solución de los problemas que entraña la Naturaleza, traducida á un lenguaje universal. Ninguna filosofía natural, con todas sus definiciones y explicaciones, que pretenda dar la clave de la vida material de la Naturaleza con hueca fraseología, tiene semejante poder. Con toda la ampulosidad de semejantes filósofos, ni se ha descubierto una sola ley, ni se ha aclarado un solo hecho, ni se ha verificado nada que reportara beneficios reales á la humanidad.

El verdadero naturalista es enemigo de la palabrería. Muchas veces unos cuantos renglones encierran los resultados de trabajos difíciles, proseguidos durante años enteros; pero aquellos renglones, es decir, el resultado sintético de aquel trabajo, vive eternamente en el libro de la humanidad.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS

Cuando un escultor labra un pedazo de mármol, dando vida y contornos á la informe masa, se vale, para realizar su objeto, de una acción física. Llamamos físicos, en un sentido restringido, á todos aquellos cambios ó fenómenos en los cuales el cuerpo no sufre alteración en su composición íntima, en contraposición á los fenómenos químicos, que consisten esencialmente en una transformación de la materia, esto es, en el cambio de la composición íntima de los cuerpos. Los trozos de mármol separados permanecen idénticos entre sí y con la masa total, en cuanto á su naturaleza. Otra cosa resulta cuando, en vez del martillo y del escoplo para quitar masa, se emplea la acción de un ácido. Este disuelve el mármol, y, desde el momento en que vemos desprenderse el gas carbónico contenido en él, podemos decir que se altera su composición íntima, y, por tanto, que el ácido obra químicamente. Si bien antes hemos admitido que en realidad la Química no es más que una rama de la Física, desde ahora en adelante nos acomodaremos, para mayor facilidad, á la distinción que generalmente se adopta, entre los fenómenos físicos y químicos.

La acción mecánica del artista que modela el mármol según su inspiración, no se revela, por lo pronto, más que en la separación de pequeños trozos de la masa total, lo cual no sería posible si el mármol no fuera divisible. La divisibilidad que poseen todos los cuerpos de la Naturaleza, y que llamamos por esto propiedad general, no tiene en realidad límites para nuestros sentidos. Podemos reducir un pequeño trozo de mármol á otros más pequeños por medio del martillo; y después cada uno de éstos á polvo fino, en un mortero. Si luego colocamos un grano de este polvillo en la platina de un microscopio, le veremos todavía con dimensiones que evidentemente pueden sufrir diminución. Afinando nuestros instrumentos de división podremos siempre aumentarla; pero por este medio no llegaremos á resolver ó dividir un cuerpo en sus partículas constituyentes.

Se concibe, sin embargo, que la divisibilidad física presentaría un límite cuando llegáramos á una porción tan pequeña de un cuerpo compuesto que, para dividirle, tuviéramos que separar los mismos elementos de su composición; cuando, por ejemplo, del mármol obtuviéramos partículas de calcio, carbono y oxígeno, que son las sustancias simples que lo componen. Tanto esas últimas porciones del compuesto, llamadas moléculas en el lenguaje científico, como las partículas simples que las forman, llamadas átomos, son inaccesibles por medios mecánicos. En el mármol, un átomo del metal calcio, un átomo de carbono y tres de oxígeno están combinados, constituyendo el menor volu-

men posible: es decir, una molécula de mármol, ó sea carbonato cálcico, como se llama en Química. La molécula es el término de la división física; el átomo es el límite de la división química, y se considera ya indivisible. Cuando nos ocupemos en el tomo IV de los fenómenos químicos, tendremos ocasión de insistir sobre este particular.

Entretanto diremos que en este punto los sentidos nos abandonan por completo, siéndonos imposible ya formarnos idea del modo y manera cómo estos átomos y moléculas están unidos entre sí. Tenemos necesariamente que suponer, para explicarnos el fenómeno, fuerzas especiales que actúan sobre las moléculas, unas veces como atractivas, aunque con intensidad variable (como en los cuerpos sólidos y líquidos), y otras veces como repulsivas, tendiendo á separarlas, á alejarlas entre sí (este caso es el de los cuerpos en su estado gaseoso). Estas fuerzas, llamadas en su conjunto fuerzas moleculares, obran, como hemos dicho, de diverso modo, según la naturaleza de los cuerpos. En algunos muestran tal energía atractiva, que oponen resistencia considerable á la separación de sus partes (ejemplos: diamante, acero, granito, marfil, etc.); en otros son muy débiles (como en el agua, mercurio, etc.); en los gases ofrecen las moléculas un esfuerzo constante contra los obstáculos que se oponen á su difusión ilimitada, y sólo en virtud de estos obstáculos y fuerzas antagónicas no se verifica su separación. El aire se dilataría en el espacio infinito y no estaría limitado, como lo está, á una capa de unos 75 kilómetros de altura alrededor de la tierra, si no estuviera retenido por ésta en virtud de la fuerza de la gravitación que encadena por doquier á la materia. De lo dicho se desprende la división de los cuerpos en sólidos, líquidos y gaseosos. Podemos cambiar entre sí estos estados físicos de agregación por medio de la acción del calor, que obra en sentido opuesto á las fuerzas atractivas moleculares, y de ello hacemos numerosas aplicaciones; por ejemplo, cuando fundimos los metales y vaciamos la fundición sobre moldes para que, al solidificarse por enfriamiento, adopten una forma determinada; cuando en las cámaras de desecación de las fábricas de tintes y estampados eliminamos, en estado de vapor, el agua que empapa los tejidos, etc., etc. De las propiedades del agua líquida hacemos aplicación en nuestros barcos flotantes, de igual modo que utilizamos como fuerza motriz de nuestros molinos de viento las corrientes del aire atmosférico.

Los cuerpos gaseosos son siempre amorfos. Los líquidos toman la forma de las vasijas en que se contienen, y sólo la superficie límite permanece siempre determinada por la acción de la gravedad. Dicha superficie se extiende según un plano horizontal; mejor dicho, es una superficie perpendicular á la dirección de la gravedad, de modo que resulta próximamente esférica como la Tierra. Esta redondez, que no es posible comprobar sobre pequeñas cantidades de líquido, se nos demuestra en la superficie de los grandes mares por la aparicion sucesiva de las partes de un buque, á partir de las más altas, cuando el

buque navega hacia nosotros. Los cuerpos sólidos poseen forma y límites propios, que conservan por sí mismos indefinidamente. Cuando su agregación se hace de un modo espontáneo y característico, como el crecimiento de un animal, el desarrollo de la semilla de una planta y la formación de ciertos compuestos químicos en el seno de disoluciones complejas, resultan formas regulares geométricas, que son siempre las mismas, dadas la igualdad de sustancia é identidad de circunstancias. En la generación de los vegetales y de los animales actúan fuerzas demasiado varias y complejas para que podamos fácilmente descubrir el secreto de su mecanismo. En los individuos inorgánicos llamados cristales, las relaciones son más sencillas y puramente geométricas.

FIG. 4.—Crecimiento de un cristal de alumbre.

La formación espontánea de estos cristales, observada al microscopio, constituye uno de los fenómenos más bellos y admirables para el físico. ¿Quién no se ha recreado alguna vez mirando las preciosas agujas y estrellas de hielo que una nevada arroja por millones? ¿Quién no ha admirado las figuras regulares que se producen por cristalización en el seno de los complejos líquidos de las fábricas de productos químicos? Las invisibles moléculas parecen poseer un alma que las agita, obligándolas á agruparse con regularidad matemática, formando sólidos, limitados por superficies planas y lisas. Podemos seguir, hasta cierto punto, el fenómeno en toda su pureza con la vista, suspendiendo por medio de un cabello ó de un hilo fino en el seno de una disolución concentrada de una de las sales fácilmente cristalizables (como alumbre, sulfato de cobre y otras), uno de los cristales depositados primeramente en el fondo de la vasija (fig. 4.)

FIG. 5.—Filtro de papel y su aplicación.

Los cuerpos sólidos ofrecen igualmente gran diversidad entre sí, en lo que se refiere á la disposición interior de sus partes. La materia no forma en ellos, en ningún caso, una masa continua y absolutamente maciza; por el contrario, presentan en su interior intersticios que designamos con el nombre de *poros*. Todos los cuerpos son *porosos*. Una lámina de oro muy delgada deja pasar, á través de sus poros, algunos rayos de luz, y aparece de color verde violáceo. El mármol y el marfil se dejan colorear; esto es, sus poros dejan penetrar las materias colorantes, que permanecen retenidas en ellos cuando se evapora el líquido en que estaban disueltas. Esta propiedad general de los cuerpos se utiliza visiblemente y con gran provecho en las filtraciones (fig. 5). Las materias textiles, la arena silícea, el carbón y el papel sin cola, son empleados para separar de los líquidos las sustancias extrañas en suspensión, toda vez que el líquido atraviesa dichas sustancias, mientras que los corpúsculos sólidos son retenidos entre sus

poros. Pero hay que distinguir los poros físicos de los llamados aparentes. Los primeros, que son los intersticios entre las moléculas mismas, constituyen la propiedad general para todos los cuerpos y en todos los estados de agregación; están relacionados con la naturaleza misma de los cuerpos é influyen con su manera de ser en la acción que éstos ejercen sobre la luz, el calor, la electricidad, etc. Los segundos son los espacios huecos que presentan algunos cuerpos sólidos; son muy variables é independientes de la naturaleza de las sustancias, y no tienen, por tanto, ningún interés para la ciencia, por más que se suele considerar como defecto su omisión al tratar las propiedades generales de los cuerpos.

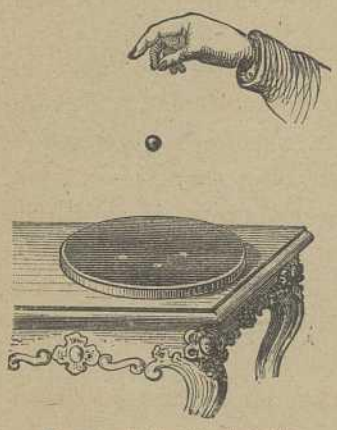


FIG. 6.—Acción de la elasticidad.

La *elasticidad* ó fuerza de resorte es también una propiedad común á todos los cuerpos. Contra lo que parece á primera vista, apenas tiene relación con la solidez ó tenacidad, puesto que precisamente los cuerpos gaseosos son los más perfectamente elásticos, mientras que algunos sólidos, como el plomo, ofrece el ejemplo de la elasticidad más imperfecta. Como es sabido, la elasticidad se manifiesta por la tendencia de los cuerpos á recobrar la forma y volumen primitivos, alterados por una fuerza exterior. Un trozo de cauchú estirado se contrae de nuevo así que cesa la fuerza tensora. Una pelota de goma rebota cuando se la deja caer contra el suelo. Las partes que reciben primeramente el choque penetran en cierto modo en el interior de la masa, y la esfera experimenta un aplastamiento en el punto de contacto. Esto se puede demostrar, como indica la fig. 6, dejando caer de lo alto una esfera de marfil sobre una plancha de mármol cubierta de una capa ligerísima de aceite. Si recogemos en el aire la bola después de botar sobre la plancha, veremos en ésta una huella circular producida por aquélla, que prueba la deformación de la esfera, pues de otro modo sólo hubiera podido tocar en un punto. La fuerza elástica que impulsa á las moléculas comprimidas por el choque á recobrar su posición relativa anterior, comunica su velocidad ascendente á la bola reaccionando contra la plancha. Así como no hay ningún cuerpo que carezca en absoluto de elasticidad, tampoco ninguno es completamente elástico. La naturaleza de los cuerpos y su forma, así como la acción exterior de otras fuerzas, influyen en su grado ó coeficiente de elasticidad. Hay que tener, pues, en cuenta estas circunstancias cuando queramos hacer aplicaciones de aquella propiedad de los cuerpos.

Con la porosidad y la elasticidad se relaciona otra propiedad general de los cuerpos, *la compresibilidad*, en virtud de la cual adquieren un volumen menor que el normal, por efecto de la presión. Los que presentan esta propiedad marcadamente son los gases y los vapores no saturados, en los cuales no tiene

realmente límites. Los vapores saturados, como el ácido carbónico y el sulfuroso, etc., pasan al estado líquido cuando la presión es suficientemente grande, y recobran el estado de vapor así que disminuye ésta.

ACCIÓN DE LAS FUERZAS

En las breves consideraciones anteriores hemos supuesto á los cuerpos en reposo. Cuando éstos reciben un impulso externo, entran en movimiento, originándose fenómenos especiales.

Para poner en movimiento un carro cargado se necesita mucho mayor esfuerzo, por parte de los caballos, que para seguir arrastrándole una vez puesto en marcha. El que ha navegado en bote sabe que, cuando éste tropieza de pronto en la orilla, los que van en él se inclinan involuntariamente hacia delante. Del mismo modo todos sabemos que el descenso de un carruaje en marcha rápida exige ciertos cuidados especiales, para evitar consecuencias desagradables y aun funestas. La piedra arrojada por nuestra mano, la bala de fusil lanzada por el disparo del arma, las estrellas que centellean en la bóveda celeste, todos estos hechos y otros muchos que podríamos citar, prueban que los cuerpos puestos en movimiento por una fuerza, lo conservan siempre durante cierto tiempo, más ó menos largo, después que la fuerza ha cesado de actuar sobre ellos. En efecto, es preciso que exista alguna causa para que, puesto un cuerpo en movimiento libre, abandone este estado. La incapacidad de la materia, considerada en el átomo invisible y aislado, para cambiar por sí misma los estados de reposo ó movimiento, se llama *inercia*.

La fuerza que se comunica á una masa para ponerla en movimiento, no se pierde con éste, sino que reaparece en cuanto el cuerpo vuelve al estado de reposo. De aquí la acción del choque. La mortífera bala de cañón realiza su obra sanguinaria por la restitución de la fuerza que en ella residió mientras conservara su velocidad. Esa energía, por su condición de permanecer en cierto modo disponible, mientras el cuerpo se mueve para actuar sobre una resistencia, mediante el choque, recibe el nombre de *fuerza viva*. En América se ha hecho una aplicación muy instructiva de la fuerza viva. Para facilitar á los caballos el arrastre de los carruajes, hecho de importancia cuando los vehículos son muy pesados y tienen que pararse con frecuencia, se les adaptan muelles elásticos, de tal modo dispuestos, que al parar el carruaje, acopian fuerza viva en los resortes comprimidos, y luego, al tirar los caballos, con la extensión de aquéllos se obtiene poderosa ayuda para poner el carruaje en movimiento, devolviendo la fuerza que habían retenido.

Hay que considerar dos factores en la fuerza viva; la masa del cuerpo en movimiento, y la velocidad con que se mueve. Una bala de fusil puede llevar

velocidad mayor y llegar también á más larga distancia que una bala de cañón; pero el efecto mecánico producido por el choque contra una resistencia, es mayor en el caso de la segunda que en el de la primera. Este efecto mecánico está en relación, como acabamos de decir, de la masa (ó bien del peso) y de la velocidad, y equivale al producto de estos factores. Las fuerzas mecánicas se miden por el número de kilogramos que pueden elevar con cierta velocidad (1 metro por segundo). Esta unidad se llama kilográmetro (véase el capítulo sobre el sistema métrico). La rueda del volante de las máquinas de vapor que, según hemos indicado, recoge en forma de fuerza viva la del émbolo cuando éste oscila rápidamente, y la devuelve cuando el émbolo va más despacio, determinándose por estas variantes una marcha regular, constituye una gran masa de hierro y puede considerarse como una especie de caja de ahorros de la fuerza.

PARALELOGRAMO DE FUERZAS

Hasta ahora hemos entendido por fuerza, única y exclusivamente, la fuerza mecánica. Ésta se nos manifiesta en los movimientos aparentes de masas limitadas, siendo así fácilmente concebible por nuestra inteligencia. En adelante referiremos siempre á este simple concepto toda idea de fuerza.

Todo movimiento supone dirección, y cada fuerza está determinada por la dirección en que obra, por el sentido de esta dirección (hacia uno ú otro lado del punto de aplicación) y, finalmente, por su intensidad. Si sobre un cuerpo actúa una sola fuerza, cuando nada lo impide, éste se mueve exactamente en la dirección de dicha fuerza. Cuando actúan simultáneamente varias fuerzas, la resultante es como sigue. Si aquéllas son dos ó más en una misma dirección y en el mismo sentido, sus efectos se superponen y el cuerpo recibe un impulso igual á la suma de todas las fuerzas elementales; si las fuerzas obran en la misma dirección, pero en sentidos contrarios, se destruyen por resta de las fuerzas que actúan en sentido opuesto. El caso varía cuando las direcciones de las fuerzas que actúan simultáneamente forman entre sí un ángulo, como, por ejemplo, cuando dos hombres (según representa la fig. 7) tiran desde las orillas de un río de una barca que flota en el centro de la corriente. Entonces la barca no camina ni en dirección del uno ni del otro de aquéllos, sino que sigue su curso entre ambos, siendo exactamente como si su movimiento fuera efecto de una sola fuerza actuante en la dirección *A D*. Este caso, que se puede considerar como tipo para todos los de su clase, está representado mecánicamente en la fig. 8. *A* es, según esto, la barca; *A B* y *A C*, las fuerzas con que tiran los dos hombres, según sus direcciones respectivas, é intensidad proporcional á la longitud ó distancia. La línea *A D* es la que representa la acción final; es decir, que el punto *A*, por la influencia de las antedichas fuerzas *A B* y *A C*, se mue-

ve exactamente como si obrara sobre él una sola fuerza con la intensidad y en la dirección representada por *A D*. Una cosa análoga sucede en el vuelo de las aves, que toma una sola dirección intermedia entre las dos que tienden á comunicarle los golpes de sus alas; la de la derecha tendiendo á desviarla hacia la izquierda, y la de la izquierda hacia la derecha. La fuerza que según esto puede considerarse como causa del movimiento del cuerpo, se llama *resultante*, porque representa el resultado efectivo de las fuerzas en acción.

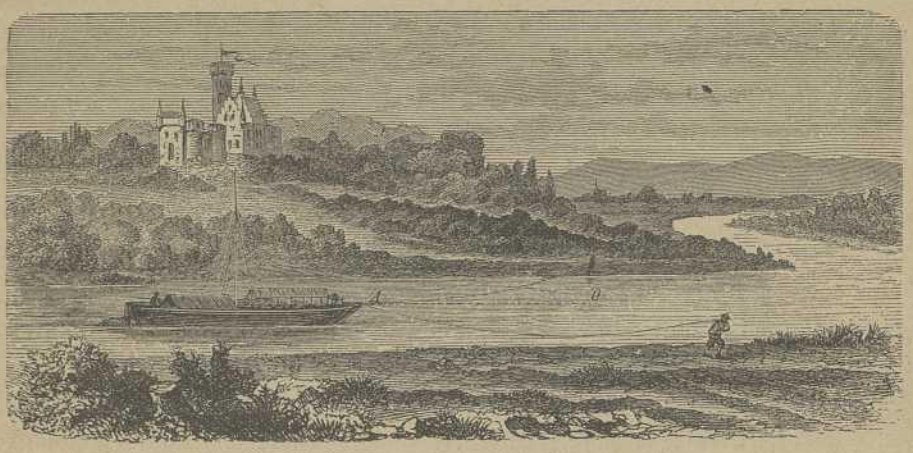


FIG. 7.—Efectos de dos fuerzas sobre la dirección del movimiento.

Fácilmente se encuentra su dirección é intensidad; están éstas representadas por la diagonal del paralelogramo construído sobre las componentes que figuran como lados del mismo (fig. 8). De esta construcción toma la ley el nombre de *paralelogramo de fuerzas*. Se aplica esta ley igualmente en los casos de tres ó más fuerzas angulares simultáneas, y para encontrar la resultante final, se construye primero la resultante de dos de ellas, después la de esta resultante parcial con otra fuerza, y así sucesivamente hasta tomarlas todas. La última será la fuerza resultante del sistema. Recíprocamente, toda fuerza puede considerarse, á su vez, como la resultante de dos fuerzas angulares. Esta sustitución es muy frecuente en la ciencia mecánica, y nosotros mismos tendremos ocasión de hacer aquí uso de ella.

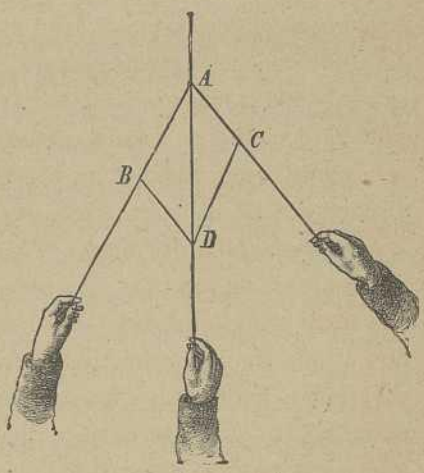


FIG. 8.—Paralelogramo de fuerzas.

Quien se haya parado á pensar alguna vez delante de un molino de viento, habrá planteado el problema de cómo es que las alas ó aspas giran alrededor

del eje del árbol, cual si las impulsara una fuerza lateral, siendo así que el viento, la única fuerza motriz, llega sobre aquéllas en la dirección del eje mismo. La solución de este problema sólo se puede encontrar considerando la fuerza del viento que, en su propia dirección, ningún efecto puede producir, ya que las alas no son movibles en el sentido del eje del árbol, como una resultante que por sí misma se descompone en dos fuerzas componentes, una de las cuales actúa tangencialmente en sentido perpendicular al eje, produciendo la rotación de las alas, mientras que la otra, perpendicular á la superficie de éstas, sólo produce tensión y se destruye por la resta de su resistencia con la del eje.

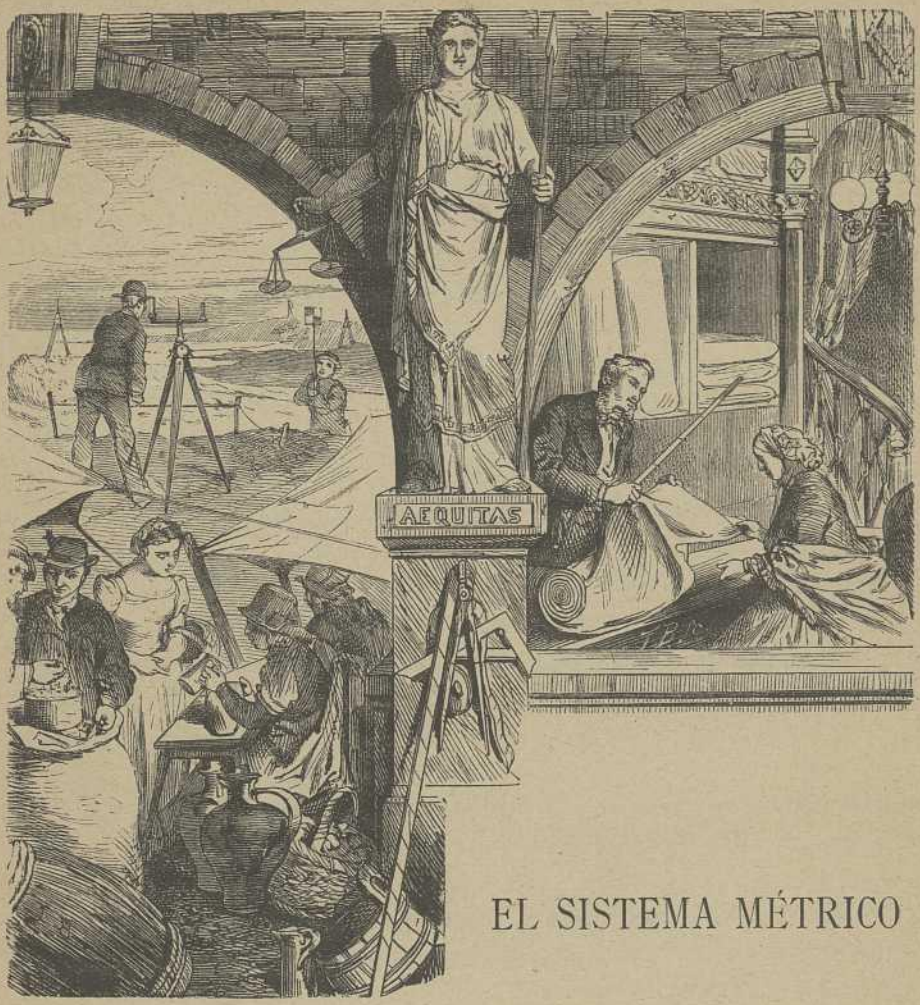
El caso de que una sola fuerza produzca un movimiento único y permanente en su dirección y velocidad, no se verifica realmente en la Naturaleza. Siempre y en todas las circunstancias concurren numerosas fuerzas que modifican sus efectos entre sí. La atracción universal de la materia se manifiesta de diversos modos: unas veces como adhesión y cohesión determina rozamientos é influye en el movimiento como fuerza retrardatriz; otras, como gravedad, actúa acelerándolos ó retrasándolos, según que la fuerza primitiva esté dirigida hacia el centro de la tierra ó en sentido contrario. Estando el aire en calma, podemos lanzar una esfera á lo alto en dirección exactamente vertical, y la veremos descender por el mismo camino. La acción constante de su peso se manifiesta durante la subida como retardatriz de la velocidad inicial hasta que llega á anularse ésta, determinándose el retroceso acelerado en velocidad durante el descenso. La trayectoría parabólica que describe una piedra lanzada oblicua ú horizontalmente, se origina del mismo modo por la influencia de esta fuerza incesante del peso, combinada con la velocidad comunicada al cuerpo por el impulso primitivo. Podemos fácilmente representar con exactitud sobre el papel el desarrollo de esta trayectoría haciendo aplicación, de la ley del paralelogramo de fuerzas. Y así como sobre la superficie de la tierra la pesantez modifica los efectos de toda fuerza, del mismo modo en los espacios interplanetarios actúan entre las masas fuerzas atractivas que mantienen á los cuerpos celestes puestos originariamente en movimiento por un impulso desconocido, sujetos en sus órbitas, cuya dirección en cada punto está determinada por la resultante de todas las fuerzas que, en el momento correspondiente, actúan simultáneamente, sobre el astro. Otro de los ejemplos más interesantes de composición de fuerzas, es el que nos ofrecen los veladores giratorios que el *espiritismo* ha explotado largo tiempo para excitar la admiración del vulgo. No puede negarse que, efectivamente, el velador comienza á girar cuando varias personas tienen puestas las manos sobre él mucho rato, en la forma por todos conocida. Pues bien; este sencillo hecho, que puede repetirse en condiciones normales cuantas veces se quiera con el mismo éxito, puso en conmoción y llenó de sorpresa, allá por el año 1850, al mundo entero. Se creía haber encontrado la huella de una nueva fuerza, de un fluido, misterioso que, en los nervios ó donde quiera que fuese, se

engendraba, quizá á la manera como se suponía entonces que la electricidad se originaba por contacto de dos cuerpos heterogéneos, cobre y cinc, carbón y cinc, ó cualesquiera otros. Cierto es que en ningún otro fenómeno natural se había observado manifestación alguna de semejantes fuerzas; pero á esta objeción se contestaba diciendo que tampoco cien años antes se tenía ninguna idea del galvanismo y sus fenómenos, los cuales no por esto son menos positivos.

Por desgracia, muchos negaron *à priori* el hecho de la rotación del velador, y sólo tardíamente, ante el testimonio de la realidad, tuvieron que convencerse de él. Entonces se admitió como evidente cualquier explicación dada por los partidarios, que ridiculizaban las dudas sobre lo admirable del hecho, diciendo:—«Si los incrédulos hubieran admitido el misterioso fenómeno, se habrían visto obligados á reconocer la nueva fuerza.» Pretendían haber descubierto algo completamente nuevo, ni siquiera sospechado hasta entonces, y sin embargo, la cosa es tan sencilla que no consiste sino en la composición y resultante de numerosos impulsos de nuestra fuerza muscular, insignificantes de por sí, pero cuya sucesión rápida y con cierto ritmo determina el fenómeno. Fija su atención sobre un solo punto, los *iniciados* pierden poco á poco la conciencia de la falta de tonicidad de sus músculos y de las sensaciones de sus nervios, determinadas por la violenta inmovilidad de sus manos y brazos. Los primeros, los músculos, se contraen y se relajan alternativamente, originándose un temblor que se traduce en choques intermitentes sobre la cara ó superficie superior del mueble; los segundos, los nervios, se embotan, perdiendo la sensibilidad para apreciar las pequeñas diferencias de presión. El protagonista inconsciente de la experiencia cree tener las manos apoyadas con toda suavidad, pero realmente ejerce sobre el velador gran esfuerzo, pues el peso de su cuerpo inclinado hacia delante, viene á aumentar la intensidad de los impulsos que comunica en virtud del temblor y de los choques producidos y ya explicados. Por parte de cada observador se suman acciones semejantes á las que realiza un muchacho pequeño cuando, para poder voltear una campana de gran peso, la empuja sucesivamente en el mismo sentido con cierta intermitencia. Todos aquellos pequeños impulsos se reunen en una resultante, y como ésta se aplica generalmente á un punto que no es precisamente el centro de gravedad, el velador adquiere un movimiento rotatorio. Algo parecido sucede también en la llamada varilla mágica, cuyo juego sorprende á veces hasta á las personas más despreocupadas.

La causa íntima de algunas manifestaciones exteriores de las fuerzas, no siempre aparece clara y distinta ante una observación superficial; y considerados por personas de temperamento impresionable, semejantes fenómenos raros adquieren una importancia desproporcionada; porque aquéllas en parte, al menos, pierden la calma y el dominio de sus sentidos, bajo la influencia de su impresionabilidad y de su fantasía que en vano llamarían á la puerta de un carácter frío y pensador, dueño siempre de sus facultades y de su voluntad.

EL SISTEMA MÉTRICO



EL SISTEMA MÉTRICO

En la Naturaleza todo se verifica según peso y medida.—Las medidas de los antiguos.—Medidas egipcias, judaicas, griegas y romanas.- Importancia de los métodos exactos de medida.—El desarrollo comercial reclama una medida internacional.—Unidad y sistema de medidas.—Sistema natural y sistema convencional.—Historia del sistema métrico.—Medida de un grado de meridiano.—Aprovechamiento de los resultados para la elección de unidad.—Divisiones y nomenclatura.—Objeciones al sistema métrico, como sistema científico.—Refutación de estas objeciones.—Comparación con otras medidas.—Medida de la fuerza.

En el sólido edificio de la Naturaleza nada hay irregular ó arbitrario; cuanto existe es metódico y ordenado; y no ya simplemente orden y método, sino armonía sublime rige el concierto universal; de tal suerte, que ni es posible reconocer excepciones á esta ley, ni se concibe siquiera que haya algo en el universo que pueda escapar á ella.

La más pequeña partícula recibe y da al resto del mundo materia y energía en cambios no interrumpidos. De todas partes llegan acciones mecánicas hasta ella; es centro de una especie de concurrencia ó convergencia de efectos procedentes de todas direcciones; pero al mismo tiempo también es punto de partida ú origen de acciones que marchan continuamente en todos sentidos; bien porque difunda calor, luz ó electricidad, bien porque influya, por su propio movimiento de traslación, sobre los movimientos de otras partículas materiales, ó ya porque, por acciones químicas, sufra una pérdida en su propia masa. Por exigua que pueda ser la partícula en cuestión, es objeto de fenómenos en comparación de los cuales son juego de niños los negocios de cambio de la alta banca. Y por gran maravilla, siempre concuerda exactamente el balance; lo que probablemente no podríamos afirmar tratándose de céntimos de peseta en el supuesto caso financiero. Sabemos que se realiza entre átomos y ondas etéreas, en virtud de las leyes de la conservación de la materia y de la conservación de la energía.

Antes de que la mirada del hombre hubiera llegado á penetrar en la economía de la Naturaleza, se sabía ya ciertamente que en ésta todo se verifica según número, peso y medida. Sin embargo, el reconocimiento de esta verdad no es tan antiguo como pudiera creerse, atendiendo á las sentencias de Moisés.

Hasta poco antes del siglo actual no se estableció científicamente, y, sin embargo, bien se revela cuán provechosa ha sido, en tan corto tiempo, por los vuelos que á su impulso han adquirido todas las ciencias relativas á la investigación de la Naturaleza y todas las artes é industrias que de éstas dependen.

En la actualidad, sólo midiendo podemos atribuir importancia á nuestras investigaciones. Así es como se llega á valorar, interpretar y presagiar. La medida es el amigo más severo é inflexible, pero también el más fiel. Por su rigurosa aplicación, nos concede apreciaciones exactas, base real de todo conocimiento.

Medimos las cantidades de las diversas sustancias que queremos combinar químicamente, y sabiendo con exactitud en qué proporción se verifican estas combinaciones, obtenemos la gran ventaja de evitarnos la más pequeña pérdida de materia. Medimos la velocidad de la luz, la rapidez con que se propaga la electricidad, la magnitud de las ondas etéreas, cuyas oscilaciones causan los fenómenos luminosos y cuya magnitud no llega á la milésima parte de un milímetro. Medimos el número de vibraciones que corresponde á los diferentes sonidos musicales, y hasta la intensidad del magnetismo terrestre, que, como una excitación nerviosa no interrumpida, vacila con fluctuaciones tan débiles que no llegan á influir en la aguja magnética. La ciencia ha encontrado métodos para hacer sensibles estas oscilaciones infinitamente tenues, y aun para determinar su valor.

Donde quiera que se manifiesta en la Naturaleza la acción de una fuerza,

allí acude el físico y no descansa hasta aplicar la medida al fenómeno en todas sus partes.

Cree el vulgo que todo esto es muy interesante para la ciencia pura solamente; para la vida práctica, dicen algunos, tales sutilezas tienen escasa utilidad. Nada más erróneo. Precisamente, y para no dejar lugar á duda alguna, hemos puesto á la cabeza el ejemplo de las reacciones químicas que entran directamente en la vida ordinaria.

También, y con frecuencia, las más sublimes investigaciones físicas, dirigidas sólo á la determinación de relaciones cuantitativas, se manifiestan fecundas en inmediatas y provechosas consecuencias prácticas. Ejemplo elocuente de esto encontramos en los índices de refracción de las sustancias penetradas por un rayo de luz, ó, lo que es lo mismo, de las relativas longitudes de la onda lumínica á través de los diferentes cuerpos, cuyo conocimiento es el único medio infalible de llegar al de las propiedades de los cristales y en cuya aplicación rigurosa descansa por completo la construcción de los instrumentos ópticos. Antes que todo, hay que someter un trozo del vidrio con el que se quiere construir, por ejemplo, una lente para un microscopio, un prisma para un espectroscopio, ó, en general, cualquiera parte de esta clase de aparatos á ensayos del género referido, con objeto de averiguar su coeficiente de refrangibilidad, pues solamente con arreglo al valor de éste se puede dar la forma apropiada á los fines de su construcción.

La simple observación del ángulo de desviación de un rayo de luz al atravesar una capa de cierto líquido, nos revela si están contenidas en éste, y en qué cantidad, el azúcar ú otras sustancias dotadas de poder rotatario.

Por otros métodos tendríamos que trabajar horas enteras para dar solución á este problema, que así queda instantáneamente resuelto, y sabido es que la rapidez del ensayo tiene importancia capital en la industria azucarera. Nada nos cuesta recordar también el análisis espectral, que no sólo puede servirnos para comprobar instantáneamente la presencia en un líquido de gran número de sustancias, aunque sea en combinación, sino que ha ocasionado el descubrimiento de algunos elementos químicos de la tierra, antes desconocidos, y cuyo análisis espectral tiene por único origen las investigaciones más escrupulosas sobre la refrangibilidad, ó, lo que es lo mismo, la longitnd de onda de los rayos luminosos emitidos por las diferentes sustancias puestas en incandescencia. Y así podríamos continuar citando ejemplos tomados de la Física ó de la Química, pero sería inútil; los capítulos sucesivos de este libro ofrecen gran número de ellos.

Todo el que adquiere algunos conocimientos de estas ciencias, se convence de que la base de las investigaciones físicas está precisamente en la *medición*, cuyos métodos, ensanchándose y perfeccionándose de día en día, nos darán pronto las dimensiones de los átomos, así como hoy nos permiten determinar las longitudes de las ondas etéreas. Pero no sólo para las ciencias exactas ofre-

cen tan alto interés las operaciones de medición en general; lo mismo exactamente participa de él la vida social, y esta verdad, que debió revelarse desde que existieron las más sencillas relaciones comerciales en los pueblos, y que adquirió mayor notoriedad al introducirse entre ellos las operaciones de cambio, ha ejercido benéfico estímulo para el establecimiento, tanto de los métodos de contabilidad, como de los sistemas de medidas. Ahora es evidente que en los primeros tiempos se contentaban con un grado de exactitud que hoy no satisface, ni para operaciones ordinarias de cambio. Todo ha adquirido mayor estimación, y especialmente el tiempo, cuya mínima porción tiene hoy un valor no despreciable para nosotros.

MEDIDAS DE LOS ANTIGUOS

Si consideramos históricamente la *medida*, encontraremos, como es natural, que todos esos admirables métodos que hoy vemos en uso para la resolución de las cuestiones físicas, en otros tiempos anteriores, ó estaban muy distantes de su estado actual, ó no habían aparecido todavía. Su invención data de tiempos bastante recientes.

Los antiguos empleaban, ciertamente, medidas lineales, superficiales y de volumen; conocían los pesos absolutos y relativos de los cuerpos y utilizaban su determinación; tenían métodos para dividir el tiempo y para medir los ángulos; así, pues, aplicaban la medida á todos los objetos que generalmente la necesitan; sin embargo, su aplicación carecía de la exactitud que hoy nos ofrecen nuestros métodos. La circunstancia que resalta en la lectura de los autores más antiguos, de que los resultados ó datos de mediciones están casi siempre expresados por números redondos, hace sospechar que los antiguos, en el establecimiento de las unidades de medidas, no alcanzaron fijeza ó exactitud. Y aunque hoy todavía presenta grandes dificultades el formar con datos, á menudo contradictorios, un concepto aproximado de las magnitudes de las unidades de medida que empleaban, está fuera de duda que eran designadas con el mismo nombre cierto número de ellas, á pesar de tener valores diferentes.

No es extraño que encontremos por vez primera extendido el uso de las medidas y sus métodos en la antigua civilización de los egipcios; porque los conocimientoe de que disponían se fundaban principalmente las ciencias físicas y sus derivadas, y también porque la realización de sus grandiosas obras de arquitectura exigía como condicion precisa la aplicación cuidadosa de la *medida*. Sin embargo, exageran los que dicen que las medidas egipcias estaban tomadas de las dimensiones naturales de la tierra; es decir que 3.500 años ha, tuvieron la idea de formar un sistema natural de medidas, idea que ha ejercido, en nuestra época, tanta influencia en la transformación de las unidades adoptadas.

Se ha sostenido la hipótesis de que las medidas normales de los egipcios derivaban de la circunferencia de la tierra, y según esta hipótesis, se afirma que el lado de la base de la gran pirámide de Memphis, tomado quinientas veces; la vara de los medidores del Nilo, llamada también vara sagrada, tomada doscientas mil veces, ó la vara del estadio de Laodicea, tomada quinientas veces, formaban exactamente la longitud de un grado de la circunferencia terrestre. Estas y otras diversas supuestas pruebas, sacadas de los escritores antiguos, se han aprovechado para demostrar que los egipcios habían medido ya el grado del meridiano y estaban, por lo tanto, familiarizados con las dimensiones de nuestro globo, de donde habían deducido su sistema de medidas. Pero la admisión del hecho de la medida del grado del meridiano, que según esta hipótesis habría sido practicada por Eratósthenes, entre Syena y Alejandría, no es cosa que deje de prestarse á grandes dudas. En general, teniendo en cuenta el estado presente de las ciencias, no podemos hacer grandes suposiciones sobre los conocimientos matemáticos de los antiguos egipcios. Indudablemente concedemos demasiado en este sentido á todas las civilizaciones antiguas, y este exceso está alimentado por el afán de descubrimientos sorprendentes, en virtud del cual los anticuarios con frecuencia creen ver relaciones profundas allí donde no pudo entrar en juego más que la casualidad.

Las medidas lineales de los egipcios fueron tomadas de las dimensiones del cuerpo humano y de sus partes.

La longitud media del hombre (la *orgye*, 1,85 m.) se dividió en cuatro partes, que se llamaron codos. El pie era la sexta parte de la orgye. De la anchura del tarso (*epithamo*), de la anchura de la mano (*palmo*) y del ancho del dedo (*daktylos*), se dedujeron otras medidas menores. La longitud de la caña del junco (*kalamos*) daba la *pértica* (10 pies egipcios); 60 pérticas constituían el *estadio*, y así sucesivamente. También se han querido encontrar interesantes relaciones de medidas en las proporciones de las Pirámides.

Para la apreciación del valor de las superficies, que tenía gran importancia en un país en que las anuales inundaciones borraban toda señal de límite entre los terrenos, haciendo por tanto necesarias frecuentes rectificaciones y, en donde éstas constituían un importante problema de la vida ordinaria, se adoptó simplemente la cuadratura de las medidas lineales. La medida superficial más empleada era la *arura*, un cuadrado cuyo lado tenía 100 varas de largo. La división de la circunferencia en 360 grados era ya conocida por los antiguos egipcios.

Más familiarizados que con las medidas de este pueblo estamos con las de los hebreos, circunstancia que encuentra su explicación en las referencias bíblicas, las cuales contienen, particularmente en las descripciones del templo de Jerusalén, datos muy precisos.

Las medidas judáicas parecen ser, en su conjunto, de origen egipcio; pero

también podría admitirse que, así como ofrecieron á los egipcios sus unidades de medidas aquellas magnitudes naturales más inmediatas al hombre, éstas fueron, del mismo modo, tomadas espontáneamente por los judíos como punto de partida. La *jornada* tenía 200 estadios egipcios, cerca de 37.000 metros. La milla tenía 1.000 pasos. Había dos clases de *pies;* el gran pie legal (*seraim*) 0,3674 m. y el pequeño pie (*sereth*) 0,2771 m. El sistema de medida de los árabes, nación que sostenía amplio comercio, no sólo con los egipcios, sino también con los países de las costas del Mediterráneo y hasta del Asia, era muy completo. La medida más pequeña estaba tomada del grueso de un pelo de camello, que en nuestras unidades corresponde á mucho menos de un milímetro, probablemente menos aún de medio milímetro, y esta circunstancia deja comprender que las determinaciones longitudinales en los árabes debieron alcanzar un notable grado de exactitud. Otra de sus medidas era el espesor de seis granos de cebada puestos uno al lado del otro. Tenían el daktylos, el palmo, el pie, varias especies de varas, entre ellas la llamada vara negra de Al-Mamum, que es notable porque con ella realizó aquel califa su medición del grado del meridiano. La vara negra contenía veintisiete veces la medida de los seis granos de cebada, 0,5196 metros. Además tenían los árabes una vara egipcia ó vara comercial; la vara regia, persa, llamada gran vara de Herón, el paso, la pértica, *la orgye*, y para medidas en grande, la *parasange*, veinte de las cuales hacían un grado egipcio.

Como todos los conceptos fundamentales de las ciencias matemáticas y naturales, y de las ramas técnicas que de ellas se derivan, los griegos recibieron también de los egipcios las unidades de medida, y, á su vez, las transmitieron después á los romanos. En realidad, no permanecieron sin alteración estas medidas durante dichas transmisiones, y mientras tanto se usaban sin poderse someter á una rectificación ó comparación con las medidas primitivas; pero estas alteraciones fueron casuales y efecto del manejo descuidado á que estaban sujetas. Como medidas peculiares de los griegos, citaremos el *dolichos*, ó sea el camino que tenían que recorrer los carruajes de carreras en sus fiestas públicas. Este tenía, según unos autores, 12, según otros, 20 y hasta 25 estadios. La mitad del *dolichos*, ó sea la distancia de uno á otro extremo del hipódromo, se llamaba *diaulos*. *Dromos* era el camino recorrido en 24 horas por un barco de vela ó de remos. Medidas todas que tienen cierto interés estético, pero que por su indeterminación parecen poco apropiadas para mediciones exactas. Se encuentra además, por esta época, una verdadera multitud de estadios ó estadales, cuya magnitud en general, si es que la han tenido fija en otro tiempo, hoy no está bien definida; pues las distintas referencias que existen sobre el particular son muy contradictorias. Las medidas pequeñas eran las legadas por los egipcios.

Los griegos estimaban ó median el peso por *talentos*, de los cuales el me-

nor, el sirio ó ptolomaico, correspondía á 7 kilogramos; pero el mayor, que era el egimético, parece ser que pesaba 45 kilogramos. Se conocían otros muchos intermedios entre estos dos. El *talento* estaba dividido en 60 minas, la mina en 100 dracmas. El *óbolo*, la pequeña moneda que se tenía que pagar al barquero de los infiernos como pasaje para cruzar las negras ondas de la laguna Estigia, debía pesar la sexta parte de una dracma.

Las medidas griegas fueron, según hemos mencionado, frecuentemente usados más tarde entre los romanos. Pero antes tuvieron éstos también medidas propias, de cuya conservación parece que cuidaron con más escrupulosidad que el frívolo pueblo heleno.

Se construyeron medidas *tipos*, que se copiaban esculpiéndolas en los edificios públicos. En el Capitolio existen cuatro marcas ó señales que corresponden á la unidad *pie* y que arrojan, como medio para la longitud del pie romano, 0, 2959 m. Otros tipos, encontrados aquí y allá, no difieren de esta longitud sino en un milímetro, y algunos, conservados en buen estado, llegan á coincidir con ella hasta en las décimas de milímetro.

La menor de las unidades lineales romanas era el *digitus* (0,^{m} 0185); á ésta sigue la *anica* (0,^{m} 0246), la *palma* (0,^{m} 0739), el *pes* (0,^{m} 2959), el *palmipes* (sobre 0,^{m} 3659), el *ubitus* (0,^{m} 4434), el *pasus* (0,^{m} 478), *la pértica* (2,^{m} 9562). La *milla* romana tenía 500 pérticas, y la *jornada (iter pedestre)* 18 $^{3}/_{4}$ de estas millas. La unidad de superficie era el espacio que podía labrar en un día una yunta de bueyes, *yúgerum*. Las medidas para áridos y líquidos estaban bien determinadas: las primeras tenían por base la *fanega* (modius), las segundas el *ánphora*, cuya cabida era exactamente de un pie romano cúbico. El sistema romano de pesas se conservaba hasta hace poco tiempo entre los farmacéuticos. La libra estaba dividida en 12 *onzas (uncia)*, ésta en *escrúpulos (scrupulum)*, y por último, en *granos (granum)*. Como consecuencia de las leyes que disponen la adopción del sistema métrico, las antiguas pesas han sido casi completamente desterradas de las farmacias, y el sistema del gramo y derivados sirve ya, en nuestra farmacopea, para establecer los pesos de los medicamentos. Esta reforma data en Francia de 1840. Es natural que nos interesemos especialmente en el estudio de las medidas correspondientes á las antiguas civilizaciones de los egipcios, judíos, griegos y romanos, porque nuestra cultura moderna se ha desarrollado sobre la herencia que recibimos de aquéllas, y aún hoy no han desaparecido por completo de entre nosotros algunas ideas reinantes en la antigüedad. Mucho menos interés tendría, por ejemplo, considerar de un modo análogo las medidas de los chinos y aztecas, ó los métodos para medir empleados, por las tribus sin civilizar, que carecen por completo de relación con nuestra cultura, y en los que sólo podríamos comprobar, como cosa notable, la que ya resulta de los hechos consignados, que la necesidad de algunas unidades de medida ha hecho al hombre recurrir, en primer

término, de un modo espontáneo, á ciertas magnitudes que la Naturaleza le ofrece siempre con las mismas dimensiones, y están en todo tiempo al alcance de su mano, de suerte que puede, en un momento dado, someterlas fácilmente á una comparación. Tales son, principalmente, la mano del hombre, el pie, la longitud del brazo, la amplitud del paso, etc., las cuales se usaron por doquiera como primeras unidades de longitud.

Diferentes pueblos emplearon y emplean el pie como unidad, sin copiarla ó reproducirla: es natural que por sí mismos recurran independientemente á él para medir. Los antiguos germanos hicieron esto como los egipcios, y hoy mismo las razas que pueblan el interior del África se sirven de esta unidad. Según la naturaleza de los objetos que se miden, se han originado también espontánenente en todas partes las diferentes clases de medidas lineales, superficiales y de volumen, para sólidos y líquidos, así como los pesos.

Podemos aquí prescindir de aquella operación de medida especial tan importante para las ciencias; la medida de los ángulos, de cuyos resultados se ha aprovechado principalmente la Astronomía hasta los tiempos modernos. Su sencillo sistema, que ya fué conocido de los egipcios, no ha sufrido ninguna variación en el transcurso del tiempo. Del mismo modo hacemos también caso omiso de la medida del tiempo, porque será tratada más oportunamente al hacer la historia de los relojes.

SISTEMA DE MEDIDAS

Como quiera que la esencia de la medida sólo tiene relación con la cantidad de las cosas, en cuyo concepto no puede haber diversidad entre los hombres de todos los ámbitos de la tierra, puesto que cinco, por ejemplo, es tanto para el habitante de los polos como para el de los trópicos, parece también que debería reinar en todas partes una sola unidad de medida constante é inteligible para todos, sin necesidad de ningún género de traducción.

Hay gran desventaja económica en la falta de esta uniformidad. Prescindiendo de los engaños ó fraudes que ocasiona la diversidad de medidas empleadas, resulta también de ello un entorpecimiento en los cambios, unido á una pérdida de tiempo que reduce el bienestar de la humanidad en una enorme proporción. Pero así están las cosas, y se comprende fácilmente que esto haya sucedido. Se trata ahora solamente de remediar, en lo posible, esta desventajosa realidad, á lo cual puede cada cual contribuir, y contribuirá seguramente todo el que se haga cargo de los fundamentales conceptos tomados aquí en consideración.

Para medir hay que empezar por dos cosas. En primer lugar, hay que elegir una unidad que sirva de base ó punto de partida, y luego dividir ésta en partes, con objeto de hacer más expedito su uso para determinar las magnitudes, constituyendo así un sistema de medidas, propiamente dicho.

Como hemos mencionado, en otro tiempo, aun en los países más civilizados, se consideraba la elección de unidad como cosa accidental que podía hacerse arbitrariamente, y así se tomaba por punto de partida para el establecimiento de las medidas, bien el pie del soberano reinante, bien otra cualquiera magnitud tradicional ó que surgía de nuevo.

Como consecuencia de tales adopciones arbitrarias resulta inevitable cierta corrupción en las medidas. En efecto, debiendo ser siempre la unidad una magnitud material, bien una barra de cierta longitud, bien un trozo de metal de cierto peso, á la cual se comparen las magnitudes que se quieran medir, si se pierde aquella magnitud tipo, de ningún modo es ya posible determinar su valor con toda exactitud.

Es verdad que todas las medidas derivadas de la unidad por comparación mecánica sólo son exactas en los límites de las aptitudes humanas y de la fidelidad de los instrumentos y métodos empleados en la operación del contraste (comprobación exacta de pesas y medidas). No se puede tener, pues, una idea tan precisa del verdadero valor de las medidas secundarias como de las fundamentales, porque siempre, aun en las comparaciones más cuidadosas, hay causas de error; mas en tanto que existe la *unidad* no tiene esto gran importancia, toda vez que se pueden ir apreciando sucesivamente esos errores en virtud del progresivo perfeccionamiento de los instrumentos, mientras que, una vez perdido el tipo, ya no se puede adquirir conocimiento de la magnitud de los errores.

Por ejemplo; el primitivo pedazo de metal cuyo peso representaba el marco de Colonia, se llegó un día á perder. En las casas consistoriales de esta ciudad existen aún varios llamados *pesos sagrados*, construídos artificial y lujosamente, y se tomaban por lo general como pesas normales para el contraste de la moneda alemana; pero, en rigor, nadie puede decidir cuál de ellas es la verdadera, ó si alguna de ellas coincide con la primitiva, como no coinciden entre sí. Y si esto sucede en la misma Alemania, en la antigua ciudad imperial, ¿quién pretenderá que se diga hoy con seguridad qué longitud tuvo el pie espartano ó la milla árabe? De aquí que todas las medidas antiguas, aun ofreciéndonos interés, si bien limitado, y valor puramente relativo, en tanto que se comparan entre sí, nos sean desconocidas en sus verdaderas magnitudes.

Por último, añadiremos que en los tiempos antiguos se establecían con independencia absoluta las diferentes especies de medida; unidades de longitud, de superficie, de volumen, de peso, etc., y para cada una de estas clases de medida se escogía una unidad que no guardaba relación sencilla alguna con las demás, Era completamente indiferente que uua fanega de cierta capacidad correspondiera á mayor ó menor peso. Ni era fácil averiguarlo, ni estaba, en general, determinado; desventaja que salta á la vista. Además, el número de unidades y de sistemas se multiplicaba con esto indefinidamente.

Al condenar con tales motivos la elección arbitraria de la unidad, claro es que proscribimos también implícitamente todos los antiguos sistemas de medidas. En efecto, los que así se llamaban no merecían siquiera tal nombre. Ni había enlace entre los nombres de las diferentes medidas, ni se encontraba relación siquiera entre estos nombres y los valores representados por ellos. Algunas medidas servían sólo para objetos especiales, como los pesos, que eran unos para los medicamentos y drogas, otros para la carne, otros para el comercio al por mayor, otros para las monedas de oro y joyas. Los múltiplos y divisores no obedecían á ningún principio fijo; estaban tomados al azar. Es vergonzoso tener que confesar que los chinos y japoneses, de cuyas *toilettes* nos burlamos con tanta frecuencia, aventajaron notablemente á nuestros antepasados en lo que á este asunto se refiere. Y no sólo porque en su sistema de medidas se ciñeron, en cuanto fué inventado, al sistema decimal, mientras que nosotros conservamos los cuartos, octavos y duodécimos en los divisores, y en los múltiplos, relaciones todavía más arbitrarias, sino porque también se nota una correspondencia íntima entre sus diferentes especies de medidas de longitud, de superficie, de capacidad y de peso, así como, particularmente, entre sus pesos y monedas.

Sin embargo, no podemos recriminar demasiado á nuestros predecesores por los efectos de tal negligencia. No se les había revelado aún la íntima y mutua dependencia de las fuerzas físicas que las investigaciones modernas nos han puesto de manifiesto; desconocían las actuales tendencias á la generalización y la alta conveniencia de la unificación en las empresas administrativas, que estaban entonces limitadas á estrechos círculos. Los cambios comerciales tenían muy poca amplitud, y así, los inconvenientes originados por sus defectuosas condiciones no eran fáciles de notar.

Sin embargo, en cuanto el comercio comenzó á tener algún carácter internacional, así que dejó de limitarse á las transacciones directas y á lo más á ferias locales, fueron manifestándose deseos de una reforma que unificara las medidas, pesas y unidades monetarias, y se celebraron repetidas veces largos Congresos ó asambleas que siempre fracasaban; porque cada uno de los Estados congregados quería que se diera la preferencia á sus unidades de medida, aceptando en principio la unificación, pero en la práctica solo en tanto que aquélla no excluía la conservación de sus medidas peculiares y usuales. De aquí las interminables conferencias, las repetidas proposiciones y regateos, que si conseguían por un momento introducir alguna modificación, fué para que desapareciera inmediatamente. En una palabra, los innumerables extravíos sufridos en lo que concierne á estos hechos, nos recuerdan á aquél que, echándoselas de compasivo, y para no dañar mucho á su perro, le iba cortando la cola á pedacitos.

Durante la Exposición de París de 1867 se ventiló de nuevo la cuestión de las unidades generales de medida y monetaria, en el seno de una Comisión espe-

cial designada al efecto y compuesta de representantes de todas las naciones. En el centro del palacio de la Exposición, allí donde afluían las galerías de las instalaciones de todos los países de la tierra, se levantó un pabellón (fig. 9) en que se hallaban reunidas las diferentes medidas y monedas de las naciones, representadas casi todas por medio de tipos exactos. Se quería con esto manifestar evidentemente cómo e mundo entero palpitaba por una idea y estaba acorde en un punto que realmente no se presta á diversas interpretaciones: el concepto de medida y de moneda, fundamento de toda transacción comercial. Una

FIG. 9.—Pabellón de medidas y monedas en la Exposición de París de 1867.

sola unidad de medida, una sola unidad de moneda, era el racionalísimo acuerdo que allí tenía que adoptarse. Por desgracia, la instalación en aquel edificio circular, semejante á un templo, no era sencilla; y por efecto de su complicación, no resultó perfecta. Alemania sola hubiera podido llenarle, si hubiese colocado modelos de los muchos centenares de varas distintas y de pies que en sus regiones ó provincias aún estaban entonces en uso, ó al menos no se habían abolido ni tampoco sustituído por unidades definitivamente generales.

Francia, Italia, España, Portugal, Bélgica, Holanda, Chile, Perú, Nueva Granada, Bolivia, Venezuela, mostraban medidas comunes, así como las Guineas francesa y holandesa en que, á pesar de la introducción del sistema métrico francés, se conservaban en uso las medidas antiguas.

Los demás Estados, entre ellos Inglaterra, Alemania y Rusia, tenían cada uno medidas propias.

La Comisión, después de convenir en la necesidad de unificar las medidas de

todos los países, aceptó el sistema métrico como el más á propósito para una adopción general, recomendándolo, por consiguiente. Este consejo fué puesto en práctica inmediatamente en el reino alemán (1872), y más tarde en Austria Hungría y también en Luxemburgo, Turquía, Egipto, Grecia, Brasil, Méjico, Ecuador y otros Estados más pequeños. En Suiza se procedió á una rectificación exacta del pie antiguo (tres pies suizos forman un metro) y con esto vinieron á entrar los suizos también, de hecho al menos, en el sistema métric.o

Mientras Inglaterra permanezca fuera del concierto general, existirá un obstáculo esencial para la realización de dicho propósito; pero por su parte otros países no deben tampoco dejar de adoptar resueltamente este sistema, cuyo fin es solo la universalidad.

La justificación ó fundamento del acuerdo requiere puntos de vista que deben servir de *reguladores*, en toda la extension de la palabra. Para establecer un sistema internacional de medidas hay que atender á las siguientes condiciones. Ante todo, la unidad debe ser una magnitud fija tal, que se pueda deducir en cualquier momento, con toda exactitud, de aquello que en la Naturaleza ofrece dimensiones invariables y con toda la facilidad posible, procurando también que interese por igual á todos los habitantes de la tierra. Es evidente que al propio tiempo convendría que, tanto la unidad como las medidas derivadas de la misma, fueran de cómodo manejo.

El sistema fundado sobre una unidad dada debe formarse, tanto para los múltiplos como para los divisores, por cálculo decimal. Entre los diferentes sistemas de medidas, de longitud, superficie, volumen, etc., deben existir relaciones naturales, sencillas y fácilmente apreciables, y la nomenclatura debe ser sistemática; de modo que los nombres particulares de las medidas expresen las relaciones que existen entre ellas, teniendo también, y por último, interés común para los diferentes países.

El que la unidad sea una magnitud natural, es decir, que en cualquier momento se pueda deducir fácilmente de las magnitudes que existen en la Naturaleza con dimensiones invariables, no debe considerarse como dificultad, según algunos creen; pues el sentido de esta condición es que ha de tomarse por unidad de medida, no la misma magnitud natural, sino otra que se escoja, proporcionada al uso práctico que de ella ha de hacerse, y deducida de aquélla de tal modo, que sea perfectamente conocida la relación de entrambas. Así, cualquiera unidad escogida arbitrariamente puede convertirse en unidad natural en cuanto se determine con exactitud la relación á que nos hemos referido. Por ejemplo, la yarda inglesa, una vez normalizado el sistema de medidas que sobre ella se funda, puede considerarse perfectamente como medida natural. En efecto, medida con exactitud la longitud del péndulo de segundos de Londres, por un edicto del Parlamento de 17 de Junio de 1824, se estableció fijamente la relación de la yarda, con el péndulo de segundos, que es de $\frac{36}{39,13929}$ determinada á la lati-

tud de Londres y reducida al vacío á la presión normal y á la temperatura de 62º Fahrenheit. Una pulgada inglesa cúbica de agua destilada á 62º Fahrenheit, y á la presión correspondiente á 30 pulgadas inglesas de columna barométrica, debe pesar, según las mismas determinaciones, 252,458 granos de una libra que tiene 5.760 de estos granos.

Pero la elección de unidad debe ser *neutral*, por decirlo así; algo que se imponga por sí mismo, que, como cosa internacional, no parta de una determinada localidad é interese más á una región que á otra; porque dada la vanidad humana, esto puede ser motivo de rivalidades que producirían obstáculo á la adopción general del sistema. De modo que no sólo debe ser natural la unidad de medidas, sino que también es preciso que tengan en ella un mismo interés todos los habitantes de la tierra. Para esto nada se presta mejor que las dimensiones de la tierra; y si no se puede admitir que los antiguos egipcios fundaran sobre ellas su sistema de medidas, preciso es conceder la gloria de haber expresado por vez primera esta gran idea al astrónomo lyonés Gabriel Mouton. En su obra *Observationes diametrorum*, que vió la luz en 1670 en Lyon, propone tomar por unidad normal la longitud del arco de meridiano de un minuto bajo el nombre de millar ó milla, la cual debía dividirse, según el sistema decimal, en centuria, decuria, virga, vírgula, décima, centésima, milésima.

Una cosa parecida vemos establecida en Inglaterra. La milla (legua marina) quedó determinada como la sexagésima parte de un grado ecuatorial, y desde la medición Norwood, como igual á 1.760 *yardas;* pero el resto del sistema no se apoya en esto. Sin embargo, es posible que no se hubiera tenido inconveniente en admitirlo como internacional, si no hubiera observado Kant que, dado que la unidad era una magnitud angular, lo mismo podía decirse de la tierra que de un guisante, que su circunferencia tiene 21.600 leguas marinas, correspondientes á 5.400 millas geográficas.

Tampoco llegó á aceptarse la idea de tomar como unidad de medida una longitud pendular especial y notable, idea que los ingleses siempre han defendido, y que de tiempo en tiempo se hacía predominante. Ya Huyghens llamó la atención sobre la longitud del péndulo de segundos como unidad. Pero como esta longitud, según Richter hizo notar, no sólo varía con la latitud geográfica, sino también con la altitud sobre el nivel del mar del punto de suspensión y como además la proximidad de una montaña tiene, si no muy grande, alguna influencia sobre la duración de las oscilaciones, no resulta utilizable para nuestro objeto. Por otra parte y como queda dicho, siempre tendría que elegirse un punto de la tierra que interesara á una pequeña parte de la población total del globo, y en donde, en tal caso, pudiera únicamente comprobarse la unidad elegida. Por razones análogas tampoco podemos considerar como propias para servir de base á un sistema de medidas, ni la longitud recorrida por un cuerpo al caer en

cierto tiempo, ni la altura barométrica de un punto dado, bases ambas que han sido también propuestas.

El mérito de haber deducido de las dimensiones de la Tierra un sistema racional de medidas completamente apropiado, como sistema internacional, pertenece de lleno á los franceses, y Laplace tiene participación muy principal en la ejecución de esta empresa.

En el año 1789 rivalizaban las ciudades de París, Lyon, Reims, Dunkerque, Rouen, Rennes, Orleans, San Quintín, Metz, Chalons, etc., en rechazar todas las diferentes medidas que sólo servían para dar ocasión á abusos y estafas. A consecuencia de esto, hizo Talleyrand una moción ante la Asamblea constituyente; el 6 de Mayo entregaba Bonnai una Memoria sobre el particular, y dos días después se tomaba el acuerdo de suplicar al Rey se interesara con el de Inglaterra para dar solución á este asunto, realizando una unificación internacional de las medidas (internacional, nótese bien), por comisarios de la Academia Francesa y de la Sociedad Real de Londres, que debían llevar á cabo esta misión.

Al principio se tuvo la idea de tomar como punto de partida la longitud del péndulo de segundos á los 45° de latitud, y emprender, para su determinación, una investigación científica común y escrupulosa.

Los franceses querían establecer desde luego, no ya una unidad de medida nacional francesa específica (hay que fijar bien la atención hoy sobre este punto), sino una unidad para todos los pueblos; y en atención á las debilidades humanas, renunciaron al derecho de iniciadores, en cuanto se propusieron compartir con los ingleses la realización de esta empresa.

Modificado el proyecto original después de iniciada la Revolución, la Academia nombró como comisarios á Laplace, de Borda, Lagrange, Monge y Condorcet. En 19 de Marzo de 1791 desestimaron estos la idea del péndulo de segundos que se había vuelto á proponer, fundándose en que ésta dependía de otra magnitud, el tiempo, y de la arbitraria división de éste en segundos, y se pronunciaron por la adopción del meridiano.

Se debía medir un extenso arco de meridiano (entre Dunkerque y Barcelona), deducir de aquí la longitud del cuadrante, y tomar la diezmillonésima parte de éste como unidad. Entonces debería adoptarse, tanto para las fracciones del círculo como para las de la unidad normal, la división decimal, abandonando toda otra, cualquiera que fuese. De la longitud normal así establecida, era fácil obtener una base para fundar las unidades de extensión, de capacidad y de peso, bastando para esto último pesar en el vacío y á una temperatura determinada, bien sea la de solidificación del agua, bien la de su máxima densidad, cierta medida de ésta perfectamente destilada. En la medición indicada del grado de meridiano se tenía la ventaja de que los dos extremos eran fijos y estaban al nivel del mar. Después se debería también contar el número de oscilaciones que diera en un segundo, y en la latitud de 45° un péndulo de la longitud de la diezmillonési-

ma parte del cuadrante de meridiano al nivel del mar, á 0° centígrados y en el vacío, para poder comprobar esta longitud por medio de observaciones que no exigieran mucho tiempo.

Por último, la latitud de 45° fué elegida, no por homenaje á Francia, sino simplemente porque en ella coincide el valor medio del arco de un grado de meridiano con la longitud media del péndulo de segundos, circunstancias de naturaleza puramente geodésica. Estos acuerdos fueron sometidos á la Asamblea Nacional en 26 de Marzo de 1791, y habiéndose aprobado cuatro días más tarde el proyecto: el Rey autorizó desde luego á las Comisiones ya antes designadas por la Academia, para que dieran comienzo á las operaciones necesarias.

Como consecuencia de la disolución de la Academia, los trabajos quedaron suspendidos, hasta que por dos leyes de 18 Brumario y 28 Germinal fueron designados para terminarlos Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Hauy, Lagrange, Laplace, Mechain, Mongy, Prony y Vandermonde.

MEDICIÓN DE UN ARCO DE MERIDIANO

Tenemos que hacer en este punto una ligera reseña histórica de esta operación, cuya importancia para el sistema de medidas fué reconocida ya en el mundo científico desde que se determinó la longitud de un arco de un grado de meridiano en el Perú. La primera tentativa de determinación de las dimensiones de la tierra la encontramos realizada ya por los antiguos egipcios. La forma de la Tierra fué conocida por Pitágoras y Aristóteles. Eratósthenes de Kyrena se ocupó de la determinación de su magnitud, y si bien no es posible atribuir á este sabio el mérito de haber llevado á cabo una verdadera medición del grado de meridiano, es decir, de haber determinado la longitud de uno de estos arcos, cuyo valor astronómico ó circular fuese bien conocido, en cambio le pertenece la gloria de haber encontrado y puesto en práctica, por primera vez, el verdadero método para medir la tierra.

La primera medición, propiamente dicha, de la tierra, se verificó en el siglo IX, en el Golfo Arábigo y por orden del califa Al-Mamún. Los geómetras que intervinieron en ella se dividieron en dos grupos, con objeto de comprobar recíprocamente los trabajos de los unos por los de los otros, obteniendo de tal modo para la longitud del grado (ó sea la 360 parte del círculo), dos valores que diferían mucho entre sí. Una de las expediciones encontró el valor 46 millas árabes, y la otra 56 ½. Desgraciadamente no estamos en condiciones para decidir cuánto distan estos datos del valor verdadero, pues nos falta conocer la longitud de la milla árabe.

A partir de esta fecha, y durante toda la Edad Media, no se vuelve á oir ha-

blar de semejantes empresas. Inspiraban muy poco interés las ciencias geográficas, desconociéndose la importancia general que entraña la solución de tales problemas. En 1525, con motivo de la célebre vuelta alrededor del mundo, volvió este asunto á despertar interés general. La primera medición de un grado, después de la verificada por los árabes en el desierto *Singar*, fué emprendida por Fernel, médico de cámara de Enrique II y conocido también como matemático. Como resultado obtuvo para el grado de meridiano el valor 57.070 toesas, de á seis pies parisienses, un resultado que coincide casi exactamente con los de las mediciones de estos últimos tiempos, en que la perfección de los instrumentos empleados y el concurso de los extensos conocimientos acumulados sobre todo cuanto se relaciona con este problema y sobre las circunstancias que pueden influir como causas de error, ofrecen grandes garantías, al par que facilitan extraordinariamente el logro de la empresa. Pero esta coincidencia no puede considerarse sino como una casualidad, pues Fernel no empleó, para determinar la longitud del arco comprendido entre París y Amiens (cuyo valor angular era ya perfectamente conocido) otro medio que recorrer sencillamente dicha distancia en un carruaje, y por el número de vueltas que la rueda dió durante la travesía, calculó la longitud del camino recorrido. Con tal procedimiento no hay que pensar en la exactitud; y si el resultado, á pesar de todo, se acerca á la verdad, podemos deducir que esto fué debido á que los errores, en más y en menos, se compensaron unos con otros.

En el año 1615 verificó el geómetra Snellius una medición de grado entre Alkmar y Bergen op Zoom, en Holanda. El arco que midió tenía 1° 11,' 30", y el valor calculado para el grado, en virtud de esta operación, fué de 55.021 toesas. Esta medición es interesante, porque en ella se empleó por vez primera el método de triangulación, que fué realmente ideado por Snellius.

Norwood hizo su medición, ya indicada, en 1635, por otro método, el de la cadena de medir, esto es, por medida directa entre Londres y York, obteniendo para la longitud del grado el valor 59.414 toesas. Riccioli encontró un valor que difería mucho de éste (62.650 toesas). En vista de las notables divergencias que ofrecían los trabajos realizados con este objeto, y que no permitían considerarlos á todos como ceñidos ó próximos á la verdad, teniendo en cuenta la importancia del asunto, la Academia Francesa resolvió que se emprendiera una nueva medición, en cuya realización se utilizaron todos los medios y recursos que la ciencia ofrecía para el caso.

El ya célebre geómetra *Picard* se encargó de dar solución á este problema; verificó su trabajo en el año 1670 con la mayor escrupulosidad, y esta medición suya tuvo el mérito de inspirar á todos la mayor confianza. Midió entre Amiens y Malvoisine un arco de 1° 28' 28", y calculó con los resultados obtenidos la longitud del grado meridiano, que encontró igual á 57.060 toesas.

Con estos datos Huyghens y Newton calcularon la magnitud de la tierra,

considerándola siempre como una verdadera esfera. Pero con motivo de la observación hecha por Richer de que, para que en Cayena batiera segundos había que acortar en $^5/_4$ de línea un péndulo de segundos transportado de París, y en vista de que aquél había encontrado, por sus cálculos, que esta corrección no podía atribuirse únicamente á la dilatación por el calor, emitió entonces Newton la hipótesis de que dicha alteración fuese una consecuencia de la acción de la fuerza centrífuga, desarrollada por la rotación de la tierra. De todo esto se dedujo que, siendo en el Ecuador donde dicha fuerza es mayor, debía haber allí acumulación de más masa que en los polos y, por tanto, que la tierra no es esférica, sino que tiene forma algo aplastada, semejante á la de una naranja.

Para resolver esta cuestión, y por iniciativa de Picard, los dos Cassini, Dominico y Jacobo, verificaron una nueva determinación del grado, midiendo la longitud de todo el arco del meridiano que pasa por París, comprendido dentro de Francia. Entonces se observó el resultado notable de que el grado parecía disminuir hacia los polos. En efecto, por la medición hecha desde París hasta el límite inferior del Reino (6º 18′ 57″), se encontró para el grado el valor 57.097 toesas, mientras que entre París y Dunkerque resultó el grado igual á 56.960 toesas, y, por consiguiente, que la longitud del eje terrestre (ó sea el diámetro de polo á polo) era mayor que el diámetro ecuatorial, ó sea lo contrario de lo que Newton había deducido por consideraciones teóricas: siguiendo la tosca comparación antes empleada, diríamos, según esto, que la tierra, en vez de la figura de una naranja, tiene la de un limón.

Los sabios de todos los países se mostraron más partidarios de la teoría newtoniana que de la cassínica. Para dar fin con plena seguridad á la cuestión, objeto de las polémicas de los matemáticos, el Gobierno francés ordenó que se hiciesen dos mediciones del grado á grandes distancias. La una debía hacerse en el mismo Ecuador y la otra en el círculo polar.

Primero se ejecutó (desde el 16 de Mayo de 1735 hasta 1746) la célebre medición del Perú, y la unidad empleada en ella, la toesa, (1,^{m} 949) se adoptó desde entonces como unidad de medida científica en todos los países civilizados.

Nombres como los de los geómetras Bouguer y Condamine, del botánico De Jussieu, y del ingeniero Verguín, á los que se agregaron otros, como, por ejemplo, el del célebre sabio español Ulloa, son garantía bastante de que los resultados obtenidos correspondieron á cuantas esperanzas pudieran haberse depositado en dicha Comisión.

En Junio de 1756 llegó al golfo de Bothnia la segunda expedición, compuesta de los académicos Maupertuis, Clairaut, Camús y Lemonnier y del abate Authier, y en el mismo año determinó la magnitud de un grado, que encontró igual á 57.434 toesas. De la comparación de este valor con el obtenido entre París y Amiens (57.600), y más aún con el de la medición del Perú (56.753 toesas), resulta evidentemente que la Tierra no es completamente esférica, sino que

es un esferoide, aplanado por los polos, y que la medición de los *Cassinis* no merece ningún crédito. Investigaciones posteriores dejan esto fuera de toda duda.

Después de las dichas, se han verificado muchas mediciones más del grado meridiano; pero sólo mencionaremos aquí ligeramente algunas importantes.

Son las siguientes: la practicada por Lacaille en 1750, en el extremo meridional de África, interesante porque demostró el aumento de longitud del grado hacia el polo, en el hemisferio austral. La gran determinación de Delambre, Biot y Arago, terminada en 1792, que fué después el punto de partida del sistema métrico francés; la de Gausz, en Hannover; la rusa, de Struve, que se hizo sobre un arco de 25 grados, desde Ismail, sobre el Danubio, hasta el cabo Norte; la gran medición en la India, terminada hacia el año 1850 y la medición del grado de la Europa Central que se inició en 1861 por un proyecto del teniente general Dr. Juan Jacobo Baeyer (fig. 10), y á cuya ejecución concurrieron los Estados de Baden, Baviera, Bélgica, Dinamarca, Francia, Hannover, Hessen-Cassel, Hessen Darmstadt, Holanda, Italia, Mecklenburgo, Austria, Prusia, Rusia, Sajonia, Sajonia-Coburgo-Gotha, Suecia y Noruega, la Suiza y Wurtemberg á los que agregaron en 1866 España y Portugal. Esta medición del grado de la Europa Central, que aún no está terminada, comprende una extensión superficial de más de 2.900.000 kilómetros cuadrados, y, por tanto próximamente la tercera parte de la superficie de Europa, ó la 175 parte de toda la superficie terrestre, y se distingue de todas las anteriores operaciones de este género en que no se reduce simplemente á la medición del grado de meridiano ó del grado de paralelo, es decir, del grado de latitud ó de longitud geográfica, sino que llega á la combinación de ambos, tendiendo á obtener el completo conocimiento de la curvatura de una parte considerable de Europa, con todos los accidentes locales que alteran su forma regular, así como á determinar las causas de estas alteraciones ó accidentes.

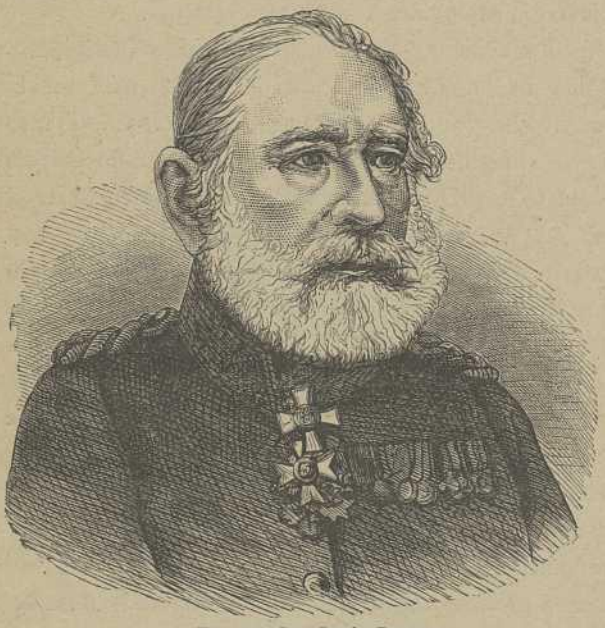


FIG. 10.—Juan Jacobo Baeyer.

SISTEMA MÉTRICO

En la medición del grado de meridiano del año 1792 se operó sobre un arco de 12º 22′ 13″ desde Dunkerque hasta las islas Formentera; se calcularon para toda esta longitud cerca de 705.189 toesas, y de éstas se dedujeron las de la longitud del cuadrante desde el polo al Ecuador. La diezmillonésima parte de este cuadrante era la unidad de medida que se había de adoptar. Pero como la longitud del metro, ó sea de esta diezmillonésima parte del cuadrante, tomada de los resultados obtenidos en la medición del grado de meridiano, sería diferente según las suposiciones hechas sobre el aplanamiento de la tierra en los polos, punto en que no podía llegarse á un acuerdo tan pronto como era preciso, se decidió por un decreto de 19 Frimario del año 8, que el metro legal fuera equivalente á una barra metálica, la cual, llevada á 0º de la escala de Celsius, midiera 443,296 líneas de la toesa del Perú, determinada precisamente á 16º,25. En previsión de que no llegaran á coincidir las opiniones sobre la verdadera magnitud de la cantidad que se investigaba, mientras se verificaba la comprobación, no queriendo asentar sobre una base incierta el importantísimo problema de la unificación de las medidas, la longitud de aquella barra se consideró como si coincidiera con la diezmillonésima parte de la longitud probable del cuadrante del meridiano, y se instituyó como metro.

Las medidas derivadas se establecieron con arreglo al sistema decimal. Los nombres se tomaron de dos lenguas muertas; el griego y el latín, partiendo del supuesto de que todos los pueblos cultos de la actualidad tienen igual cariño á los idiomas de aquellos que fueron cuna de nuestra civilización, y se siguió la regla de aplicar el griego á los nombres de los múltiplos de la unidad fundamental, y el latín á los de sus divisores.

La unidad misma, como ya queda dicho, se llamó brevemente *metro* (de la palabra griega μέτρον, «medida» «regla;» los divisores decímetro=0,m 1. centímetro 0,m 01, milímetro=0,m 001;) los múltiplos, *Dekámetro*=10.m *Hectómetro* =100.m *Kilómetro*=1.000.m y *Miriámetro*=10.000.m Las primeras se formaron por la adición de las palabras latinas *decem*, diez; *centum*, ciento, y *mille*, mil, y las segunda por adición también de las palabras griegas de igual significación *deka*, diez; *hekaton*, cien; *chilioi*, mil, y *myrioi*, diez mil.

Como unidad de peso se adoptó el de un cubo de agua destilada á 4º centígrados, cuyo lado fuera la centésima parte del metro, la unidad fundamental. Este peso se llamó gramo del griego γραμμή *(gramma)*, «peso pequeño,» que próximamente pesaba también lo que un centímetro cúbico de agua pura á 4º centígrados. La unidad comercial es el kilogramo=1.000 gramos, que corresponde al peso de 2'17 libras castellanas. Por lo demás, el sistema indicado para

las medidas de longitud, derivadas del metro, sirve del mismo modo para los nombres de las medidas de peso, con relación al gramo. Los divisores del gramo se llaman *deci, centi mili*, gramo; los múltiplos *deka, hecto, kilo*, gramo; las medidas superficiales y de volumen se deducen directamente de las unidades longitudinales, cuadrándolas ó cubicándolas y se toma de las primeras, como unidad práctica, la magnitud superficial de 100 m. c. ó sea un cuadrado que tiene 10 metros por lado, con el nombre de área, de *arare* (arar, labrar), y como unidad de las segundas, el metro cúbico. La capacidad de un cubo cuyo lado mida un decímetro, constituye el litro (del griego *litra*, en latín *libra*, ó lo que pesa una libra nuestra.) El área y el litro, lo mismo que el gramo y el metro, forman múltiplos y divisores; deca, hecto ó deci, centi, área ó litro, etc.

Como se ve, nada hay en el sistema métrico que pudiera parecer como peculiar ó exclusivamente francés y, que, por tanto, pudiera oponerse á su adopción internacional. A pesar de todo, se han hecho contra él, de vez en cuando, objeciones á que se ha atribuído demasiada importancia. Se ha dicho, por ejemplo, que para la determinación del metro se ha medido el meridiano que pasa por París, y la longitud de éste se ha tomado como punto de partida; el metro es, pues, una magnitud francesa. Se ha dicho también que el metro, según las últimas, y por consiguiente más perfectas mediciones, ya no resulta la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, como se había definido, sino que, en realidad, el cuarto del círculo meridiano parece tener 10.000.857,5^{m} y, por consiguiente, hubo error al calcular esta unidad de medida, que resulta falsa. Carecen de solidez una y otra objeción. Cualquiera círculo máximo de una esfera significa lo mismo para la determinación de las dimensiones de ésta; por lo tanto, es indiferente medir uno ú otro, ó una porción de cualquiera de ellos, siempre que pase por los extremos de un diámetro de dicha esfera. Ciertamente este principio general no tiene aplicación á un esferoide de rotación como es la tierra; pues en ésta, como en aquéllos, hay infinidad de diámetros diferentes, los más largos que unen dos puntos del Ecuador, y el más corto que une los dos polos y, entre éstos dos límites, los demás tienen todos los valores intermedios posibles. Pero un meridiano en sus diferentes puntos contiene, en conjunto, todas las relaciones de formas y dimensiones de la tierra, y como además todos los meridianos son iguales entre sí, lo mismo el de París que el de Postdam y cada casa tiene el suyo, es ridículo considerar como preferible uno á otro.

Por otra parte, hay que reconocer que para la determinación del cuadrante de meridiano, cuya diezmillonésima parte se adoptó como metro, se tuvieron en cuenta todas las mediciones de grado anteriores, y, por consiguiente, todos los países que han hecho algo en este sentido, en la investigación científica de las dimensiones de la tierra, participan implícitamente de la gloria de haber proporcionado materiales para el establecimiento de la unidad del sistema métrico decimal.

Por lo que toca á la segunda objeción, de que el metro es falso, porque ya no mide la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano terrestre, cuya objeción se ha considerado de esencial importancia, la respuesta está ya al comienzo del capítulo. Sin duda que, por las investigaciones recientes, que cada vez son más aproximadas, se han descubierto y corregido inexactitudes de las verificadas anteriormente, y mientras que por el adelanto de las ciencias continúe el perfeccionamiento de los instrumentos y métodos de medida, se seguirán encontrando faltas en los datos tomados antes como ciertos para el establecimiento de la *unidad* de *medida;* pero estas faltas oscilarán cada vez entre más estrechos límites. La superficie de la tierra, según los conocimientos actuales, es mayor de lo que se creía en 1792, y si se tuviera el empeño de que sobre toda otra consideración el metro fuera la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano, ó, lo que es lo mismo, considerásemos á éste como la verdadera unidad, entonces, efectivamente, el metro no sería hoy exacto, habría que prolongarlo. Pero el metro, como unidad de medida, no tiene por base semejante condición. En él, como en toda unidad natural, no es forzoso que su relación con una magnitud fija de la Naturaleza esté expresada precisamente por un número redondo como 1: 10.000.000, sino sólo que esta relación sea conocida en lo posible con exactitud, y que el número que determina esta exacta relación se conserve como comprobante.

Por último, se ha opuesto también el argumento de que una línea curva (como la circunferencia de la tierra) no puede servir para la medición de longitudes, es decir, de líneas rectas; á lo cual hay que responder que, al hablar de la longitud de una curva, y al determinar ésta, se considera ya rectificada ó transformada en línea recta. A este procedimiento tenemos que atenernos para conocer la longitud del mismo meridiano; no hay otro medio para conseguirlo que la superposición á la misma curva de medidas rectilíneas sucesivas.

Y si desde el punto de vista científico nada importante se ha opuesto al sistema métrico, la práctica ha demostrado extensamente que satisface á todas las exigencias de la comodidad, y así debemos confiar en que al fin, y para bien de todos, surgirá de él un sistema universal de medidas, que acabarán por aceptar los Estados que hoy se resisten á ello.

Por lo demás, la comparación con otras medidas demuestra que son más cómodas en la práctica las usuales comprendidas en el sistema métrico.

Un metro, = 3,078 pies de París, = 3,281 pies ingleses, = 3,186 del Rhin, = 3,531 sajones, = 3,589 castellanos.

Un metro cuadrado, = 9,477 pies cuadrados de París, = 10,464 ingleses, = 10,152 del Rhin, = 12,469 sajones, = 12,880 castellanos.

Un metro cúbico, = 29,174 pies cúbicos de París, = 35,317 ingleses, = 32,346 del Rhin, = 44,032 sajones, = 46,227 castellanos.

Un kilogramo, = 2,043 libras de París, = 2,205 inglesas, = 2 prusianas, sajonas, etc., = 2,173 castellanas.

Un litro, = 0,873 cuartas prusianas, = 0,220 gallones, = 1,068 pintas de Dresde, = 1,983 cuartillos castellanos.

Un hectolitro, = 1,819 fanegas prusianas, = 0,963 fanegas de Dresde, = 1,802 fanegas castellanas.

Una hectárea, = 2,471 acres ingleses, = 3,917 acres prusianos (ó 180 varas prusianas cuadradas), = 1,807 acres sajones (300 varas cuadradas sajonas) = 143,11,53 varas cuadradas castellanas = 1,552 fanegas.

El sistema de monedas se deriva también en España por deducciones sencillas de las unidades del métrico (la unidad es la peseta, cuyo peso es de 5 gra-

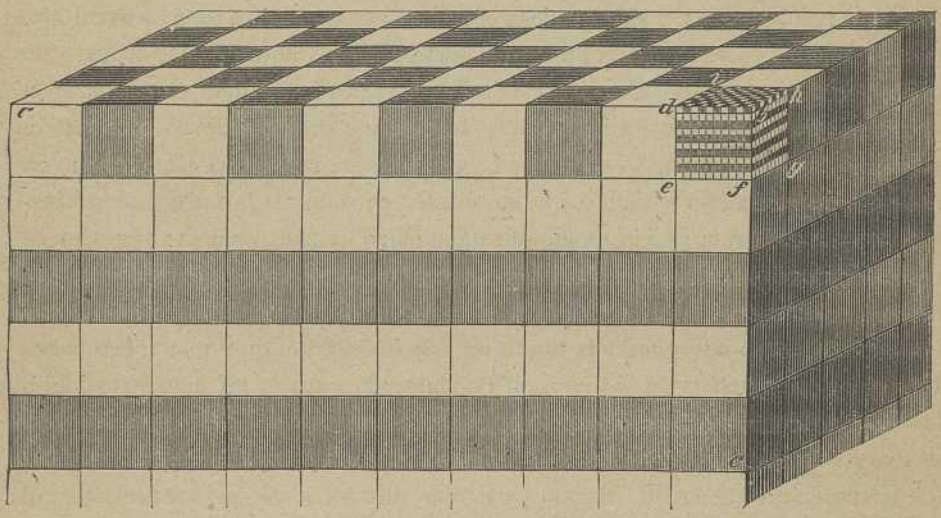


Fig. 11.—Explicación del sistema métrico decimal.—Relación entre un decímetro cúbico y sus divisores.

mos y está compuesta de plata y cobre, en la proporción que determina la ley) y en sus divisiones se ajusta al método decimal, lo que facilita extraordinariamente las operaciones de cálculo.

Queriendo ir más lejos, debemos dirigir nuestros deseos hacia un sistema universal de monedas. No es éste el sitio de decidir sobre este particular; pero podría fácilmente dejarse establecido que no sólo el peso, sino también la masa y las dimensiones de las monedas estuvieran en relación sencilla con las unidades del sistema métrico, de suerte que las monedas proyectadas pudieran, sin más, ser utilizadas como medidas, y asimismo que sobre las monedas fueran grabadas, por medio de dos números, la relación de la unidad de medida con la magnitud del cuadrante del meridiano terrestre con toda la precisión con que sea conocida. Estas monedas serían para los tiempos venideros documentos de inestimable valor.

En la anterior fig. 11 presentamos un esquema que hace visibles las principales relaciones del sistema métrico. El lado *a b* del prisma es = 1 *d m*; su altu-

ra $b\ c = 5\ c\ m$, de modo que cada lado de los cuadrados parciales es igual á $1\ c\ m$. Cada uno de estos mismos cuadrados representa $1\ c\ m$, q, y el cubo correspondiente como b, d, e, f, g, h, i, $1\ cmc$. Del mismo modo que el decímetro en centímetros, uno de éstos, el $b\ d$, está dividido en milímetros que aparecen en su verdadera magnitud. El centímetro cuadrado se ve también dividido en 100 milímetros cuadrados, y el centímetro cúbico en 1.000 milímetros cúbicos.

MEDIDAS DE LAS FUERZAS

Las medidas expuestas hasta ahora y sus procedimientos no bastan para medir el trabajo cuya compra y venta sostiene la vida social, y el cual necesita ser sometido también á cierta apreciación, puesto que el cumplimiento de aquellos actos supone necesariamente un cambio recíproco. Entran en el cálculo del trabajo factores que exigen unidades especiales. Mientras éstos son de naturaleza intelectual, es evidente que sólo con nuestro espíritu podemos apreciarlos y valorarlos; pero cuando se resuelven puramente en acciones mecánicas, cual la multitud de efectos de las máquinas, que esencialmente no piden más que la fuerza motriz de un motor de vapor, tenemos que someterlos á cálculos que se apoyen sobre valores naturales é invariables. Cómo puede esto realizarse, lo comprenderemos fácilmente, en cuanto llamemos en nuestro auxilio á las ideas que las leyes físicas de la conservación y transformación de la energía nos han suministrado.

Como ejemplo general sobre el particular, fijemos la atención en una máquina de vapor. Su fuerza se desarrolla por medio del vapor, en que transformamos el agua, mediante la combustión del carbón. Una cantidad determinada de carbón nos da siempre la misma cantidad de vapor y con la misma tensión, por consiguiente, igual fuerza; cuyo precio puede expresarse por el del carbón, y teóricamente está siempre por él representado; mas, en realidad, hay que añadir á esto los intereses necesarios para la adquisición é instalación de la máquina, así como el coste de su entretenimiento ó conservación, aparte de ciertas pérdidas de efecto, debidas al calor que se difunde, á los rozamientos, etc., etc.

Teóricamente podría servir muy bien como medida de trabajos mecánicos una unidad que correspondiera al efecto producido por la combustión de cierta cantidad de carbono: aplicada esta medida, descubriríamos que el valor intrínseco del carbono es mucho mayor que el de los mismos metales preciosos, oro, plata, etc. Pero esta unidad tiene el inconveniente en la práctica de no corresponder á ideas inmediatas ó tangibles, y así se ha adoptado, con razón, como unidad la cantidad de fuerza que puede elevar en un segundo un peso unidad, á la altura de la unidad de longitud.

Como la unidad de tiempo (el segundo) permanece siempre la misma, no se

suele tener cuenta de ella en los datos sobre medición de las cantidades de fuerza, y se menciona sólo el peso y la altura de elevación, que constituyen la base de los sistemas de medidas de las fuerzas. Así, para designar la unidad adoptada, se unen los nombres de la unidad de peso y de la unidad de altura ó longitud, y se forman, por ejemplo, la libra-pie, kilográmetro, etc., queriendo representar con estas denominaciones, en el primer caso una fuerza que en un segundo puede elevar un peso de una libra á la altura de un pie, y en el segundo caso una fuerza que siempre en un segundo eleva un peso de un kilogramo á la altura de un metro: 16 kilográmetros pueden producirse por la elevación de 8 kilogramos á la altura de 2 metros, ó de 4 kilogramos á la de 4 metros, ó de 2 kilogramos á la de 8 metros, etc.; puesto que la medida del trabajo está en el producto de la resistencia movida por el camino que se le hace recorrer en la unidad de tiempo. Para las cantidades de trabajo muy considerables, como, por ejemplo, los realizados por las máquinas de vapor, se toma como unidad práctica un múltiplo de aquélla, que recibe el nombre de caballo de vapor, y que corresponde á 75 kilográmetros, ó sean 510 libras-pies.

BARCOS DE HÉLICE

y

MOLINOS DE VIENTO

Aparatos motores de los buques de vapor.—El plano inclinado.—Acción de las fuerzas sobre él.—Aplicaciones.—La cuña.—El tornillo.—Sus leyes y su uso.—El volador.—La hélice y su historia.—Las alas de los molinos de viento.—Acción del viento sobre las mismas.—Historia de los molinos de viento.

En 1807, Roberto Fulton lanzó sobre el Hudson, en Nueva York, el primer barco de vapor después de haber verificado ya, en 1803, algunas tentativas sobre el Sena. Aquel año se hizo, por tanto, digno de eterna memoria para la humanidad, pues en él se descubrió el arma más poderosa para vencer los obstáculos que las distancias de los pueblos oponen á su recíproco desenvolvimiento; desde entonces, la marcha sobre los océanos que los separan llegó á ser libre, voluntaria é independiente de los vientos y corrientes marítimas. A pesar de su ingeniosa idea, Fulton fué abandonado por la opinión general, que hoy, teniendo en cuenta su mérito, debe reconocerle como uno de los mayores bienhechores del género humano, ya que no sólo gozan de los beneficios de la moderna navegación los emigrantes, constructores de buques, comerciantes, viajeros, etc., sino también los demás, desde el último habitante de la más miserable

aldea, el campesino cuya vida monótona y limitada discurre sin contacto, al parecer, con el resto del mundo, hasta el magnate que, gracias á ella, puede rodearse de las producciones de todos los países del mundo.

La primera idea de un aparato para mover los barcos por medio del vapor fué tomada de los antiguos barcos de remos. Un cierto número de paletas que se sumergieran regular y sucesivamente en el agua, debía hacer avanzar al barco por la resistencia misma de aquélla á su movimiento. Las paletas se dispusieron en forma de ruedas y alrededor de un árbol puesto en rotación por medio de una máquina de vapor. Esta idea se mostró tan adecuada al objeto, que, con ligeras modificaciones en la forma de las paletas, aún hoy se conserva su uso. Como es natural, se fueron presentando varios inconvenientes; pero no se les atribuyó, por lo pronto, una importancia capital, y los ánimos permanecieron muy sosegados y satisfechos de la conquista ya alcanzada. La sacudida, por ejemplo, que el choque de las paletas con el agua producía en las partes de la máquina y en el buque mismo, no podía ser nada favorable á la conservación y duración de éstos, ni tampoco constituir un gran atractivo para la tripulación y pasaje del buque. En un mar agitado, las ruedas de paletas colocadas á uno y otro lado del buque, no pueden trabajar uniformemente, puesto que la nave, ora se eleva desigualmente sobre la superficie del agua, ora se sumerge mas ó menos profundamente en la misma. Las tempestades ú otros accidentes también podían determinar, en un momento dado, la rotura de las ruedas; circunstancia que no podía menos de tener la mayor transcendencia, particularmente para los buques de guerra.

Pero si bien los deseos generalmente sentidos hacia la solución del problema de dar á los barcos una marcha uniforme y tranquila, y una situación al mecanismo motor que le defendiera de la acción de las olas ó de los proyectiles enemigos, se olvidaron pronto, pues esta idea interesaba poco á la mayor parte de los navegantes y constructores de barcos, que por otra parte abrigaban pocas esperanzas de verla realizada, no faltaron inteligencias que, una vez impresionadas oportunamente por dicho problema, perseguían, en silencio y sin descanso, la solución del mismo. Y, por fin, en el año de 1837, cierto día sombrío y tempestuoso del mes de Septiembre, surcaba por vez primera las encrespadas olas del mar, haciendo la travesía desde Blackwell hasta Hyte, pasando por Dover y Folkestone, un barco que no llevaba á los lados ninguna caja de ruedas y en el cual no se oía tampoco el ruido de las paletas, ni se dejaba observar la espuma que salta al choque de éstas con el agua, sino que, con paso tranquilo y majestuoso, parecía surgir del seno de las olas, y, en vez de las dos estelas que van ensanchándose á lo lejos, dejaba un solo surco lineal, una especie de soga de agua, cuyos hilos se retorcían girando alrededor del eje, y cuya huella debía reconocer indudablemente por origen el oculto aparato motor.

Este nuevo barco, el *Infante Real*, fué construído por el inglés Smith,

quien el año anterior había adquirido patente de invención de la hélice empleada para poner en movimiento los buques, en vez de las paletas de las ruedas que, como sabemos, obraban á manera de palancas. Se nos presenta, pues, el *Infante Real* como el primer buque de hélice conocido.

Todo invento suele ser recibido con prevención por el vulgo, más fácil de persuadir que de convencer, y del cual forman parte los llamados críticos, cuya pereza, ignorancia, envidia ú otros móviles no menos mezquinos, les llevan á mostrarse desconfiados de todo, sin más razones muchas veces que el nombre del autor. Así sucedió también con el nuevo propulsor de hélice que ya de atrás sufría igual oposición; pues antes de lo dicho, tiene este invento una historia del género de las que, desgraciadamente, abundan en los anales del progreso.

Pero en este punto, y para hacer fácilmente inteligible lo que sigue, es necesario penetrar algo íntimamente en la esencia del mecanismo, del órgano principal del nuevo descubrimiento, la hélice; y á este fin invitamos al lector á que nos acompañe durante una corta excursión por los dominios de la Física. Si tuviéramos una idea clara de la manera de funcionar del tornillo ordinario, el cual podemos observar continuamente en innumerables aplicaciones de nuestras máquinas é instrumentos diversos, comprenderíamos sin esfuerzo la acción de la hélice en los buques. Sólo tiene ésta alguna novedad respecto de aquél, en la forma y modo de su aplicación. Pero tampoco es el tornillo ordinario el primer fundamento de los fenómenos en cuestión; más bien tienen una y otro por base la teoría de una máquina más sencilla.

EL PLANO INCLINADO

Se llama plano inclinado á todo plano que forme con el horizonte un ángulo menor de 90 grados. Mientras que por un punto sólo puede pasar un plano horizontal, pueden concebirse por el mismo punto infinitos planos inclinados con sólo suponer que la inclinación sea mayor ó menor, prescindiendo de la dirección de los mismos. Ahora bien; todo el mundo sabe que es tanto más dificultoso arrastrar un peso por el suelo, cuanto el camino esté más empinado, y tanto más fácil cuanto menor sea su inclinación; ó, lo que es lo mismo, según que el desnivel ó altura á que hay que ascender esté repartida sobre una longitud menor ó mayor. Por lo demás, como la fuerza de los animales de tiro ó la de una máquina de vapor tiene su límite, sólo son admisibles en las calles y caminos las pendientes hasta cierto ángulo: cuando la inclinación del terreno es mayor, nos vemos obligados, bien á distribuirla sobre una longitud más considerable por medio de líneas serpenteadas ó en ziszás (fig. 12), bien á recurrir á otros medios, como, por ejemplo, elevar las cargas ó carros mediante fuertes cables que una máquina de vapor situada en lo alto hace arrollar

sobre un cilindro, ó aun aplicar palancas, ruedas dentadas, etc., como sucede en el camino de hierro de Rigi, en Suiza.

Aumentando sucesivamente la inclinación, llega la superficie á hacerse vertical, y en este caso el problema de hacer subir una carga por ella exige el mayor esfuerzo, lo cual ya se revela en las frases con que vulgarmente se pinta la desesperación: «Hay para tirarse de los pelos y hacerle á uno subir por las paredes.» Se puede fácilmente determinar el valor de la resistencia que opone un peso al ascenso por un plano, según sus diferentes inclinaciones: sea *A B C* en la fig. 13

FIG. 12.—Disposición de los caminos para vencer grandes pendientes.

un plano inclinado en corte vertical, *B C* la base horizontal, *A C* la altura y *A B* la longitud del plano inclinado, cuya pendiente está representada por la relación entre la altura y la longitud *A C: A B;* supongamos igualmente que el punto *G* representa el peso que se quiere elevar, cuyo valor determinamos por la longitud de la línea *G D*. La gravedad atrae el cuerpo hacia el centro de la tierra en la dirección de la vertical *G D;* pero el plano inclinado hace imposible una tal caída vertical, desde el momento en que la carga se apoya sobre él. De aquí que una parte del peso se haga inactiva para el movimiento y se manifieste como presión perpendicular sobre el obstáculo *A B* y el resbalamiento se pueda producir sólo por la acción de la fuerza restante. Y este resto es lo que tiene que vencer la fuerza de un animal de tiro, la de la máquina de vapor ó cualquiera otra fuerza motriz que consideremos actuando en la dirección de la línea *Q* para elevar el peso en el caso supuesto. Ahora hay que

averiguar cuánto vale esta parte. Recordemos una consecuencia de la ley del paralelogramo de las fuerzas, en virtud de la cual toda fuerza puede considerarse como una resultante de otros dos, que se apliquen al mismo punto y determinen un paralelogramo cuya diagonal sea la fuerza en cuestión. Si construimos sobre la línea *G D* como diagonal un paralelogramo *D F G E*, cuyos lados sean uno perpendicular y otro paralelo al plano, las líneas *G E* y *G F* nos dan los valores de aquellas componentes. Se descompone, pues, el peso del cuerpo en dos componentes: una, la presión perpendicular sobre el plano, y otra la fuerza impulsora paralela á éste, *G E*, que hacen resbalar al cuerpo sobre él. Si se quiere que el cuerpo no resbale, hay que poner en juego una fuerza igual á *G E*, en sentido contrario. Y si la fuerza empleada es mayor que *G E*, entonces el cuerpo se moverá en su misma dirección y ascenderá por el plano inclinado hacia *A*. A la simple inspección de la figura se ve que la fuerza impulsora por el plano inclinado no puede nunca llegar á ser igual al peso total del cuerpo; y si nos fijamos más en dicha fig. 13, notaremos que disminuye con la inclinación del plano la tendencia del cuerpo á caer sobre él, mientras que, por el contrario, aumenta la presión perpendicular, y viceversa.

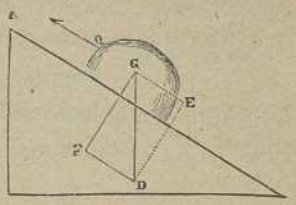


FIG. 13.—Manera cómo obra la potencia en el plano inclinado.

Cuando el cuerpo descansa sobre una superficie horizontal, su peso entero obra como presión sobre el obstáculo y no queda nada de fuerza para producir su movimiento lateral. Podemos resumir las leyes del plano inclinado del modo siguiente: *La fuerza que tiende á hacer caer un cuerpo sobre un plano inclinado, está en igual relación con el peso del cuerpo, que la altura del plano con su longitud.* Así, por ejemplo, en la fig. 13 esta relación es doble que en la fig. 14, y, por tanto, la fuerza que puede arrastrar la carga desde *B* hacia *A*, es también en el primer caso doble que en el segundo. A simple vista se observan continuamente por doquier nuevas comprobaciones de esta regla, en sus variadas formas.

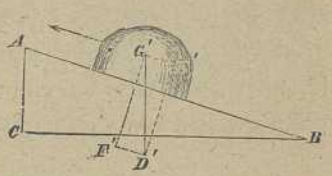


FIG. 14.—Manera cómo obra la potencia en el plano inclinado.

Los lechos de los ríos son planos inclinados por los cuales corre el agua con más ó menos velocidad, desde las partes altas á las más bajas, según que la inclinación ó pendiente es mayor ó menor. No son otra cosa las canales para el agua de lluvia, los tubos de conducción y de desagüe, etc., cuyos planos inclinados son fijos.

En contraposición de éstos, se conocen en la práctica una multitud de aplicaciones, en las cuales el plano inclinado es movible. En efecto, tanto da que empujemos un cuerpo para subirlo por un plano inclinado, como que coloquemos éste debajo de aquél y le obliguemos á penetrar por debajo, elevan-

do el cuerpo, como sucede, por ejemplo, con la cuña. Tampoco cambia el principio fundamental del plano inclinado cuando, en vez de elevar el cuerpo por medio de la cuña, introducimos ésta en el interior de su masa para separar de ella alguna parte, que es como más frecuentemente se emplea. El hacha y la azada, el cuchillo y la navaja, la piqueta, la reja del arado, las tijeras y lo mismo la aguja y el alfiler, el buril, y, para abreviar, todo lo que corta ó pincha, todo es aplicación de la cuña, y su acción se funda, como la de ésta, en las leyes del plano inclinado. Cuanto más suave es la inclinación, esto es, cuanto más afilada está la punta ó el corte, tanto más penetrante es el instrumento y con tanta mayor facilidad actúa.

FIG. 15.
Teoría del tornillo.

EL TORNILLO

Los planos inclinados movibles nos aproximan á nuestro objeto inmediato. Imaginemos una cuña larga y estrecha, construída de un material flexible, de cuerno, por ejemplo, y que pueda ser arrollada á un cilindro. Tendremos entonces representado en la fig. 15 lo que llamamos un tornillo.

La línea *a*, *b*, *c*, *d*, descrita por la superficie del plano inclinado alrededor de la superficie lateral del cilindro, constituye la espiral del tornillo, la vuelta completa desde *a* hasta *d* una espira, y la distancia *a d*, entre dos espiras ó filetes consecutivos, se llama paso de rosca, y la pendiente está representada, como en el plano inclinado, por la relación entre la altura y la longitud, ó bien por el ángulo en la base.

FIG. 16.—Tornillo cuya rosca tiene sección triangular.

FIG. 17.—Tornillo cuya rosca tiene sección cuadrangular.

La construcción del tornillo es muy variable. Por lo pronto, consignaremos que el filete se hace unas veces de sección triangular, otras cuadrangular (figuras 16 y 17), y que cuando se le puede dar una pendiente muy grande, se colocan hasta dos ó tres filetes paralelos, como muestra la fig. 19, en la cual se ven arrollar cuatro pasos de rosca, unos al lado de otros. El trépano á mano nos muestra estos tornillos en su aplicación práctica. Los más complicados usos del tornillo, aunque parece que se separan de las formas ordinarias de aplicación del plano inclinado, dejan descubrir fácilmente las relaciones que existen entre ambos. La dirección en que obra la fuerza en el tornillo, es exactamente la del eje del cilindro. Se puede introducir el tornillo gradualmente á manera de cuña (barrena, sacacorchos) en la masa de un cuerpo sólido (madera, corcho), y entonces avanza en sentido del eje, y precisamente la altura de un paso de rosca por cada vuelta completa. Para hacer este avance regular y seguro, en lo posible, se

construye sobre una materia sólida una especie de agujero que muestra, en hueco, las partes salientes del filete del tornillo.

Según que sea fijo, es decir, inmóvil, el tornillo ó la tuerca, una de estas partes gira y la otra avanza en el sentido del eje, obteniéndose combinaciones que determinan la posibilidad, bien de una tracción, bien de una presión, ó bien de un cambio de la forma del movimiento, etc. (como en las prensas de copiar, en las prensas de uva, etc.) En estos casos el tornillo es móvil á veces, como en la fig. 20; otras fijo, como en las prensas de encuadernador, y otras, como sucede en el trépano á mano, una parte avanza y la otra oscila, girando alternativamente á uno y otro lado.

FIG. 18. Tornillo cuádruple.

Resulta de lo dicho que, prescindiendo de los rozamientos, también en el tornillo la fuerza activa ó potencia para realizar un efecto dado debe estar en la misma relación con la resistencia ó carga, que la altura del paso con la longitud del mismo. Un tornillo cuyo paso tiene 10 centímetros de longitud por uno de altura, permite equilibrar, con una fuerza de un kilogramo, una resistencia de 10 kilogramos, ó bien ejercer una presión de 10 kilogramos con una fuerza de un kilogramo. Cuanto menor es la pendiente ó inclinación del filete del tornillo, tanto mayor es la resistencia que puede equilibrarse con una misma fuerza. Como es natural, lo que por una parte se gana en fuerza, por otra se pierde en tiempo, aunque el efecto total ó trabajo realizado resulta siempre determinado y fijo. Por su lento y gradual movimiento de avance, el tornillo es también un medio apropiado para producir cambios de posición extraordinariamente pequeños; sirva de ejemplo su aplicación en los instrumentos físicos y astronómicos, en la balanza hidrostática, en los microscopios, etc., donde se obtienen movimientos de rotación y de avance, mayores ó menores á voluntad, y fácilmente apreciables. Marcando la rotación del tornillo sobre un círculo graduado como los que existen en el soporte del torno y en la máquina de dividir, si se construye cuidadosamente el aparato (tornillo micrométrico) se obtienen divisiones muy exactas y que exceden de los límites de sensibilidad de nuestra vista. Estas divisiones hacen sencillo el problema de medir las dimen-

FIG. 19.—Tornillo matriz.

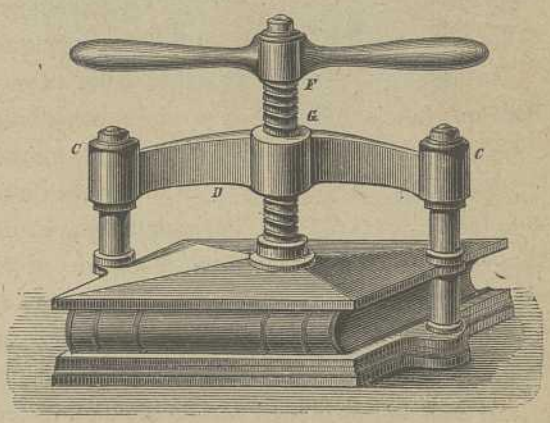


FIG. 20.—Prensa de tornillo con tuerca fija.

siones del glóbulo sanguíneo, las partículas del polvillo que cubre las alas de los lepidópteros (mariposas), etc.

Prescindiendo aquí de una aplicación del tornillo, sumamente interesante para la maquinaria técnica, el llamado tornillo sin fin, porque trataremos de ella al hablar de las ruedas dentadas, ocupémonos de nuevo en la hélice de los buques y en las alas de los molinos de viento.

LA HÉLICE DE VAPOR

Buscando el principio en que descansa la hélice de vapor, encontramos que consiste únicamente ne este sencillo hecho: que el agua ofrece bastante resistencia á un tornillo que gire rápidamente alrededor de su eje, y puede considerársela, con respecto á éste, como una tuerca fija. La hélice obra dentro del agua como una barrena dentro de un corcho, y avanza, por consiguiente, en la dirección de su eje, junto con el barco á que va unida.

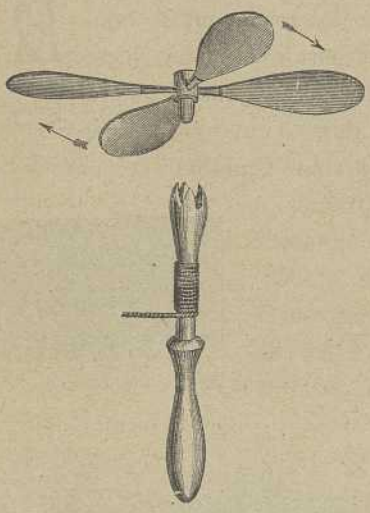


FIG. 21 —El volador.

Todos conocemos el juguete que llaman los niños el *volador*, el cual, por su rápida rotación, se eleva como torbellino en el aire. Consiste este mecanismo, como hace ver la fig. 21, en cuatro alas unidas, en posición algo oblicua, á una punta, *a*. Cada una de estas alas constituye, por su inclinación, una parte de la superficie de un filete de tornillo. Para que funcione se coloca por la punta *a* en el orificio dentado del aparato de rotación *b*, y éste se pone en rápido movimiento giratorio, estirando con fuerza de una cuerda arrollada á él, á la manera de un peón. Una vez comunicada así la rotación á las alas, se elevan cual si se atornillaran en el seno del aire, hasta que se agota su fuerza y caen de nuevo, en virtud de su peso. Así como aquí obra la resistencia del aire, obra la resistencia del agua en la hélice de los buques; pero como ésta es mucho mayor que aquélla, y como además el movimiento en dirección horizontal exige menos fuerza que en sentido vertical, se comprende la posibilidad de que un aparato semejante al *volador*, si bien, como es natural, proporcionalmente más grande, adaptado en el sentido de la longitud del barco, pueda, una vez puesto en rápido movimiento de rotación, hacer andar una masa considerable cual la del buque.

Después de muchas tentativas, el problema ha quedado definitivamente resuelto. Los primeros esfuerzos en este sentido datan de muy antiguo. Ya en el año 1731 el francés *Du-Quet* propuso un aparato para mover los barcos contra

la corriente, el cual estaba fundado en la acción del tornillo. Sólo que Du-Quet partió del mismo principio á que se refieren las alas de los molinos de viento, que desenvolveremos más adelante. Quería aprovechar las corrientes del agua para poner en rotación un aparato de alas alrededor de un árbol, á la manera como se utiliza la fuerza del viento en los molinos. Con objeto de poder recoger al barco, el árbol debía llevar un tambor, alrededor del cual se fuese arrollando una cuerda sujeta á un punto de la orilla.

Este proyecto nunca ha llegado á ponerse en práctica; sólo tiene interés científico é histórico: para el desarrollo práctico de la maquinaria naval carece de influencia. Suponiendo que el célebre físico Daniel Bernoulli (fig. 22), hubiera tenido conocimiento de él, resulta, según su Memoria presentada á la Academia Francesa en 1752, que no utilizó para nada la idea de Du-Quet en la invención de su aparato. Bernoulli abordó la cuestión en sus fundamentos, y partió de la idea de que el mecanismo en forma de alas de molino que se propuso colocar debajo del barco, fuera puesto en movimiento, no por la corriente del agua, sino por una fuerza desarrollada en el buque mismo, cuya acción impulsara á éste, engendrando, en cierto modo una corriente contraria á la dirección de la marcha. Con esta idea descubrió, en realidad, la hélice de los barcos tal como nosotros la empleamos hoy y, por tanto, pertenece á este genial suizo la gloria de la prioridad. El premio que recibió Bernoulli de la Academia por su Memoria, fué ciertamente muy merecido; sin embargo, el hecho permaneció casi desconocido fuera del círculo de los sabios, y Paucton, el primero que volvió á ocuparse de este asunto en su obra *Teoría del tornillo de Arquímedes* (París, 1798), no hizo, en rigor, otra cosa que repetir el proyecto antes formulado por Bernoulli.

FIG. 22.—Daniel Bernoulli.

Contiene este trabajo algunas indicaciones sobre la aplicación práctica de aquella idea, y por esto es muy extraño que hayan permanecido cerca de cien años inadvertidas y olvidadas; tanto es así, que bien podríamos considerarle como un nuevo inventor. Para evitar los inconvenientes que originaba la colo-

cación de la hélice á tan gran profundidad, propuso Paucton que, en vez de una hélice en la parte inferior del buque, se pusieran dos, una á cada lado, ó bien una sola en la parte anterior. Si la primera idea sobre este asunto resultó estéril en la práctica, fué debido á la imperfección de las artes mecánicas en aquella época. Por último, Paucton explicó que la hélice podía sobresalir, en parte, del agua y que las dimensiones de las alas y la velocidad de la rotación tenían que ser proporcionadas á la magnitud de la embarcación.

La fuerza que debía originar el movimiento de la hélice no podía ser entonces otra que la fuerza mecánica producida por animales ó por hombres. Pocos años antes había comenzado Watt la construcción de su máquina de vapor, y todavía no se había pensado en su aplicación á la navegación. Pero cuando, á principios de este siglo, Fulton construyó su primer vapor, ante cuyo éxito enmudecieron hasta los más incrédulos, se hubiera podido ya llevar á la práctica la idea de Bernoulli y de Paucton. Sin embargo, aunque parezca raro, no sucedió así.

El primero que puso los ojos nuevamente en la hélice y reconoció su importancia práctica fué el francés Delisle, capitán de ingenieros, que en 1823 hizo al Gobierno una moción sobre el particular; pero sus esfuerzos dejaron de producir favorables consecuencias, porque el vulgo tenía pocas simpatías por el desenvolvimiento de la navegación, ya que en la máquina de vapor se confiaba muy poco ó casi nada. Sólo cuando el comercio adquirió tal extensión que empezó á estimarse de muy distinto modo que antes el valor del tiempo; cuando el triunfo del ferrocarril y del telégrafo sirvió de acicate á la navegación marítima, entonces los ánimos se manifestaron preparados para un favorable desarrollo de la idea de la hélice. Y la voz pública atribuye á esta época el origen primero del descubrimiento, prescindiendo completamente de los méritos conquistados mucho antes por Bernoulli y Paucton. El Gobierno inglés ofreció en 1825 un premio para el perfeccionamiento de las máquinas propulsoras de los buques, porque se originaban grandes inconvenientes del uso de las ruedas de paletas, sobre todo en los grandes oleajes del Canal de la Mancha. Aunque ganó este premio Samuel Brown, su invento no llegó á alcanzar ninguna importancia práctica. Pero la necesidad era ya generalmente sentida, circunstancia que no podía menos de favorecer la maduración del invento, hecho ya, en rigor, mucho antes. Tres son las personalidades á quienes el patriotismo de sus respectivos países adjudicaría de buen grado la gloria de la primera idea: el inglés Smith, el francés Sauvage y el austriaco Ressel. Si llevamos las cosas con rigor, ninguno de ellos tiene derecho á esta distinción; Smith, singularmente, menos que los otros. Es posible que Ressel y Sauvage ignoraran completamente los trabajos de sus predecesores, y que sus ideas se hubieran desarrollado de igual modo, sin que Bernoulli y Paucton hubieran existido; pero desde el momento en que existieron primero, no se les puede cercenar su mérito de autores. Después de

Bernoulli, sólo hacía falta una experiencia en grande que comprobara prácticamente la posibilidad del uso de la hélice para que adquiriera realidad este invento en la arquitectura naval; y este requisito dependía de la fuerza y abundancia de los medios disponibles, no de un descubrimiento nuevo especial. La esencia de todo descubrimiento ó invento (considerada la palabra en su sentido estricto) consiste, bien en una experiencia completamente nueva, hecha sobre un fin ú objeto tomado de las leyes naturales, bien, como sucede en la mayor parte de los casos, en una aplicación nueva de hechos ya conocidos. El tornillo en sí era conocido de muy antiguo; su movimiento de avance dentro del agua, ó la acción de ésta cual una tuerca fija, fué descubierta por Bernoulli; todos los demás nombres citados con este motivo han alcanzado su gloria, más por sus luchas gigantescas contra la ignorancia de una parte del público y la resistencia pasiva de las autoridades marinas, que por nuevos pensamientos de que la ciencia y la industria recibieran considerable impulso.

FIG 23.—Federico Sauvage.

Es hacer ciertamente un mal servicio á la patria el atribuir á sus hijos todas las iniciativas, la invención de todo cuanto la humanidad posee. Más pronto ó más tarde, se reconoce que es infundada la fama que suele dar el vulgo á sus grandes compatriotas, y entonces con facilidad decaen sus verdaderos méritos ante la crítica suspicaz.

Federico Sauvage (fig. 23), nacido en Boulogne en 19 de Septiembre de 1785, ingresó mny joven en el cuerpo de Ingenieros de su país. Sin embargo, en 1811 dejó esta carrera y se dedicó á construcciones navales. Tampoco por este camino le vemos realizar sus aspiraciones tan rápidamente como él creía, llevado de su temperamento fogoso é impaciente, pues lo encontramos algún tiempo después engolfado en otro género de empresas completamente distinto. En 1821 fundó en las canteras de Ellinger, cerca de Marquise, un establecimiento para aserrar y pulimentar mármoles, en el cual empleaba, como motor, un molino de viento con alas horizontales. Esta innovación, introducida por él, le valió como premio una medalla de oro. Inventó además algunos instrumentos propios para obras plásticas, entre las que merece señalarse especialmente el *reductor*, una ingeniosa aplicación del pantógrafo al arte de la escultura para obtener las figuras

en escala reducida. A él debemos, en su mayor parte, las innumerables y excelentes copias de antiguas obras de arte que á tan bajo precio compramos á los vendedores de figuras de yeso. Además, también debemos á Sauvage un fuelle hidráulico. Pero ninguno de estos interesantes descubrimientos pudo evitar la ruina de su fortuna, cada día más completa, ni su empresa más grande, la aplicación práctica de la hélice de vapor, pudo alejar la miseria de su hogar:

En el año 1832, Federico Sauvage obtuvo una patente sobre este proyecto; pero la falta de recursos no le permitió llevar á vías de hecho su idea de un modo conveniente. Ni siquiera tenía para pagar una insignificante deuda que le condujo á la cárcel, en la cual estaba recluído cuando en 1843 se botó, en el puerto del Havre, un barco construído según un modelo de su ya citado rival, el inglés Smith, y por cuenta del Gobierno francés. Sólo entonces, doce años después de su primera experiencia, se apreció la importancia del motor, actualmente importado de Inglaterra. Ya cuando se hicieron las pruebas del *Napoleón*, presenciadas por una Comisión nombrada al efecto y compuesta de los más altos funcionarios del ministerio de Marina, se desvanecieron para siempre las dudas sobre los resultados del nuevo sistema. La prensa acogió con entusiasmo la noticia, y se pensó entonces en el desgraciado Sauvage, recordándose con pena su miserable suerte; tanto que, hasta en Inglaterra misma, inspiró compasión y simpatía la desdicha de este hombre notable. Se pagó su deuda, se le concedió protección, y aun le fué asignada una pequeña pensión; pero era demasiado tarde, pues su última empresa había sido llevada á cabo, sin su concurso, por un extranjero. Después de triste vejez murió en completa desesperación el 17 de Julio de 1857 en el hospital de Picpus, sin que ninguno de sus numerosos inventos hubiera proporcionado á su familia las utilidades á que el autor aspiraba.

José Ressel nació en el año de 1793 en Chrudim (Bohemia). Pasó allí su primera juventud hasta que dejó la casa paterna para pasar á Linz. Se educó en el Gimnasio de esta ciudad, y después de estudiar Artillería en Budweis, ingresó en 1812 en la Universidad de Viena, dedicándose á la Medicina. Le atraían especialmente las ciencias naturales en general, y esta afición le condujo á hacer un cambio en el plan de su vida. En el año 1814 ingresó en el Real Instituto Forestal de Mariabrunn. En 1816 fué nombrado agente forestal en la Krainia. La primera tentativa de Ressel sobre el empleo de la hélice, como motor de los buques, data de la época de sus estudios académicos. Se asegura que en 1812 hizo ya el dibujo de una hélice de vapor y llevó á cabo experiencias seguidas de resultados felicísimos, que podrían tomarse como primera realización de aquel importante invento. Pero se atribuye más bien este carácter á los que obtuvo en 1826 cuando habían madurado bastante sus ideas para que pudieran ofrecer en definitiva carácter de viabilidad práctica en la navegación. Convencido Ressel hasta la evidencia, adquirió en 1827 una patente, cinco años antes que Sauvage y diez antes que Smith; sin embargo, el último se anticipó después

á ambos y recogió el fruto de esta idea. En 1829 ya se verificaron experiencias públicas bajo la dirección de Ressel, en medio del mayor entusiasmo de la población, en el puerto de Trieste, con un vapor de hélice construído según sus instrucciones. A pesar de resultados tan brillantes, el asunto quedó otra vez abandonado hasta que el extranjero mencionado ejerció después poderoso estímulo en la opinión. El nombre de Ressel fué desconocido de sus contemporáneos los técnicos navales; sólo sus sobrevivientes honraron sus méritos, colocándose en Viena (fig. 24), no en Trieste, porque no se encontró sitio á propósito para ello, un monumento en memoria de este sabio, muerto en 9 de Octubre de 1857 en Laibach, siendo intendente real é imperial de marina y montes.

FIG. 24.—Estatua de José Ressel, en Viena.

Posteriormente á Ressel y Sauvage aparece Smith, que, protegido por una patente del año 1835, construyó en 1837 su ya citado *Infante Real*. Era éste un barco de 10 metros de longitud, con seis toneladas de desplazamiento, y tenía una máquina de unos seis caballos de fuerza. Las pruebas dieron resultados, pero la novedad encontró tenaz obstáculo en la desconfianza de las autoridades marítimas. Hasta Mayo de 1838 no consintió el Almirantazgo que se hiciera un ensayo del invento. A continuación se formó una Sociedad llamada «Compañía de navegación por el vapor,» con objeto de dar el mayor desarrollo práctico posible al proyecto de Smith. El primer buque de hélice de alto bordo fué el *Arquímedes* (1838), que tenía 240 toneladas de desplazamiento. También aquí los resultados de las pruebas fueron muy satisfactorios, y el capitán de marina Chapell, comisionado por el Almirantazgo para que informara sobre el particular, tuvo que reconocer que las condiciones impuestas por dicho Almirantazgo (de 4 á 5 nudos ó millas inglesas, ó sea una milla geográfica de marcha por hora) habían sido excedidas; pues el *Arquímedes* recorrió 10 nudos por hora. Por este éxito se le consideró como uno de los mejores vapores conocidos. Después aún hizo muchos viajes más rápidos. En Junio de 1846 fué desde Dover hasta Ca-

lais, y desde Portsmouth hasta Oporto (800 millas inglesas), y para esta distancia empleó escasamente setenta horas. Costeó toda la Inglaterra, y este viaje fué para Smith un paseo triunfal, deteniéndose en todos los puntos principales y ofreciendo así ocasión á gran número de ingenieros y sabios notables de convencerse por sus propios ojos de la excelencia del propulsor de hélice.

En el mismo año llegaba al puerto de Trieste el primer vapor de hélice inglés y proporcionaba á Ressel la satisfacción de ver realizadas todas sus predicciones. Como ya hemos dicho, en 1843 se construyó el primer bote de hélice francés, el *Napoleón*, y ya desde entonces se propagó rápidamente este progreso. En 1845 navegaba, movido por una hélice, uno de los mayores buques, el *Great Britain*, cuya máquina tenía una fuerza de 1.200 caballos de vapor. Después que la hélice se hubo acreditado como medio indudablemente excelente para servir de motor á los buques, se la adoptó también, por último, para los buques de guerra, en los cuales la seguridad de esta parte, la más esencial de la máquina, tiene especial importancia. En estos buques la hélice ofreció también otra gran ventaja sobre las cajas de ruedas, permitiendo colocar cañones en el sitio donde se colocaban éstas, que es el mejor para el artillado.

Después de estas consideraciones históricas referentes al descubrimiento de la hélice, no creemos que esté demás añadir algunas palabras sobre el desenvolvimiento en la construcción del propio propulsor. De lo anteriormente expuesto se deducen como condiciones para obtener la mayor eficacia posible en la aplicación del aparato: 1.º, una gran superficie ó un gran diámetro, con objeto de que sea mayor la masa de agua cuya resistencia hay que vencer, y desde luego que se mueva ó gire la hélice hacia delante como si se tratara de que penetrara en el seno de aquélla; 2.º, una altura del paso de rosca proporcionada para que á cada vuelta la fuerza empleada produzca un movimiento de avance, lo más considerable posible; y 3.º, un número correspondiente de vueltas por minuto. Como quiera que estas relaciones dependen recíprocamente unas de otras, se gradúan con seguridad por medio de la experiencia.

En el *Arquímedes* se dió al propulsor la forma de una espiral de hélice de ancha superficie, como muestra la fig. 25. Su altura *a b* medía 2 ½ metros, el diámetro de dicha hélice *c d* 2 ⅙ metros, de tal modo, que su superficie hasta el eje tenía más de un metro de anchura. Un accidente casual hizo que se acortara el tornillo. En efecto, sucedió que caminando el barco por un bajo fondo, perdió la mitad de la hélice, no quedándole más que un trozo como *c d e f*, y entonces comenzó el buque á marchar con mayor rapidez.

Como consecuencia de este hecho, se construyó en lo sucesivo la hélice, de modo que no tuviera la espiral completa, pero sí dos pasos (figuras 26 y 29) colocándola en la parte posterior del buque delante del timón y sobre la llamada obra maestra, que siempre permanece debajo del agua cuando el barco flota. La rotación rápida del árbol se obtiene por medio de una máquina de vapor. A

pesar de que el avance del buque en el agua no llega nunca á la altura del paso de rosca por cada vuelta de la hélice, pues el agua, en virtud de la movilidad de sus partículas, cede algún tanto, corriendo, bien hacia atrás, bien hacia los lados, se obtiene, sin embargo, cierta fracción de aquella altura como movimiento progresivo, y cuando la rotación del árbol es suficientemente rápida, determina, por la suma de muchos pequeños impulsos, un efecto total considerable, La hélice de vapor realiza 100, 150 y aún más vueltas por minuto.

Nuevas y más extensas experiencias y observaciones hicieron comprender

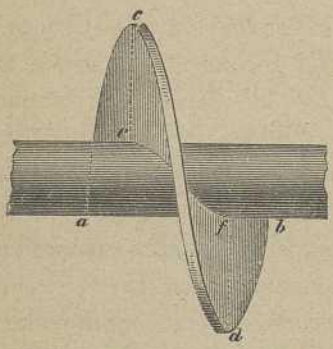


FIG. 25.—Primera forma de la hélice de los buques.

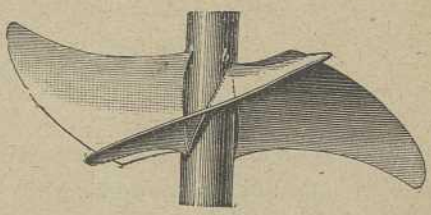


FIG. 27.—Hélice de cuatro pasos.

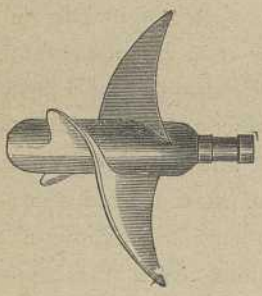


FIG. 26.—Hélice de doble paso en forma de cola de pescado, según Rennié.

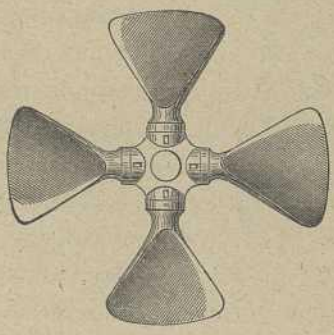


FIG 28.—Hélice de cuatro pasos del *Great Britain*.

que no era indispensable ni siquiera medio paso de rosca en una pieza. Por esto se pusieron cuatro cuartos de paso de rosca uno junto á otro (fig. 27), y en la hélice del *Great Britain* aparecían cuatro alas dobladas en el mismo sentido y unidas al mismo árbol. Si se compara esto con *el volador* (fig. 21), se encontrará la más completa coincidencia. Se han hecho después varias reformas y perfeccionamientos, en cuyo detalle no nos detenemos, porque sería ir demasiado lejos. Todos ellos se refieren á las proporciones entre las partes de las alas ó á su mayor ó menor inclinación y, por consiguiente, no introducen ninguna novedad en cuanto al principio fundamental; sólo el propulsor transversal de Napier merece particular mención, por separarse bastante, en su construcción, de los

restantes. Consiste en dos grandes tornillos en forma de ruedas, colocados de lado, y uno junto al otro, y tienen la particularidad de que sobresalen en parte del agua.

Tampoco podemos entrar en detalles sobre la práctica de la instalación y juego de la hélice, por cuanto no hemos estudiado todavía la máquina de vapor. Nuestro objeto aquí ha sido sólo reseñar la historia y hacer fácilmente inteligible la teoría del invento, y para ello creemos que basta con lo dicho; tanto más, cuanto que posteriormente hemos de insistir en el estudio de los buques de hélice.

LAS ALAS DE LOS MOLINOS DE VIENTO

Pasemos al segundo de los asuntos de este capítulo, el más análogo á la hélice de los buques: el molino de viento.

Cualquiera que observara superficialmente ambos aparatos, se impresionaría antes por la antítesis aparente de su naturaleza que por la identidad que de hecho existe en el fondo de entrambos. Al moverse rápido de uno en otro puerto y aleteando en la superficie del mar el uno, fijo en un mismo punto de la tierra el otro, bien originando un movimiento de traslación en el seno de un medio tranquilo, bien recibiendo su movimiento giratorio por el choque de una corriente de aire; oculto aquél dentro del agua, elevado y libre en el aire éste, todo parece diferenciarlos, y, sin embargo, están fundados en la misma ley.

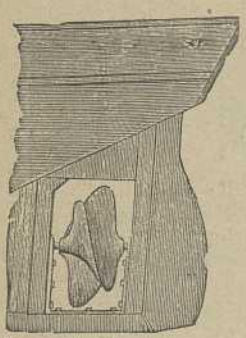


FIG. 29.—Hélice de dos pasos.

Fijémonos por un momento en un molino hidráulico: se le puede comparar á un barco de ruedas de paletas, sujeto por su ancla en un río impetuoso y cuyas ruedas fuesen puestas en rotación por el impulso de la corriente. Sobre la tierra podríamos también hacer que los vientos actuaran de la misma manera que la corriente del agua, siempre que la mitad de las paletas, ya fuera la superior, ya la inferior, quedara protegida en una caja contra la corriente aérea, pues de otro modo los efectos del viento sobre cada una de las mitades de la rueda, tendiendo á producir una rotación en sentido contrario, se neutralizarían entre sí y, por consiguiente, sería nulo el resultado final.

Semejantes molinos de viento, que todavía se ven por ahí, son, respecto de los molinos de viento usuales, exactamente lo mismo que un vapor de paletas respecto de uno de hélice. El aparato motor de los últimos está sumergido, no ya por mitad, sino totalmente en el elemento (agua ó aire); pero en cambio la fuerza motriz no obra perpendicularmente sobre la superficie de

las alas, sino en dirección oblicua y con arreglo á las leyes del plano inclinado.

Si se colocara un buque de hélice anclado en el seno de una fuerte corriente de agua, el choque de ésta pondría la hélice en rotación; del mismo modo el viento hace girar las alas de nuestros molinos, que no son otra cosa que porciones de una superficie helizoidal, colocadas alrededor de un árbol, el cual transmite á las muelas el movimiento. Cuando el viento alcanza perpendicularmente á una superficie, como el agua á las paletas de las ruedas de los molinos hidráulicos, su fuerza toda se emplea en producir un movimiento en su propia dirección, como en el caso citado, por ejemplo, se convierte la fuerza del agua en rotación de la rueda de paletas alrededor del eje. Pero cuando la corriente llega oblicuamente sobre una superficie, una parte de su fuerza resbala paralelamente á aquélla, y sólo otra parte mayor ó menor, según la inclinación de la superficie, ejerce una presión perpendicular á la misma y contribuye, por tanto, á hacerla girar cuando está adaptada á un eje de rotación. Esto se demuestra fácilmente por una construcción gráfica fundada en la ley del paralelogramo de las fuerzas. *A B* (fig. 30) representa, vista desde arriba, una de las alas de un molino de viento, fija al árbol *D E;* supongamos que este último esté situado en la dirección del viento, como ocurre en los casos ordinarios, y sea *c a* la fuerza con que dicho viento choca contra el ala. Podemos admitir que esta fuerza es la resultante de otras dos, de las cuales la una es perpendicular á la superficie y la otra paralela á ésta. Ambas están representadas en su dirección y magnitud relativas por los lados del paralelogramo *d a* y *c d;* la última es completamente inactiva, porque resbala sobre la superficie del ala; pero la primera que, como hemos dicho, obra perpendicularmente á ésta, tiende á hacerla girar, aunque en este caso no con todo su valor, por efecto de la inclinación del ala respecto del eje; podemos, sin embargo, determinar la intensidad de su componente, que produce, en último resultado, el movimiento rotatorio, mediante el paralelogramo *a e f g*, en el cual resulta *a e*=*a c*. En éste la línea *a f* representa la fracción de la fuerza total del viento *a c*, que, actuando tangencialmente y en sentido perpendicular al eje del árbol, es causa de la rotación del ala alrededor de éste, mientras que la otra componente, perpendicular á ésta, *a g*, que obra en la dirección del eje mismo, representa la presión que el árbol recibe del viento, según su eje.

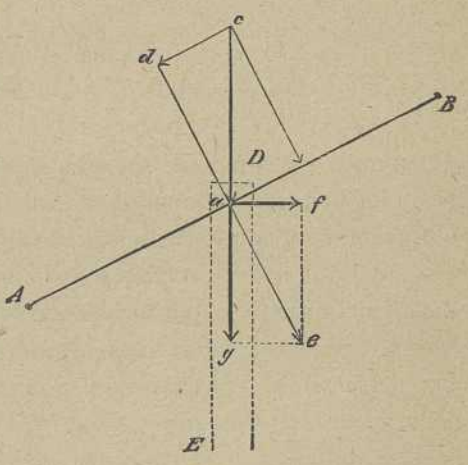


FIG. 30.
Acción del viento sobre las alas de los molinos.

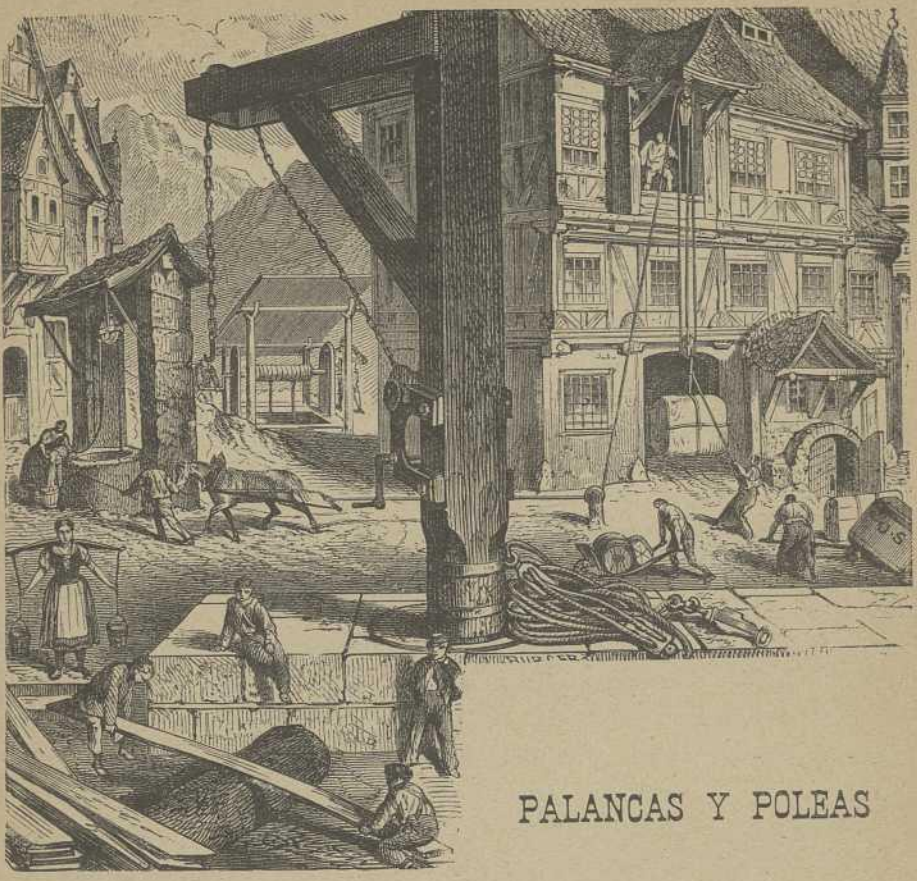
Por lo demás, es evidente que el efecto útil será tanto mayor, cuanto mayor sea la intensidad y la masa de la corriente de aire que éntre en acción; por esto desde un principio se adoptó el sistema de constituir la superficie total de las alas con porciones que pueden quitarse ó ponerse á voluntad, según los casos. Con frecuencia estas superficies son telas de lona, como las de las velas de los buques; pero generalmente consisten en tablillas de madera ó fuertes varillas entrelazadas. Con objeto de poder aprovechar hasta las más débiles corrientes de aire, aquéllas están construídas de suerte que estas laminitas pueden presentar la cara al viento, siendo entonces perpendicular á éste el eje de rotación de las alas.

En las antiguas construcciones, para conseguir que el eje pudiera tomar una ú otra dirección, se asentaba todo el edificio sobre un pivote colocado en su centro, y alrededor del cual podía girar. Naturalmente, era entonces condicion indispensable que el molino tuviera el menor peso posible; de aquí que los primitivos molinos de viento estaban construídos de madera en su mayor parte. En 1650, con la aparición de los llamados molinos holandeses, comenzó á aplicarse la idea de hacer movible sólo la parte superior del edificio donde estaba colocado el árbol, y con esto se obtuvo la ventaja de construir el edificio con mampostería, dándole así mayor solidez y consistencia, y haciéndole capaz para contener en su interior los aparatos necesarios. El número de alas es ordinariamente cuatro, á veces cinco, y aun seis y ocho. Un número mayor no ofrece ya ninguna ventaja.

La historia de los molinos de viento, como de un invento muy antiguo y que indudablemente ha debido surgir de un modo espontáneo en diversas comarcas, es poco clara. Los más creen que los molinos nos fueron importados del Oriente, donde la escasez de las corrientes de agua obligó al hombre á poner los ojos en el viento, como manantial de fuerza. Allí debían ya ser conocidos en el siglo IX, y un viajero árabe, Ibn-Hankal, los menciona como de uso frecuente en el Sedschestán, al Oriente de las altas llanuras del Irán. Lo cierto es, con todo, que los antiguos romanos, á pesar de sus relaciones con el Asia Menor, no conocieron el molino de viento, y que, por tanto, el descubrimiento de éste en Europa debió ser posterior á su época.

La suposición de que los molinos de viento fueron traídos á Europa por los Cruzados franceses, en el año de 1040, es una hipótesis más ó menos verosímil, pero en modo alguno un hecho comprobado. Por vez primera se menciona el molino de viento en un diploma del año 1105; es de suponer que antes de esta fecha era ya conocido en Francia. Desde Francia pasó á Inglaterra, y allí es donde se encuentran las huellas más antiguas de esta invención, á partir del año 1143. En 1332 propuso á los venecianos Bartolomeo Verde la instalación de un molino de viento. En España debió construirse el primero por el año 1393. Los molinos holandeses con eje movible y edificio fijo fueron inventados, como

queda dicho, á mediados del siglo XVII. Antes y después de esta época se han introducido otras varias modificaciones en la disposición de estos aparatos; mas como quiera que aquí sólo nos proponemos tratar de la teoría de sus alas, no nos interesan aquéllas. Del mecanismo interior de los molinos trata uno de los capítulos del tomo V de esta obra; allí remitimos, pues, á aquellos de nuestros lectores que quieran formarse idea más detallada del aparato para moler.



PALANCAS Y POLEAS

Acciones mecánicas en las antiguas construcciones.—La palanca.—Palancas de primero, segundo y tercer género.—Aplicación y modo de obrar.—Historia.—Torno de rueda.—Ruedas dentadas y piñones.—Tornillo sin fin.—El rozamiento.—Poleas y polispastos.—Polea fija.—Polea móvil.—Sistema de poleas.—El movimiento continuo.

ESTA piedra nos cuesta á cuatro francos cada libra, solían decir ufanos los parisienses á fines del año 1830, cuando mostraban á un forastero el obelisco de Luxor, levantado en el centro de la plaza de la Concordia. Los cuatro francos correspondían al coste del transporte, pues el obelisco era un regalo que el pachá Mehemed-Alí había hecho al rey Luis Felipe.

El obelisco de Luxor es un monolito de más de 20 metros de alto, cuya base cuadrada tiene dos metros de lado. A medida que se eleva, se va estrechando de tal modo, que la base de la pequeña pirámide con que termina, mide metro y medio de ancho. Su peso es, próximamente, de 250.000 kilogramos, y su transporte desde Egipto hasta el puerto de Cherbourg (1831 á 1833), y desde aquí á París, así como su instalación, cuyos penosos trabajos no pudieron terminar hasta 1836, costaron nada menos que 2.000.000 de francos. Tales esfuerzos exige, en el siglo XIX, en que el aprovechamiento de las fuerzas ha alcanzado el

mayor grado de adelanto, el transporte de una sola piedra; y sin embargo, en el antiguo Egipto se levantaron por los Ptolomeos centenares de monolitos como éste. El obelisco de Luxor, aunque es grande, no es, ni con mucho, el mayor que se conoce; pues en Roma hay uno delante de la iglesia de San Juan de Letrán, construído en Egipto en tiempo del emperador Constantino II, cuya altura es de 60 metros, y su peso de 650.000 kilogramos.

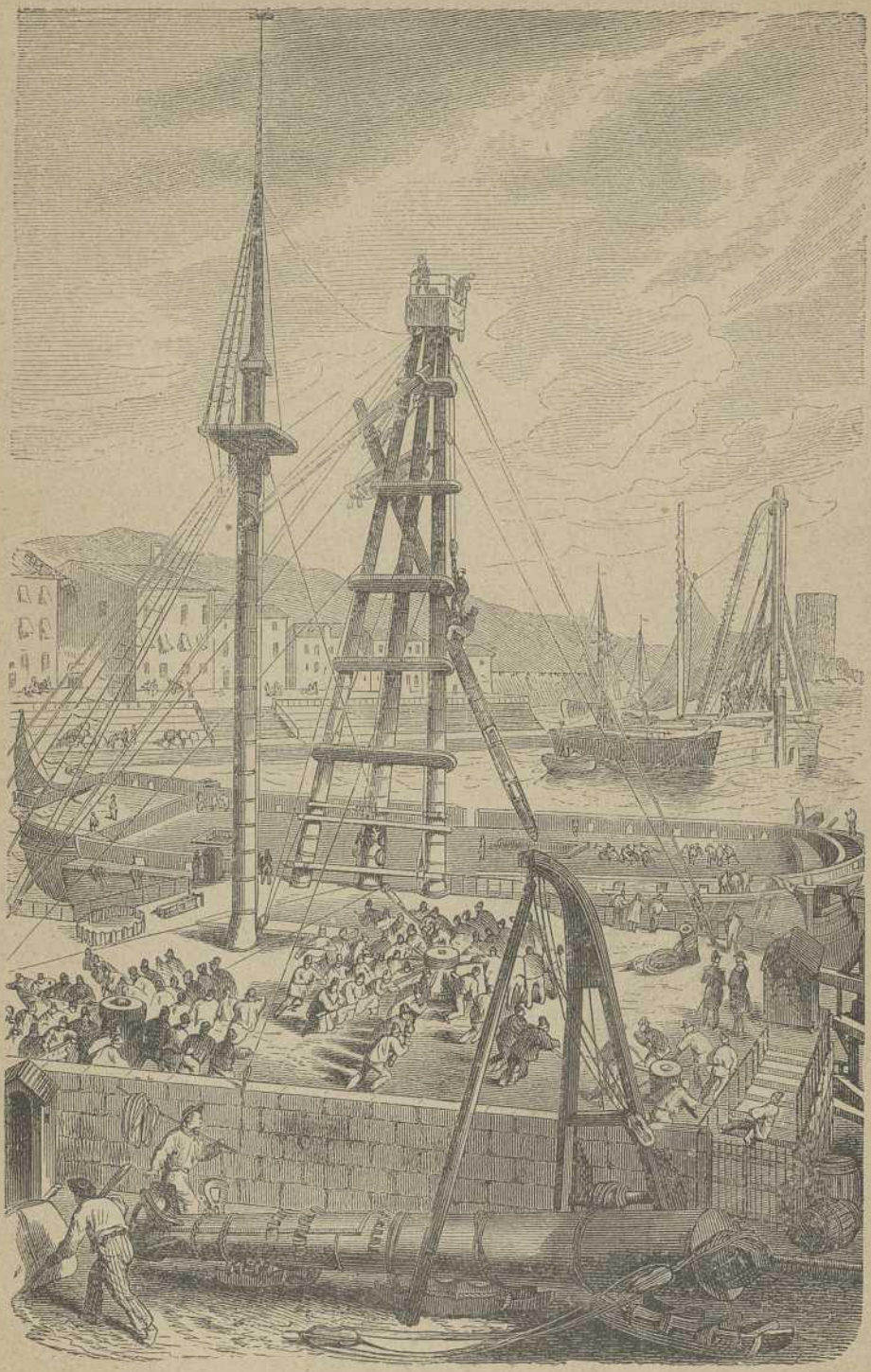
La altura de la mayor parte de los obeliscos fluctúa entre 15 y 30 metros; todos están constituídos por una sola pieza, y fueron labrados en la misma cantera para transportarlos desde allí al punto de su instalación, situado á veces á distancia de muchos kilómetros. Y si nos fijamos ahora en las célebres Pirámides, una de las cuales, la de Cheops, tiene un volumen de cerca de 3 millones de metros cúbicos, y un peso total, próximamente, de doce mil millones de kilogramos; si notamos que están constituídas por piezas, muchas de las cuales pesan 100.000 kilogramos, y tuvieron que ser elevadas hasta una altura de unos 150 metros, para formar el vértice, nos preguntaremos cómo fué posible, hace 5.000 años, levantar construcciones de tal magnitud, viéndonos obligados á confesar que ni un número crecido de obreros, ni una duración considerable de los trabajos, pueden darnos explicación satisfactoria del hecho.

La fuerza humana, auxiliada por la fuerza animal, puede indudablemente hacer mucho; pero estos monumentos debieron exigir, no sólo una gran fuerza, sino también aplicación apropiada de la misma.

De aquí que muchos hayan creído, y esta opinión ha sido frecuentemente defendida, que en el apogeo de la notable civilización de los egipcios, éstos debieron poseer conocimientos mecánicos especialísimos, que después se perdieron por completo en la noche de los tiempos. Esta hipótesis no tiene fundamento alguno; los aparatos y disposiciones mecánicas que sirvieron á los egipcios para la edificación de sus pirámides no pudieron ser otros que los que conocemos actualmente, precisamente los más sencillos y más generalmente usados en todas partes.

Todavía encontramos huellas, junto á la pirámide de Gizeh, de una cuesta por la cual eran conducidas las piedras que se tomaban de la montaña, situada al Oeste, hasta una especie de terraza, elevada 40 metros sobre el suelo. Los ingenieros egipcios utilizaban, pues, las leyes del plano inclinado. Tenían también cuerdas, palancas y poleas; pero nada más, á no ser que queramos atribuir al aprovechamiento empírico de las leyes del rozamiento una importancia especial.

Todas las máquinas con cuyo auxilio se obtienen obras tan maravillosas, vienen á coincidir, en último resultado, en una ley fundamental, la de la palanca; así como las numerosas aplicaciones del tornillo y demás que hemos considerado en el capítulo anterior, descansan sobre la ley del plano inclinado.



Diversas aplicaciones de la palanca en un puerto de mar.

LA PALANCA

La palanca ordinaria no es otra cosa que una barra recta inflexible, y movible sobre un punto fijo, alrededor del cual tienden á hacerla girar en sentido opuesto dos fuerzas. La una (la que mueve) la llamamos, para abreviar, *potencia;* la otra (la movida) se llama *resistencia.* Si nos preguntamos en qué relación han de estar estas potencia y resistencia para equilibrarse, la respuesta que parece más natural, ó sea: «cuando las dos fuerzas sean iguales,» no resultaría exacta en la mayor parte de los casos; pues no sólo tiene influencia la magnitud de la fuerza, sino también su punto de aplicación, ó, mejor dicho, la distancia del punto de aplicación al punto fijo ó punto de apoyo de la palanca. La longitud de palanca comprendida entre el punto de aplicación de una fuerza y el punto de apoyo, constituye lo que se llama *brazo de palanca.*

Cuando un obrero, por ejemplo, quiere levantar una piedra sobre el suelo, introduce por debajo de ella una barra de hierro, á la cual da un punto de apoyo por medio de una cuña *a* (fig. 31). Cuanto más cerca ponga la cuña de la piedra, más cerca estará el punto de apoyo de la resistencia, y más fácil será la elevación de aquélla. Si sobre el tronco de un árbol tendido en tierra se coloca transversalmente un tablón, apoyado por su centro, dicha tabla constituye un magnífico columpio, que puede ser puesto fácilmente en movimiento por dos muchachos de igual peso; basta un ligero impulso para que cualquiera de éstos se levante en el aire, pues su peso se equilibra exactamente con el del otro. Si se colocara en uno de los extremos otro compañero, entonces los dos que están juntos permanecerán en el suelo, mientras que el tercero quedaría en lo alto; pero si se les ocurriera hacer correr la tabla sobre el tronco, de modo que el extremo donde se coloca un solo muchacho quedara mucho más distante que el otro del punto de apoyo, entonces indudablemente los dos muchachos juntos podrían ser levantados en alto por el tercero, por más que lo ganado respecto de la menor cantidad de fuerza necesaria para columpiarles, se pierda en la diversión; pues los dos niños tienen que renunciar, al ser columpiados, á subir tan altos, como el que está solo en el otro extremo. Ahora bien: el columpio no es sino una palanca, y en ella, como en la barra del caso anterior, los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia están á uno y otro lado del punto de apoyo. Estas palancas se llaman de dos brazos, ó de primer género, para distinguirlas de aquellas otras (fig. 32) en que la potencia y la resistencia (*a*) están á un mismo lado del punto de apoyo, *b*, y que, por lo mismo, se llaman de un solo brazo, ó bien de segundo y tercer género. Las últimas se distinguen también entre sí, según que sea la potencia ó la resistencia la que esté más lejos del punto de apoyo. Las figuras 33, 34 y 35 presentan ejemplos de lo dicho.

Los carretones de mano, los remos, las válvulas de las calderas de vapor, el prensa-corchos y otros aparatos semejantes, se muestran, á una atenta observa-

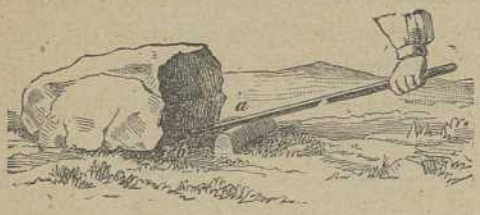


FIG. 31.—Palanca de primer género.

FIG. 32.—Palanca de segundo género.

ción, como palancas de segundo género, en las cuales la resistencia se aplica entre el punto de apoyo y la potencia, mientras que el pedal de la rueca, ó

FIG. 33 —Aplicación de la palanca de segundo género.

FIG. 34.—Aplicación de la palanca de primer género.

el del banco de tornear, ó bien el de nuestras máquinas de coser á pie, etc., hacen visible el tercer género de palancas, en que la potencia se aplica más cerca del punto de apoyo que la resistencia. El punto de apoyo de la palanca representada en estos casos por el pedal, se encuentra detrás de donde se pone el pie, en la inserción de dicho pedal sobre su eje de rotación, alrededor del cual sube y baja alternativamente. Podríamos citar cientos de ejemplos tomados de la vida ordinaria; pero nos contentamos con invitar al lector á que pase la vista por la lámina primera de este tomo, donde está representada esa diversidad de instrumentos y aplicaciones de la ley de la palanca.

FIG 35.—Palanca de tercer género.

En principio, se fundan las palancas todas en una ley extraordinariamente sencilla, que podemos expresar en las siguientes palabras: *Dos fuerzas, actuando sobre una palanca, están en equilibrio cuando los productos de la intensidad de cada fuerza por su brazo de palanca respectivo, son iguales.* Hay que adver-

tir, para que esta ley sea aplicable á todos los casos, que se entiende por brazo de palanca, en general, la longitud de la perpendicular levantada desde el punto de apoyo sobre la dirección de la fuerza. Así, pues, si por ejemplo en la palanca *A B* (fig. 36) se quiere equilibrar una resistencia de seis kilogramos, que actúa á una distancia del punto de apoyo como tres (metros, pies, pulgadas ó lo que sea), por medio de una potencia de tres kilogramos, habría que aplicar ésta á una distancia como seis (metros, pies, pulgadas ó lo que sea). Y este principio lo mismo se verifica en la palanca de primer género que en las de segundo y tercero, pues en el caso de la figura 36, por ejemplo, siempre la resistencia 6 kilogramos, á la distancia 3, se equilibrará con una potencia de 3 kilogramos á la distancia 6, si bien aplicándose la potencia al mismo lado que la resistencia tendrá que actuar en sentido contrario que ésta.

FIG. 36.—Ley de la palanca.

Si consideramos la palanca en desequilibrio y tratamos de imprimirle un movimiento en el sentido de la potencia, es preciso, para realizarlo, que exista un exceso de fuerza por parte de ésta. El caso es completamente análogo al de la aplicación del plano inclinado, la cuña, el tornillo, etc.; una pequeña fuerza puede poner en movimiento á una gran resistencia; pero el camino recorrido por ésta es tanto menor cuanto mayor es su valor y más pequeño el brazo de palanca sobre que obra.

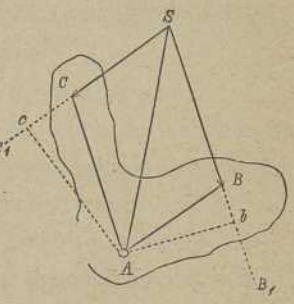


FIG. 37.—Demostración de la ley de la palanca.

Esta manera de actuar de la palanca fué ya conocida por Arquímedes, quien también trató de demostrarla matemáticamente; pero, en rigor, ni él ni los que á continuación suya se ocuparon en este problema, consiguieron resolverlo. La demostración matemática, propiamente dicha, de esta ley, no se dió hasta más tarde por Delahire, y al mismo tiempo, independientemente de éste, por Kæstner. El que sigue es uno de los razonamientos más sencillos para su demostración. Supongamos que sobre un cuerpo que puede girar alrededor de un eje en *A* (fig. 37) actúen dos fuerzas, *B* y *C*, situadas en un plano perpendicular á dicho eje, y en las direcciones respectivamente *B* B_1 y *C* C_1. Ahora bien: para que el cuerpo esté en equilibrio es preciso que la resultante de ambas fuerzas, *S A*, dada por la ley del paralelogramo antes referida, pase por el eje *A*. La resultante, que es la diagonal del paralelogramo *A B S C*, divide á éste en dos triángulos iguales. Pero si desde *A* bajamos las perpendiculares *A b* y *A c* á las direcciones de las fuerzas, podemos considerarlas como alturas de ambos triángulos, tomando como bases los lados *S B* y *S C*, que representan las intensidades de las fuerzas *S B* y *S C*; y como el área del triángulo es la mitad del producto de la base por la altura, y los dos triángulos ya hemos dicho que son

iguales, tendremos evidentemente: $S\,B \times A\,b = S\,C \times A\,c$, esto es, que los productos de las fuerzas por sus brazos de palanca son iguales; entendiendo siempre por brazos de palanca las perpendiculares desde el punto de apoyo á las rectas que representan las direcciones de las fuerzas.

Históricamente considerada, no se puede determinar más que la época en que se reconoció su teoría y su fundamento matemático, tratándose de una máquina como la palanca, que todo niño pone ya inconscientemente en uso. Sus combinaciones más complicadas deben merecernos alguna mayor atención, pues aunque hoy nos parecen tan sencillas en su manejo, en la infancia de los pueblos la tradición y el mito consagraron á sus autores un recuerdo de gratitud.

La tradición griega refiere, á propósito de esto, que Kyniras, un rey de la isla de Chipre en tiempos de la guerra de Troya, fué el inventor del cabrestante; por tanto, en tiempo de Tucídides no se había conocido más que la palanca simple; sin embargo, esto hay que tomarlo á beneficio de inventario. En la más remota antigüedad se han debido hacer, inconscientemente, como hoy, multitud de aplicaciones variadas de la palanca. De Arquímedes se cuenta que había mostrado al rey Hierón un mecanismo, por medio del cual se podía mover un gran barco con sólo la fuerza de la mano. Como el Rey le manifestara su admiración por este maravilloso resultado, Arquímedes se vanagloriaba todavía con la frase, tan á menudo citada hoy: «dadme un punto de apoyo, y me comprometo á sacar la tierra de su sitio.» No hemos de entrar aquí en investigaciones sobre si, al hablar de este modo, Arquímedes pensaba ó no en un sistema de palancas, el cual parece, si no miente la historia, que era efectivamente el fundamento de su aparato mencionado.

Lo cierto es que diariamente surgen en las artes innumerables efectos mecánicos que vienen á ilustrar en cierto modo la ley de la palanca. Para cualquier cosa que queramos hacer, utilizamos nuestros músculos, que obran en los dedos, manos, pies, brazos, piernas y todos los demás órganos, como fuerzas que se aplican por medio de palancas, ya de primero, ya de segundo ó tercer género. Hasta en el interior de nuestro oído, un tenue, admirable, y, si se permite la frase, el más ingenioso sistema de palancas, transmite los movimientos comunicados á la membrana del tímpano por las ondas sonoras hasta la linfa del oído interno, donde flotan los filamentos del nervio acústico.

La palanca es una máquina simple que encuentra tan extensa aplicación en la mecánica práctica, que muchas máquinas ingeniosísimas, y en apariencia complicadas, no contienen, en último resultado, otra cosa que diferentes combinaciones de palancas de los tres géneros.

Hasta aquí hemos supuesto siempre que las direcciones de las fuerzas que actúan sobre la palanca eran perpendiculares á ésta, en cuyo caso obraban con toda su intensidad, tendiendo á hacerla girar. Si dichas fuerzas son oblicuas, sólo una parte de ellas obra en tal sentido, mientras que otra parte produce

tracción ó presión sobre la palanca en el sentido de su longitud; es decir, que cada una de estas fuerzas viene á resolverse en dos componentes; una perpendicular y otra paralela á la palanca. Esta última no produce ningún efecto visible. La magnitud de la componente perpendicular, la única eficaz para el movimiento angular de la palanca, se encuentra por la ley del paralelogramo, considerando á la fuerza oblicua resultante como diagonal y trazando desde sus extremos, perpendiculares y paralelas á la palanca que determinan al encontrarse las magnitudes relativas de las componentes buscadas. La magnitud del efecto está dada siempre por el producto de la intensidad de la fuerza oblicua ó perpendicular aplicada á la palanca y por la distancia perpendicular á ella, desde el punto de apoyo. Es indiferente que la palanca sea recta, quebrada (fig. 38) ó curva. Estas últimas se llaman angulares, y se aplican á ellas exactamente las mismas leyes estudiadas para los demás. Las fuerzas obran siempre como si estuvieran aplicadas á una palanca recta, perpendicular á la dirección de la fuerza.

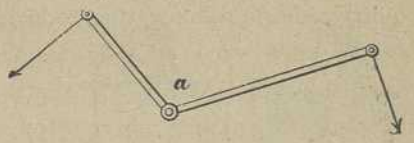


FIG. 38.—Palanca angular.

En la práctica se pueden mover, por medio de palancas, grandes pesos; pero sólo á pequeñas distancias, y entonces cada vez hay que cambiar de punto de apoyo, bien corriendo la cuña que lo determina, bien buscando una nueva posición, á la cual aplicar nuevamente la palanca misma. En las llamadas palancas de escaleta se realiza esto de diversos modos.

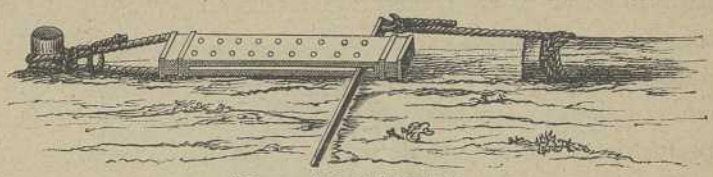


FIG. 39.—Palanca de escaleta.

Es tan difícil precisar la antigüedad de estos últimos mecanismos, uno de los cuales representamos en la fig. 39, como fijar la época del descubrimiento de las máquinas simples. Por primera vez se encuentran citadas en obras francesas, en el año 1634, bajo el nombre de palancas sin fin; pero entonces debían ya ser conocidas en Alemania, pues están representadas en un libro de 1651 (*Recreaciones matemáticas*).

Se puede obtener una acción continuada de la palanca adaptándola á un eje de rotación; los torniquetes, las norias ó malacates, etc., ofrecen de ello ejemplos. También los molinillos de café tienen en su manubrio una palanca que obra continuamente. Y si en vez de un solo brazo se adaptan varios al árbol, se originan instrumentos como la rueda de aspas que, en la práctica, encuentran extensa aplicación.

EL TORNO

El mejor ejemplo de una palanca de acción continua es el torno que las figuras 40 y 41 nos representan en su forma más sencilla. Consiste únicamente en un árbol giratorio montado entre dos soportes y provisto de un disco, que gira con él. Sobre la periferia del disco ó rueda del torno se arrolla una cuerda fija por uno de sus extremos, y otra cuerda queda sujeta igualmente al árbol. La primera sirve para aplicar la fuerza motriz y se desarrolla de la rueda, mientras que la última, á la cual se aplica la resistencia ó carga, se va arrollando sobre el cilindro, y, por tanto, eleva la misma. Otra forma de aplicación de la potencia nos muestra la fig. 42. Aquí no es ya la tracción, ejercida por medio de una cuerda, la encargada de elevar el peso suspendido al cilindro, sino que en su lugar obra el peso de un hombre, el cual, subiendo continuamente por los peldaños de la rueda, la hace girar en sentido contrario, en virtud de la presión que bajo sus pies le transmite á cada momento. Tales ruedas pueden construirse de diversos modos, y se construyen también á propósito para poder aplicarles la fuerza animal. En cuanto á los efectos, el torno de rueda equivale á una palanca de primer género, cuyos brazos fueran respectivamente iguales al radio de la rueda *b c* y

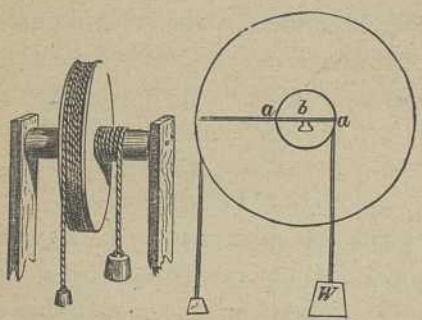


FIG. 40.
Rueda aplicada al torno.

FIG. 41.
Teoría del torno de rueda.

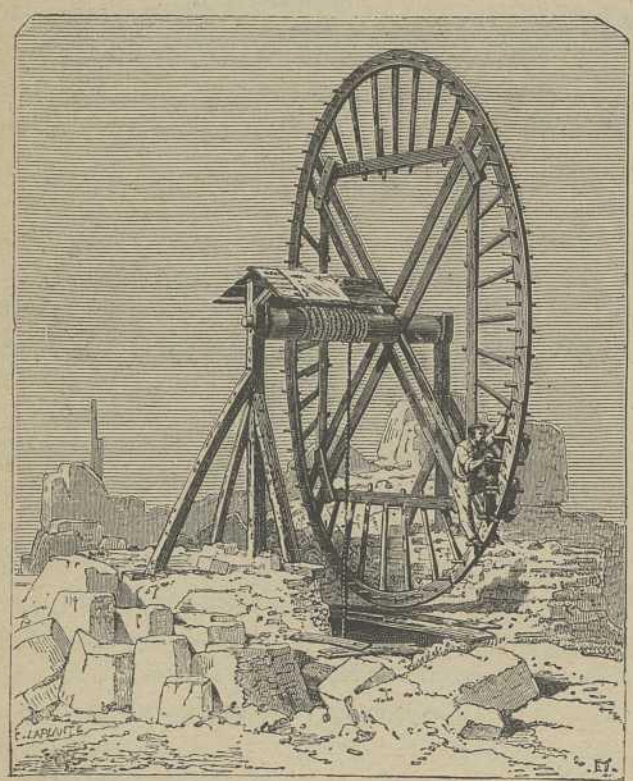


FIG. 42.—Rueda de pie.

del cilindro *b a* (fig. 43). Sea, por ejemplo, *W* el peso aplicado al árbol y que se quiere equilibrar por una fuerza *p*, aplicada á la rueda; *p* será tantas veces menor que *W* cuantas el radio del cilindro esté contenido en el radio de la rueda. Ahora bien; si comparamos las longitudes de cuerda que durante cierto tiempo de trabajo de la máquina se desarrolla la una de la rueda y se arrolla la otra al cilindro, encontraremos una gran diferencia, y comprobaremos seguramente que es mucho menor el camino de la resistencia que el de la potencia. La relación entre estas dos porciones de cuerda es exactamente igual á la que existe entre los valores de las dos fuerzas. La ley de la relación inversa entre las intensidades de las fuerzas y sus brazos de palanca se puede formular también de esta manera. En las máquinas simples, el producto de la potencia por el camino que recorre en cierto tiempo, es igual al de la resistencia por su camino respectivo, en el mismo tiempo. Por consiguiente, un peso de 10 kilogramos puede ser elevado por medio del torno con un peso de un kilogramo; pero el meñor tiene entonces que descender 10 metros, ó bien desarrollar 10 metros de cuerda, en tanto que el mayor sube solo un metro. Esta recíproca y natural dependencia nos da la norma de la manera de obrar de todas las disposiciones mecánicas. Se manifiesta sólo en las máquinas simples, la palanca, el plano inclinado (con respecto al cual ya hemos visto que también se aplica como regulador), el torno, y según también veremos, la polea y polispastos, etc.; es también una llave que abre á nuestra inteligencia las puertas de la hidráulica; y en una esfera más amplia, nos permite penetrar con la razón donde quiera que reina el movimiento. Desde las gratas impresiones de armoniosa música hasta el curso de las estrellas, todo refleja esta misma ley.

Por esto hemos creído oportuno ocuparnos de ella con cierta prolijidad, pues se comprende fácilmente que ha de sernos en extremo útil. Diríjase la mirada á cualquiera de las máquinas más complicadas, un reloj, un autómata, etc.; la fuerza, ora se desarrolle por la acción del calor en una caldera de vapor, ya proceda de la elasticidad de un resorte en tensión, ha de ser comunicada por medio de numerosos órganos mecánicos que engranan entre sí, para que el movimiento inicial y continuo, bien rectilíneo, bien circular, origine la marcha especial, ordenada y prevista de la máquina. El émbolo de la máquina de un vapor va y viene siempre en el mismo sentido; pero el barco que mueve sigue su camino como un ser sensible y consciente por en medio de las rocas y bancos de arena, gracias al timón, que obra para ello ni más ni menos que como una palanca de tercer género.

En los talleres de construcción de máquinas son puestas en juego por medio de una sola rueda hidráulica ó de un motor de vapor, perforadores, cepillos, formones, tijeras, pesados martillos, bombas, ascensores; en una palabra, todos los aparatos que requieren movimiento, y cuyos innumerables y diversos efectos resultan por íntimas é ingeniosas aplicaciones y combinaciones de

palancas, que en sus diversos géneros ya se muestran sencillamente como tales en los tirantes de las ruedas, ya aparecen en forma de ruedas dentadas, excéntricas, etc. Añadamos aún á la palanca el plano inclinado y algunas combinaciones funiculares, y tendremos las formas esenciales de la mayor parte de las máquinas que obran de modo puramente mecánico. Pero las dos últimamente citadas obedecen también en sus efectos, como ya hemos consignado, á la ley general que con respecto á la palanca se nos ha revelado evidente y cual consecuencia de un principio más general é importante aún, cuya significación hemos desarrollado al hablar anteriormente del paralelogramo de las fuerzas. Consiste dicha ley en que con una misma potencia podemos ciertamente vencer obstáculos ó resistencias muy diversas, pero que á mayor valor de la resistencia corresponde una menor velocidad (ó camino recorrido), y viceversa.

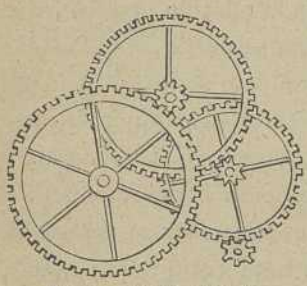


FIG. 43.—Ruedas dentadas.

Dos ruedas dentadas que engranan entre sí forman como un torno de rueda, y en ellas se verifica, del mismo modo que en aquél, la transformación recíproca de fuerza en velocidad, y al contrario. En la fig. 43, supongamos que la rueda de la izquierda sea movida directamente por una fuerza mecánica que por medio de los engranajes deba transmitirse para poner en rotación á las otras dos ruedas. Como las más pequeñas de éstas, ó piñones, sólo tienen ocho dientes, entretanto que la periferia de las ruedas mayores tiene 48 de éstos, mientras la rueda de la izquierda dé una vuelta, la de en medio dará seis, la de la derecha treinta y seis, y el último piñoncito dará doscientas dieciséis vueltas Pero en cambio, prescindiendo de las pérdidas por rozamiento á consecuencia de este incremento en la velocidad, la fuerza que transmitirá este último piñón será sólo la doscientas dieciseisava parte de la que actúa sobre la circunferencia de la rueda principal.

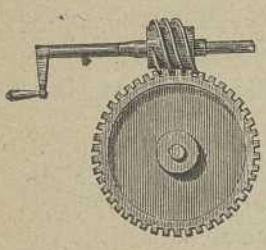


FIG. 44.—Tornillo sin fin.

La figura 44 nos muestra la ya citada combinación del tornillo con las ruedas dentadas, ó sea el llamado *tornillo sin fin*. Si se hace girar el tornillo como indica el manubrio, los dientes de la rueda que engranan con el paso de hélice cuya altura es precisamente igual á aquéllos, van siendo desviados siempre en el mismo sentido, y la rueda adquiere un movimiento de rotación lento, continuo y uniforme. A cada vuelta del tornillo, la rueda avanza exactamente un diente; de esta lentitud del movimiento de la rueda deduciremos que por medio del mecanismo en cuestión se podrán obtener grandes efectos con muy poca fuerza, y efectivamente así sucede, y por lo mismo se emplea el tornillo sin fin en grúas y cabrestantes de gran potencia. También se utiliza con gran ventaja en aquellos aparatos en que es preciso obtener un movimiento muy lento y sobre todo

muy regular, como, por ejemplo, en los instrumentos ópticos, anteojos, microscopios, etc.

EL ROZAMIENTO

El rozamiento juega un papel tan importante en toda máquina, y en general donde quiera que existe movimiento, que no podemos menos de hacer algunas consideraciones sobre él. Se llama rozamiento á la resistencia que todo cuerpo encuentra para moverse, dado que en la naturaleza no hay ningún espacio que pueda suponerse absolutamente vacío de materia. Pero aunque es una resistencia, es necesario para la existencia de la vida, tal como hoy existe sobre la superficie terrestre. En efecto, si llegáramos á suponer que desapareciera el rozamiento, sería, por ejemplo, imposible todo nudo; pues si permanecen unidos entre sí los dos extremos de las cuerdas que se atan, es por el rozamiento. ¿Y qué son las redes que tiende el pescador, ó los tejidos construídos en nuestros telares mecánicos, más que combinaciones, aunque complicadas, de simples nudos? Sin el rozamiento el arte textil ofrecería un desarrollo muy imperfecto; el fieltro no sería posible, pues se necesitaría encolar sus partes como el papel, y los tejidos perderían entonces su flexibilidad. No prendería ningún clavo ni tornillo, ni se habrían inventado los alfileres, pues el empleo de éstos está fundado únicamente en el rozamiento. Por el rozamiento se adhieren nuestros pies al suelo, sirviéndonos de apoyo en nuestra marcha, y si no existiera, el andar sería más difícil que si pretendiéramos actualmente verificarlo sobre una superficie de cristal recubierta de una capa de aceite, en cuyo caso resbalaríamos sobre todo suelo inclinado, y aun en el horizontal sólo podríamos sostenernos agarrados á las paredes. Sería imposible de todo punto que un tren pudiera vencer la más pequeña pendiente; no se concebiría siquiera que pudiera arrastrarse por tracción el más pequeño peso. Aun ahora sucede muchas veces que las ruedas de las locomotoras giran en el aire sin moverse de su sitio, cuando los railes están cubiertos de hielo, ó bien simplemente cuando disminuye por una circunstancia cualquiera el rozamiento que ofrecen de ordinario; y uno de los motivos principales por los cuales se hacen de tan gran peso dichas máquinas, es precisamente porque es indispensable cierto grado de rozamiento para que las ruedas avancen al girar.

El rozamiento hace que nuestra tierra nos ofrezca campiñas cubiertas de fructífera vegetación; pues por consecuencia de él se sostienen aún sobre superficies inclinadas los detritus, la grava, el polvo que resulta del desmoronamiento de las rocas, etc., formando el terreno vegetal, en el que puede desarrollarse la vida orgánica. Si cesara el rozamiento, la más pequeña inclinación del terreno haría caer por él todo, incluso el polvillo más tenue, hasta tanto que, encontrando un obstáculo horizontal, un fondo ó valle, se produjera allí un amontona-

miento de la masa. Todo adquiriría la movilidad de las masas líquidas, que tienden siempre á los puntos más bajos. La superficie de la tierra se presentaría, en tal caso, constituída por porciones inclinadas, completamente desnudas y limpias, interrumpidas por porciones planas en forma de escalera, en las cuales tal vez podría desarrollarse la vida vegetal y animal, si no se opusieran á ello la movilidad de las capas. Por otra parte, la distribución de las aguas sería naturalmente distinta de lo que hoy es. No habría ríos, ni arroyos como los que hoy atraviesan nuestros campos; las gotas de agua que cayeran sobre las cúspides de las más altas montañas, alcanzarían en pocos segundos las orillas de los lagos, formados en los valles más profundos. En resumen; las consecuencias de la desaparición del rozamiento serían tales, que valdría tanto arrancar hoja por hoja el libro entero de la Naturaleza.

En general, podemos formarnos del rozamiento la idea de que las pequeñas desigualdades, elevaciones y depresiones de las superficies de dos cuerpos unidos, bien por su peso, bien por una presión cualquiera, al encajar unas en otras, cual entre sí los dedos de las manos, oponen un obstáculo al resbalamiento de dichos cuerpos. De modo que para que éste se verifique, aquellas asperezas, ó se han de romper, ó se han de doblar, ó bien el cuerpo ha de saltar en cierto modo por encima de ellas. Por esto, cuanto mayor es el peso ó la presión que junta los cuerpos, tanto mayor es la resistencia debida al rozamiento. Cuando engrasamos las superficies de cuerpos que han de sufrir un frotamiento, no hacemos en realidad otra cosa que rellenar las cavidades que siempre contienen, aun los cuerpos más pulimentados, y con ello aproximamos dichas superficies á las condiciones del plano, que es naturalmente la que ofrecería el mínimum de rozamiento. Sólo que en este caso hay que tener en cuenta la circunstancia de que cuanto más planas son las superficies, tanto mayor es el contacto de sus partículas, y por consiguiente, entre un número mayor de ellas y á menor distancia, se ejercerá la adhesión, y si la magnitud de las superficies en contacto no tiene ninguna influencia sobre la pérdida de fuerza por rozamiento, no sucede lo mismo con la resistencia que por la adhesión se origina. Pero esta última es muy pequeña, y sólo ofrece interés teórico.

El rozamiento es distinto, según las sustancias entre las cuales se ejerce: madera, metales, vidrio, etc., ofrecen diferente rozamiento. Pero para cada dos de ellas siempre tiene un mismo valor, de suerte que si se quiere hacer recorrer cierto trecho sobre una base horizontal de una de dichas dos sustancias, una carga cuya superficie inferior de contacto está formada por la otra, se exige determinado esfuerzo que representa siempre la misma fracción de la fuerza total que sería necesaria para elevar la carga verticalmente á la altura de aquella longitud. Esta relación constante constituye el coeficiente de rozamiento entre las dos sustancias. Entre hierro y hierro, por ejemplo, dicho coeficiente es 0,277; es decir, que para arrastrar sobre un plano de hierro completamente horizontal, un peso

cuya superficie de contacto fuera de hierro también, se necesita la misma fuerza que sería necesaria para elevar verticalmente á la misma distancia 0,277 de aquel peso. Entre madera de encina y madera de pino, el coeficiente de rozamiento es igual á 0,667.

El rozamiento por rotación, como tiene lugar cuando una rueda gira sobre un plano, es distinto del que antes hemos considerado que se produce por el resbalamiento de un plano sobre otro. Aquél es mucho menor, pues las desigualdades que encajan entre sí como los dientes de un piñón, no es preciso que se rompan ó doblen, sino que por la naturaleza del movimiento mismo se separan sin gran violencia.

El aire y el agua ejercen también por rozamiento una resistencia al movimiento en su interior, y causan en virtud de ella una disminución en la velocidad de los cuerpos que los atraviesan, perturbando su estado de equilibrio: y aun el mismo éter, esa sutil materia esparcida por los espacios celestes, obra de un modo análogo, y muestra cierta influencia sobre las órbitas y velocidades de los cometas menos densos y de volumen enorme.

LA POLEA Y LOS POLISPASTOS

Son los ejemplos más inmediatos, en los cuales se nos pone de relieve la provechosa aplicación de aquella ley que hemos desarrollado á propósito de la relación entre la fuerza y la velocidad. La polea es un cilindro de poca altura, atravesado en su centro por un eje, alrededor del cual puede girar, bien unida á él, bien siendo el eje fijo. La polea en su forma más sencilla, que es cuando el eje de rotación tiene posición invariable, sirve para hacer cambiar la dirección en que actúa la fuerza, dándole la que nos conviene. Un obrero hará llegar á lo alto de un andamiaje una piedra ó un peso cualquiera con más facilidad tirando de una cuerda que se arrolla sobre una polea situada en lo alto, y á cuyo extremo se sujeta dicha carga, que si hubiera de llevarla directamente sobre sí mismo, ó hubiera de tirar simplemente de la cuerda desde arriba. Para la sujeción de la cuerda lleva la polea en su borde una hendedura ó canal. Si se quiere elevar el peso *W* (fig. 45) desde *d* hasta *c*, es preciso que la longitud de la cuerda *d c*, que mide exactamente aquella altura, se arrolle á la polea por la acción de la fuerza aplicada en *a*. La fuerza que actúa, pues, por medio de una polea fija, debe ser exactamente igual á la resistencia á que ha de hacer equilibrio. Otra cosa sucede con la polea móvil. Esta no está unida á un punto fijo, sino á la resistencia ó carga, y toma parte en el movimiento de esta última (fig. 46). La cuerda está fija por un extremo á un punto fijo *c*, mientras que por el otro, *a*, tira de ella el obrero y hace subir con la polea al peso *W*. Si éste ha de ser elevado á la altura de *a*, el obrero situado en este punto ha de recoger toda la longitud de la

cuerda *a b c;* la potencia, pues, recorre un camino doble que la resistencia. De aquí se deduce que una fuerza, actuando sobre una polea móvil, puede vencer una resistencia doble que si actuara sobre una potencia fija; pero también que para ello invertirá un tiempo doble que en este segundo caso, suponiendo que la velocidad sea la misma. Cuando las dos porciones de la cuerda no son paralelas, sino que forman un ángulo, estas relaciones varían en el sentido de aumentar la fuerza necesaria para vencer una misma resistencia con el valor del ángulo formado por las cuerdas.

Por combinaciones adecuadas de poleas fijas y móviles, se puede aumentar

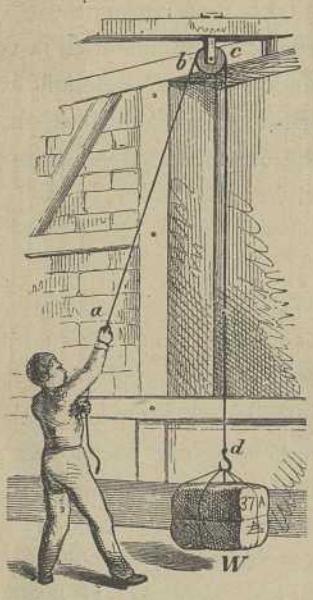


FIG. 45.—Polea fija.

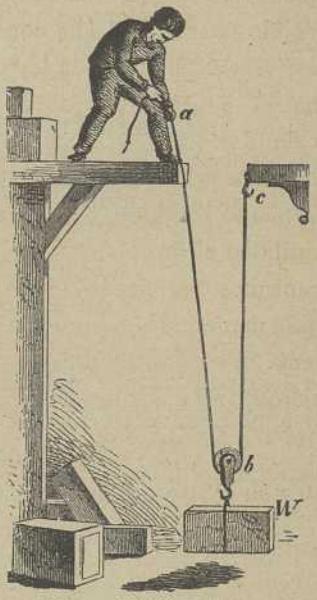


FIG. 46.—Polea móvil.

muy considerablemente el beneficio en fuerza de la potencia. Tales mecanismos, formados por la reunión de dos ó más poleas, reciben el nombre de polispastos. Se llama garrucha una reunión de dos ó más poleas en una misma armadura. Una de las formas más sencillas de polispastos es la representada en la fig. 47. En ella hay unidos entre sí dos grupos de tres poleas, sólo que uno de ellos está fijo al punto de suspensión, mientras que las otras tres, aunque unidas entre sí, son movibles y ascienden con el peso colgado de la inferior. Para que el peso suba desde *b* hasta *a*, se necesita, como resulta de la inspección de la figura, que se arrolle una longitud de cuerda, que es exactamente seis veces aquella distancia comprendida entre las líneas punteadas *s a* y *s b;* y entonces la potencia habrá obrado á través de todo este camino, recorriendo un espacio seis veces mayor que la resistencia, y según la ley de la reciprocidad, entre fuerza y camino recorrido, establecida al hablar de la palanca, bastará con la sexta parte de la po-

tencia que sería necesaria en una simple polea fija, para elevar el peso. La figura 46 muestra una disposición diferente de otro polispasto que actúa exactamente del mismo modo.

Excepto el tornillo sin fin, todos los demás mecanismos descritos para la transformación de la fuerza eran ya conocidos de los antiguos; sus grandiosas obras arquitectónicas se ejecutaron frecuentemente con aplicación de poderosos polispastos, cuya invención atribuyen, algunos sin fundamento, á Arquímedes. Pero la mecánica moderna ha ido mucho más allá con el reconocimiento explícito de la ley que rige la manera de funcionar de las máquinas simples. Aún en el siglo pasado preocupaba á los mecánicos la idea del movimiento continuo, y se consideraba de utilidad el problema de construir mecanismos que ejecutaran movimientos á la manera de los seres vivos; pues se tenía la esperanza de conseguir de este modo, no sólo que la potencia permaneciera sin pérdida en acción permanente, sino que se desarrollara á expensas de sí misma; pero hoy estos conceptos oscuros é indeterminados han cedido el puesto ante una discusión racional de las cuestiones mecánicas, fundada en las leyes científicamente demostradas.

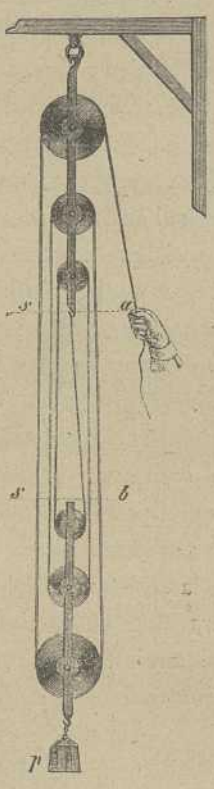


FIG. 47.
Polispasto con tres poleas fijas y tres móviles.

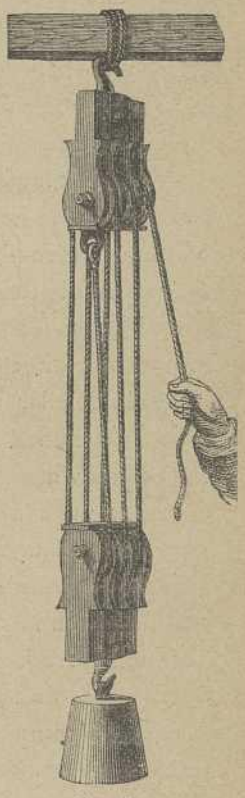


FIG. 48.
Polispasto con las poleas de cada grupo yuxtapuestas.

Así como por transformaciones mecánicas no se puede aumentar el trabajo ó acción de una fuerza, pues lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo, tampoco se gana nada cuando una modalidad de la fuerza se convierte en otras; por ejemplo: calor en fuerza mecánica, ó en electricidad, etc. Sabemos que una libra de carbón desarrolla en todos los casos la misma cantidad de calor, la cual, á su vez, cuando se emplea completa y exclusivamente en ello, ejecuta siempre la misma cantidad de efecto mecánico; del mismo modo, si pudiéramos tomar una cantidad determinada de fuerza y hacerla recorrer por transformaciones sucesivas todo el ciclo de las formas físicas de la energía, sin que experimentara durante este proceso la más insignificante pérdida por comunicación ó radiación, volveríamos á obtener siempre la misma cantidad de fuerza de que habíamos partido. Aún se da como posible entre los profanos que se descubra

una fuerza natural completamente nueva; esperanza quimérica que, en el caso de que pudiera realizarse, no por eso haría posible el movimiento continuo, pues la nueva fuerza tendría que estar sometida á la misma ley, en virtud de la cual se podría transformar en una determinada y siempre constante cantidad de calor, en una cantidad fija de electricidad, ó en una cantidad igualmente invariable de luz, etc., todas las cuales corresponderían á una misma cantidad de trabajo mecánico. Este equivalente mecánico es una ley irrevocable para toda fuerza, y se aplicaría también á una nueva forma de la energía, ó, como dirían los profanos, «una fuerza nueva de la cual no tuviéramos hoy ninguna idea.» Cualquiera que sea el concepto que nos formemos de la fuerza, con una cierta cantidad de ésta podemos vencer siempre determinada resistencia, pero no más. Podemos, pues, hacer subsistir un movimiento durante un tiempo tanto mayor, cuanto menor sea la resistencia, cuya acción va equilibrando continuamente una parte de la fuerza, y que por fin la equilibrará por completo si persiste. Para todos los fenómenos terrestres, y verosímilmente también para todos los fenómenos cósmicos, el rozamiento es ya una resistencia permanente. Por consecuencia de ella, la fuerza mecánica no se aniquila, pero se transforma en calor, que ya nunca podrá ser recobrado por completo para el aparato mecánico del movimiento continuo. Y este rozamiento no falta jamás, pues nunca cesa la presión que el peso comunica á los cuerpos contra el obstáculo en que se apoyan. Si pudieran, pues, desaparecer obstáculos de tanto bulto, como, por ejemplo, la resistencia del aire, aún quedaría activa una causa de rozamiento en la atracción de la tierra, que se podría, sí, rebajar hasta un mínimum, pero jamás anular. Este rozamiento es el que últimamente conduciría al reposo á todo móvil supuesto perpetuo, así como los movimientos cósmicos que los mundos verifican de un modo perceptible á nuestros sentidos, también tienen que llegar una vez al reposo por el equilibrio final de la temperatura.

Hay aún otra clase de aparatos en los cuales se muestra un movimiento interrumpido, pero sólo por la acción de una serie de pequeños impulsos, también incesantes, recibidos de una fuerza que actúa exteriormente. En los cambios incesantes de la temperatura; en las alteraciones de la presión atmosférica; en las caídas de las gotas de lluvia; en el curso de los arroyos, el soplo de los vientos, etc., se tienen suficientes acciones mecánicas que podrían comunicar de tiempo en tiempo á un mecanismo bastante fuerza viva para que pudiera permanecer en movimiento hasta que se le volviera á comunicar de nuevo otro impulso en la misma forma. Por este medio no es ninguna obra de romanos obtener una disposición que permaneciera constantemente en movimiento. Más adelante conoceremos en la pila eléctrica de Zamboni un aparato de esta especie. Toda columna barométrica, todo termómetro, sería en tal sentido un móvil perpetuo y los antiguos físicos empleaban de hecho esta frase

«móvil perpetuo físico» para la designación de tales aparatos, en cuanto ellos los querían distinguir del *móvil perpetuo mecánico*, cuya esencia consistía en que por sí mismos, y por consiguiente sin intervención de fuerza exterior, no sólo debían obtener su propio movimiento, sino que, si aún era posible, debían engendrar un exceso de fuerza para aplicaciones adecuadas.

La historia de esta aberración mecánica registra un número de casos en que parecía felizmente resuelto el problema, cada uno de los cuales daba nuevos ánimos á los aficionados, hasta que se conocía después que era un engaño ó una ilusión del inventor. Para formarse una idea de la poca claridad de los conceptos de entonces sobre las leyes físicas en relación con este problema, basta recordar que una comisión de sabios (*Acta eruditorum*, Leipzig, 1715) daba opinión favorable sobre el movimiento continuo, inventado por Orfeyrey, y lo declaraba como realmente tal. Hoy sabemos que no puede existir el movimiento continuo, ni mecánico ni físico; que ningún movimiento puede durar eternamente, y que mucho menos puede engendrarse fuerza por su sola transformación. No hay, pues, que conceder crédito alguno á los pretendidos descubrimientos de este género que, una ó más veces al año, anuncian los periódicos, gracias á la falta de disciplina científica y á la impudencia del charlatanismo.

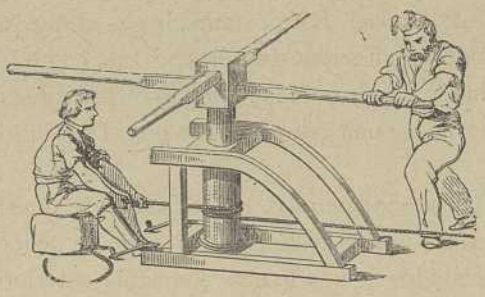


FIG. 49.—Cabrestante.

BALANZA Y AREÓMETRO

Importancia de las determinaciones de medidas.—Atracción de los cuerpos.—La gravedad y su ley.—Isaac Newton.—Desviación de la plomada.—Acción de la gravitación sobre otros cuerpos celestes.—Peso.—Centro de gravedad.—Suspensión y apoyo del mismo.—Balanza y su historia.—Construcción de la balanza,—Romana.—Pesacartas.—Balanza de precisión.—El peso específico y su determinación en los cuerpos sólidos y líquidos.—De la flotación.—Areómetros de diferentes clases y diversos sistemas de graduación.

Las ciencias físico-naturales tienen que agradecer sus grandiosas conquistas casi exclusivamente á la aplicación de métodos rigurosos de medida. Ni las inspiraciones del ingenio, ni las fascinadoras creaciones de la fantasía, ni el adelanto de los medios para la contemplación de sorprendentes países lejanos y exuberantes han contribuído en tan gran parte al triunfo de la investigación exacta como el uso hábil de escalas, compases, balanzas y pesas. Las medidas angulares exactas dieron á los astrónomos los primeros fundamentos para

sus admirables cálculos. El físico mide que el rayo de luz recorre en un segundo un espacio de unos 300.000 kilómetros, al mismo tiempo que tiene aparatos y métodos bastante exactos para determinar con toda precisión las más pequeñas distancias, pues mide también las longitudes de las ondas luminosas y aprecia sus diferencias, que apenas llegan á la cienmilésima parte de una pulgada. El químico pesa el aire que aspiramos, lo vuelve á pesar en la espiración y sabe decirnos cuánta materia hemos consumido durante este tiempo para vivir. La balanza demuestra igualmente cuánto oxígeno está contenido en el orín del hierro, y es el instrumento cuyo uso y perfeccionamiento dió el golpe de muerte á las antiguas y falsas teorías de la Química.

GRAVEDAD

La balanza sirve, como es sabido, para determinar el peso de los cuerpos.

Es una propiedad general de los cuerpos, no sólo en la tierra, sino en todo el universo, según resulta de innumerables é irrefutables observaciones, la de que sus partes constituyentes, ó sean sus átomos, se atraen recíprocamente. Esta atracción aproxima mutuamente á los átomos, origina los cuerpos sólidos con su forma propia y es la causa de la forma esférica que adoptan las gotas líquidas cuando sus partículas se agrupan espontáneamente y sin ninguna perturbación exterior; pues siendo la atracción igual en todos sentidos, es natural que la agregación de dichas partículas sea también homogénea alrededor del mismo punto, desde el cual podemos suponer que actúa la resultante del conjunto de fuerzas elementales. Este punto es el centro mismo de la esfera formada.

Nuestra tierra, como verosímilmente todos los cuerpos celestes en el curso de su formación, ha atravesado un período, durante el cual corría por el espacio infinito en estado líquido, cual una masa en fusión ígnea. De aquella época procede su forma esférica.

La atracción que parte de las más pequeñas partículas de su masa obra, pues, como una poderosa resultante desde su centro. A esta resultante la llamamos fuerza de gravedad, ó simplemente gravedad. Todo cuanto existe corpóreo ó material en el Universo, está sometido á esta fuerza, y la ejerce también por sí mismo. La gravitación es el alma inseparable de la materia. Lo mismo que influye sobre el primer germen de la vida, constituye también su último cortejo en el lecho de muerte. Más allá de todo límite de existencia terrestre, crea el movimiento armónico de los mundos; de ella es de quien la reciben. Si la gravitación cesara, si la materia perdiera su fuerza atractiva, vendría la muerte de la Naturaleza, la homogeneidad absoluta, sólo flotarían en este universal naufragio el espacio y el tiempo, sin evoluciones en que determinarse; el espacio sin límites y el tiempo sin intervalos.

Del mismo modo que el niño ve sucederse al día la noche sin preocuparse por ello, y el hombre ignorante mira el sol como un objeto sencillo que nada tiene de particular, así la humanidad estuvo observando hasta el siglo XVII la inagotable variedad de fenómenos originados por la gravedad, sin encontrar ocasión de pensar en la causa de todos ellos en general. Es verdad que Vicente de Beauvais indicó ya en el siglo XV que si se abriese un pozo que atravesara la tierra toda, pasando por su centro para abrirse en el otro hemisferio, una piedra que se arrojara á él se pararía en el centro de la tierra y no podría proseguir su caída hasta los antípodas. Pero Newton fué el que primero hizo luz sobre estos conceptos. Con su poderoso genio fijó la atención en la manzana que caía ante sus ojos, y caminando de deducción en deducción, dió al fin, antes que ningún otro mortal, con la causa primera, la gravedad. Ya Galileo había dado un golpe de muerte á la teoría de Aristóteles con los resultados de sus experimentos sobre la caída libre de los cuerpos; pero Newton redujo completamente á escombros el viejo y ruinoso edificio. Comparte, pues, con su insigne predecesor la gloria de haber fundado la moderna física matemática.

FIG. 50.—Isaac Newton.

Isaac Newton nació en Woolsthorpe, en el condado de Lincoln (Inglaterra), el 25 de Diciembre de 1642 (fig. 50). Recibió su instrucción matemática en la Universidad de Cambridge, donde ingresó á la edad de dieciocho años, siendo discípulo del profundo Barrow. Ya entonces debió inventar el cálculo diferencial é integral, y poco tiempo después, cuando huyendo de la peste regresó á Woolsthorpe, instalándose en un retiro campestre, encontró en 1665 la ley de la atracción universal de la materia, que sobre la tierra se nos manifiesta bien claramente en los fenómenos de la gravedad. A éste siguió el descubrimiento de la descomposición de la luz solar blanca en los colores simples, por medio del prisma, y cuando en 1669 ocupó la cátedra de su maestro Barrow, había ya dado al mundo tres ideas de las más eminentes que jamás hayan podido concebirse. No podemos dar en este sitio una biografía detallada de este gran hombre, cuya vida fué, por lo demás, menos rica en vicisitudes que en hechos transcendentales; tenemos que contentarnos con llamar la atención de la posteridad sobre uno de sus más insignes predecesores. A edad bastante avanzada murió Newton en 1727, después de haberse mantenido alejado de todo trabajo científico en los últimos años de su vida. Había dejado, sin embargo, plantea-

dos problemas para cuyo esclarecimiento no bastaban generaciones enteras de condiciones intelectuales comunes. Newton encontró, por la aplicación de sus deducciones á las leyes de Kepler, que el movimiento especial de los planetas era debido á la acción del sol, á su atracción. Por último, encontró también que la fuerza de la gravitación disminuye con la distancia; de modo que cuanto más cerca del centro de atracción, mucho mayor es su influencia; y cuanto más lejos, se hace mucho más débil. En nuestras observaciones ordinarias, las diferencias que se originan en su intensidad por los cambios de distancia al centro de la tierra, son insignificantes; pero la ley se revela bien claramente á los astrónomos en las perturbaciones que resultan por la aproximación de las estrellas entre sí y también por la aproximación de la Tierra á los planetas y cometas. Tales perturbaciones, debidas á la atracción de las masas, que se manifiestan por pequeñas deformaciones de las órbitas, ó bien por aceleraciones ó retardaciones en las velocidades respectivas de los astros, han hecho descubrir, por el cálculo, un planeta, Neptuno, antes completamente desconocido, y aun han permitido determinar su masa y su posición en el espacio antes de que ningún ser humano le hubiera visto.

La intensidad de la atracción universal, y, por tanto, también la intensidad de la gravedad, varía en razón inversa de los cuadrados de las distancias; de modo que si, por ejemplo, se duplica la distancia entre dos masas, su atracción se reduce á la cuarta parte de lo que era antes.

La plomada, así como cualquier cuerpo que cae libremente, demuestran que la fuerza de gravedad se dirige hacia el centro de la tierra. Esta dirección la consideramos generalmente como invariable; pues dada la gran extensión de la superficie terrestre y la magnitud de su radio de curvatura con relación á nuestras distancias ordinarias, las plomadas aparecen como sensiblemente paralelas entre sí en los límites de estas distancias comunes. Pero por medio de métodos de observación más delicados se reconocen las perturbaciones que introducen en la dirección de la plomada los accidentes ó irregularidades de la superficie terrestre. Como quiera que los cuerpos se atraen recíprocamente, tienden ambos también á aproximarse mutuamente. La gota de lluvia que cae, atrae á la tierra con la misma fuerza que la tierra le atrae á ella. Pero esta fuerza, que es muy suficiente para comunicar una velocidad considerable á la pequeña masa de la esferita de agua, no lo es en modo alguno para que por su influencia pueda adquirir un movimiento apreciable la inmensa mole del globo terráqueo; y de aquí que la tierra, por su atracción, haga caer sobre sí á todos los cuerpos que están en su proximidad y que ofrecen un tamaño más ó menos grande, pero siempre insignificante con relación al suyo propio, mientras que ella parece como imperturbable é insensible á las innumerables acciones atractivas de todos aquellos pequeños cuerpos que la rodean. Sólo las grandes montañas aisladas, cuya masa obra en sentido distinto de la del resto de la tierra sobre una plomada suspendi-

da en sus inmediaciones, pueden producir una desviación apreciable en la dirección de ésta. En tales casos, el hilo de dicha plomada no marca exactamente la dirección de la vertical; pero de todos modos, es necesario emplear los métodos más sutiles de investigación para determinar la magnitud del pequeño ángulo de desviación.

El monte de Shehalieu, en Escocia, ha adquirido cierta celebridad en la Geografía física, porque su acción desviadora sobre la plomada ha sido medida muy exactamente, y de aquí se ha deducido el peso y la densidad media de la Tierra. En efecto, valuado el volumen de la montaña por el cálculo y multiplicado por la densidad media de las rocas que la constituyen, se obtuvo el peso aproximado de la montaña; y como quiera que la tangente del ángulo de desviación de la plomada representa la relación de las dos fuerzas atractivas (la de la Tierra y la de la montaña); conocido el valor de la una, se obtiene el de la otra por una simple multiplicación ó división. Ahora bien; cada una de estas fuerzas está representada por el cociente de la masa respectiva, dividida por el cuadrado de la distancia que separa á su centro de gravedad de la plomada.

El Sol, cuyo volumen es próximamente millón y medio de veces mayor que el de la Tierra, obra también sobre los cuerpos colocados en su superficie con una fuerza atractiva proporcionada á su masa y á su radio; ó sea, próximamente veintiocho veces mayor que la fuerza de gravedad terrestre. Así, para levantar de la superficie del Sol una moneda de un duro, sería preciso un esfuerzo como el que sobre la tierra exige la elevación de más de libra y media de peso. De aquí que si hubieran de existir seres orgánicos dotados de vida sobre la superficie del astro rey, tendrían que estar constituídos de muy distinta manera que las criaturas terrenales, por lo que se refiere á la acción de la gravedad. Un peso de 2.000 kilogramos aplastaría aquí al hombre más robusto, mientras que en el Sol cualquiera persona regularmente corpulenta (con respecto á nosotros), llevaría encima, en su propio cuerpo, todo aquel peso. Quien no pudiera levantar en alto 250 kilogramos en cada pie, no podría allí dar un paso. En cambio, sobre la Luna la marcha del más débil de nuestros hombres sería una serie de grandes saltos, pues la menor masa de este satélite hace que en él la gravedad sea sólo la sexta parte próximamente que sobre la Tierra.

EL CENTRO DE GRAVEDAD

Del mismo modo que en nuestro gran globo terráqueo las pequeñas fuerzas atractivas de los átomos se reunen en una poderosa fuerza total, y esta resultante actúa como partiendo de un punto único (su centro), ocurre en todos los cuerpos; bien que éstos puedan obedecer á la atracción, bien que impida su movimiento algún obstáculo. A este punto, donde se aplica la fuerza re-

sultante de las acciones atractivas, se le llama centro de gravedad. En los cuerpos que tienen forma regular y cuya constitución material es homogénea, el centro de gravedad coincide con el centro de figura, á cuya determinación nos conducen sencillas construcciones geométricas (fig. 51). En los casos más complicados en que el cuerpo tiene una forma irregular, ó bien que sus partes no tienen todas la misma densidad, puede determinarse el centro de gravedad por la experiencia. Un cuerpo suspendido por un hilo está en equilibrio cuando su centro de gravedad se encuentra en la vertical que pasa por el punto de suspensión. Por medio de una suspensión se determina, pues, una dirección rectilínea en el interior del cuerpo, sobre la cual se halla situado el centro de gravedad que se busca. Si se repite la suspensión adaptando el hilo á otro punto de la superficie del cuerpo distinto que antes, se determina del mismo modo otra línea recta que contiene el centro de gravedad en cuestión, y, por consiguiente, éste no puede ser otro que aquel punto donde se corten las dos direcciones así determinadas.

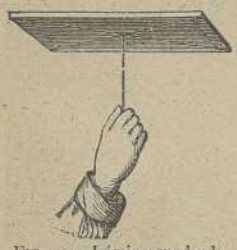


FIG 51.—Lámina cuadrada, apoyada por su centro de gravedad.

Si queremos que un cuerpo no se mueva, obedeciendo á la atracción de la Tierra, es preciso que sujetemos su centro de gravedad, bien por medio de una suspensión, bien apoyándole sobre un obstáculo.

El muchacho que sostiene derecho un bastón con la punta de un dedo, apoya en un solo punto el centro de gravedad de aquél. Pero sus continuas vacilaciones demuestran que este equilibrio es bastante deficiente, pues el más pequeño choque, un soplo de viento, por ejemplo, basta para producir la caída. Más firme es ya la posición del hombre, cuyo considerable peso descansa sobre sus dos pies; pero si fuera sólo sobre dos puntos, todavía no sería bastante, de lo cual nos convenceremos adaptando á nuestros pies unos zancos, mediante cuya posición elevamos el centro de gravedad al mismo tiempo que reducimos la base de sustentación á la pequeña superficie que ofrecen los extremos de los zancos. De este modo el equilibrio se hace difícil, y sólo por medio de movimientos continuados podemos permanecer derechos. Para que un cuerpo esté completamente fijo, es necesario apoyarle á lo menos en tres puntos no situados en línea recta, y dentro de los cuales caiga la vertical que pasa por el centro de gravedad del cuerpo. El zapatero de portal se sienta completamente seguro sobre su banquillo de tres pies. Tres puntos de apoyo dan á un cuerpo tanta estabilidad como si se le pusiera por base la superficie triangular que aquéllos determinan.

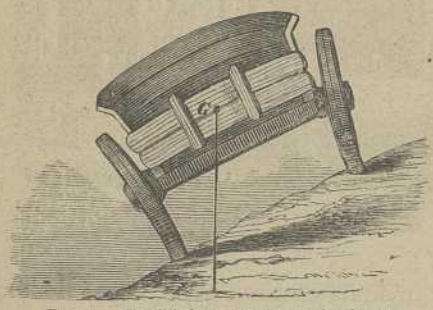


FIG. 52.—Equilibrio de los cuerpos inclinados.

Un carro (fig. 52) puede estar muy inclinado sin que vuelque, lo cual sólo sucederá cuando la vertical que pasa por su centro de gravedad no caiga fuera de la superficie del suelo limitada lateralmente por sus ruedas. ¿Quién no ha oído hablar de las famosas torres inclinadas de Pisa y de Bolonia, esos notables edificios que se han atribuído á la fantasía de arquitectos de la Edad Media, suponiendo que tales artistas jugaron con las leyes de la gravedad antes de que la humanidad hubiera fijado su atención sobre la esencia íntima de esta fuerza? Nuestro grabado de la fig. 53 nos da una idea de las dos torres inclinadas de Bolonia, de las cuales la menor, llamada Garisenda, del nombre de su constructor (año 1112), tiene una altura de unos cuarenta metros y una desviación de más de dos metros de la vertical; la mayor, la torre de Asineli, tiene 85 metros de alta y se inclina cosa de un metro. Pero verosímilmente, y según se deduce de la forma de su construcción, la posición inclinada de estas torres, así como de su competidora la de Pisa, de 48 metros de alta y dividida en siete pisos, no ha debido obedecer á una idea preconcebida de los artistas que dirigieron su construcción, sino que más bien es simplemente consecuencia de hundimientos parciales del suelo, contra los cuales ha tenido resistencia suficiente el edificio, en virtud de su gran solidez. Por lo demás, á no romperse estas torres, aún podrían inclinarse mucho más, sin que saliera de su base de sustentación la vertical, bajada desde el centro de gravedad, y, por tanto, sin que corrieran el riesgo de caer.

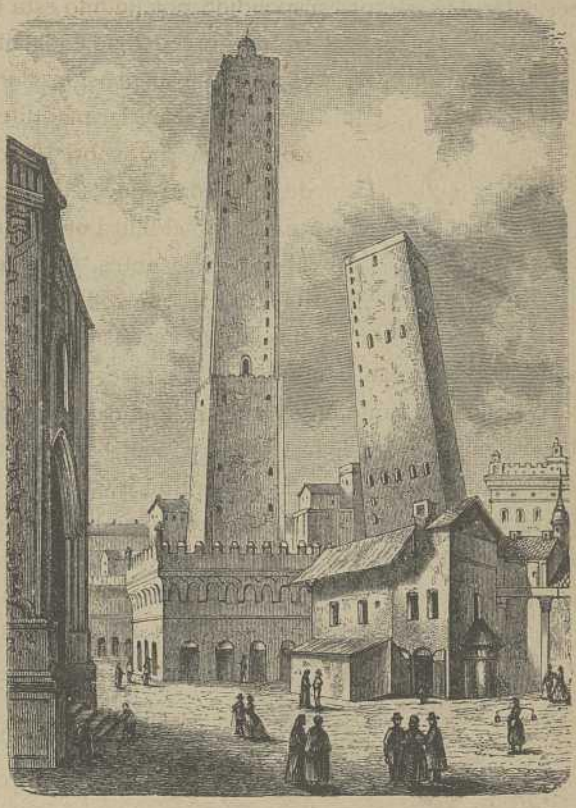


FIG. 53.—Torres inclinadas de Bolonia.

PESO Y BALANZA

Si bien la fuerza de gravedad imprime á los cuerpos que pueden moverse libremente un movimiento hacia el centro de la tierra, es decir, les hace caer, no por esto obra menos sobre aquellos otros cuerpos que no pueden obedecer á su impulso. Porque ahora esté quieta sobre el suelo la piedra que antes cayó de lo alto de una torre, no deja de experimentar la misma atracción ahora que antes, y el obstáculo que impide su movimiento recibe la acción de dicha fuerza en forma de presión, que la piedra ejerce sobre él. La magnitud de esta presión, ó, lo que tanto vale, la magnitud de la tracción que verificaría el cuerpo si estuviera suspendido, constituye su peso. Este es distinto en los diferentes cuerpos; pues como quiera que depende de la composición de las pequeñas fuerzas atractivas que la tierra ejerce sobre cada uno de los átomos, debe ser tanto mayor, cuanto mayor sea el número de éstos y la masa de cada uno de ellos.

Estas relaciones condujeron desde los tiempos más remotos á considerar el peso de los cuerpos como medida de la cantidad de materia que contienen, así como á la invención de instrumentos y mètodos para poder determinar dicho peso. Los instrumentos apropiados á este objeto son las balanzas. Sería locura pretender averiguar quién fué su primitivo inventor. Han debido ofrecerse en su primitiva sencillez de un modo tan natural y espontáneo para la satisfacción de las necesidades humanas, que la aplicación de su principio se considera más bien como el resultado de un estado general de cultura, que como la idea feliz de un individuo. Para los griegos fué el aqueo Phidon el inventor de las pesas, mientras que Aulo Gelio atribuye este honor á Palamedes, y los chinos veneran como á tal á Hiene-Juene; pero aunque tomáramos al pie de la letra cualquiera de estas versiones, aún habría que distinguir de lo dicho el descubrimiento de la balanza misma.

Como toda suerte de comercio lleva anejo necesariamente el peso y medida, se ha querido también atribuir el descubrimiento de la balanza al pueblo comercial más antiguo, á los fenicios; pero no existe para ello otro fundamento que aquella consideración superficial de que este pueblo realizaba extensas transacciones mercantiles. Por la Biblia (Genés., XXIII, 16) sabemos que Abraham pesó ya la plata, y que Moisés conoció varias clases de medidas y pesos. En el libro de Josué se habla de platillos de la balanza, y en la *Ilíada* se encuentran varios pasajes que prueban que en tiempos del problemático Homero la balanza era un instrumento conocido por todo el mundo.

CONSTRUCCIÓN DE LAS BALANZAS

Las balanzas fueron construídas desde su origen con arreglo á los mismos principios sobre que descansan aún hoy los más delicados instrumentos de este género de nuestros laboratorios de química. Estos principios no son otros que las ya conocidas leyes de la palanca. Si se suspenden dos platillos para colocar el cuerpo que se ha de pesar y las pesas, de los extremos de una barra suspendida á su vez por encima de su centro de gravedad, situado en su medio y de suerte que dicha barra pueda girar alrededor de un eje, se tendrá construída la más simple balanza, que, con pocas modificaciones, encontramos aún frecuentemente, con el nombre de peso, entre los vendedores (fig. 54). El fiel hace perceptible, por su desviación, pequeñas diferencias de peso, y por su detención en la posición horizontal indica el equilibrio exacto. En la fig. 55 presentamos una imagen de la balanza llamada de Roverbal, en la que los platillos están por encima de los brazos de la palanca.

FIG. 54.—Balanza ordinaria, ó peso.

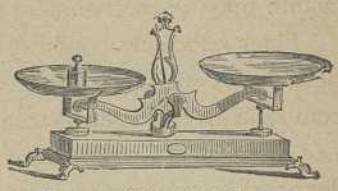


FIG. 55.—Balanza de Roberval.

ROMANA

Dando á la balanza ordinaria brazos desiguales, se obtuvo la variedad llamada romana. La sencillez y prontitud con que se efectúa la pesada por medio de ella, hace que los alemanes la den el nombre de balanza rápida. Difiere por su principio de la balanza ordinaria y sus similares, por cuanto en ella los brazos de palanca no son iguales, y además uno de éstos es de longitud variable. El cuerpo que se quiere pesar se cuelga á un extremo de la barra y á una distancia fija del punto de suspension; la pesa Q (fig. 55), de peso conocido, se hace correr sobre el otro brazo de la palanca hasta que se produzca el equilibrio. De la distancia A al punto de apoyo C, se deduce el peso buscado, y estas distancias ó brazos de palanca están ya calculadas con relacion á la pesa Q; de modo que va señalado en cada punto el valor correspondiente para el peso del cuerpo, y basta la simple lectura para determinarle.

La romana se llama así, tal vez sin ninguna razón, pues aunque era de uso muy frecuente entre los romanos, ni ellos la inventaron, ni tampoco de ellos la hemos recibido nosotros. Es más verosímil que este nombre proceda de que, según se cuenta, la pesa empleada tuvo antiguamente la forma de una granada,

que en hebreo es *rimmou*, y en árabe *romman*, y sin duda por esto los árabes llamaron *romman* al aparato todo, y con este nombre se ha conservado hasta nosotros. Los franceses emplean aún hoy el nombre de romana para designar la pesa misma, y puede muy bien admitirse que habiendo heredado esta especie de balanza de los árabes, conserven sólo la primitiva denominación para designar una de sus partes.

Tratándose de aparatos de construcción tan sencilla, claro está que no puede esperarse una gran exactitud en sus indicaciones; pero, en cambio, por su fácil manejo son de gran recurso en muchos casos. Los romanos (según demuestran algunas balanzas romanas encontradas en las ruinas de Pompeya) conocían ya la ventaja de que estos aparatos pudieran ser suspendidos, á voluntad, en dos

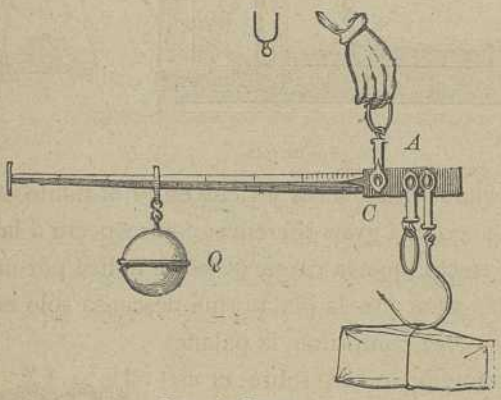


FIG. 56.—Romana.

FIG. 57.—Pesacartas.

puntos distintos, según los casos, como se observa en la romana representada por la fig. 56. Generalmente uno de estos puntos de suspensión está á la mitad ó á la cuarta parte de la distancia del otro al punto de aplicación del peso que se quiere medir. De este modo se consigue medir con la misma pesa, haciendo variar los brazos de palanca, pesos los más diferentes entre sí. Supongamos, por ejemplo, que uno de los puntos de suspensión esté á un decímetro del punto de aplicación de la carga, y el otro á dos centímetros, y supongamos que la longitud del otro brazo sea un metro; en tal caso, con una pesa de medio kilogramo, tomando el primer punto de apoyo, se podrá pesar hasta cinco kilogramos, mientras que tomando el segundo se podrá pesar hasta 25 kilogramos.

En los pesacartas (fig. 57) y en otras disposiciones semejantes, encontramos una nueva forma de la balanza de brazos desiguales. Aquí la pesa está reemplazada por una aguja pesada, que al descender el platillo cargado se levanta por el lado opuesto, describiendo su centro de gravedad un arco de círculo, al par que adquiere, á medida que se levanta, mayor brazo de palanca, mientras que el del cuerpo que se pesa va disminuyendo. El peso correspondiente está escrito sobre un arco graduado por comparación.

LA BÁSCULA Ó BALANZA DECIMAL

Es, por su mecanismo, la más complicada de las balanzas, ó á lo menos lo parece así á primera vista: sin embargo, por la observación atenta de las figuras 58 y 59 se hace fácilmente inteligible la estructura y el juego de este útil aparato. En ambas figuras están designadas las mismas piezas con las mismas letras, y, por tanto, podemos referir igualmente á ambas nuestra descripción. En ella se encuentran las mismas partes esenciales, á saber: la plataforma *A B* para las cargas *Q*, el platillo *P* para las pesas, el astil, ó fiel de la balanza *L N*, que aquí está encorvado varias veces y tiene en *M* el punto de apoyo. Pero también se nota desde luego una gran diferencia con respecto á las balanzas anteriores. Se advierte, en efecto, que la carga *Q* no se aplica por un solo punto al brazo de palanca *L M*, sino que la plataforma descansa sólo en parte sobre el cuchillo *E*, el cual á su vez comprime la palanca de tercer género *F G*, y por su intermedio actúa sobre el fiel de la balanza en *L*; pero, por otra parte, la misma plataforma comprime también la barra *C D* y se apoya por medio de ella en *K* sobre el fiel. *A B C D* forman un todo invariablemente unido. Estos dos puntos de aplicación del peso *K* y *L* hacen complicada la cuestión, pero sólo en apariencia. En la realidad, la acción es la misma que si el peso obrara todo suspendido directamente en *K*. Todo lo que está á la izquierda de este punto sirve sólo para hacer más cómodo el uso del instrumento, para conseguir que el platillo tenga la forma plana apropiada para cargar grandes pesos, y que sus oscilaciones sean muy limitadas. Con la disposición indicada es indiferente el punto donde se coloque la carga sobre la plataforma; pues como ésta es un todo inflexible, ninguna parte de la presión, bien se transmita por *E*, bien por *B*, deja de obrar sobre el brazo de palanca *L M*. Entre las longitudes *E F* y *G F* debe existir exactamente la misma relación que entre *K M* y *L M*, y precisamente en esto estriba la idea fundamental del mecanismo; de modo que si *K M* fuera, por ejemplo, la quinta parte de *L M*, también *E F* deberá ser la quinta parte de *G F*. De este modo se consigue que

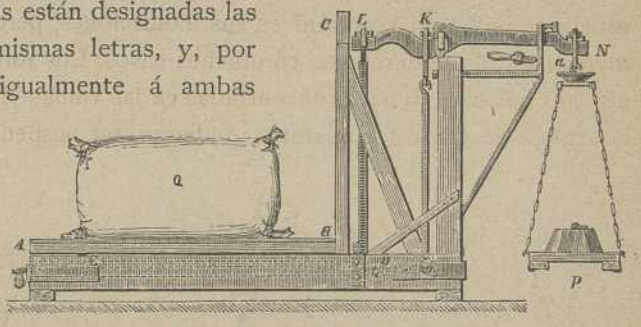


FIG. 58.—Báscula.

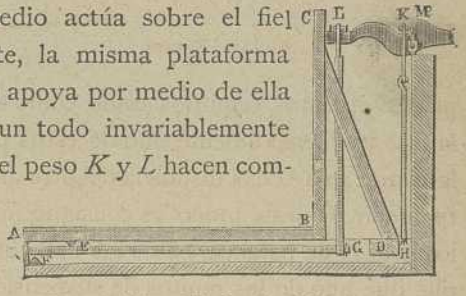


FIG. 59.—Disposición interior de la báscula.

tenga el cuerpo la posición que quiera sobre la plataforma, su presión se distribuya uniformemente sobre el brazo de palanca; la parte que se transmite por *E* obra sobre la palanca *G F*, al aplicarse en *G*, sólo ejerce una presión igual á la quinta parte de su valor; pero como la longitud del brazo de palanca *L M* es cinco veces mayor que la de *K M*, sobre el cual obra directamente la otra parte del peso, el efecto final de la primera se modifica de nuevo, quedando como si toda la carga se colgara del punto *K*. La relación entre los brazos de palanca *K M* y *L M*, así como entre *E F* y *F G*, puede ser cualquiera, con tal de que sea siempre una misma en ambas palancas. El nombre de la balanza decimal no se le da porque esta relación sea como 1 : 10, sino más bien porque el otro brazo de palanca *M N* que lleva la pesa se hace ordinariamente diez veces más largo que la distancia *K M*, y por lo mismo una pesa *P* puede equilibrar á una carga *Q*, diez veces mayor. Cinco kilogramos sobre el platillo *P* actúan, una vez puestas en juego las aristas *b* y *c*, equilibrando una carga de peso de un quintal. Las grandes básculas, con las cuales se pueden pesar centenares de quintales, descansan en principios análogos.

BALANZA DE PRECISIÓN

Es fácil comprender que las construcciones ordinarias de balanzas, cual las que hasta aquí hemos considerado, no pueden en modo alguno proporcionar gran exactitud. Aun las pequeñas básculas de los farmacéuticos y plateros, que en nada se diferencian del peso de los vendedores, representado en la fig. 54, más que en la finura de su construcción, podrán satisfacer á su objeto; pero hay otros casos prácticos en que ya es preciso sustituirlas por aparatos todavía más delicados.

En las ciudades, por ejemplo, donde está establecida en grande la industria de la seda, como Turín, Lyón, etc., hay establecimientos especiales donde se ensaya la seda hilada ó cruda, como sucede en los países productores, cual Italia y España, para averiguar el agua que contiene, lo cual es muy importante, pues el comprador no ha de querer naturalmente pagar el agua al precio de la seda, materia considerablemente cara. Pero se comprende que no es posible desecar completamente grandes cantidades, como balas enteras, para averiguar así con exactitud la pérdida de peso. Hay que contentarse para esto con operar sobre pequeñas porciones, que se pesan repetidas veces, lo más exactamente posible, hasta que por desecación no experimenten ninguna pérdida, y entonces se calcula el valor que corresponde á la bala entera. Tratándose de una sustancia tan costosa, pequeños errores pueden ser muy sensibles para la una ó para la otra parte, y de aquí que los encargados de esta investigación pongan en ella el mayor cuidado y empleen sólo las balanzas más perfectas, como son las que se

construyen para usos científicos. En cuanto á la importancia de la precisión y sensibilidad de la balanza en su aplicación á los trabajos físicos y aún más á los químicos, no es necesario insistir mucho para que se comprenda. Las teorías químicas tienen todas por única base los resultados de las pesadas sobre la composición de los cuerpos, y cuanto más exactos sean los medios empleados para su determinación, tanto más seguras serán las consecuencias que de aquellos resultados deduzca la ciencia.

Una buena balanza de precisión (fig. 60) consta esencialmente de tres partes: de una sólida base para el eje de rotación del fiel, de éste y de los pla-

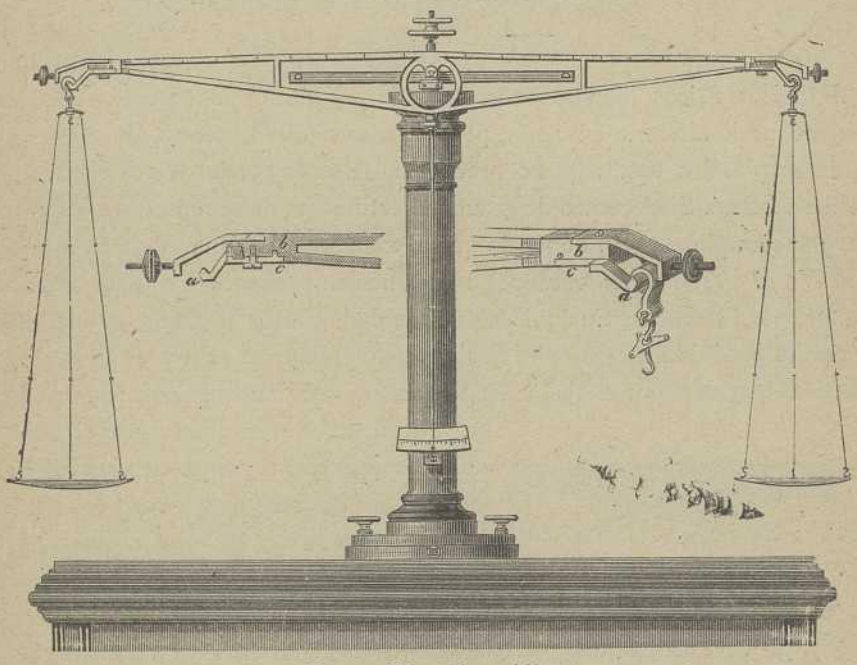


FIG. 60.—Balanza de precisión.

tillos. La parte más importante de todas es el fiel, que en rigor no se separa en nada, por su principio, de la balanza ordinaria, pero cuyos detalles de construcción tienen tanta importancia, que nos creemos en el caso de penetrar algo más profundamente en su teoría.

El fiel de la balanza es, como ya se ha dicho, una palanca de primer género y de brazos exactamente iguales; los platillos están suspendidos á la misma distancia del punto de apoyo; el eje de rotación ó de apoyo está algo por encima del centro de gravedad, y por consecuencia el fiel permanece horizontal y en equilibrio cuando los dos platillos no contienen nada, ó bien contienen pesos iguales, pues entonces dicho centro de gravedad está en la vertical que pasa por el punto de apoyo. La fig. 61 hace ver por qué el centro de gravedad no conviene que coincida con el punto de apoyo, sino que debe estar un poco más bajo que éste. Representa al fiel, cuyas dos mitades deben tener exactamente la

misma longitud y peso, de modo que el centro de gravedad caiga en el centro. En este mismo centro está también el punto de apoyo, ó más bien el eje de apoyo, pues las balanzas sensibles descansan por medio de un prisma de acero transversal (cuchilla), cuya arista inferior está cuidadosamente afilada, sobre una lámina de vidrio ó de ágata que lleva la columna. Si suponemos ahora que el centro de gravedad del fiel coincidiera con el mismo eje de apoyo, el fiel quedaría en equilibrio en cualquiera posición, lo mismo en la $N\ M$ que, por ejemplo, en la $N^1\ M^1$. Los físicos llaman á esta clase de equilibrio, indiferente. Una carga uniforme no le alteraría en nada; pero el más mínimo exceso de peso sobre uno de los platillos tendría por consecuencia la caída del fiel por este lado, hasta ponerse vertical. Si el centro de gravedad estuviera por encima del eje de rotación, por ejemplo, en g^1, de modo que al tomar el fiel una posición inclinada como $N^1\ M^1$ viniera á g, entonces estaríamos en el caso del equilibrio llamado inestable por los físicos. Cualquiera desigualdad en los platillos, y, aun siendo idéntico su peso, la más pequeña oscilación que sacara el centro de gravedad de la vertical que pasa por el eje de sustentación, sería bastante para que se cayera y desmontara completamente el fiel. Es, pues, preciso que el centro de gravedad esté por debajo del apoyo en cuya posición nos lo representa la fig. 62: a es el punto ó eje de suspensión; b el centro de gravedad del fiel aislado; si se suspenden de éste los pesos Q y Q^1, el centro de gravedad de todo el sistema ya no continúa en b, sino que como los pesos se aplican en la horizontal que pasa por a, en esta misma está el punto de aplicación de su resultante, y por consiguiente el centro de gravedad asciende, acercándose al punto a. Pero si además Q^1 pesa más que Q, entonces la resultante de estas dos fuerzas se acerca más á Q^1 aplicándose, por ejemplo, en d, y el centro de gravedad de todo el sistema del fiel con los pesos queda en un punto intermedio, tal como c. Ahora, para que haya equilibrio, es preciso que este punto c venga á colocarse debajo del eje de suspensión, y, por tanto, el fiel girará para ello un ángulo $b\ a\ c$. De la magnitud de este ángulo depende la sensibilidad de la balanza. El constructor puede realizar este objeto por diversos modos; si lo efectúa de manera que el centro de gravedad, estando siempre por debajo del apoyo, quede muy próximo á él, entonces la distancia $a\ d$ es mayor con relación á $a\ b$, y el ángulo $b\ a\ c$ resulta más obtuso, aumentándose así la sensibilidad de la balanza. Lo mismo sucede cuando los brazos del fiel son todo lo largos y ligeros posible, y á este

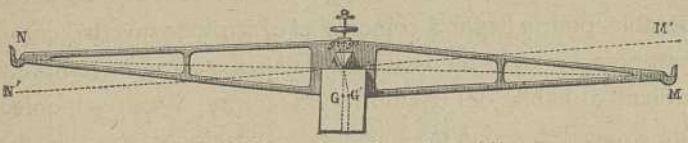


FIG. 61.—Fiel ó cruz de la balanza de precisión.

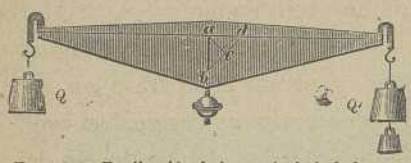


FIG. 62.—Explicación de la teoría de la balanza.

fin, en lugar de hacerlos llenos ó macizos, se construyen huecos en su centro, como indica la fig. 60, con lo cual nada pierden en solidez. Aún se ha pensado todavía dar al fiel la forma de una superficie cónica hueca, cuyo vértice común de las dos ramas, que forman entre sí un pequeño ángulo, corresponde al centro; disposición que permite un alto grado de sensibilidad. Sin embargo, no conviene extremar demasiado la sensibilidad de la balanza, pues en tal caso, cuando la carga fuera algo considerable, podría llegar á coincidir el centro de gravedad con el punto de apoyo, y entonces, en lugar de oscilar la balanza, se caería completamente, como hemos dicho al hablar del equilibrio indiferente. Y aun suponiendo que esto no llegara á suceder, serían tan lentas las oscilaciones, sería la balanza tan reposada, que se necesitaría mucho tiempo y mucha paciencia para llevar á cabo una buena pesada.

Con objeto de apreciar las desviaciones y formarse idea exacta del exceso de peso en uno ú otro lado, el fiel lleva unido á él, y perpendicularmente á su dirección, una aguja larga, cuya punta recorre un arco graduado, que en el modelo representado en la fig. 60 está fijo en la parte inferior de la columna. En el estado de equilibrio, ó bien cuando la balanza no tiene nada en los platillos, dicha aguja debe coincidir con el centro del arco, ó sea el cero de la división, y esto se consigue al instalar el aparato, nivelándolo por medio de dos ó tres tornillos que lleva en el pie y de una plomada, que cuando el aparato está bien nivelado, coincide con una señal, ó bien de un nivel de aire.

Cuando la balanza soporta grandes cargas, el fiel se dobla siempre algún tanto, con lo cual desciende el centro de gravedad y pierde el aparato en su sensibilidad, y todavía si el encorvamiento de los dos brazos es desigual, el centro de gravedad puede desviarse lateralmente y no caer ya debajo del eje de sustentación en la posición horizontal del fiel. Para corregir estas perturbaciones, lleva el fiel en sus dos extremos y en su parte media y superior, tornillos reguladores con discos ó esferitas en su cabeza, cuya aproximación ó separación del centro del fiel hace cambiar en uno ú otro sentido la posición del centro de gravedad, y por medio de los cuales se pueden siempre restablecer las condiciones normales en el aparato (figuras 57 y 58).

En caso de necesidad se pueden todavía alcanzar resultados exactos con balanzas cuyos brazos sean desiguales, practicando dos pesadas sucesivas, de modo que el cuerpo que se quiere pesar esté colocado cada vez en uno de los dos platillos, y extrayendo la raíz cuadrada del producto de los dos valores obtenidos. Supongamos, por ejemplo, que el cuerpo pese en uno de los dos platillos 5 y en el otro 7 gramos; su peso verdadero será $\sqrt{35}=5{,}91$ gramos, ó aproximadamente $6=\frac{5+7}{2}$.

Finalmente, se observa también sobre el borde superior del fiel una división ordinariamente hasta 10, pues toda pesada delicada se practica desde hace ya

mucho tiempo con pesas correspondientes al sistema métrico decimal. Esta división sirve para apreciar pequeñas diferencias de peso que no se pueden medir fácilmente por la colocación de pesas sobre los platillos. Se emplea entonces, en lugar de las pesas ordinarias, el llamado *reiter* (jinete), que está constituido por un hilo fino de oro, platino ó aluminio, doblado en forma de gancho, y el cual se monta sobre el fiel de la balanza. Este ganchito tiene el peso de la pesa más pequeña de la colección; y el sitio donde se ha de colocar para que se consiga el equilibrio, indica las décimas de su peso que hay que agregar ó restar de las pesas colocadas en el platillo, según que el reiter se cuelgue del lado de éstas ó del lado del cuerpo para completar el peso del mismo. En el último caso el reiter obra como sobre una palanca de tercer género. Supongamos, por ejemplo, que un cuerpo se equilibre en la balanza con 3,246 gramos sobre el platillo y el reiter colocado del mismo lado de las pesas, entre la división 4 y la 5, á partir del centro del fiel; el peso total del cuerpo sería 3,24645 gramos; pues como quiera que el reiter pesa un miligramo, colocado á la mitad del brazo de palanca obraría como 0,0005 gramos, y en medio del cuarto y quinto décimo de brazo de palanca como 0,00045 gramos.

Para evitar los rozamientos se ha dado á la suspensión de los platillos, como á la del fiel, la disposición de prismas de acero bien templado y pulimentado, cuyas aristas descansan sobre láminas también pulimentadas de ágata ó de vidrio, ó de acero mismo. En la suspensión del eje de rotación es de todo punto indispensable la forma de un cuchillo bien afilado, pues en cuanto el borde se redondease algo, todo cambio de posición del fiel haría desviar también el eje de rotación y no sería posible ninguna exactitud en el aparato. Las figuras 58 y 59 nos muestran en detalle una de las formas empleadas en la suspensión de los platillos. Con objeto de poder instalar las aristas de los cuchillos en posición exactamente paralela, perpendiculares las tres á la dirección del fiel y las tres en un mismo plano horizontal, llevan estas suspensiones varios tornillos por medio de los cuales pueden desviarse en todos sentidos las láminas *c*, á que van adaptados los prismas *a*. Para evitar que la arista central de suspensión del fiel se desgaste, no se deja á éste descansar permanentemente sobre ella, sino que cuando no se usa la balanza, se levanta el fiel de su apoyo, quedando sostenido en alto por medio de unas horquillas de dos brazos que lleva la columna; esto es lo que se llama desmontar la balanza. En nuestro dibujo esta suspensión está representada por una parte en la barra horizontal que se ve dentro del hueco del fiel, y por otra parte en el botón cuadrado que se observa al pie de la columna. Haciendo girar el botón, se comunica su movimiento por medio de un tornillo á una excéntrica que hace subir ó bajar aquella barra, la cual sostiene así ó deja libre respectivamente al fiel. En los aparatos de precisión no sólo se sostiene el fiel, cuando no se usa la balanza, sino también durante la pesada, mientras tanto que se añaden ó se quitan la pesas de los platillos.

Las balanzas más perfectas conocidas son las construídas por Seiss en Atzgersdorf, cerca de Viena, para la Casa de Moneda de Berlín, las cuales, además de pesar exactamente los discos metálicos cortados de las barras ó lingotes por una máquina en forma de hilera, cuyos discos tienen ya un peso próximamente igual, pero no con la gran precisión que se requiere para su objeto, separan los discos, después de pesados, en tres grupos, según que tengan el peso justo, que tengan de más ó que tengan de menos. Esto se produce automáticamente, sin que el hombre tenga que intervenir para nada, y con mayor precisión que si estuviera la operación á cargo del empleado más inteligente, y sobre todo con tal ra-

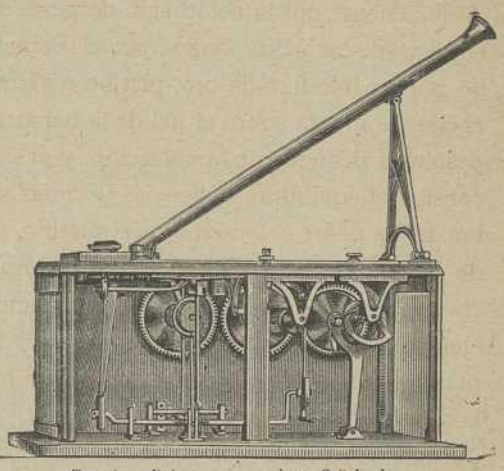


FIG 63.—Balanza monetaria de Stückraht.

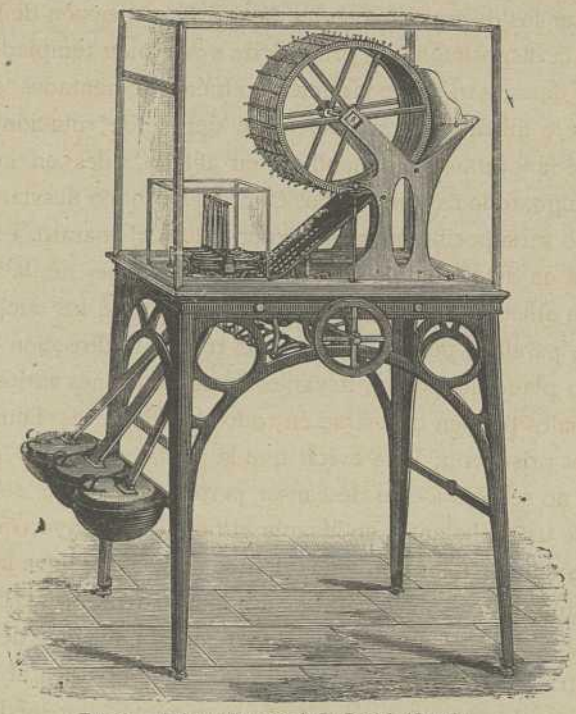


FIG. 64.—Balanza francesa de la Casa de Moneda.

pidez, que supone la economía de un número considerable de brazos. Los discos que resultan de poco peso, pasan á ser fundidos de nuevo; los de peso justo, después de limpiados químicamente, pasan á la máquina de acuñar, y los

de peso excesivo tienen que sufrir en una máquina especial un desgaste mayor ó menor en su masa. Una de estas balanzas de Seiss distribuye los discos pesados por ella en cinco suertes diferentes, según su peso. En semejantes principios se funda la balanza construída por Stückraht (fig. 63), así como la inventada por el baron Sanguier y adoptada por la Casa de Moneda de París (fig. 64).

EL PESO ESPECÍFICO

Refiere Vitruvio que el rey Hierón de Siracusa entregó á Arquímedes una corona de oro para que averiguase si el artista que la había construído había procedido con honradez, empleando en ella oro puro, como se le había ordenado, ó si, por el contrario, había puesto en el interior una aleación de menos valor que en la superficie. Queda sobrentendido que en tal investigación Arquímedes no debía alterar en lo más mínimo la bella forma de la corona. Cuenta también que Arquímedes encontró la salida de este atolladero estando en el baño, y lleno de gozo por ello, sin pensar siquiera en vestirse, corrió á su casa, gritando *Eureka!* (ya la encontré). ¿Cuál era esta solución?

Es una verdad reconocida hace mucho tiempo, y evidente por sí misma, que volúmenes iguales de los diferentes cuerpos no tienen el mismo peso. Por el contrario, sólo casualmente sucede que, colocados sobre los platillos de la balanza volúmenes iguales de dos cuerpos distintos, no alteren su estado de equilibrio. Un centímetro cúbico de oro puro pesa 19,3 gramos; un cubo igual de plata, 10,5 gramos; de hierro, 7,5, y el mismo volumen de agua pesa un gramo, como ya hemos visto en el capítulo del sistema métrico decimal.

Esta relación entre volumen y peso para cada cuerpo, permanece siempre la misma; siempre un centímetro cúbico de oro puro pesa 19,3 gramos, de plata pura 10,5, etc., y depende de la densidad propia de la sustancia en cuestión, cuya densidad misma puede expresarse por aquella relación. Naturalmente, es también constante la relación que guardan entre sí los pesos de volúmenes iguales de dos sustancias, como, por ejemplo, un centímetro cúbico de oro y un centímetro cúbico de hierro, en cuyo caso la relación es 19,3 : 7,5. Esta última relación se llama peso relativo, y el peso en gramos de la unidad de volumen, ó sea de un centímetro cúbico de cada sustancia, peso específico. Tomando los pesos relativos de cada cuerpo con relación al agua como unidad, los valores de éstos y los de los pesos específicos se confunden. Y de aquí que estos dos conceptos se confundan también generalmente. Volviendo á los pesos relativos, se obtendrán valores muy diferentes según los cuerpos que se comparen entre sí; pero comparándolos todos con uno mismo, que se toma por punto de partida, resulta una serie de valores en igual relación que los pesos específicos y que coinciden con éstos cuando la unidad de peso relativo es el agua destilada, como se adopta para

los sólidos y líquidos. De modo que decir que el peso específico ó relativo del hierro es 7,5, significa lo mismo que decir que un centímetro cúbico de hierro pesa 7,5 gramos, ó sea 7,5 veces tanto como un centímetro cúbico de agua destilada, que pesa un gramo.

Por medio del peso específico se puede calcular fácilmente el volumen de un cuerpo cuyo peso absoluto se conoce; dicho volumen está, con el de un peso igual de agua destilada, en relación inversa de los pesos específicos, y como el del agua es la unidad, resulta igual el volumen del cuerpo al cociente de dividir su peso absoluto por el peso específico de la sustancia que lo constituye.

En cuanto al peso específico de una mezcla, se comprende que ha de estar comprendido entre los pesos específicos de las sustancias que la forman, y que se acercará más al de la una ó al de la otra, según la proporción en que cada una de éstas éntre en la mezcla. Si, pues, la mezcla contiene sólo dos sustancias conocidas y éstas no han sufrido por mezclarse ningún cambio en su densidad, del peso específico de la mezcla podrá deducirse, mediante un cálculo sencillo, la proporción en que entran ambos componentes.

En tiempo de Arquímedes, el oro era el cuerpo más pesado que se conocía, y así no hubiera habido ninguna dificultad para resolver el problema planteado por el Rey, sobre si la corona contenía sólo oro ó había mezcla de otra sustancia, si á más del peso de la corona, dato fácil de obtener, se hubiera podido averiguar su volumen; cuando el peso absoluto de la corona no llegara al que debía tener un volumen igual al suyo de oro puro, se debería deducir una adulteración con un metal más ligero. En la determinación de este volumen estribaba la gran dificultad, toda vez que era imposible alterar la forma de la corona. Arquímedes concibió en el baño un nuevo método para este fin, observando que cuando la pila del baño estaba completamente llena, al introducir en ella un cuerpo, se derramaba un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido, cualquiera que fuese su forma. El agua derramada podía medirse fácilmente, y con este dato era igualmente fácil calcular lo restante.

Pero de la precedente observación se dedujeron también otras consecuencias más importantes. Como todo cuerpo sumergido en agua desaloja un volumen de ésta igual al suyo, se explicó por qué los cuerpos son más ligeros en el seno del agua como de otro líquido, que en el aire, y más aún que en el vacío. El agua desalojada por un cuerpo tiende á recobrar el sitio usurpado por el intruso, le empuja de abajo arriba, y, por consecuencia, equilibra una parte del peso del cuerpo igual al peso de la masa de agua desalojada.

Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde de su peso lo que pesa el volumen de líquido desalojado por él.—Este es el llamado principio de Arquímedes. Una piedra, un trozo de hierro, un trozo de madera, todos de igual volumen puestos dentro del agua, se aligeran los tres en una misma cantidad de peso;

así que si la piedra pesaba antes, por ejemplo, dos kilogramos, ahora no pesará más que uno; el hierro aún pesará 6 ½ kilogramos, cuando antes era su peso 7 ½ kilogramos; pero la madera, que antes en el aire sólo pesaba ¾ de kilogramo, muestra ahora una tendencia á ascender, y aun puede arrastrar en su ascenso una carga próximamente de ¼ de kilogramo. Si no existe esta carga ni lo impide ningún obstáculo, sube realmente hasta la superficie el trozo de madera y sobresale de ella en la cuarta parte de su volumen; pues sólo en este caso la presión de abajo arriba es igual al peso del cuerpo y puede equilibrarse con éste.

El cuerpo que abandonado á sí mismo en el interior del agua asciende hasta la superficie y sale en parte fuera del líquido, se dice que flota, y flotan todos los cuerpos cuyo peso es menor que el de un volumen igual de agua.

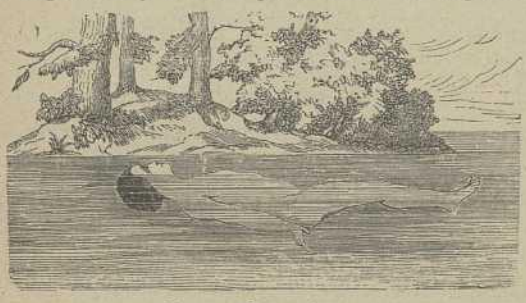


FIG. 65.—Cuerpo flotante.

El cuerpo humano, en conjunto, es más ligero que el agua, y la causa de que el náufrago se ahogue, no está en que descienda por su peso, sino en el miedo ó la intranquilidad ó la falta de fuerzas que no le dejan encontrar y conservar la posición precisa para que sea posible la respiración.

Si el cuerpo sumergido es tan denso como el agua que le rodea, no sobresale de la superficie ni sube ni baja por sí mismo, sino que queda en reposo en cualquier punto en que se le abandone en el interior del líquido. Todo cuerpo cuyo peso específico es menor que el del agua, flota en ésta y se sumerge exactamente una fracción de su volumen total, igual á su peso específico. Todo cuerpo cuyo peso específico es mayor que el del agua, se introduce en ella hasta llegar al fondo; pero mientras está sumergido se aligera su peso en una cantidad igual al peso del agua desalojada.

Como que hemos tomado al agua por unidad para los pesos relativos y específicos, resulta de lo dicho un procedimiento muy sencillo para determinar el peso específico de un cuerpo sólido más denso que el agua; se reduce á pesar el cuerpo primero en el aire y después sumergido en agua y á poner en relación la diferencia entre ambos pesos (que es el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo) con el número encontrado primeramente (el peso absoluto del mismo). Supongamos, por ejemplo, que un pedazo de oro pesara 25 gramos en el aire, y en el agua pesara sólo 23,5 gramos; el peso del agua desalojada sería igual á 1,5 gramos, y el peso específico de dicho oro $\frac{25}{1,5} = 16,666$. Ahora bien: como el oro puro tiene un peso específico de 19,3, nuestro trozo de oro debe estar adicionado de cuerpos más ligeros, los cuales han hecho disminuir su propia densidad. En cuanto se supiera la naturaleza del producto adi-

cionado y su peso específico, se podría averiguar seguramente, sin más datos, la cantidad de oro y materia extraña contenida en la mezcla.

El pesar un cuerpo dentro del agua no ofrece mucha dificultad; se puede utilizar para ello cualquier balanza á la cual se quita uno de los platillos, equilibrando el fiel en otra forma. El cuerpo que se quiere pesar se suspende por medio de un hilo delgado á un ganchito en el extremo del fiel, de modo que venga á caer en el centro de un vaso lleno de agua. Una balanza semejante constituye una especie de balanza hidrostática (fig. 66).

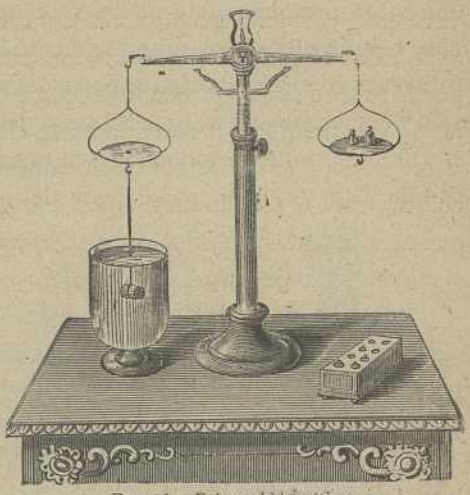


FIG. 66 —Balanza hidrostática para la determinación de los pesos específicos.

Otro método para determinar el peso específico de los cuerpos sólidos consiste en introducirlo en un frasquito lleno de agua, cuyo peso se debe haber determinado de antemano; el cuerpo desaloja una cantidad de agua igual á su propio volumen; de modo que después de sacar el frasco del agua y pesar éste de nuevo, el peso específico resulta de la diferencia. Un tercer método es el proporcionado por los areómetros.

AREÓMETROS

Estos pequeños aparatos descansan sobre el mismo principio, como base que la balanza hidrostática; esto es, pesan el cuerpo primero en el aire y después en el agua; pero lo realizan de un modo muy diferente. El más conocido de estos instrumentos es el areómetro llamado de Nicholson, del nombre de su inventor, físico inglés que vivió en la segunda mitad del siglo pasado (figuras 67, 68 y 69). Consiste en un cilindro hueco de latón, terminado por dos conos; del cono inferior pende un platillo muy pesado que sirve para sostener el cuerpo

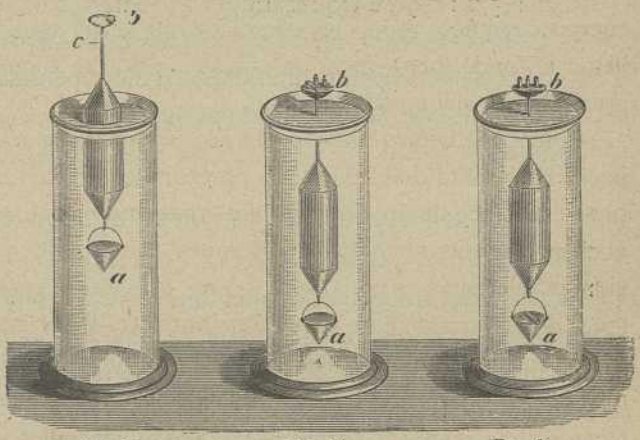


FIG. 67. FIG. 68. FIG. 69.

Areómetro de Nicholson y su aplicación para la determinacion del peso específico.

cuando se le quiere pesar dentro del agua, y al mismo tiempo para hacer que el centro de gravedad *a* (fig. 67) del aparato esté lo más bajo posible, con objeto de que el equilibrio sea estable. En la parte superior el cono se prolonga por una varilla delgada provista de un platillo *b* y que lleva una señal *c* en un punto de su longitud, llamado punto de enrase. Hasta él debe sumergirse siempre el aparato en el curso de las operaciones. Como el cilindro del areómetro es hueco, por sí solo se sumerge menos de lo que marca la señal, por ejemplo, como indica la fig. 67; para que se sumerja hasta el punto de enrase hay que añadir cierto número de pesas sobre el platillo superior. Si ahora, en lugar de estas pesas se coloca sobre el platillo un cuerpo, por ejemplo, una piedra preciosa, ya no habrá que añadir tantas pesas como antes para llevar el aparato al enrase, y la diferencia entre estas pesas y las anteriores representará el peso del cuerpo en el aire (fig. 68). Sólo resta una tercera operación para determinar la pérdida de peso del cuerpo en cuestión por su inmersión en el agua. Dicha pérdida se obtiene trasladando el cuerpo al platillo inferior y añadiendo en el superior las pesas necesarias para producir de nuevo el enrase (fig. 69).

Supongamos, por ejemplo, que se haya tenido que poner la primera vez sobre el platillo 20 gramos para sumergir el aparato hasta el punto de enrase, que la segunda vez sólo se haya necesitado 14,8 gramos con la piedra; resulta de aquí que ésta pesará 5,2 gramos; la tercera vez, cuando dicha piedra estaba sumergida en el agua, supongamos que se han colocado para el enrase 16,8 gramos sobre el platillo; la piedra, por consiguiente, actúa sólo con un peso igual á 20—16,8, ó sea con un peso de 3,2 gramos, y por consiguiente ha perdido 5,2—3,2, ó sea 2 gramos de peso; esto es lo que pesa el volumen de agua desalojado, y por consiguiente el peso específico de la piedra estará dado por la relación 5,2 : 2 y se expresará por el número 2,6.

En determinaciones muy exactas habrá que tener en cuenta que en el aire todos los cuerpos experimentan también una pérdida de peso correspondiente al peso del volumen de aire que desalojan.

ALCOHÓMETROS, VOLÚMETROS, PESALICORES, ETC.

El areómetro ha adquirido una importancia especial por su aplicación á la determinación del peso específico de los líquidos. Cuando se trata de disoluciones de un cuerpo sólido en un líquido, ó de mezclas de varios líquidos, la determinación del peso específico es, no sólo el más cómodo, sino también á veces el medio más seguro para el reconocimiento de las proporciones en que está contenido cada uno de estos elementos en la mezcla.

En las fábricas de productos químicos, como en los laboratorios, el éxito de muchas operaciones depende del grado de concentración de las disoluciones. Es

preciso poder ensayar de un modo expedito la riqueza en sales cristalizables de un líquido sometido á una evaporación pues de la concentración que adquiere depende la marcha de la manipulación, y este resultado se consigue por medio del peso específico. Todas las disoluciones salinas, los ácidos, el amoniaco líquido, las disoluciones de cloruro de cal (hipoclorito), vidrio soluble, etc., etc., son sometidas á ensayos de su peso específico para saber la proporción en que contienen la sustancia verdaderamente útil con respecto al agua; y así, el precio de estos numerosos productos comerciales se establece según los datos proporcionados por su peso específico. Pero donde encuentran un uso más común los areómetros, es en las destilerías para apreciar el valor de los preparados alcohólicos, aguardientes, espíritus, etc.

Para determinar el peso específico de los líquidos, se podría emplear sencillamente el areómetro de Nicholson. Si, por ejemplo, el peso del areómetro, más las pesas colocadas sobre el platillo para que enrase en el agua, sumara 20 gramos, y dicho aparato con las pesas necesarias para enrasar en un ácido sulfúrico diluído, suman 25 gramos, tendremos que un mismo volumen de este último pesa 1,25 veces más que el agua; y como ésta se toma también por unidad de peso relativo respecto á los líquidos, el peso relativo ó específico de este ácido sulfúrico diluído será 1,25. El ácido sulfúrico inglés completamente puro tiene por densidad 1,84. Averiguado, pues, el peso específico de un ácido sulfúrico intermedio entre 1 y 1,84, se podrá determinar su composición centesimal sin más que recurrir á una tabla construída al efecto, y graduada por experiencia. Pero para las necesidades prácticas, el areómetro de Nicholson ha sufrido algunas modificaciones, que le han hecho más apropiado á este objeto

FIG. 70
Densímetro ordinario.

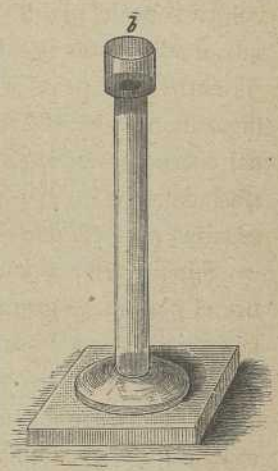


FIG. 71.
Densímetro con termómetro, *b Probeta.*

Los densímetros ó areómetros ordinarios (fig. 70) constan de un cilindro hueco, pero no llevan platillos; generalmente son de vidrio, con objeto de que se pueda leer la escala que llevan en su interior, y están cerrados al soplete por ambos extremos, llevando en el inferior una esferita con unas gotas de mercurio, ó bien unos perdigones, con objeto de que el aparato se mantenga en equilibrio en la posición vertical. Cuanto más ligero sea un líquido, tanto más se sumergirá en él un tal areómetro, cuyo peso permanece siempre constante. La escala del instrumento da el peso específico correspondiente, y por medio de tablas especiales se puede averiguar la composición del líquido. Para mayor comodidad se han construído también areómetros de uso especial

en las diferentes clases de líquidos, cuyas escalas oscilan entre pequeños límites, y ofrecen la ventaja de que sobre ellas, en lugar de los pesos específicos, se encuentran ya consignadas las composiciones centesimales de los líquidos correspondientes. De esta suerte son los alcohómetros, lactómetros, pesajarabes, pesalicores, etc.

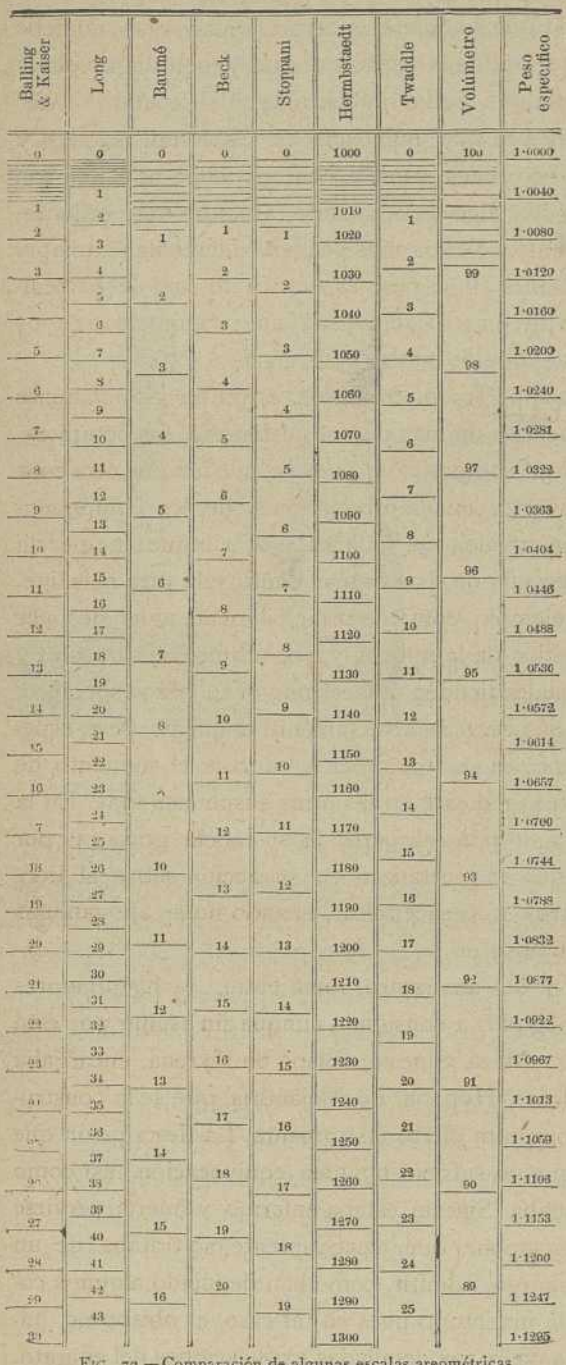


FIG 72.—Comparación de algunas escalas areométricas.

Desgraciadamente en la formación de tales escalas ha tomado demasiada parte la vanidad de los inventores y perfeccionadores, introduciendo una lamentable confusión en el público en general. Hay, por ejemplo, un gran número de areómetros que no se diferencian entre sí más que por la insignificancia de tomar el peso específico del agua como 10, cuando se trata de líquidos más ligeros que el agua, y como 1 para líquidos más densos que ella. Otras veces la graduación de las escalas difiere de unos á otros, sin razón que lo justifique, y según que se llamen de Stoppani, de Richter, de Cartier, de Baumé, etc. (figura 71). El volúmetro específico de Gay-Lussac está dispuesto de modo que su escala da directamente la fracción del volumen, que se sumerge en el líquido con relación al que se sumerge en el agua por unidad. Como los pesos específicos de los líquidos están en razón inversa del volumen de ellos que desaloja un mismo cuerpo para flotar, es sumamente fácil calcular

por este volumen el peso específico, y esta escala es de las más racionales.

Se completa generalmente el equipo de los areómetros con una probeta de pie, en la cual se pone el líquido que se quiere ensayar. Dicho vaso no debe ser muy estrecho, para que las acciones capilares que tienen lugar en la proximidad á las paredes no influyan en las indicaciones del aparato. Además, la temperatura ejerce también mucha influencia en estas indicaciones, y para que durante la experiencia no pueda cambiar en un valor notable, son siempre preferibles vasijas de cabida algo más grande. Cuanto más caliente, más ligero es un líquido, y en los alcoholes, la más pequeña diferencia de temperatura determina ya cambios notables en su peso específico; lo cual se ha tenido en cuenta, por lo que á todo areómetro acompaña un termómetro, cuyos datos entran en los cálculos con ayuda de tablas apropiadas.

Empleados con escrupulosidad los areómetros, son aparatos grandemente útiles; pero cuando se trata de mezclas de más de dos sustancias, son completamente insuficientes para apreciar su composición, pues no pueden dar otra cosa que la densidad media del conjunto, nunca proporciones de los componentes. En este sentido tampoco tienen valor sus indicaciones, aunque la mezcla sea sólo de dos sustancias, cuando una de ellas es más densa y la otra más ligera que el agua. La cerveza, por ejemplo, contiene principalmente agua, después alcohol, que rebaja el peso específico de la mezcla, y, por último, azúcar, sales y materias extractivas, todas las cuales tienden á hacer mayor su peso específico; pueden, por consiguiente, tener dos cervezas exactamente el mismo peso específico, y sin embargo distar mucho en su composición, si con el aumento de alcohol coincide un aumento correspondiente en las otras sustancias fijas. En la leche sucede lo mismo: se tiene aquí por una parte la sustancia grasa, y por otra el azúcar de leche y sales, que se neutralizan en su acción sobre el areómetro. De aquí que los lactómetros y pesacervezas, cuando no se apoyan más que en el peso específico, son un absurdo.

En cuanto al descubrimiento del areómetro, reina entre los historiadores una leyenda que nos creemos obligados á consignar, aunque sin asumir por esto ninguna responsabilidad sobre su certeza. Sinesio, obispo de Kyrena, encargaba en una carta á su maestra la célebre Hypatia, de Alejandría, que se le construyera en dicha ciudad ó que le comprara cierto instrumento. La descripción que hacía á Hypatia con el fin de que no sufriera ninguna equivocación, así como también el objeto á que lo destinaba (Sinesio estaba enfermo y quería servirse de él como hidroscopio), hacen suponer que, efectivamente, se trataba de un areómetro. No se puede, sin embargo, admitir, como han deducido algunos comentaristas, que Hypatia fuera la inventora; pues en tal caso, el obispo no hubiera tenido necesidad de darle tantas y tan detalladas explicaciones del aparato. Lo que resulta del hecho de que una mujer tan instruída como Hypatia no tuviera, como parece que no tenía, idea del areómetro, es que éste debía ser poco

conocido en Alejandría 400 años después de Jesucristo. (Hypatia fué asesinada en el año 415.)

En una poesía latina del siglo VI, que se atribuye al gramático Priscianus, se encuentra una descripción verdadera del areómetro. En Alemania, el uso de semejante instrumento para el ensayo de aguas es antiguo, y un libro publicado en 1603 (la *Halographia* de Thoelden) contiene una descripción detallada del mismo. En su forma actual, de vidrio y con escala, debió aparecer primeramente en 1675, cuando el conocido físico Roberto Boyle le propuso para pesar la moneda. Por la misma época fué también empleado la primera vez por Boyle y Cornelio Mayer para la determinación de los pesos específicos. Nicholson describió su areómetro de peso variable en 1787, y el año siguiente un tal Richardson construyó un pesacervezas, Bayet un pesalicores y aguardientes, y á partir de entonces se han multiplicado las modificaciones, de cuyo valor nos hemos ocupado ya.

PÉNDULO

Y

FUERZA CENTRÍFUGA

Galileo-Galilei.—Descubrimiento de las leyes del péndulo.—Leyes de la caida de los graves.—Movimiento uniformemente acelerado y uniformemente retardado.—Aplicaciones del péndulo.—Relojes de péndola.—Péndulo de segundos.—Péndulo compuesto.—Metrónomo de Maelzel.—Péndulo de reversión.—Experiencia de Foucault.—Diversidad de los péndulos de segundos sobre la tierra.—Aplanamiento de ésta.—La fuerza centrífuga.—Experiencias de Plateau sobre la formación de Saturno.—El regulador de fuerza centrífuga.—Hidroextractor.

El 18 de Febrero de 1864 se celebró uno de los jubileos más notables que haya podido tener ocasión de celebrar la humanidad. En este día se cumplían 300 años del nacimiento de Galileo-Galilei.

Y no son los descubrimientos aislados realizados por este genio los que han tenido virtud para hacerle tan grande, tan luminoso, tan iniciador de nuevos horizontes; no son ellos los que dieron al día de su nacimiento el brillo de un día santo; más principalmente se debe esto á haber disipado él la densa niebla que se cernía sobre las inteligencias en aquella época, que mantenía aferrados á las ideas antiguas aun á los más doctos, sólo porque databan de algunos miles de años, ó más bien, tal vez, porque iban unidas al nombre indiscutible de Aris-

tóteles. Galileo destruyó el viejo edificio, pero no sin echar nuevos cimientos y poner en manos de los obreros que habían de sustituirle, los medios para que la nueva obra tuviera mayor solidez.

Galileo (fig. 73) fué un verdadero iniciador; su tiempo forma época en la historia de la ciencia. Mas si queremos asistir al acto de abrirse una sola flor, la más hermosa que produjo su genio, trasladémonos con la imaginación bajo las sombrías bóvedas de la catedral de Pisa. Estamos en presencia de una gran ceremonia religiosa. Parten del coro melodiosas ondas que llenan el frío recinto; las luces de cientos de bujías oscilan entre las espesas nubes de incienso esparcidas alrededor del altar mayor por sacerdotes que se mueven en silencio; una multitud compacta llena las naves, moviéndose de aquí para allá y arrodillándose maquinalmente, según antigua práctica. Por las claraboyas del techo trata de penetrar la clara luz del día, pero ningún rayo consigue iluminar las frentes. En este lugar, el sol no tiene otra misión que dar á las escamas de cristal de los lucernarios sus misteriosos y variados colores; en un espíritu brilla, sin embargo, una claridad muy distinta; un estudiante de dieciocho años, el joven Galileo, está allí apoyado en una columna.

FIG. 73.—Galileo-Galilei.

Su padre, perteneciente á una noble familia de Pisa, le había destinado para el comercio, y sólo con objeto de que su educación fuera más completa, le dedicaba al estudio de las ciencias. Pero el espíritu precoz del adolescente reconoció pronto que su misión era otra que traficar en sedas ó drogas. Concurrió á la Universidad de su ciudad natal, cultivando en ella la medicina y la filosofía aristotélica; pero mientras los otros repetían, crédulos, cuanto oían, él, por el contrario, concebía el intento de comprobar. Para él todo respiraba orden y armonía. Ninguna otra ley que las que la Naturaleza misma revela, puede abarcar la esencia de las cosas, se decía. Él no daba ningún valor á las opiniones de otros hombres, sino en cuanto reconocía en ellas la expresión clara de la naturaleza misma, y tales opiniones eran escasas.

Galileo estaba, pues, destinado, y pronto se habituó á ello, á abandonar los derroteros seguidos rutinariamente por sus contemporáneos. Galileo tenía ideas propias, y en compañía de ellas estaba también en la catedral en medio de aquel torbellino humano.

En nada influía sobre él aquel barullo aturdidor. Su mirada, siempre fija hacia un mismo sitio, seguía atentamente el movimiento pausado de una lámpara de corona, pendiente de la alta bóveda, y en cuyas oscilaciones adivinaba cierta regularidad. La lámpara recorría siempre, y en el mismo tiempo, el mismo arco, con igual amplitud hacia ambos lados; cuando había perdido la fuerza de un impulso, comenzaba á retroceder, primero lentamente, después con velocidades crecientes hasta el centro; desde aquí iba retrasándose hasta que al fin volvía á retroceder por el otro lado y á recorrer de nuevo el mismo camino y en igual forma. Pero detrás de esta lámpara oscila otra, y lo verifica en las mismas condiciones para sí propia, aunque más rápidamente, según comprueba el precoz Galileo por medio de su pulso. Ambas tienen la misma forma y el mismo tamaño, y se encuentran en circunstancias análogas; sólo que la primera está suspendida de un punto de la bóveda más alto que la que oscila más de prisa; ¿tendrá acaso influencia sobre el fenómeno, puramente matemático, del movimiento oscilatorio, la longitud de la cuerda?

Semejante observación, y el estudio del problema que en ella se propuso, están relacionados, según la tradición, con el primer descubrimiento de Galileo, el de las leyes del péndulo; descubrimiento que por su origen, fundado en la observación directa, y por su carácter geométrico, inició un nuevo método de investigación y señaló un momento culminante en el desarrollo de la ciencia.

EL PÉNDULO

Se llama péndulo á una masa pesada suspendida de un punto fijo y movible libremente á su alrededor, de suerte que pueda oscilar en cualquier sentido por la acción de una fuerza tractora ó impulsora. En el péndulo ordinario, esta fuerza que solicita á la masa hacia una posición de equilibrio, es la gravedad. Ella atrae á la masa del péndulo y la pone en oscilación, así que se ha sacado el centro de gravedad de la vertical que pasa por el punto de suspensión.

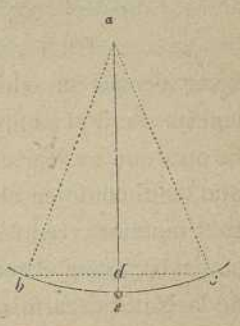


FIG 74.—Péndulo simple.

Si suponemos que la masa pesada sea un solo punto material, y que la suspensión se produzca por un hilo inextensible y sin peso, tendremos en tal caso el llamado péndulo simple ó matemático. Semejante péndulo no existe en la Naturaleza; pero su admisión facilita el desarrollo de las leyes del movimiento oscilatorio. Los péndulos ordinarios, inclusos los más sencillos que podamos construir, suspendiendo, por ejemplo, una pequeña esfera metálica por medio de un hilo de seda, están todos sometidos á la influencia de rozamientos, por la resistencia del aire y por otras causas que, aunque pequeñas, producen un efecto apreciable sobre sus movimientos.

Sea *a* (fig. 74) el punto de suspensión; *e*, el punto material pesado de un péndulo simple; *ae* será la posición de equilibrio. Si ahora se separa la masa hacia *c*, y aquí se deja libre, tenderá á aproximarse al centro de la tierra, á caer en virtud de su peso. Los principios de donde se deducen las leyes de su movimiento son los mismos que se aplican á las de la caída de los cuerpos, y nos conviene, por tanto, establecer los más importantes.

CAÍDA DE LOS GRAVES

Mientras que en el espacio celeste, supuesto absolutamente vacío, todo cuerpo, una vez puesto en movimiento con cierta velocidad y en determinada dirección, seguiría eternamente moviéndose en esa misma dirección rectilínea, y siempre con la misma velocidad, toda vez que no existe ninguna resistencia ni causa que pudiera quitarle ni aumentar su fuerza propia, ni existe tampoco ninguna otra causa cuya acción pudiera determinar un cambio en su dirección, en la proximidad de otros cuerpos, por el contrario, todo movimiento es influído por la atracción recíproca de las masas. Una piedra lanzada oblícuamente á lo alto, no puede persistir en su primitiva dirección rectilínea; la gravedad la atrae hacia el centro de la tierra, y como ésta actúa sin interrupción, se origina bajo la influencia de los dos impulsos (el comunicado á la piedra y el de la gravedad) un movimiento resultante, en virtud del cual recorre una trayectoría particular. En este movimiento la velocidad es variable, pues de la fuerza comunicada á la piedra para alejarla de la tierra se van restando continuamente porciones sucesivas en virtud de la acción de la gravedad, también continua; de modo que su movimiento ascensional es cada vez más lento *(uniformemente retardado)* hasta hacerse nulo, y desde este momento ya obra solamente la misma fuerza de gravedad en el sentido vertical, y comienza el descenso. Si el impulso con que se lanzó la piedra fué vertical de abajo á arriba, la trayectoría se reduce á esta línea recta, puesto que la gravedad obra en su misma dirección, aunque en el sentido de arriba á abajo. En el caso en que la piedra es lanzada horizontalmente, la trayectoría recorrida tiene la forma de una parábola, como podemos reconocer desde luego por la observación directa, y podemos también deducir con facilidad teóricamente sobre el papel.

Cuando dejamos caer libremente la piedra desde un punto elevado, de modo que obedezca sólo á la atracción de la tierra, no por esto es tampoco uniforme su movimiento. La experiencia enseña que en el primer segundo recorre un espacio de 4,9 metros; en el segundo, $3 \times 4{,}9 = 14{,}7$ metros; en el tercero, $5 \times 4{,}9 = 24{,}5$ metros; en el cuarto, $7 \times 4{,}9 = 34{,}3$ metros, y así sucesivamente; de modo que al cabo de cuatro segundos ha recorrido una altura total de $34{,}3 + 24{,}5 + 14{,}7 + 4\,9 = 78{,}4$ metros. Enseña también la expe-

riencia que al final del cuarto segundo llega el móvil al extremo inferior de su carrera con una velocidad adquirida de 39,2 metros, mientras al fin del tercer segundo tiene adquirida la velocidad de 29,4 metros, al terminar el segundo 19,6 metros, y al terminar el primero 9,8 metros. Estos valores, que corresponden á las leyes del movimiento *uniformemente acelerado*, son naturalmente aplicables sólo á la caída sobre la Tierra. Sobre el Sol, por ejemplo, serían mucho mayores, aunque guardaran entre sí las mismas relaciones, pues allí es también considerablemente mayor la gravedad, así como, en cambio, sobre la Luna serían mucho menores por razones idénticas. Las leyes del movimiento uniformemente acelerado se expresan de un modo general en la forma siguiente: primera, las velocidades adquiridas son proporcionales á los tiempos; por esto, si al final del primer segundo de caída libre de un cuerpo la velocidad adquirida es 9,8, al cabo de dos, tres, cuatro segundos, serán respectivamente $2 \times 9{,}8 = 19{,}6$, $3 \times 9{,}8 = 29{,}4$ metros, etc. Segunda ley: los espacios parciales recorridos en cada unidad de tiempo sucesiva crecen como los números impares ($1 \times 4{,}9$; $3 \times 4{,}9$; $5 \times 4{,}9$; etc.). Tercera ley: los espacios totales recorridos en los tiempos transcurridos desde el comienzo del movimiento son entre sí como los cuadrados de estos tiempos ($1 \times 1 \times 4{,}9$; $2 \times 2 \times 4{,}9$; $3 \times 3 \times 4{,}9$, etc.).

Galileo descubrió estas leyes del movimiento uniformemente acelerado en sus experiencias desde la torre de Pisa con cuerpos que caían libremente; pero no las dió publicidad hasta 1638, en que lo hizo en su tratado de mecánica. Entonces propuso también el plano inclinado como un medio muy á propósito para demostrarlas experimentalmente, toda vez que una esfera que cae por un plano inclinado lleva menores velocidades que cayendo libremente, mientras que las relaciones entre velocidades adquiridas, espacios recorridos y tiempos transcurridos, siguen siendo las mismas. La máquina inventada mucho tiempo después por el inglés Atwood permite observar de manera aún más cómoda estas mismas leyes.

Como hemos dicho, las leyes de la caída se realizan también en los movimientos del péndulo, de tal suerte, que las leyes del péndulo no son más que un caso particular de aplicación de aquéllas. Se trata simplemente, por una parte, de la caída desde un punto más alto, hasta otro situado más bajo, y por otra parte de una ascensión á la misma altura por efecto de la inercia, ó sea de la fuerza viva que la masa pesada había adquirido durante la caída anterior; una especie de descenso y ascenso sucesivo por un plano inclinado, ó bien sobre un trayecto curvilíneo, que se considera del mismo modo que un plano inclinado.

La frase *fuerza viva* para expresar la condición de la materia en movimiento, fué empleada la primera vez por Leibnitz, quien probablemente se inspiró en Galileo, que en sus disertaciones sobre mecánica se servía á menudo de la frase *peso morto*, para significar una fuerza en estado de equilibrio.

En la primera mitad del movimiento del péndulo, durante la caída, la velocidad va continuamente acelerándose, mientras en la segunda mitad, durante el ascenso, se retrasa también continuamente y en la misma proporción. En el centro, donde la masa pesada ocupa la posición más baja, es también donde posee la máxima velocidad, la cual, según una ley fácilmente demostrable, es exactamente igual á la que habría adquirido esta masa si, en vez de caer desde *c* hasta *e* por el arco (fig. 74), hubiera caído verticalmente desde *d* hasta *e*.

En cuanto á la duración de una oscilación, esto es, el tiempo invertido en un vaivén, no tiene sobre ella ninguna influencia ni la sustancia ni el peso de la masa del péndulo, del mismo modo que para amplitudes no muy grandes es indiferente también el valor de esta amplitud. Influye únicamente en un mismo punto de la tierra la distancia desde el centro de gravedad *e*, al punto de suspensión, ó sea la longitud del péndulo. Cuanto más pequeña es esta longitud, más rápidamente oscila el péndulo; y, más exactamente, los tiempos de las oscilaciones de dos péndulos de distinta longitud son proporcionales á las raíces cuadradas de estas longitudes. Un péndulo de un metro de largo da dos oscilaciones, mientras otro de cuatro metros sólo verifica una.

APLICACIONES DEL PÉNDULO

La uniformidad en la duración de las oscilaciones del péndulo no podía menos de revelarse como un medio muy adecuado para la medición exacta del tiempo; y, efectivamente, Galileo mismo indicó ya la aplicación del péndulo á este objeto. En una carta de 5 de Julio de 1639, dirigida al almirante Lorenzo Realis, á la sazón Gobernador de la Compañía holandesa de las Indias Orientales, con el cual estaba en negociaciones á propósito de sus deseos de emigrar á Holanda, decía entre otras cosas: «Para medir el tiempo, me sirvo de un péndulo de cobre ó de latón, al cual doy la forma de un sector de doce á quince grados, y cuyo radio mide cuatro palmos; hago grueso el sector por su centro y muy aguzado en los dos extremos, con objeto de evitar en lo posible la resistencia del aire. En su centro tiene un agujero, por el cual pasa una barra de hierro como aquella alrededor de la cual se mueve la balanza. y este hierro termina inferiormente en un vértice agudo y descansa sobre dos sostenes de bronce.» «Si ahora (dice más adelante) se separa el sector de la posición vertical de equilibrio, y se abandona á sí mismo, describe una porción de oscilaciones antes de pararse. Mas para que esas oscilaciones continúen y tengan siempre bastante amplitud, es preciso que el interesado le comunique de tiempo en tiempo un fuerte impulso.»

Para contar las oscilaciones, propuso Galileo colocar delante una pequeña rueda dentada que avanzara un diente á cada oscilación. No sabemos si un apa-

rato de medida del tiempo al cual hace referencia Galileo en una carta á su amigo Micanzio (5 de Noviembre de 1637), estaría también dispuesto en igual forma; pero según escribe Galileo, debía señalar, no sólo horas, sino también minutos y segundos. A pesar de todo, y por descripciones posteriores, no puede considerarse este instrumento sino como muy defectuoso é imperfecto. Pero, sin embargo, hubiéramos cometido una injusticia al haber arrojado su recuerdo al montón de las cosas inútiles, como hacen los que atribuyen al matemático Huyghens (fig. 75) el descubrimiento único y primitivo del reloj de péndola. Es muy cierto que los perfeccionamientos más esenciales, principalmente el escape de áncora y la adición de las pesas por las cuales se sostiene en marcha el reloj, proceden exclusivamente de él (1657); pero no por esto debe usurparse á Galileo la gloria de haber expuesto la primera idea.

FIG. 75.—Huygaens.

La fig. 76 muestra en qué forma aplicó Huyghens el péndulo para poner en marcha el mecanismo del reloj. El péndulo *L* oscila á uno y otro lado alrededor de su suspensión *a*, arrastrando consigo la horquilla *A B*, que gira en su parte superior alrededor del eje *O*. Unido al mismo eje se mueve con él un tope llamado áncora (por su forma) y que engrana por sus dos puntas en forma de gancho, *m* y *n*, en los dientes de la rueda *R*. La rueda misma es puesta en rotación por la acción de un peso que cuelga de su eje, pero no puede girar sin interrupción, porque siempre á cada diente se interpone el áncora por uno ú otro de sus ganchitos. A cada oscilación del péndulo, estas interposiciones sufren una tregua, durante la cual la rueda avanza un diente, y por efecto del pequeño choque que comunica al áncora al tropezar con uno ú otro de sus ganchos, la vara del péndulo *T* recibe por intermedio de la horquilla un impulso, que conserva constante la amplitud de sus oscilaciones. Finalmente, el número de dientes de las ruedas que ponen en rotación las agujas de minutos ó segundos, depende del intervalo entre los choques consecutivos. Haciendo subir ó bajar el centro de gravedad del péndulo, lo cual se consigue corriendo la lenteja *L* á lo largo de la varilla, se pueden producir pequeñas correcciones en la marcha del reloj.

Al acortarse ó alargarse el péndulo de un reloj, varía la marcha de éste, haciéndose más rápido en el primer caso y más lento en el segundo. Pero tales alteraciones se producen también espontáneamente, por los cambios de temperatura á los cuales están sometidos siempre los relojes, y desde muy antiguo se ha reconocido una influencia perturbadora sobre la exactitud de los mismos. Desde muy antiguo también se ha intentado, si no impedir esta acción, neutralizar al menos sus efectos. Graham discurrió muy racionalmente en 1715 el notable artificio, que todavía está hoy en uso, y que consiste en corregir la acción perjudicial por la misma fuerza que la causa; pues obtuvo la constancia en la distancia del centro de oscilación al punto de suspensión, adaptando á la varilla del péndulo, en lugar de una masa pesada en forma de lenteja, un vaso cilíndrico con mercurio. Cuando el calor dilata la varilla, tendiendo con esto á hacer bajar el centro de gravedad, el mercurio, por otra parte, se dilata en el vaso, y ascendiendo su nivel tiende por esto á elevar el centro de gravedad. Por observaciones ó tanteos se obtiene fácilmente la cantidad de mercurio con la cual se anula la diferencia entre estas dos acciones opuestas.

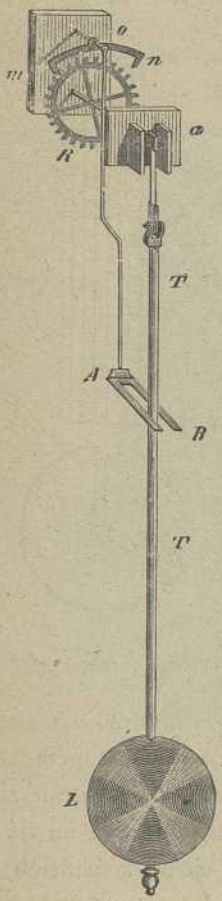


Fig. 76.—Péndulo de reloj.

Estos péndulos de compensación están aún, como hemos dicho, en uso; pero otra aplicación del mismo principio ha adquirido mayor generalidad. En ésta la varilla del péndulo no consta de una sola barra, sino de un sistema de barras de diferentes metales, cuyas dilataciones por el calor se neutralizan entre sí. La imagen de la fig. 77 aclara lo dicho; la varilla de este péndulo (que los alemanes llaman, por su forma, péndulo de parrilla ó asador), consta de un sistema de nueve barras, de las cuales las unas se prolongan por su dilatación hacia arriba y las otras hacia abajo. Si la varilla central *d* es de hierro, por ejemplo, se hacen también de hierro las barras *c b* y sus simétricas del otro lado del eje; pero en cambio las barras *a'* *b'* y sus simétricas, que son las negras en el dibujo, se hacen de otro metal algo más dilatable por el calor, como el latón. Si ahora se han calculado previamente las longitudes respectivas de modo que la dilatación total de las barras de hierro sea igual á la dilatación de las de latón, el centro de oscilación *o'* permanecerá siempre exactamente á la misma distancia del punto de suspensión *o*.

PÉNDULO DE SEGUNDOS

En las operaciones físicas se utiliza frecuentemente para medir el tiempo un simple péndulo de segundos, es decir, un péndulo en el cual la duración de una oscilación es exactamente un segundo. La determinación de su longitud precisa para poderle reproducir en cualquier momento, no es tan fácil como parece, pues como sólo se consigue á fuerza de ensayos, hay que adoptar los medios más convenientes para que las oscilaciones se repitan durante bastante tiempo. Para esto la primera condición es disminuir en lo posible los rozamientos. Una vez observado un número considerable de oscilaciones y calculada la duración de una sola, hay que determinar la distancia del centro de gravedad al punto de suspensión, lo cual ofrece no pequeñas dificultades. En efecto: hay mucha diferencia de que el cuerpo pesado que oscila esté suspendido por medio de un hilo sin peso, ó cuyo peso pueda despreciarse, á que la varilla misma tenga un peso considerable. De tal suerte, las leyes del péndulo, tan simples por sí mismas, adquieren gran complicación, que aumenta todavía cuando el punto de suspensión está situado en un punto intermedio de la longitud de la varilla, de modo que hayan de ser puestas en movimiento masas pesadas por encima y por debajo del punto de suspensión.

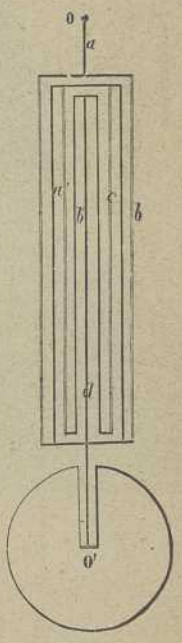


FIG. 77.
Péndulo de compensación

Este caso se presenta en el metrónomo representado por la fig. 78, y que ha recibido del de su inventor el nombre de metrónomo de Maelzel. Es éste el pequeño aparato que se emplea en música para la medida precisa del compás de los aires musicales. Las partes principales son una esfera pesada de plomo adaptada á una varilla que puede oscilar alrededor de un eje horizontal. Esta varilla se prolonga hacia arriba más allá del eje de suspensión, y lleva sobre esta prolongación, que está provista de una escala, un contrapeso. Todo lo demás es secundario. El mecanismo de relojería sirve para conservar su marcha al aparato durante algún tiempo. La densa esfera inferior obra siempre á la misma distancia del eje, y oscilando por sí sola, podría también proporcionar oscilaciones isócronas; pero así tiene que arrastrar al contrapeso, el cual tiende siempre á producir un movimiento en sentido contrario que la esfera, y por esto se hacen más lentas las oscilaciones, y tanto más, cuanto más alto se fije su contrapeso. Todavía podrían cesar éstas completamente, cuando el contrapeso esté bastante elevado sobre la varilla para que la distancia del centro de gravedad de la parte superior al eje de rotación esté, con la distancia al mismo eje del centro de gravedad de la parte inferior, en razón inversa de los pesos de

ambas partes. Tendríamos entonces una palanca de primer género que permanecería en equilibrio en cualquiera posición. Cuanto más próximo esté, pues, el contrapeso del centro de suspensión, tanto menor es su acción retardatriz, y tanto más se acerca la duración de las oscilaciones á lo que sería si existiera sola la esfera inferior.

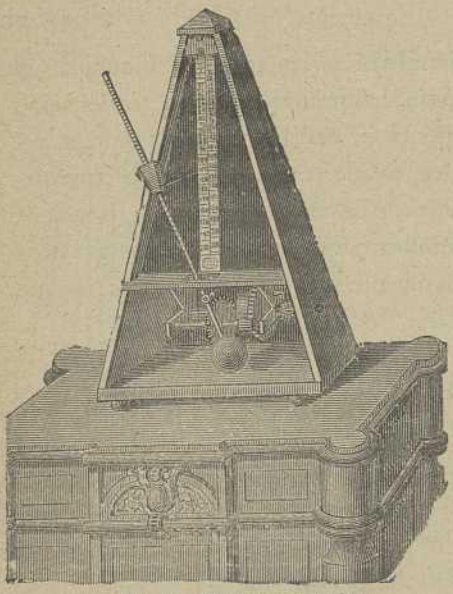


Fig. 78.—Metrónomo de Maelzel.

El metrónomo de Maelzel, y en general los péndulos materiales de forma cualquiera, son llamados péndulos compuestos, esto es, tales que su masa no puede considerarse como un solo punto material. Cuando se habla de la longitud de dicho péndulo (y en rigor, como hemos dicho, todos los cuerpos oscilantes en la Naturaleza son péndulos compuestos), se quiere expresar la longitud que debería tener un péndulo simple ó matemático para que oscilara con su misma rapidez. El punto que da por su distancia al centro de rotación, la longitud de dicho péndulo simple equivalente en la duración de sus oscilaciones, constituye el *centro de oscilación;* éste no es forzoso que esté situado precisamente en la masa de la lenteja, sino que, como sucede muchas veces en el metrómono mismo, por ejemplo, puede caer fuera de ella.

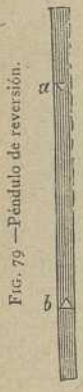


Fig. 79.—Péndulo de reversión.

La determinación de la distancia entre el centro de oscilación y el punto de suspensión se verifica por medio del *péndulo de reversión* (fig. 79). Se funda éste en que si se adapta un cuchillo ó prisma al centro de oscilación de un péndulo compuesto (como una barra prismática completamente homogénea), y luego se suspende el péndulo de esta arista, el anterior centro de suspensión es centro de oscilación en la nueva posición del péndulo. Se tantea, pues, hasta conseguir que el péndulo dé una oscilación en el mismo tiempo en ambas posiciones, y la distancia entre las dos aristas da entonces la longitud deseada. Si hacemos que la duración de una oscilación, suspendido el péndulo de una ú otra arista, sea exactamente de un segundo, podemos de este modo averiguar fácilmente la longitud del péndulo de segundos. De la operación de invertir los dos puntos ha recibido este aparato el nombre de péndulo de reversión. Su descubrimiento procede del físico alemán Bohnenberger; sin embargo, el inglés Kater por vez primera, y sin tener ninguna noticia de la idea de Bohnenberger, hizo de él transcendentales aplicaciones á la geografía física.

EXPERIENCIA DE FOUCAULT

Así como por su desviación en la proximidad á las grandes montañas el péndulo nos ha proporcionado un medio para determinar la masa y densidad de la Tierra, así como muestra claramente (y de ello pronto nos convenceremos) la forma exterior de la misma, también puede servir el péndulo para demostrar la rotación diurna de la tierra alrededor de su eje, y de ello Foucault realizó en el año 1850 aquella prueba tan evidente, que habla directamente á los sentidos del observador, y que es más convincente que el movimiento aparente

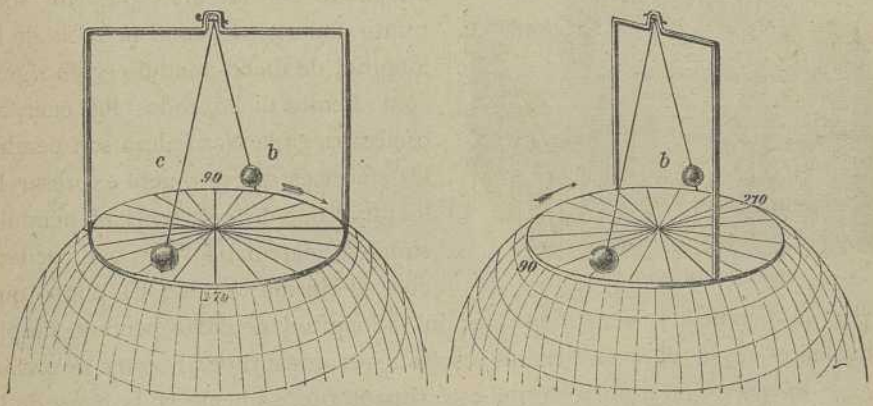


FIG. 80. Conservación del plano de oscilación. FIG. 81.

de las estrellas, toda vez que nos permite advertir cómo el suelo se escapa bajo nuestros pies, con relación á un objeto inmediato.

La experiencia de Foucault se funda en la ley general de que un cuerpo que oscila ó que gira, ó en general que se mueve en un plano en cualesquiera circunstancias, tiene, en virtud de la inercia, la tendencia á seguir siempre moviéndose en el mismo plano, á conservar, como se dice, *su plano de oscilación*. En la vida ordinaria encontramos multitud de ejemplos de esta ley, desde la peonza, que girando sobre su punta constituye un verdadero balancín, hasta el proyectil, que adquiriendo en el interior del cañón rayado un movimiento rotatorio, y por su tendencia á conservar este plano de rotación, garantiza el seguro recorrido de la trayectoría deseada.

En virtud de la misma ley, el péndulo oscilante tiende también á conservar su trayectoría, su plano de rotación, independientemente de toda otra circunstancia. Supongamos, por ejemplo, que en la fig. 80 esté suspendido al gancho *a* el hilo de una densa plomada. y que ésta se ponga en oscilación en virtud de un impulso verificado en la dirección *a b c*. La plomada conservará esta dirección, aunque el sostén, el círculo de la base con el marco en que está montada gire al-

rededor de su eje, de suerte que, pasando por la posición 2 (fig. 81), vuelva á la posición de partida 1 (fig. 80), describiendo una vuelta completa.

Si se pudiera, pues, suspender un péndulo exactamente sobre el polo Norte en la prolongación del eje de rotación de la tierra, girando ésta realmente alrededor de su eje como en el caso anterior giraba el marco, el péndulo no permanecería en apariencia sobre el mismo plano, sino que mostraría una pequeña desviación á cada vaivén; y, por último, en veinticuatro horas parecería recorrer

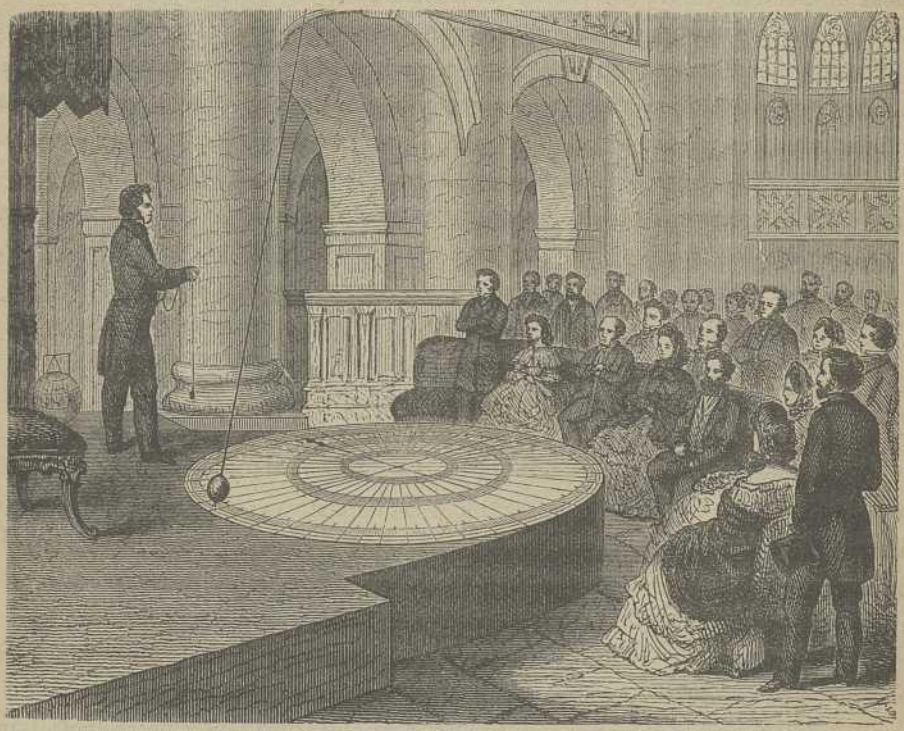


FIG. 82.—Experiencia del péndulo de Foucault para la demostración de la rotación de la tierra alrededor de su eje.

un círculo completo en el sentido de las agujas de un reloj. Pero esto sucedería sólo en apariencia, pues el hecho sería que el péndulo, en todo este tiempo, había conservado el mismo plano de oscilación determinado por su dirección constante respecto á las estrellas, y lo que habría girado realmente sería el horizonte mismo, y con él la esfera terrestre.

No es posible ejecutar la experiencia sobre el polo, pero tampoco es esto indispensable. El fenómeno de la desviación angular del horizonte, con respecto al plano de oscilación de un péndulo, se verifica en todos los grados de latitud comprendidos entre los polos y el ecuador. Habíamos escogido el caso del polo Norte porque allí es más sencillo el fenómeno. En cualquier punto de la tierra muestra el péndulo aquella desviación hacia el Este, y sólo precisamente sobre el ecuador no experimenta ningún cambio aparente en su plano de oscilación.

En las otras latitudes recorre á la vista el péndulo oscilante poco á poco un círculo completo sobre el horizonte, sólo que invierte en ello, por ejemplo, en Konigsberg (54° 42′ latitud N.), 28 horas, 3 minutos; en Munich (48° 8′), 31 horas, 45 minutos; en Roma (41° 54′), 35 horas, 33 minutos; en Méjico (19° 25′), 71 horas, 26 minutos, y en Cayena (4° 56′), nada menos que 11 días, 11 horas y 35 minutos; en Quito, sobre el mismo ecuador, tardaría un tiempo infinito.

Para poder hacer la observación con seguridad, es condición necesaria emplear un péndulo de mucho peso y de oscilaciones muy lentas, para lo cual conviene colgarle de un punto lo más alto posible. Cuanto más pesada sea la esfera oscilante y más lento su movimiento, tienen, en efecto, menos influencia las causas de error que pudieran alterar la marcha regular del experimento. Según estas indicaciones, cuando en 1850, á poco de tenerse conocimiento de la experiencia de Foucault (fig. 82), fué repetida dicha experiencia en varios sitios, se utilizaba ordinariamente para ello las bóvedas más altas de las iglesias, y en particular se han hecho notables las repeticiones verificadas en las catedrales de Colonia y de Speier, por la exactitud de los resultados obtenidos.

APLANAMIENTO DE LA TIERRA

En tiempo de Aristóteles se sabía ya que la forma de nuestra Tierra no correspondía realmente en lo más mínimo á las fantásticas ideas que sobre ella tenían los antiguos cosmólogos. Pitágoras se expresó ya en este sentido; pero la primera prueba de que el planeta que habitamos tiene la forma esférica, la dió el gran filosofo de Stagira.

Según esta hipótesis, la atracción ejercida desde su centro sobre todos los puntos de su superficie debería ser siempre la misma para todos ellos; sería también constante la fuerza aceleratriz de la gravedad, y por consecuencia también el péndulo de segundos debería tener exactamente igual longitud, ya oscilara sobre el ecuador, ya sobre los polos. Así se admitió como corriente hasta el año 1672, por más que Newton había ya puesto antes en duda la forma esférica de la Tierra, y fundándose en consideraciones de que haremos mención bien pronto, le había atribuído un ensanchamiento por el ecuador y un aplastamiento por los polos, lo que posteriores mediciones del arco de un grado de meridiano han demostrado con toda evidencia.

Pero en el citado año el astrónomo Richer emprendió un viaje científico á Cayena, y cuando instaló allí su reloj de péndulo encontró que éste, á pesar de que antes de su partida había sido regulado exactamente, se retrasaba cada día en dos minutos y medio. Después de tomar en cuenta con toda exactitud la temperatura y otras circunstancias climatológicas que pudieran tener influencia sobre ellas, resultaban siempre demasiado lentas las oscilaciones del péndulo, y

el reloj no volvió á quedar preciso hasta que se acortó en cinco cuartos de línea el péndulo de segundos. Quedaba, pues, establecido, por experiencias las más exactas, que el péndulo de segundos era en París cinco cuartos de línea más largo que en Cayena, y se dedujo de aquí que la fuerza aceleratriz de la gravedad disminuía en intensidad hacia el ecuador y aumentaba hacia los polos. La causa de esto no podía ser otra que la irregularidad, ya sospechada por Newton, en la forma de la Tierra, y según la cual el diámetro del ecuador debía ser mayor que el de los polos.

Actualmente, por las repetidas mediciones del grado del meridiano practicadas desde aquella fecha, y en las cuales se ha desplegado verdadero lujo de precauciones y detalles científicos, sabemos perfectamente que el diámetro más largo de la Tierra mide unos 12,754 kilometros, y excede, por tanto, en unos 42 al más corto (el diámetro polar), que sólo mide 12.712 kilometros Para los puntos situados en un mismo meridiano entre el ecuador y los polos, corresponden valores intermedios, y con ellos varía uniformemente la longitud del péndulo de segundos en los diferentes sitios de la tierra.

Según Sabine, esta longitud tiene, por ejemplo, los valores siguientes, para los puntos que se citan á continuación:

Santhómas.	0° 24′ 41″	latitud Norte	39,012	pulgadas	parisienses.
Jamaica....	17° 56′ 7″	»	»	39,035	»	»
Londres ...	51° 31′ 8″	»	»	39,139	»	«
Spitzberg..	79° 49′ 58″	»	»	39.215	»	»

La Tierra, sirviéndonos de una tosca comparación, tiene la figura de una naranja; es lo que se llama un esferoide ó un elipsoide de revolución. El mismo péndulo, que por su desviación en la proximidad á la montaña escocesa Schehallien nos enseñaba antes á pesar la Tierra, y más tarde nos hacía presenciar como testigos su movimiento rotatorio, puede describir ante nuestra vista la forma y figura terrestres, y he aquí cómo uno de los aparatos más sencillos que podemos concebir, nos enriquece con los más maravillosos conocimientos, por una ingeniosa aplicación y una interpretación inteligente de su en apariencia pobre lenguaje. Y no solamente pone en relación lo actual, siquiera se trate de puntos distantes entre sí muchos miles de kilómetros, como el polo y el ecuador, sino que, cual fabuloso anteojo, hace retroceder nuestra mirada á los tiempos prehistóricos y nos convierte en espectadores del acto mismo de la formación de nuestra Tierra, así como de la de los planetas, dotados, como ella, de un movimiento rotatorio; pues si queremos ir más allá de los conocimientos adquiridos sobre la figura terrestre y nos preguntamos por las circunstancias bajo las cuales la masa de la Tierra se ha podido redondear de tan notable manera, los datos suministrados por el péndulo sirven de comprobantes á la hipótesis de un

estado de fusión ígnea como período de formación anterior al actual. La fuerza por cuya acción se alteró la forma completamente esférica de esta enorme gota terrestre en fusión, no fué otra que la llamada fuerza centrífuga.

FUERZA CENTRÍFUGA

Como es sabido, se designa con este nombre la fuerza con que todo cuerpo en movimiento permanente alrededor de un punto, tiende á alejarse de él. Se puede hacer girar á modo de honda un vaso de agua, de tal suerte, que aun en el momento en que la boca del vaso quede hacia abajo, el líquido no cae, sino que, por el contrario, ejerce una presión sobre el fondo del mismo, tanto mayor cuanto más rápido es el movimiento. De igual modo se puede poner simplemente una bala sobre un disco, y haciendo girar éste en círculo, la bala, lejos de caer, se aprieta contra él fuertemente. Una piedra atada á un hilo y girando sobre nuestra cabeza, puede hacer romper el hilo en la forma indicada en la fig. 83. Por efecto de su rápida rotación, son á veces destrozadas, lanzándose violentamente sus trozos, las pesadas piedras de los molinos y los volantes de las máquinas de vapor.

Los antiguos romanos, que no conocían aún la acción de las materias explosivas, hacían actuar como hondas grandes máquinas de guerra, con las cuales lanzaban piedras de gran peso y materias inflamables sobre las plazas enemigas, utilizando la acción de esta fuerza centrífuga.

Pero, sin embargo, no es que ésta sea una fuerza especial y de naturaleza propia, como podría creerse por lo antedicho. Antes por el contrario, es sólo una manera de manifestarse la inercia, una consecuencia de la fuerza viva comunicada al móvil, bien por un impulso instantáneo, bien por la acción de una fuerza continua. Del mismo modo, el nombre de *fuerza centrípeta* con que se designa la fuerza que se ejerce sobre el móvil en dirección al centro de la curva é impide que éste se escape lateralmente, tiene sólo una significación relativa; en la honda es la tenacidad de la cuerda; en la bola colocada sobre un disco, la resistencia de éste; en los planetas, la atracción del sol, etc. Con respecto á la fuerza centrífuga, en rigor no se trata de otra cosa que de la misma fuerza primitiva que originó el movimiento circular, ya sea esta fuerza la de nuestro brazo imprimiendo una oscilación á la honda, ya la elasticidad del arco tenso en la ballesta, ya la fuerza del viento ó del agua en los molinos, ó bien, como sucede en los movimientos de los astros, un impulso inicial todavía desconocido.

Si un cuerpo estuviera sometido solamente á la acción de una fuerza, describiría, como ya sabemos, una trayectoría rectilínea. Pero en la Naturaleza nunca se da este caso. Siempre se combinan en acciones variadas diferentes fuerzas, y si entre ellas hay una constantemente dirigida á un punto fijo y es

bastante enérgica para ello, obliga al cuerpo á moverse dentro de una órbita curvilínea, cuyo centro es el punto en cuestión. Esta fuerza, dirigida á un punto fijo, se llama fuerza centrípeta. En la inmensa mayoría de los fenómenos naturales, lo es la gravitación. La Luna, por ejemplo, gira alrededor de la Tierra; obedece, por una parte, al movimiento adquirido en virtud de cierto impulso; pero esa fuerza que lo rige todo, la sujeta cual hilo invisible, obligándola á flotar á cierta distancia del astro planeta. De igual modo se cierne la Tierra alrededor del Sol, y con ella un ejército numeroso de planetas y asteroides. Hasta el Sol mismo no está inmóvil en el polo del mundo, cual pudiera creerse; también se mueve, arrastrando tras sí todo el sistema planetario; y, por último, las estrellas todas de la esfera celeste siguen también sus rutas, por las cuales el movimien-

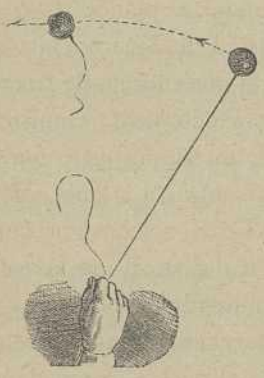


FIG. 83.—Movimiento en dirección tangencial.

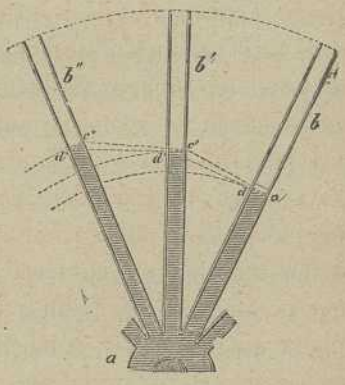


FIG. 84.—Movimiento en dirección radial.

to eterno parece concurrir hacia un punto imperceptible del espacio infinito.

En cuanto cesa la atracción al centro y el móvil puede obedecer libremente á la velocidad que en sí reside, emprende un camino rectilíneo que corresponde en todos los casos á la dirección de la tangente al último elemento de la curva (fig. 83), y se escapa por ella. La fig. 84 explica el movimiento que en algunas ocasiones parece engendrarse en dirección del radio hacia fuera. Un tubo *b* lleno de agua se hace girar á modo de honda alrededor del punto *a*, de derecha á izquierda, de modo que las partículas de ésta llegan á las posiciones b' b'' etcétera., con las velocidades representadas por las líneas de puntos cc' y dd', c' c'' y d' d''. En la posición *b*, las partículas *c* y *d* de la superficie se mueven en las direcciones y con las velocidades representadas por dichas líneas, y tienden, por consiguiente, á seguir moviéndose en este mismo sentido. De aquí que en la posición b' la partícula *c* estará en c' la *d* en d'. Y lo que sucede á estas dos partículas sucede á todas las de la masa de agua contenida en el tubo; de aquí que el agua se aleje del centro, de cuya apariencia se ha tomado el nombre de fuerza centrífuga; pero no es en realidad sino la misma fuerza tangencial de siempre la que se manifiesta como radial en este caso y otros análogos. Cuan-

to mayor es la velocidad, mayor es la tendencia del móvil á escapar en dirección tangencial. Por tanto, se comprende que un cuerpo blando que gire alrededor de un eje, debe ofrecer su máxima dilatación allí donde sea más considerable la velocidad rotatoria, porque allí tiende la masa á alejarse del centro con mayor energía.

El ensanchamiento de la Tierra en el ecuador confirma en todas sus partes las leyes sobre la acción de esta fuerza. Pero aún es más curiosa la configuración externa de Saturno, en cuyo planeta, á consecuencia de la muy rápida rotación, la zona ecuatorial recibió tan enérgica impulsión hacia el exterior, según las leyes de la fuerza centrífuga, que se separó por último de la esfera madre, formando un satélite anular que hoy sigue flotando libremente en el plano ecuatorial, sin más lazo de unión con el núcleo que la gravitación, la cual le sujeta, sin embargo, firmemente, y en virtud de ella acompaña al planeta en su órbita.

Plateau ha reproducido artificialmente la formación de Saturno, introduciendo en un vaso con agua, gruesas gotas líquidas de una mezcla de trementina, cera y otras sustancias análogas, mezcla que tenía exactamente el mismo peso específico que el agua. Por medio de una especie de molde formado con varillas delgadas, á las cuales se adhería la mezcla, se hacía entrar á la gota esférica en un rápido movimiento de rotación alrededor de su eje. Si se consigue que el eje de rotación coincida exactamente con el diámetro vertical de la esfera, de modo que permanezca fijo en su masa durante el movimiento, la esfera primero se aplana por los polos y se hincha por el ecuador; aumentando la velocidad, se separa de la zona ecuatorial un anillo que rodea al núcleo, como el anillo de Saturno. Pero si el movimiento no es completamente uniforme, ó el eje se desvía lo más mínimo, el anillo pierde su forma regular, su masa se va acumulando más y más en aquellos puntos en que la velocidad rotatoria es mayor, hasta que, por último, toda es atraída hacia ellos. Por consecuencia, se rompe el anillo en los puntos opuestos, y con su masa se forma una especie de satélite esférico. Verosímilmente, los satélites de los planetas se han debido originar todos de un modo semejante, y las piedras meteóricas que á veces caen sobre la Tierra, tal vez deben ser consideradas como especie de jirones de esta ruptura, y, por tanto, como pequeños satélites también.

Las aplicaciones de la fuerza centrífuga que se hacen en la industria no son menos interesantes que sus fenómenos naturales; se encuentran tales aplicaciones en los objetos más diversos. Con ayuda de ruedas rápidamente giratorias, se lanza el agua á las más considerables alturas, ó bien sobre superficies extensas y se construyen los más variados inyectores y bombas centrífugas. Como quiera que el aire sufre la acción de la fuerza tangencial lo mismo que cualquiera otro cuerpo material, y tiende á escaparse hacia el exterior cuando se le comunica un movimiento circular entre dos discos cóncavos rápidamente giratorios, ha sido posible, fundándose en esto, construir esas poderosas máquinas

neumáticas, como las que actualmente están en uso en Londres para el servicio postal atmosférico, y de las cuales nos ocuparemos en uno de los capítulos inmediatos.

La acción de la fuerza centrífuga se ha aprovechado en los talleres de construcción de máquinas como un excelente medio para regularizar la marcha de las mismas. El llamado regulador de fuerza centrífuga consiste en dos pesadas esferas, *B B* (fig. 85), unidas al árbol *A* por medio de dos varillas articuladas. Este árbol es puesto en rotación por la misma fuerza que actúa sobre la máquina, vapor, saltos de agua, etc., y con tanta más rapidez, cuanto más de prisa trabaja aquella. En nuestro dibujo, este movimiento rotatorio se le comunica por medio de las dos ruedas dentadas *G* y *C*. En la rotación del árbol toman parte naturalmente las esferas y se separan de aquél más ó menos por consecuencia de la fuerza centrífuga; pero al hacerlo arrastran hacia arriba ó hacia abajo á la pieza *S*, que puede correr á lo largo del árbol. Supongamos ahora que con la corredera *S* esté en comunicación una palanca por cuya acción se haga girar una llave que abre ó cierra el paso del surtidor de vapor á la caja de distribución; se comprende así que todo cambio en la velocidad de la marcha de la máquina se podrá corregir por sí mismo instantáneamente. En efecto, cuando la fuerza obra muy despacio, caen las bolas, la pieza *S* corre hacia abajo y abre el tubo de vapor; si la máquina llega á marchar con demasiada rapidez, la elevación de las esferas y de la corredera hacen que la llave se vaya cerrando, y se limite, por tanto, la salida de vapor. De un modo análogo se puede regularizar el acceso de agua sobre las ruedas de paletas ó sobre la turbina de un motor hidráulico.

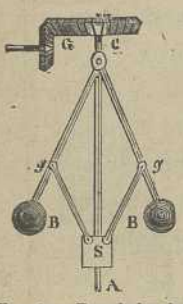


FIG. 85.—Regulador de fuerza centrífuga.

El *hidroextractor*, ó máquina para secar por medio de la fuerza centrífuga, utiliza ésta de un modo más directo. Supongamos que se quiere secar un trapo mojado; ¿acaso no le quitamos ya gran parte de su humedad cuando se le mueve circularmente y se le agita, como se hace, por ejemplo, con un sombrero bañado por la lluvia para quitarle el agua? Pues el hidroextractor que en la mayor parte de los casos se usa para desecar, obra exactamente de la misma manera; pero como en lugar de agitar con el brazo, aquí se hace girar con más regularidad y con mayor fuerza y velocidad, es evidente que se conseguirá un efecto más completo.

Esencialmente no consiste en otra cosa que en un tambor hueco *A A* (fig. 86), que por medio de ruedas dentadas y engranajes se puede poner en rotación alrededor de su eje *B*, con extraordinaria velocidad. Los órganos transmisores del movimiento están representados por las poleas de correas *D D' D''*, cada una de las cuales está unida á una de las ruedas dentadas *E' E'' E*. La transmisión se puede realizar en las formas más variadas, pues las ruedas de engranaje

F F' F'' se diferencian en el número de dientes, como las *E E' E''*. *G* es una polea suelta ó «loca» por la que se hace girar la correa cuando se quiere que pare el tambor; *H* la guía para esta correa transmisora. Las paredes del tambor están constituídas por láminas de cobre agujereadas, cuando la sustancia que se quiere desecar es en un tejido, ó bien algodón en rama, madejas teñidas, pieles ú otras cosas por el estilo. En la industria azucarera, cuando se trata de purificar el azúcar en bruto de la melaza que le impregna, dichas paredes están constituídas por un tejido á modo de tamiz fino. Esta disposición del aparato se puede aplicar también á múltiples casos prácticos, como, por ejemplo, la separación de la manteca de la leche, la de los granos de fécula de sus aguas de loción, etc.

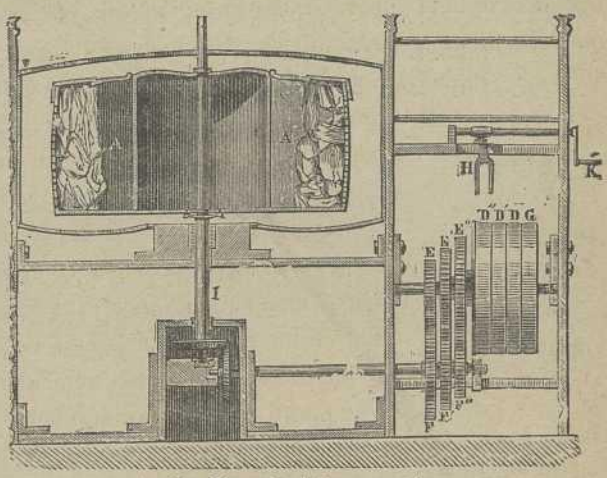


FIG. 86.—Desecador de fuerza centrífuga.

No queda ahora que hacer más que distribuir la sustancia húmeda que se quiere desecar con la mayor uniformidad posible por las paredes del tambor, y poner éste en rápida rotación. El agua salta al exterior atravesando los orificios de las paredes, mientras que el contenido restante queda comprimido en una masa compacta. El trabajo de esta máquina es tan completo, que consigue en algunos minutos los mismos resultados para cuya obtención habría que emplear muchas horas por los procedimientos de desecación ordinarios.

El hidroextractor no es ciertamente un aparato tan importante que su invención haya significado un paso notable en la senda del progreso científico é industrial; pero para nuestro objeto tiene una importancia especial, toda vez que nos ofrece ocasión de abarcar en una ojeada un conjunto numeroso de fenómenos naturales é interesantes efectos mecánicos, así como de convencernos de nuevo de las conexiones que enlazan á la naturaleza entera en un todo armónico. Las atracciones de los infinitos átomos se reunen en la gran masa terrestre, constituyendo la fuerza poderosa de la gravedad. La medida de la acción de esta fuerza sobre las diferentes sustancias ha venido á constituir el medio de investigación más fundamental en la ciencia química. Del mismo modo que acelera uniformemente la caída de los cuerpos, la gravedad obliga al péndulo á describir su arco, y hé aquí que por el número de las oscilaciones que este mismo péndulo verifica en los diferentes puntos de la tierra, se revelan al físico las irregularidades en la forma de ésta. Pero á su vez en esta alteración de la

forma esférica se manifiesta la acción característica de la inercia, puesto que la fuerza centrífuga, considerada erróneamente como una fuerza especial, no es otra cosa que la fuerza tangencial, ó lo que es lo mismo, la simple tendencia de los cuerpos en movimiento á conservar la dirección adquirida. Con la rotación misma se enlaza también el movimiento de traslación de los astros.

El impulso excéntrico primitivo que en la eternidad de los tiempos originó el vuelo de los astros y la atracción recíproca de las más pequeñas partículas materiales, reina por doquier de un modo permanente: he aquí las causas de la forma esférica y aplastada de la tierra, lo que distribuye diversamente el calor y la luz sobre sus parajes, y por la feliz sucesión del día á la noche y del verano al invierno, impone sus condiciones á la vida.

BARÓMETRO Y MANÓMETRO

Observación de los fontaneros florentinos.— *Horror vacui*.—Experiencia de Torricelli.—La presión atmosférica y sus leyes.—La atmósfera.—Medida de alturas sobre la montaña Puy-de-Dôme.—Barómetro.—Barómetros de cubeta y de sifón.—Barómetro aneroide.—Manómetros.—Ley de Mariotte.—Observaciones barométricas.

REFIERE la tradición que los fontaneros de Florencia tenían que construir en cierta ocasión (por el año 1630) una bomba, mediante la cual se elevara el agua por un tubo de aspiración hasta una altura muy considerable. Se construyó el aparato á la manera ordinaria y con los mayores cuidados; pero cuando, una vez instalado, debía comenzar á realizar su objeto, se tropezó con el inconveniente de que el agua subía en el tubo solamente hasta la altura de unos diez metros. Era imposible arrastrarla más arriba, y esta particularidad se repetía en todos los casos; de suerte que hubo de admitirse que no se trataba de un fenómeno accidental, debido á una imperfección en el mecanismo, sino que, por el contrario, era éste un hecho natural.

Galileo, que ya por entonces era proclamado por la fama como el físico más profundo, fué solicitado para que diera explicación del notable fenómeno en cuestión, y unos dicen que reconoció su verdadera causa; pero otros, por el con-

trario, suponen que salió del paso dando á los fontaneros la siguiente respuesta, poco en armonía con su espíritu lógico: «El horror de la naturaleza al vacío tiene también sus límites.» —¿Horror al vacío?—Efectivamente, los físicos antiguos conocían cierto número de fenómenos semejantes al que nos ocupa, como, por ejemplo, la aspiración de un líquido por medio de una pajilla, la extracción de una porción de vino de una vasija por medio de la pipeta ó catalicores, teniendo tapado con el dedo el orificio superior, y otros, para cuya explicación se admitía sencillamente una tendencia general, una verdadera voluntad de la Naturaleza entera. Se suponía que la Naturaleza tiene aversión á todo espacio vacío (en latín *horror vacui*) y que en virtud de ella trabaja constantemente y por todas partes para llenar todo vacío con cualquiera materia, la primera que encuentra á mano, siendo el aire y los líquidos los más á propósito para el caso.

Este mito, que está perfectamente en carácter con toda la filosofía antigua, fundada sobre la base del capricho humano, había reinado tanto tiempo en los espíritus, que á nadie se le hubiera ocurrido siquiera poner en duda la energía de su ilimitado poder. Cuando nos admiramos de semejante aberración es preciso, sin embargo, no perder de vista que no existía aislada, sino que estaba entrelazada en un ramillete de flores tan artificiales como ella, en el cual unas á otras se prestaban mutuo apoyo. Apenas si se conocía entonces una observación rigurosamente demostrada.

Ahora bien; ya porque quedaran convencidos los fontaneros de la explicación de Galileo, ya porque solamente se resignaran con ella, lo cierto es que hasta de la forma misma en que se expresó, puede deducirse que Galileo no debió tener ninguna fe en el supuesto *horror vacui;* sin embargo, queda la duda de si el gran físico pisano adquirió con este motivo el conocimiento de la verdadera causa del fenómeno. Se dice, y particularmente se esfuerzan los franceses en hacer prosélitos de la idea, que el filósofo Descartes fué el primero que vió la causa de aquel fenómeno de la bomba aspirante, no en el *horror vacui*, sino en la presión del aire; y, por tanto, que á él sería á quien debía la Física uno de sus más valiosos descubrimientos. Pero está fuera de duda que Torricelli, el discípulo más notable de Galileo, fué el que experimentalmente dió por primera vez la prueba irrefutable de la acción de la presión atmosférica; y la ciencia, con razón agradecida por ello, le celebra como el descubridor de la nueva ley, ya fuera Galileo ó Descartes el que en su imaginación la hubiera concebido antes.

Torricelli hizo en Florencia en el año 1643, ó en el 1644, la experiencia que aún hoy se practica en igual forma por los físicos. Cogió un tubo grueso de vidrio, de un metro próximamente de longitud, cerrado por un extremo y de anchura tal, que pudiera cerrarse por el otro extremo con la yema del dedo pulgar. Puesto este tubo en posición vertical y hacia la parte superior el extremo abierto, le llenó completamente de mercurio, le tapó herméticamente con

el dedo, de suerte que no pudiera caer nada del líquido, le invirtió, é introdujo dicho extremo abierto en una vasija que contenía también mercurio, de modo que al destaparle quedara cubierto el orificio por éste, quitando entonces el dedo. De este modo, el mercurio de la vasija impedía completamente el acceso del aire al interior del tubo. Si entonces se ponía éste vertical, se veía descender en su interior al metal líquido, mas no hasta vaciarse por completo, sino sólo hasta cierto punto, en el cual se detenía la columna cuantas veces se repetía el experimento. Este punto *a* (fig. 88) estaba determinado por una altura constante sobre el nivel *b* en el vaso. Por más que el tubo tuviera uno ó dos metros de largo, la columna de mercurio medía siempre una altura vertical de 28 pulgadas, ó sean 76 centímetros próximamente. El espacio superior del tubo quedaba completamente vacío, puesto que ni contenía mercurio, ni el aire podía penetrar en él por ninguna parte. Aun hoy, este espacio se llama vacío de Torricelli, del nombre de su descubridor. He aquí un vacío. ¿Dónde está el horror de la Naturaleza hacia él? Había encontrado su límite.

FIG. 87.—Juan Evangelista Torricelli.

Torricelli observó que el agua ascendía por aspiración á diez metros lo más en los tubos de las bombas, y el mercurio á 76 centímetros solamente en su tubo; y al notar que estos dos números son inversamente proporcionales á los pesos específicos 1 y 13,7 de estos dos líquidos, dedujo que la causa del fenómeno era en ambos casos la presión del aire, y, por último, que esta presión estaba medida exactamente por la que ejerce una columna de agua de diez metros, ó una columna de mercurio de 76 centímetros. «La atmósfera es la que origina esta presión,» decía Torricelli: «el aire es un cuerpo pesado, y con su peso gravita sobre la tierra como el agua de los mares gravita descansando sobre el fondo de su lecho.

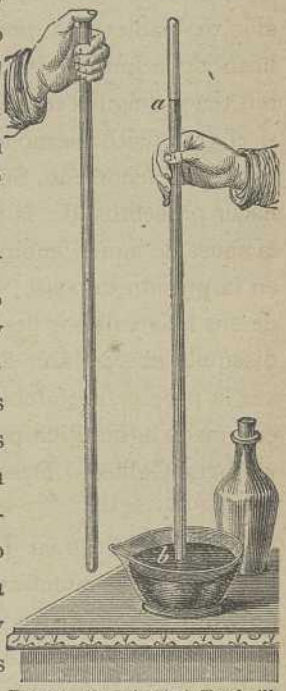


FIG. 88.—Experiencia de Torricelli.

Estas experiencias produjeron gran sensación en el mundo científico, y tu-

vieron la fortuna de que el célebre matemático y físico francés, Pascal, se fijara en ellas con gran interés. Hizo éste practicar en Rouen, en 1648, una larga serie de experiencias en gran escala con líquidos de muy diverso peso específico, como vino, aceite, etc., y todas comprobaron brillantemente las deducciones de Torricelli. Las experiencias de Pascal aparecieron en letras de molde en el año 1667, y sus dos publicaciones *Sobre el equilibrio de los líquidos* y *De la presión del aire*, consignan todas las verdades fundamentales de este orden de fenómenos, con la irresistible fuerza demostrativa de las matemáticas.

La advertencia de que el aire es un cuerpo pesado no era, por lo demás, completamente nueva. Ya Aristóteles había hecho observar que las vejigas hinchadas tenían un peso mayor que cuando estaban vacías. Pero esta expresión vaga de un concepto tampoco completamente exacto, permaneció completamente infructuosa para los físicos.

Considerando los resultados prácticos y lo que hay de esencial, tanto en la experiencia de Torricelli como en sus diferentes modificaciones y ampliaciones, resaltan como las más transcendentales verdades los puntos siguientes: Cada partícula de aire tiene cierto peso, y, por tanto, es pesada también la atmósfera entera, cuyo peso total tiene un valor fijo y determinado. Con este su peso, la atmósfera ejerce presión sobre todos los puntos de la superficie de la tierra; es como un mar de aire cuyo nivel está muy alto sobre nosotros, y, como el nivel del océano, adopta una superficie esférica alrededor del centro de la tierra. Nosotros vivimos en su fondo, siendo bajo este aspecto comparables á los crustáceos que habitan en el suelo de los mares. Pero la superficie de nivel de este océano aéreo no ofrece interrupción alguna; las cumbres más altas del Himalaya no llegan á sobresalir de ella; son siempre escollos situados muy profundamente respecto á dicho nivel y contra los cuales se rompen las corrientes de los vientos. La presión del agua actúa por todos los lados sobre los cuerpos en ella sumergidos, y lo mismo exactamente sucede con la presión del aire; pero del mismo modo que los peces que nadan en el agua no se dan cuenta de aquella presión, tampoco nosotros notamos la enorme carga que gravita sobre nuestro cuerpo en todos sentidos.

Así como el fondo de una vasija llena de agua tiene que resistir una presión mayor que un punto de su centro sobre el cual sólo gravita la mitad de la masa líquida, así también la atmósfera ejerce menos presión en las cúspides de las montañas que en la profundidad de los valles. Supongamos una gran masa de algodón en rama hacinada cual una montaña y tan alta como una torre; advertiríamos que por efecto del peso propio de la masa situada encima de ellas las capas inferiores estarían comprimidas, y cuanto más altas las capas sucesivas, tanto más suelta ó ligera estaría la masa, hasta que por último, en el extremo superior, el algodón permanecería esponjado, sin que la elasticidad de sus fibras estuviera restringida por presión alguna. Un hecho completamente aná-

logo se observa en el aire; es elástico y muy compresible, y, por tanto, en la superficie de la tierra, bajo la presión de toda la masa restante que gravita sobre él, tiene la densidad máxima, mientras que ésta disminuye á medida que nos elevamos en su seno, haciéndose el aire cada vez más enrarecido. Si extrajéramos una parte del algodón más comprimido en las capas inferiores de aquel montón citado, y la lleváramos á su parte superior, la elasticidad de esta sustancia produciría naturalmente una expansión, haciéndola adquirir de nuevo su estructura ordinaria. También en el aire se observa el mismo fenómeno; se dilata cuando se transporta á regiones más altas, pero su dilatación parece no ofrecer límite alguno; de modo que aun el aire más enrarecido, cuando se le ofrece un espacio mayor, puede llenarle por completo. Sus partículas más pequeñas, ó sean las moléculas, como las de todos los gases, tienden siempre á alejarse entre sí por efecto de las fuerzas repulsivas que entre ellas se ejercen. Contra esta tendencia se opone la gravedad, que trata de atraer todas las moléculas hacia un mismo punto, el centro de la tierra; y mientras que los valores de esta fuerza para cada molécula en particular son muy pequeños, la suma de todos los que corresponden á las capas sucesivas componen, por el contrario, una presión considerable. Ahora bien: la gran tensión del aire y de los demás gases no está limitada tampoco, como máximum, al valor que tiene en la superficie de la tierra. Gravita aquí la altura total de la atmósfera sobre las capas inferiores, y éstas, por tanto, se comprimen hasta cierto grado; pero del mismo modo es posible aumentar aún esta densidad por medios apropiados; pues, por ejemplo, el aire encerrado en un vaso de paredes fuertes adquiere un volumen menor por la introducción de un émbolo que oscila entre estas paredes. Para ello se necesita una fuerza tanto mayor cuanto más avanza la condensación. Es decir, que las fuerzas compresoras que hay que emplear para reducir cierta cantidad de aire á menor volumen, están en razón inversa de estos mismos volúmenes. Por ejemplo: si para comprimir á la mitad de su volumen primitivo una masa determinada de aire se necesita una presión de 50 kilogramos, para llevar la condensación hasta un cuarto de aquel volumen primitivo se necesitará sobre el émbolo una carga de 100 kilogramos y una nueva concentración á la mitad, ó sea á la octava parte del volumen primitivo, exigirá el doble del peso empleado últimamente, es decir, 200 kilogramos. Pero $^1/_8 : {}^1/_4 : {}^1/_2 = 50 : 100 : 200$, y evidentemente la misma ley se aplicará también para todos los valores intermediarios.

Las experiencias para la demostración de esta importantísima ley fueron ejecutadas ya en 1660 por Roberto Boyle, y por esta razón los ingleses la llamaban, con perfecto derecho, ley de Boyle, por más que su descubrimiento propiamente dicho debe atribuirse á uno de sus discípulos, Ricardo Fownley Mariotte. El físico que ha dado su nombre á esta ley practicó después de Boyle, y verosímilmente no sin tener conocimiento de los resultados obtenidos por su predecesor, una serie de experiencias que naturalmente condujeron también

á los mismos resultados. Esta propiedad de los gases no subsiste sólo en presencia de presiones superiores á la atmosférica, sino que también se verifica para presiones menores, siempre, sin embargo, dentro de ciertos límites.

LA ATMÓSFERA

Volviendo ahora á considerar en su conjunto la masa de aire que se extiende alrededor de la tierra, surge en primer término el problema de la altura hasta la cual asciende la atmósfera por encima de nuestras cabezas. Si el aire tuviera de arriba abajo una misma densidad, como el agua en virtud de su escasa compresibilidad se podría calcular pronto la distancia de la superficie snperior del nivel de la atmósfera partiendo de su peso, que es fácil averiguar; pero como no es éste el caso, sino que, por el contrario, el aire atmosférico parece tener una expansibilidad superior á todo límite, y como la ley de Mariotte (los volúmenes de los gases están en razón inversa de las presiones á que se hallan sometidos) no se puede aplicar indefinidamente, no es posible hacer sobre el límite superior de la atmósfera más que conjeturas inciertas, las cuales podrán considerarse como expresión más ó menos aproximada á la verdad, según que las suposiciones en que se funden sean más ó menos admisibles. Por lo demás, es muy verosímil que esta corona de aire, por consecuencia de su gran expansibilidad, no tenga un límite bien definido, sino que resulte un tránsito gradual hasta el vacío interplanetario allí donde la tensión elástica venga á equilibrarse con la fuerza atractiva de la gravedad. Fundándose en cálculos bastante exactos, se cree que puede atribuirse á la atmósfera una altura de 75 ó 100 kilómetros próximamente. Si sobre una bola grande de billar imagináramos superpuesta una capa del espesor de una hoja delgada de papel, tendríamos una imagen aproximada de la altura de la atmósfera en relación al radio de la esfera terrestre.

Una columna de mercurio de 28 pulgadas, ó sean 76 centímetros de altura, y de sección de una pulgada cuadrada, tiene de peso próximamente 7 ½ kilogramos (15 libras), exactamente el mismo peso de una columna de agua de 32 pies, ó sean 10 metros de altura y de la misma sección; y como el aire que gravita sobre esta superficie hace equilibrio á este peso, es forzoso admitir que la columna de aire de la misma sección y que se extiende desde la superficie de la tierra hasta el límite superior de la atmósfera, pesa también 7 ½ kilogramos, ó sean 15 libras. La presión del aire sobre un centímetro cuadrado será, pues, 1.033 gramos (1 kilogramo y 33 gramos); sobre un decímetro cuadrado 103.300 gramos, ó 103 kilogramos con 300 gramos; sobre el metro cuadrado 10.330 kilogramos; sobre la base de un kilometro cuadrado, 103.300.000 quintales métricos y el peso total de todo el océano de aire será, según la misma proporción, la friolera de $62.370^{2}877.500.000.000$ de quintales métricos.

Como, según ya hemos visto, varía la presión atmosférica con la altitud del punto en que se mide, se ha admitido como unidad para las comparaciones el valor de esta presión al nivel del mar, ó bien en la playa, y ordinariamente las presiones observadas se refieren á esta altitud.

MEDICIÓN DE ALTURAS

En el año 1643 debió emplearse en Toscana el tubo de Torricelli, recién descubierto, para medir la altura de montañas, según un autor contemporáneo. Hacia el fin del año 1647, Pascal invitó á un pariente suyo, Perier, á que comprobase y ampliase sus propias observaciones sobre la presión del aire, experimentando por medio del tubo de Torricelli sobre la montaña Puy-de-Dôme, situada cerca de Clermont, en la Auvernia, y de unos 1.400 metros de alta. Las dificultades materiales de detalle que aun entonces iban anejas á esta clase de experiencias, hacían considerar como especialmente adecuada al objeto esta montaña de una altura mediana é inmediata á una populosa ciudad. Los trabajos no dieron comienzo hasta Septiembre del año 1648. En un hermoso día de este mes se midió la presión atmosférica en el jardín del convento de frailes franciscanos por la altura de la columna correspondiente de mercurio, según el método de Torricelli. Perier encontró esta altura de 26 pulgadas y 3 ½ líneas (medidas parisienses), y como era natural, halló exactamente el mismo valor en dos tubos diferentes. Uno de estos tubos quedó fijo en el jardín y era observado continuamente para poder apreciar cualquiera elevación ó depresión de la columna mercurial, y el momento en que tuviera lugar. El otro tubo fué transportado por Perier á la cúspide del citado Puy-de-Dôme. Aquí se repitió el experimento, y, adviértase bien, el nivel superior del mercurio no estaba ya á 26 pulgadas 3 ½ líneas sobre el nivel inferior de la cubeta, sino sólo á 23 pulgadas y 2 líneas. «Este resultado, dice Perier á propósito del particular, nos llenó á todos de asombro y admiración; quedamos perplejos ante él, y nos apresuramos á repetirle; para nuestra propia satisfacción, repetimos todavía cinco veces la observación sobre el vértice de la montaña y en las circunstancias más diferentes, ya cubierto el aparato, ya libre, con tiempo muy variable, resguardado del viento ó sometido á él, y siempre nos dió el mismo resultado. Al descender de la cumbre, y antes de llegar al jardín del convento, aún se hizo una estación intermedia, encontrándose en ella por altura de la columna de mercurio en el tubo 25 pulgadas.» Cuando la expedición regresó de nuevo al punto de partida y observó el instrumento allí instalado, se encontró con que su columna de mercurio había conservado exactamente su antiguo valor de 26 pulgadas y 3 ½ líneas, y que el segundo aparato, el tubo transportado al Puy-de-Dôme y colocado ahora también en el jardín, mostraba igualmente la misma altura de columna. La dis-

minución de ésta debía, pues, ser consecuencia de la elevación del segundo punto de observación sobre el primero, y como lo comprendieron ya perfectamente los físicos, una consecuencia de la disminución de la presión del aire con el aumento de altura. Sin embargo, una experiencia sola no pareció demostración bastante concluyente. En los días sucesivos hizo Perier nuevos experimentos, primero en una casa particular, situada en la parte más alta de la población y próxima á la iglesia de Notre-Dame; después fué practicada una segunda experiencia en la torre de esta misma iglesia, y aun en estas elevaciones, relativamente pequeñas, la disminución en la presión del aire se hizo sensible por el descenso de la columna de mercurio. Todas las observaciones en Clermont comprobaron de la manera más completa las deducciones hechas por Torricelli y Pascal. Se encontró así que para una elevación de 7 toesas, la columna de mercurio bajaba cerca de media línea; para 27 toesas de altura, 2 ½ líneas; para 150 toesas, 15 ½ líneas, y para 500 toesas, 37 ½ líneas (1 m = 0'513 toesas = 44,3 líneas parisienses).

Hemos descrito estas experiencias con algún detalle, porque ofrecen un ejemplo elocuente de la perspicacia de su autor, y porque sus resultados condujeron al triunfo completo de una verdad, antes apenas entrevista.

Las deducciones que Perier sacó de sus felices investigaciones no son menos interesantes que las investigaciones mismas. Advirtió que la disminución de la altura de la columna mercurial se producía con cierta regularidad. «Yo no dudo (escribía en su relación á Pascal) que llegaré á ser un día tan feliz, que os pueda calcular una tabla, la cual dé con toda seguridad la diferencia de altura de la columna barométrica para cada 100 toesas de elevación.»

Pero por más que la idea era ya muy exacta, durante mucho tiempo el tubo de Torricelli siguió siendo un instrumento muy imperfecto é impropio para dicho objeto; y cuando Bouguer en 1743 regresó del Perú y quiso calcular las altitudes de los puntos correspondientes, por las observaciones barométricas verificadas en los Andes, adquirió la convicción de que su fórmula era sólo aplicable á las alturas más considerables de aquellas montañas. Hasta entonces no se había pensado aún tener en cuenta, en los cálculos, la acción del calor, que dilata las capas de aire; así como tampoco la influencia que ejerce la fuerza centrífuga bajo diferentes latitudes sobre el peso de la atmósfera, y, por tanto, no se podía, en virtud de la primera de las citadas omisiones, alcanzar resultados exactos para pequeñas altitudes, sobre las cuales la temperatura está sometida á oscilaciones considerables. Bouguer dió una fórmula para calcular la acción del calor. Después Ramond practicó en los Pirineos observaciones minuciosas para precisar la fórmula barométrica, y sobre sus investigaciones fundó Laplace sus cálculos, como resultado de los cuales dicha fórmula para medición de alturas por las observaciones barométricas, adquirió la forma que todavía hoy conserva en uso. Con esto se proporcionó á la Geografía física un impor-

tante medio de investigación; pues antes, prescindiendo de algunos otros métodos sumamente imperfectos, no podían medirse las elevaciones de los puntos de la superficie de la tierra sobre el nivel del mar y su respectiva distancia vertical, más que por operaciones geodésicas y topográficas complicadas, por sí solas difíciles, y que no podían practicarse con frecuencia. Hoy cualquier viajero que suba á una montaña, puede medir la altura á que ha llegado con bastante facilidad, realizando experiencias sencillas y relativamente rápidas. Salta, pues, á la vista la utilidad del nuevo procedimiento que hubo de ejercer notable influjo, muy especialmente para el desarrollo de la Geografía física, de la Geología, de la Geografía botánica, y, en una palabra, de todas las ramas de las ciencias naturales cuyo objeto es el estudio de nuestro planeta. Basta considerar bajo este aspecto los trabajos de Humbolt, para que produzca admiración el enriquecimiento inmenso que nuestros conocimientos sobre la Tierra han recibido de este método de medida. Existen hoy tablas hipsométricas de ésta, las cuales dan las altitudes de sus diferentes puntos sobre el nivel del mar, con tal riqueza de datos, que por medio de ellas pueden los mecánicos construir las imágenes plásticas más exactas de cordilleras, de montañas situadas en el otro hemisferio y que no han sido vistas jamás por el artista. La cartografía ha entrado en vías completamente nuevas, siéndole permitido reconocer hasta las menores desigualdades en la elevación de los diferentes puntos, habiendo sido obtenidos la mayor parte de estos datos con ayuda del barómetro.

Hemos dicho antes que cualquier *tourista* podría sin más ni más practicar fácilmente las observaciones á que nos referimos. Esto, sin embargo, sólo debe admitirse condicionalmente. Hay muchas clases de facilidades en el mundo, y las observaciones físico-naturales tienen dificultades de tal género, que en aparatos sencillos y de todo el mundo conocidos, en los cuales el profano no ve más que un objeto de entretenimiento, un juguete más ó menos agradable, se ofrecen al científico dotado de instrucción y espíritu investigador, los problemas más difíciles. No otra cosa sucede en la experiencia de Torricelli arriba descrita. Si por medio de ella se quieren hacer observaciones exactas (y sólo éstas pueden ser de utilidad para la ciencia), es preciso adoptar multitud de precauciones y tomar en consideración factores muy varios, que hay que introducir en los cálculos, y cuyo conocimiento previo no posee el que no está familiarizado con las ciencias físicas. El desprecio de dichos factores haría, en cambio, que el resultado final fuera completamente desacertado.

Consignemos sólo un ejemplo: por el procedimiento que hemos expuesto en gracia á la brevedad, esto es, vertiendo sencillamente el mercurio en el tubo é invirtiendo éste, no se desaloja completamente el aire de su interior. El aire tiene la propiedad de adherirse con gran fuerza á la superficie de los cuerpos, y, por tanto, á la superficie interna de las paredes de vidrio del tubo. Si, pues,

se vierte simplemente el mercurio en el tubo, queda siempre entre éste y el metal líquido una tenue capa de aire que, cuando el mercurio desciende, se difunde en el vacío de Torricelli, ejerciendo una pequeña presión sobre la columna barométrica, y alterando por esta causa su verdadero valor. Para librarse de esta influencia perjudicial es preciso en primer término, calentar bien el tubo, con lo cual se aleja el aire, sumergiendo caliente el extremo inferior del tubo en el mercurio del vaso, de modo que no pueda penetrar de nuevo ninguna partícula de aire.

Por último, aun cuando el aparato haya sido construído en la forma antedicha y del mejor modo posible, hay todavía que corregir sus indicaciones; pues la temperatura variable del aire actúa sobre el mercurio alterando su volumen, y es claro que á veinte grados de temperatura subirá más alto en el tubo de Torricelli que á 0 grados, por más que la presión sea completamente la misma. Por otra parte, tiene también influencia sobre la presión atmosférica, y, por tanto, hay que tenerla en cuenta en los cálculos la humedad del aire, ó, mejor dicho, la tensión del vapor de agua. Para poder tomar convenientemente en consideración todas estas influencias, es preciso medirlas, y medirlas con verdadera exactitud. La ciencia ofrece para ello métodos adecuados, y bajo su dirección la mecánica construye aparatos cada día más perfectos. Pero su conocimiento completo y su manejo práctico y expedito no es cosa de simples aficionados.

BARÓMETRO

Hace mucho tiempo que se inició la tendencia de dar á la experiencia de Torricelli tal comodidad y sencillez, que ofreciera buenos resultados, aun verificados por manos profanas, y á este fin se construyen aparatos que forman un conjunto inseparable. Semejantes aparatos reciben el nombre de barómetros (medidores de la presión del aire). Seguramente que nuestros lectores todos tendrán ya conocimiento de ellos; pues el barómetro, en sus distintas formas, se ha convertido hoy en un utensilio indispensable en la mayor parte de las casas.

Uno de los primeros barómetros debió ser el construído por el célebre burgomaestre de Magdeburgo, Otto de Guericke, cuyos descubrimientos en Física debían colocar su nombre al lado del de su contemporáneo Torricelli. Este instrumento consistió en un largo tubo de vidrio cerrado por el extremo superior y en el cual el agua ocupaba el puesto del mercurio, conteniendo una figurilla en forma de hombre flotante sobre su superficie de nivel, y que con el dedo señalaba el valor correspondiente de la presión sobre una escala.

En general, el barómetro es un instrumento tan sencillo, que su mecanismo encuentra apenas pequeñas diferencias en sus distintas formas. La mayor parte se fundan, como queda dicho, en el tubo de Torricelli, siendo en estos últimos

tiempos cuando por primera vez se ha hecho aplicación en los barómetros aneroides de otros principios fundamentales. El barómetro que más se aproxima al aparato primitivo empleado por Torricelli, y también el más antiguo en su forma, es el llamado de cubeta. Este no es otra cosa en esencia que la reunion del tubo *a b* (fig. 88) y del vaso con mercurio sobre un soporte, bien encerrados en un estuche metálico, bien adaptados á una plancha á la cual puede darse por suspensión una posición exactamente vertical. El vaso con mercurio tiene ordinariamente una forma ensanchada, y á su cuello está sujeto fuertemente el tubo. Un pequeño orificio en la pared superior permite la comunicación con el aire libre El soporte lleva una escala sobre la cual puede leerse la distancia entre el nivel superior y el inferior del líquido. En los instrumentos más exactos va también colocado en el soporte un termómetro, y á veces también un psicrómetro para procurarse los datos con los cuales se ha de practicar la corrección de las observaciones.

Del mismo modo que se comprende que esta disposición ha de ser conveniente para los aparatos de esta especie destinados á conservar una posición fija, se comprende también que el vaso inferior ha de ofrecer dificultades para el caso en que se haya de transportar el aparato con objeto de verificar observaciones al aire libre.

Ya se ha dicho que la altura barométrica está dada por la diferencia entre el nivel del mercurio en el tubo y el de la cubeta. Pero como el ascenso del líquido en el tubo supone un descenso en el nivel exterior, y viceversa, no es posible adoptar una escala fija, á no ser en el caso de que el diámetro del vaso sea tan grande respecto al del tubo, que puedan considerarse como despreciables los cambios de nivel en el primero. Ahora bien; vasos de tan gran diámetro como se necesitarían para esto, no son aplicables para instrumentos que han de ser transportados.

Es verdad que Fortín ha eludido, hasta cierto punto, la dificultad, por una disposición muy interesante dada al depósito. Construye el fondo de éste, movible, formado de un trozo de piel de gamuza *b* (fig. 89), y por tanto, el mercurio que contiene se puede hacer subir ó bajar por medio de un tornillo colocado debajo, de modo que pueda siempre llevarse el nivel inferior á una misma altura, señalada por una punta fija, *a*. El tubo se sumerge bastante profundamente en dicha cubeta de cristal, *D D*, con objeto de que su orificio esté siempre situado por debajo del nivel del mercurio. Cuando el barómetro tiene que ser transportado, se hace subir el tornillo hasta que el mercurio llene por completo el tubo y la cubeta.

Sin embargo, cuanto más complicado es el mecanismo de un aparato, tanto más delicado es su uso; de aquí que se haya encontrado bien pronto que es mejor prescindir de la condición de que el nivel inferior sea constante, y medir en todo caso la diferencia de altura de los dos niveles. Los barómetros de este gé-

nero recibieron el nombre de barómetros de sifón, porque en ellos el tubo se halla encorvado en la parte inferior en esa forma. Estos aparatos están provistos de dos escalas, la una hacia la parte superior y la otra hacia la parte inferior, y son ordinariamente tubos de vidrio encorvados por abajo en forma de sifón y de igual diámetro en todas sus partes; de modo que el mercurio asciende en la rama abierta, exactamente lo mismo que desciende en la rama cerrada, y viceversa. Hay, sin embargo, otros instrumentos de la misma clase que, según el objeto para que han de ser empleados especialmente, difieren entre sí por varios detalles. La fig. 90 muestra un barómetro de sifón tal como se construye para viajes; está encerrado en un sólido estuche que protege al tubo contra las roturas. La parte inferior del sifón está representada especialmente, y en escala mayor, en la fig. 91. Se advierte en ella que el tubo tiene un diámetro menor en aquellas partes adonde no llegan las oscilaciones de la columna de mercurio, cuya disposición fué adoptada por Gay-Lussac con objeto de evitar que al transportar el instrumento pudiera entrar algo de aire en el espacio superior del tubo largo y cerrado, ó sea en la cámara barométrica. La cantidad total de mercurio del instrumento está calculada de suerte que, aun cuando se invirtiera el tubo, quedara siempre llena de mercurio esta parte delgada. Y para prevenir aun el caso fortuito de que por efecto de un choque se interrumpiera este delgado hilo de mercurio y pudiera penetrar alguna burbuja, Bunten ha introducido en el barómetro de Gay-Lussac la modificación de que el tubo delgado se termine en una punta fina, la cual se sumerge en el mercurio de la parte ancha en forma de U, como en el barómetro de cubeta de Fortín. De este modo, si por cualquier circunstancia llegara á penetrar alguna burbuja de aire, permanecería ésta en la parte inferior del tubo, sin que pudiera nunca alcanzar la cámara barométrica, pues su propia ligereza la obligaría á alojarse en el hueco de la parte ancha del tubo, alrededor de la punta del tubo delgado que se abre en ella, en cuyo sitio, por lo demás, no podría ejercer ninguna influencia perjudicial. A su vez, esta modificación no influye tampoco para nada en la marcha y manejo del aparato.

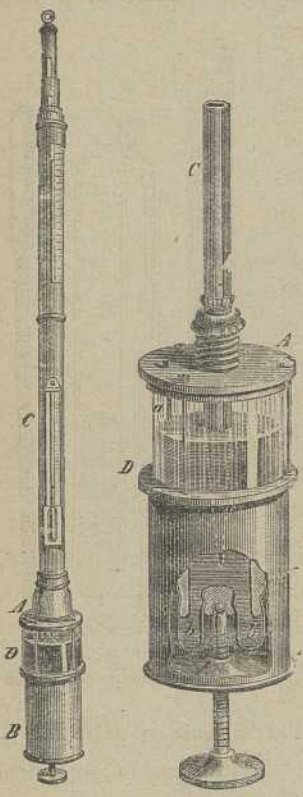


FIG. 89.
Barómetro de cubeta de Fortín.

La rama corta está cerrada por su extremo, pero se encuentra lateralmente en *a* un pequeño orificio para su respiración, tan tenue, que si bien no impide en modo alguno el acceso del aire, y con esto la acción de los cambios de pre-

sión sobre el mercurio, en cambio no deja paso á éste, en virtud de su mayor cohesión. Además, el aparato puede invertirse fácilmente, de modo que todo el mercurio quede llenando completamente la rama larga, en la posición indicada por la fig. 92, muy conveniente para el transporte.

En la construcción del barómetro, así como en su empleo para la observación de la presión atmosférica, hay que tener en cuenta, aparte de lo dicho, algunas precauciones, en cuyo estudio vamos á penetrar ligeramente. En primer término, el mercurio para llenar el tubo, debe escogerse lo más puro posible. Si es impuro, por contener plomo ú otros metales, no es bastante movible para señalar las pequeñas oscilaciones de la presión, pues se adhiere fuertemente á las paredes; y, por otra parte, ensucia éstas formando sobre ellas, por el transcurso del tiempo, un depósito que dificulta la lectura. Pero como quiera que aun el mejor mercurio deja una pequeña raya en el punto del tubo al cual corresponde ordinariamente su nivel, y adquiere al fin el metal en dicho punto cierta adhesión con el vidrio, circunstancia nada favorable para la buena marcha de las indicaciones, en los instrumentos de precisión conviene desmontarlos como se hace con las balanzas, cuando no se quiera hacer con ellos ninguna observación. Esto se verifica separándole de su posición vertical, é inclinándole sucesivamente, con objeto de que el mercurio llene el tubo hasta el extremo cerrado.

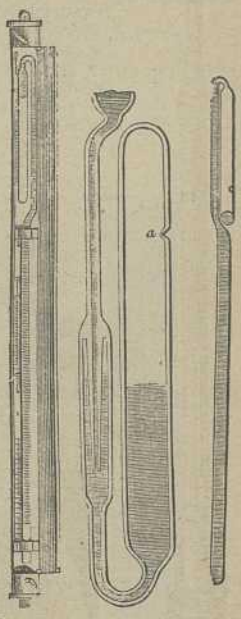


FIG. 90. FIG. 91. FIG. 92.
Barómetros de sifón de Gay-Lussac.

Cuanto mayor es el diámetro interior del tubo barométrico, tanto más exactas son las observaciones con el instrumento. Los tubos muy estrechos, llamados capilares, ejercen sobre el líquido que contienen una acción especial (capilaridad), variable con la sustancia del tubo y la naturaleza del líquido. Esta acción se manifiesta por la ascensión del líquido, en el caso de que moje las paredes del tubo (como sucede con el agua en el vidrio puro, los tubos metálicos, los vasos de los vegetales, etc.); y en el caso de que el líquido no moje al tubo. se manifiesta por una depresión (el agua sobre las grasas, ó, por el contrario, el aceite en tubos humedecidos, etc.). Los cambios de nivel debidos á estas acciones capilares son tanto mayores, cuanto más estrecho es el tubo. El mercurio no moja el vidrio, y experimenta, por tanto, en los tubos delgados una depresión que, por otra parte, hace aparecer su superficie en forma convexa (menisco, fig. 93). Esta convexidad se hace más alta cuando aumenta la presión, y más plana cuando disminuye, obligando á descender á la columna; por esta razón, si se quiere obtener la altura barométrica verdadera, es preciso medir sobre la escala la altura del casquete y tener en cuenta en el cálculo la influencia capilar del tubo, para lo cual proporcionan el medio

ciertas fórmulas matemáticas comprobadas por numerosas observaciones, mas para cuya aplicación hay que conocer el diámetro del tubo. En los barómetros llamados normales se toman tubos suficientemente anchos para hacer desaparecer casi por completo la acción capilar.

FIG. 93
Menisco.

No se debe creer que porque las dos ramas sean de igual diámetro, no se tiene necesidad de considerar la influencia de la capilaridad en el barómetro de sifón, pues de las propiedades del mercurio anteriormente citadas resulta precisamente que, verificándose las oscilaciones de las dos ramas en sentido contrario simultáneamente, producen efectos también opuestos sobre la forma del menisco en ambas; de modo que el uno se hace de mayor radio ó más plano, mientras el otro adquiere menor radio ó mayor curvatura, y estas diferencias son muy dignas de atención en observaciones exactas.

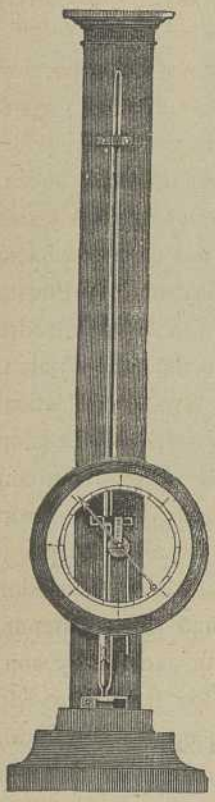


FIG. 94.
Barómetro de cuadrante.

En el uso ordinario del barómetro no se hila tan delgado. Basta en tales casos con observaciones aproximadas, y esta aspiración ha dado origen á construcciones *ad hoc*, que en algunos casos permiten llenar el objeto con cierta comodidad.

Una de estas formas más conocidas es el llamado barómetro de cuadrante (fig. 94). Es éste un barómetro de sifón, cuyo estado se mide por la altura del mercurio en la rama corta abierta y se marca por medio de una aguja sobre un disco circular que lleva una división en grados y en escala suficientemente grande. La rotación de la aguja sobre el arco graduado se obtiene de la manera siguiente. Al árbol ó eje de la aguja va unida una pequeña polea, á cuyo alrededos se arrolla un hilo fino terminado en ambos extremos por pesitos desiguales; uno de éstos, el mayor, entra en la rama corta del barómetro y se apoya flotando sobre el mercurio. Cuando crece la presión desciende la columna de mercurio de esta rama, el pesito sigue en su descenso al líquido, mientras que el otro se levanta por el lado opuesto; la polea, y con ella la aguja, adquieren con esto más rotación en cierto sentido. En el caso opuesto, cuando la presión disminuye, sube el nivel en dicha rama corta, sube la pesa flotante en el mercurio, desciende la otra, y la aguja con la polea giran en sentido contrario.

Otros barómetros miden también la presión del aire por la posición del mercurio en la rama corta, pero en forma distinta de la descrita, la cual fué ya propuesta por Huyghens. La rama corta se prolonga superiormente por un

tubo cilíndrico delgado, y el espacio que queda sobre el mercurio se llena con un líquido coloreado que llega hasta cierta altura en dicho tubito. Si ahora suponemos que aumenta ó disminuye la presión, el líquido coloreado baja ó sube respectivamente con el mercurio de la rama corta; pero por efecto del diámetro del tubo, mucho menor que el del sifón, estos cambios de nivel adquieren una extensión mucho más considerable, que permite apreciar las menores oscilaciones.

En otro tiempo la división más frecuentemente empleada en las escalas era en pulgadas y líneas parisienses; pero actualmente, no sólo los barómetros que se destinan á usos científicos, sino también los últimamente descritos, que suelen adornar como mueble curioso las paredes de muchas habitaciones, están ya divididos generalmente en centímetros y milímetros.

La altura media al nivel del mar se considera de 76 centímetros, que corresponden próximamente á 28 pulgadas.

Hay otro método de hacer perceptibles las acciones y cambios de la presión atmosférica, según el cual se construyen barómetros que no contienen mercurio. La invención de éstos en su primitiva forma procede del francés Vidi (1844). Partió éste de la idea de que las cubiertas elásticas de una caja hueca, ó bien las paredes igualmente flexibles y elásticas de un vaso cerrado por todas partes y en el cual se hubiera hecho el vacío, se comprimen más ó menos hacia dentro por efecto de la presión exterior y en proporción al valor de ésta. Puesta en comunicación la tapadera de la caja vacía, ó al menos ocupada por un aire enrarecido, y herméticamente cerrada por todas partes, con un sistema de palancas muy sensible y uno de cuyos brazos se apoya en dicha tapadera elástica, pueden hacerse visibles los movimientos producidos por los cambios de presión sobre una escala graduada; y si esta división se construye por comparación con un barómetro normal de mercurio, es posible leer directamente, por la posición de la aguja, el valor de la presión atmosférica exterior en un momento dado, y expresado en centímetros y milímetros de mercurio. Tales aparatos, constituídos en todas sus partes por sustancias metálicas, ocupan un espacio mucho menor, tienen una forma mucho más cómoda, no se rompen con tanta facilidad y son, por consiguiente, mucho más fácilmente transportables que los barómetros de mercurio. Por todas estas razones han conseguido pronto la aceptación general, muy justificada por otra parte, toda vez que la industria se ha perfeccionado tanto sobre este particular, que los nuevos instrumentos, llamados barómetros aneroides, para diferenciarlos de los antiguos barómetros de mercurio, apenas desmerecen tampoco de éstos en exactitud.

En el año 1845, un ingeniero que falleció pocos años después, Schinz, inventó otro mecanismo, que hizo construir al mecánico Rosskopf de Coblenza; pero como sucede con tantas otras cosas, permaneció en el olvido, hasta que el mecánico parisién Bourdon se apoderó de la idea y adquirió una patente de

ella en 1850. Desde esta fecha cunden por todas partes los aparatos construídos según el principio de Schinz, con el nombre de barómetros aneroides de Bourdon, por más que el mecánico parisién no podía tener pretensión alguna sobre la prioridad del invento. En efecto, en el año 1859 la misma Cámara de Comercio francesa condenó á Bourdon á pagar una indemnización á Vidi, pues la patente de éste se refería, en general, á un vaso con paredes elásticas, y el instrumento descrito por Bourdon, y por cuyo descubrimiento solicitó éste su patente, estaba incluído completamente en aquella clase.

FIG. 95.—Barómetro aneroide.

La idea sobre que se apoya el aparato de Schinz es extraordinariamente ingeniosa, y resalta, mejor que por ningún otro medio, por la descripción del instrumento representado en la fig. 95. La parte principal de este barómetro metálico es un tubo de metal, hueco, de sección elíptica, ó sea un anillo hueco, de latón, *A*, que no forma un círculo completo y está fijo por su punto medio al fondo de una caja. Está constituído por una lámina tenue elástica, de latón; sus extremos en *a* y *b* están herméticamente cerrados, y el espacio interior está vacío tan completamente cuanto es posible. Si ahora actúa sobre este anillo una presión atmosférica creciente, la superficie exterior debe obedecer á ella más que la interna, porque es evidentemente mayor, y la consecuencia de esto ha de ser que el anillo elástico se encoja en cierta proporción. Cuando la presión disminuye, por consecuencia de su elasticidad se ensancha el tubo otra vez en la cantidad correspondiente. Ahora, la contracción ó extensión de dicho tubo se transmite en *a* y *b* por medio de una combinación de palancas y de un muelle metálico, *c*, á una aguja que señala las variaciones de presión determinantes de aquéllas, sobre un arco de círculo graduado por comparación con un barómetro normal. Los barómetros aneroides han adquirido en los últimos años un empleo cada vez más general, debido al esmero de su construcción, que aumenta también de día en día.

En la Exposición de París de 1867 se vieron por primera vez instrumentos de este género, construídos por Beck, de Londres, que no se diferenciaban apenas, por su tamaño y por su forma, de nuestros relojes de bolsillo. En tan pequeño espacio estaba reunido todo el aparato, que recibía la impresión de los cambios en la presión atmosférica, midiéndolos y señalando su valor sobre un cuadrante graduado por medio de ruedas dentadas y palancas; y por cierto que, á pesar de lo minucioso de las partes aisladas, la exactitud era tan grande, que bastaba elevar el aneroide desde el piso del suelo del edificio de la Exposición hasta los últimos peldaños de un tramo de escalera, es decir, una altura próxi-

mamente como el doble de la altura de un hombre, para que se manifestara una desviación apreciable de la aguja. Una diferencia tan mínima en la presión como la que corresponde entre ambos puntos, podía, no sólo reconocerse, sino hasta medirse por el aparato. A partir de esta época, estos instrumentos han recibido todavía múltiples modificaciones, que los han hecho de un uso excelente, construyéndose hoy á precios tan módicos, que no hay viajero de los Alpes que no los considere como objeto indispensable en su equipaje.

MANÓMETROS

Cuando soplamos una vejiga vacía, la vemos hincharse inmediatamente en todos sentidos. La acción que aquí ponemos en juego es exactamente la misma que sirve de base al barómetro aneroide, pero en sentido contrario. En el ejemplo citado, la mayor presión actúa de dentro afuera, y produce, por tanto, una dilatación. Bourdon ha aplicado también el invento de Schinz á la medida de presiones mayores que la atmosférica, y como quiera que toda la acción de las máquinas de vapor se funda en tensiones semejantes, á veces muy considerables, su medida exacta tiene una importancia tanto más grande, cuanto que de su conocimiento depende, no sólo la marcha regular de la máquina, es decir, el tiempo y el dinero, sino también á veces la vida de los operarios. Los instrumentos empleados para la medida de las tensiones de vapor se llaman manómetros, y de éstos, el llamado generalmente de Bourdon, según queda dicho, tiene un mecanismo, inteligible por la inspección de la fig. 96, sin necesidad de amplias explicaciones. Un tubo encorvado, semejante al que mostraba el barómetro aneroide, se halla en una caja. Como en aquel aparato, dicho tubo está completamente incomunicado con el aire exterior, pero no vacío, sino en comunicación con la caldera cuya tensión se quiere medir por medio de un tubo con llave que penetra á rosca por la armadura situada en la parte inferior del borde de la caja. Puesto que los cambios de tensión actúan aquí de dentro afuera del tubo, éste se moverá en sentido contrario que en el barómetro, esto es, se distenderá disminuyendo su curvatura cuando la tensión del vapor se haga mayor, y se arrollará más cuando disminuya la presión interior. Este movimiento se transmite á una aguja que lleva una rueda dentada, por medio de un arco, dentado también, y de un sistema de palancas, de modo que á cada dilatación ó arrollamiento del tubo, la aguja corre hacia un lado en que están señalados los números mayores cuando la presión aumenta, y hacia el lado contrario cuando disminuye.

Algunos años después de Schinz, pero antes aún de que Bourdon adquiriera su patente sobre el nuevo barómetro inventado en el año 1849, el ingeniero alemán Schäffer obtuvo también patente de un manómetro que viene á estar con el barómetro aneroide de Vidi, próximamente en la misma relación que el

llamado barómetro de Bourdon con el aparato de Schinz. Schäffer hacía obrar la presión variable que se quiere medir, ó sea la tensión de vapor, no sobre las paredes interiores de un tubo hueco, sino, como Vidi, sobre una lámina elástica, en la cual hacía desembocar el tubo de vapor, contra la cara interna de una especie de tapadera de una caja. La disposición que adoptó para ello se hace comprensible por la observación de la fig. 97. En ella, *H* es el espacio interior de la caja que está cerrada herméticamente en su parte superior por la lámina de acero alabeada *A*. Por la parte inferior se abre la caja en el tubo *G*, que está en comunicación con la caldera de vapor; de modo que la citada lámina *H* está sometida por su cara interna á la tensión del vapor de la caldera, y por encima simplemente á la presión atmosférica, pues el espacio sobre *A* comunica con el interior de la caja en que está situado el mecanismo que pone en movimiento á la aguja *E*, y cuya caja comunica á su vez libremente con el exterior. Para proteger de la oxidación á la lámina elástica de acero, se cubre superficialmente de una tenue capa de plata, y su unión con las paredes de la caja se verifica por medio de tornillos entre los ceñidores *F*, que la comprimen lo más completamente posible. Con objeto de evitar un destornillamiento que pudiera tener lugar eventualmente, las cabezas de los tornillos que producen en *F* el cierre de la cámara de vapor *H*, están agujereadas, y por estos agujeros se hace pasar un alambre, cuyos extremos se sueldan con plomo. Sobre la lámina de acero *A* se apoya una pieza saliente *B* que participa de todos los movimientos de aquélla y los comunica, por medio de una varilla articulada á un sector de arco dentado, cuyos dientes engranan con los de un pequeño piñón, cuya rotación sigue la aguja *E*, marcando sobre la escala ó di-

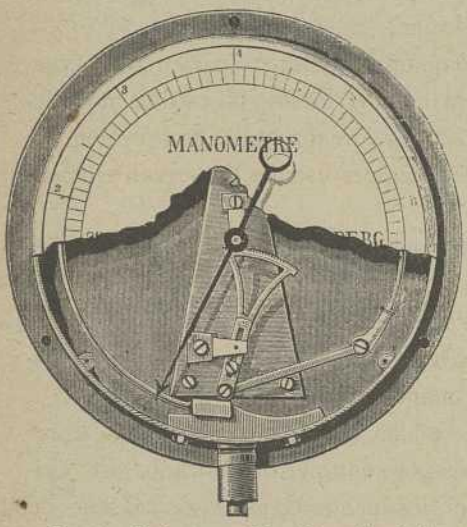


FIG. 96 —Manómetro metálico (sistema Bourdon).

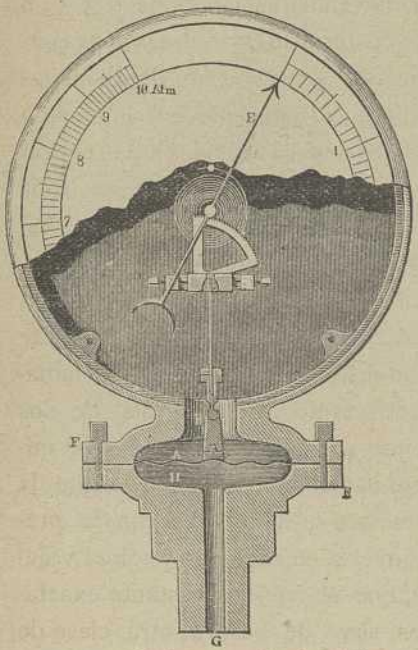


FIG 97.—Manómetro metálico de Schäffer.

visión exterior todo cambio en el valor de la tensión. Un resorte antagonista en espiral, fijo al eje de la aguja, obliga al piñón á estar siempre en relación con los dientes del sector, contribuyendo así á que no quede sin efecto sobre la aguja el más pequeño movimiento de la lámina.

Los manómetros metálicos todos se comparan y gradúan, para mayor exactitud, con los de mercurio. Las escalas señalan generalmente hasta diez atmósferas, pero las láminas de acero están sometidas á prueba hasta una presión doble; de modo que en los límites de las observaciones usuales conservan el coeficiente normal de elasticidad.

El manómetro últimamente descrito se construye en la fábrica de Schäffer y Budenberg, en Buckau-Magdeburgo, que provee al mundo entero de sus instrumentos. La citada fábrica tiene además depósitos en varias ciudades de Alemania, Austria, Inglaterra y Rusia, y en la larga serie de años que lleva de existencia ha fabricado un número enorme de manómetros.

Sabemos que las tensiones de vapor se miden tomando como unidad la presión de la atmósfera; esto es, 1.033 gramos por centímetro cuadrado. Sin embargo, se ha establecido generalmente para los manómetros de las calderas de vapor, en lugar del valor, incómodo para los cálculos, 1.033, el valor aproximado y más sencillo de un kilogramo de presión sobre el centímetro cuadrado como presión de una atmósfera, y según esto, decir que una presión es de 2, 3, 6, 8 atmósferas, significa que sobre cada centímetro cuadrado de pared el vapor ejerce una presión de 2, 3, 6, 8 kilogramos. Bajo este criterio están divididas las escalas manométricas. Se comprende por lo dicho cuán enorme será la presión total que tiene que resistir una caldera de mediana superficie, cuando la tensión interior del vapor sea no más de unas cinco ó seis atmósferas á las que por fuera se opone una atmósfera solamente.

Según la ley de Boyle ó de Mariotte, para reducir un volumen de aire encerrado á la presión atmosférica en el recipiente de una máquina de compresión á mitad de su volumen, hay que ejercer una fuerza de un kilogramo próximamente sobre cada centímetro cuadrado de la superficie del émbolo; cuya fuerza, sumada á la presión atmosférica exterior, que vale otro tanto, forma un total de dos atmósferas de presión, que es la que corresponde por dicha reducción á la mitad del volumen. Del mismo modo, si se quiere llevar todavía más adelante la condensación, habrá necesidad de emplear esfuerzos que, sumados con la presión atmosférica, den un total en proporción inversa en cada caso, con el volumen á que se quiera reducir el gas. Esta ley, que se verifica bastante exactamente dentro de límites no demasiado amplios, sirve de base á otra clase de manómetros. En efecto, si se pone en comunicación el interior de una caldera de vapor con la rama corta de un tubo de vidrio, doblado en forma de sifón y abierto por la rama larga, al abrir la llave el vapor ejerce presión sobre el mercurio colocado en dicha rama corta, y si la tensión del vapor es de una atmósfera,

el nivel del mercurio quedará á la misma altura en ambas ramas, puesto que la misma presión ejerce por un lado el vapor, que por el otro el peso del aire atmosférico. Pero si aumenta la tensión en la caldera, se elevará el mercurio en el tubo largo, y la diferencia de altura crecerá precisamente en 76 centímetros por cada atmósfera; por consiguiente, para una tensión de vapor de dos atmósferas, el nivel del mercurio en el tubo largo excederá en 76 centímetros el del tubo corto; para una tensión de tres atmósferas, en 152 centímetros; para cuatro en 228, etc. Mas si ahora suponemos que el tubo entero tenga 76 centímetros de longitud, y en cambio esté cerrado por su extremo y lleno de aire á la presión atmosférica, el nivel del mercurio permanecerá el mismo en ambas ramas para una tensión de vapor de una atmósfera; pero para dos atmósferas, por ejemplo, el mercurio comprimirá el aire, reduciéndole próximamente á la mitad de su volumen, y elevándose en dicho tubo largo unos 38 centímetros sobre el corto; para cuatro atmósferas se elevará unos 57 centímetros, para ocho, 66 y medio, etc. Los espacios intermedios se pueden obtener fácilmente por el cálculo.

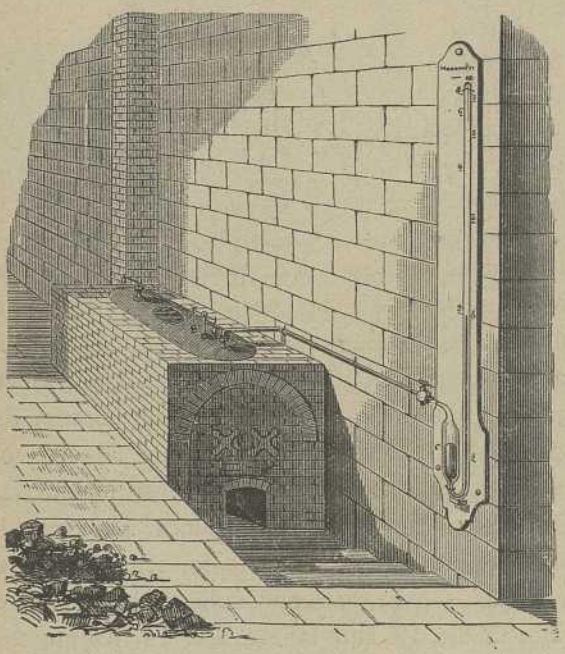


FIG. 98.—Manómetro de aire comprimido.

La primera clase de manómetros (de aire libre) no es de aplicación cómoda, porque exige tubos muy largos; de aquí que se haya utilizado con preferencia la segunda especie (de aire comprimido), de forma más sencilla y de menos tamaño, representando la fig. 98 un manómetro de este género en comunicación con una caldera de vapor. Son éstos, sin embargo, algo peligrosos, por la gran presión que el vidrio tiene que soportar en ellos.

OBSERVACIONES BAROMÉTRICAS

Volviendo ahora al barómetro en general, vamos á dar algunas instrucciones sobre la operación de medir alturas con él. Si, por ejemplo, en la superficie del mar la altura barométrica se ha encontrado igual á 76 centímetros, ó 760

milímetros, á la altitud de 10,5 metros exactamente aquella columna es sólo de 759 milímetros, correspondiendo á un descenso de una línea por 70 piés de altitud. Pero según la ley de Mariotte, las capas inferiores del aire son más densas que las superiores, y de aquí que para que se observe una segunda depresión de un milímetro en capas de aire superiores, y por tanto más ligeras, hay que ascender una altura algo mayor de los 10,5 metros. Por procedimientos matemáticos se han obtenido fórmulas que verifican la corrección, teniendo en cuenta la influencia de aquella ley; y según dichas fórmulas, la altura barométrica media á una altitud de

1.500 pies	sobre el mar es	— 715 mm.
3.000		— 673 »
6.000		— 595 »
9.000		— 527 »
18.000		— 365 »
27.000		— 252 »

La altura barométrica media, que es la presión que produciría la atmósfera por su propio peso exclusivamente, rara vez ó nunca se observa directamente en la Naturaleza, como ya hemos advertido anteriormente de pasada, pues entran en juego acciones muy varias, que alteran en uno ú otro sentido la elevación de la columna de mercurio. La temperatura, el estado higrométrico del aire, la dirección é intensidad del viento, la atracción del sol y de la luna, son factores todos que tienen influencia muy marcada sobre un instrumento tan sensible como el barómetro. Estos agentes no descansan nunca, pues cuando los unos parecen haber adquirido cierto estado estacionario, seguramente es cuando los otros se desenvuelven más activos, haciendo subir ó bajar el nivel del mercurio alrededor de su valor medio. De aquí las oscilaciones que muestra el barómetro y en que descansa su empleo popular como anunciador del tiempo. Según el resultado de numerosas experiencias acerca del particular, practicadas durante largo tiempo, se ha formado una escala vaga y que, á decir verdad, no merece gran confianza, por cuya escala los instrumentos comerciales llevan escrito, en lugar de los valores de la presión en milímetros, las siguientes indicaciones principales: en el centro, «variable;» luego, superiormente ó á la derecha, según la clase de instrumento, «buen tiempo;» «constante», «muy seco;» é inferiormente, ó á la izquierda, «lluvia ó viento,» «grandes lluvias,» «tempestad,» y hasta el anuncio de los desastrosos temblores de tierra, lo cual tiene gran importancia. La indicación elástica de «variable» corresponde á la altura barométrica media del lugar.

No es, sin embargo, por este medio, sino por la utilización de recursos auxiliares mucho más complejos, como la Meteorología moderna, gracias á las redes telegráficas extendidas y cada vez más compactas por todo el mundo civilizado, ha llegado en los últimos años á hacer prácticamente aplicable la *prog-*

nosis ó determinación previa del tiempo. En las estaciones meteorológicas centrales se reunen las noticias telegráficas sobre alturas barométricas simultáneas en multitud de pueblos de toda Europa (así como también los resultados de otras observaciones, como temperatura, dirección é intensidad del viento, etc.), y de este modo es posible formar una idea sintética de las relaciones entre los agentes atmosféricos sobre la extensión de terreno correspondiente. Se averigua así los puntos de presión maxima y de presión mínima (correspondientes á la máxima y mínima altura barométrica), y como naturalmente de esta oposición ha de nacer una tendencia al equilibrio, corriendo el aire desde los puntos de presión máxima hacia los de presión mínima, se obtiene así una base para presagiar la dirección de los vientos que deben levantarse. Si ahora se toma en cuenta el estado higrométrico, la temperatura, etc., tanto en el punto de la máxima como en los puntos intermedios situados en la dirección del viento, se tendrán nuevos datos y se podrán hacer deducciones correspondientes sobre el tiempo probable en los puntos considerados. Más adelante nos ocuparemos detalladamente de este asunto.

Si el tiempo dependiera sólo de la presión atmosférica, el barómetro estaría en condiciones de ser por sí solo un buen profeta; pero la temperatura y la humedad son dos factores de los cambios atmosféricos, tan esenciales como aquél, y su influencia sólo puede ser defectuosamente indicada por el barómetro. Ya veremos más adelante cómo los vientos se originan, de qué modo las corrientes ascendentes y descendentes del aire, por su mutuo encuentro, causan las descargas atmosféricas, y por su lucha los vientos y las tempestades. Ahora bien: toda corriente de aire descendente ha de aumentar forzosamente la presión sobre los puntos situados por debajo de ella, y, por el contrario, la corriente ascendente, un descenso en la columna de mercurio del barómetro; pero unas veces el viento más húmedo es el más cálido, otras el más frío; ya nos encontramos sometidos por completo al uno ó al otro; ó ya en la región de su mezcla turbulenta, y por la combinación de los diferentes fenómenos meteorológicos son á veces compatibles los más variados con una misma altura barométrica. No basta, pues, tener en cuenta ésta, ni tampoco su tendencia á subir ó bajar.

Sin embargo, en medio de la aparente irregularidad en las oscilaciones barométricas, algunos observadores perseverantes han llegado á descubrir una ley notable. En efecto: las anotaciones diarias y aun horarias de aquellas oscilaciones mostraron, por su comparación, la reproducción uniforme de una altura máxima y otra mínima; si se colocaran unas al lado de las otras, las representaciones gráficas de las alturas de la columna barométrica á cada hora, ó, como se puede también practicar, se reproduce fotográficamente sobre un papel preparado al efecto, y que se mueve por detrás del mercurio, la subida y bajada del menisco, se tienen así ondas, cuyo curso refleja los grandes movimientos

del océano aéreo. Para descubrir de este modo la existencia de los períodos regulares, no bastan ciertamente las observaciones de algunos días ó de algunas semanas; se necesitan series numerosísimas. Por esto en todos los puntos céntricos de la red de estaciones meteorológicas que, según la excitación de Humbolt, están esparcidas por toda la tierra, se observan las alturas barométricas á diferentes horas, antes y después del mediodía, y al anochecer; anotándose y publicándose de tiempo en tiempo el conjunto de estos datos.

De este modo se han obtenido oscilaciones diarias de cierta regularidad; así como las máximas y mínimas anuales. Los valores de éstas no son iguales para los diferentes puntos de la tierra; pero en todos ellos el barómetro muestra su altura máxima próximamente hacia las diez de la noche, y la mínima hacia las cuatro de la madrugada. Desde esta mínima asciende hasta las once de la mañana (segunda máxima), y después desciende de nuevo, hasta las cuatro de la tarde, en que señala una segunda mínima, subiendo á continuación con rapidez, hasta la noche. La onda diaria ofrece, pues, dos vértices y dos valles. En los trópicos es mucho mayor la regularidad, hasta el punto de que, como dice Humbolt, se puede determinar la hora del día por la altura de la columna de mercurio, sin peligro de equivocarse en más de quince ó diecisiete minutos. En nuestras latitudes varían algo las horas de los valores extremos con las estaciones.

La onda anual tiene el valor máximo en invierno y el mínimo en verano.

Es fácil reconocer que la causa de ambas está en el calentamiento desigual del aire por el sol, y en las corrientes ascendentes y descendentes que resultan de ello; y de este modo, la sencilla experiencia de Torricelli, no sólo nos revela la atracción de la Tierra sobre la atmósfera y nos da una regla para medir nuestra distancia al centro del planeta que habitamos, sino que, por otra parte, nos hace visibles el flujo y reflujo del océano aéreo, presentándosenos en cierto modo como un puente de enlace entre la Tierra y el Sol.

LOS GLOBOS AEROSTÁTICOS

Y LA

NAVEGACIÓN AÉREA

Tentativas para volar.—El globo aerostático.—Los hermanos Montgolfier lanzan su primer globo en 1783.—Globo de Charles en el Campo de Marte.—Competencia entre los sistemas de Montgolfier y de Charles.—El primer viaje aéreo de Pilâtre de Roziery el marqués d'Arlande.—Viajes aéreos de Charles y de Roberto Blanchard, atravesando el canal de la Mancha.—El paracaídas.—Viaje de Green desde Inglaterra á Alemania.—Tentativas posteriores delos navegantes aéreos.—Arbán.—Coxwell.—Gypson.—Nadar y el Gigante.—Utilidad y porvenir de la navegación aérea.—Expedición de Gay-Lussac y Biot.—Tentativas para dar dirección á los globos.

¡Si yo fuera pájaro! He aquí un deseo cantado en mil formas por los poetas románticos de todos los pueblos modernos. Los pueblos de la antigüedad, que en su sencillez se guardaban de aspiraciones que excedieran los límites de lo accesible, apenas si sufrieron el aguijón de estos anhelos vagos que atormen-

tan á nuestros enamorados poetas. Del mismo modo que no concebían que fuese la mayor de las felicidades ser pisoteado cual lánguida margarita por los pies de la mujer amada, encontraban igualmente superflua la aspiración de competir con las golondrinas y los gavilanes. La leyenda de Ícaro, que habiéndose colocado en la espalda, con cera, un par de alas para volar hacia el sol, y habiéndose derretido la cera, cuando ya estaba cerca de alcanzarle, cayó de cabeza, desprendido de su imperfecto mecanismo, era á propósito para escarmentarlos de semejantes empresas. La investigación propiamente dicha de la navegación aérea pertenece á los tiempos modernos, y principalmente á los franceses, que la comunicaron poderoso impulso, perfeccionando lo que en su origen no era más que una diversión más ó menos curiosa.

MÁQUINAS VOLADORAS

Los primeros esfuerzos para surcar los aires, cual las aves, se hicieron tratando de emplear los mismos medios que éstas, y de descubrir mecanismos que correspondieran exactamente á sus alas. De modo análogo á los constructores de barcos, que antiguamente creyeron que la forma de cuerpo del pez era el mejor modelo de buque, los investigadores á que nos referimos construyeron máquinas imitando la disposición del cuerpo de los pájaros, á las cuales, para que la semejanza fuera más completa, adaptaron verdadera alas de pluma. La nave aérea representada en la fig. 99 y propuesta por Laurent en el año primero del siglo XVIII, muestra un ejemplo de lo dicho. Otros, partiendo de la idea de que el hombre se aproxima más por su organización al murciélago que al águila, ponían, en lugar de las alas de pluma, membranas formadas de sustancias tenues, pero resistentes.

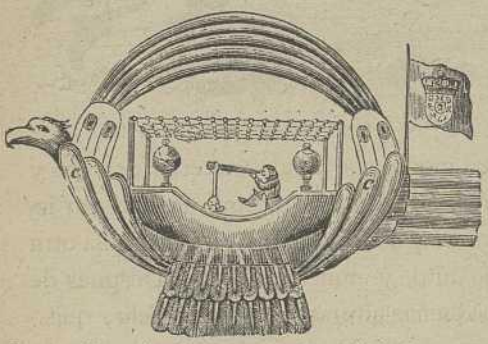


FIG. 99.—Nave aérea de Laurent, según un dibujo del año 1709.

Todos, sin embargo, vinieron á coincidir en la triste convicción de que la fuerza muscular del hombre no basta para elevar su propio cuerpo y sostenerle en el aire durante algún tiempo, sin un punto firme de apoyo, y que el aire es un medio demasiado sutil para que los movimientos del aparato pudieran encontrar en él suficiente resistencia. Se necesitaría una velocidad extremadamente grande en dichos movimientos para que el cuerpo no cayera por su peso, al menos tanto como había ascendido en virtud de cada impulso. ¿Y qué fuerza podría aplicarse á nuestros brazos ó piernas que realizara con tal rapidez los movi-

mientos de las alas, cuyo peso obraba sobre un gran brazo de palanca, dado que habían de ser muy extensas para que abarcaran gran superficie?

Caso de que el problema pudiera tener solución, tendría que ser por el camino revelado en el juguete que hemos llamado *el volador*, y descrito en la página 70 (fig. 21), como aplicacion del tornillo ó hélice. Este principio es el que á primera vista se ofrecía como de éxito más seguro.

Después de estas tentativas, ninguna consecuencia práctica ha subsistido, tanto por el sistema de ruedas de alas como el de alas en hélice. No es cosa de considerar aquí las numerosas y variadas experiencias practicadas, ni los aún más numerosos y variados proyectos que por falta de medios no han llegado nunca á la práctica. Sólo mencionaremos al joven Besnier, cerrajero de Sable, en Francia, que llamó la atención general en 1786 con una especie de máquina para volar, que se sujetaba á la espalda á modo de unas angarillas. Estaba constituída principalmente por dos barras que se movían alrededor del centro en el cual estaban articuladas. La mitad de cada barra servía de eje á una especie de ala de tafetán. Las alas anteriores eran movidas con los brazos, y las posteriores con los pies; de tal modo, que las alas anterior derecha y posterior izquierda subían ó bajaban simultáneamente, así como la anterior izquierda y posterior derecha; pero su inventor no consiguió con esta máquina otra cosa que descender oblícuamente desde lo alto, y nunca elevarse. Después de varios ensayos en este sentido, y desde pequeñas alturas, con éxito feliz, quiso arriesgarse ya desde alturas mayores, y se dice que, en efecto, atravesó por encima de algunos ríos con su aparato. Por lo menos no se ha traslucido que se desnucara, y fué, por tanto, más feliz que el Dédalo de la antigüedad y algunos de sus sucesores.

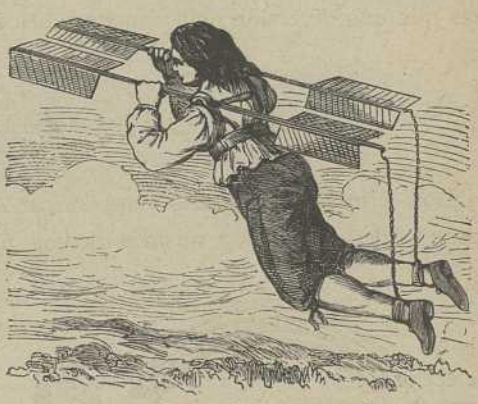


FIG. 100.—Aparato de Besnier para volar.

Por esta época próximamente construyó en París Blanchard una máquina para volar, que expuso por los años 1780 á 1783, en el hotel de la calle de Turena: el llamado «bote volador» Surantor había tratado de resolver la cuestión de muy diversos modos, pero siempre se había visto obligado á emplear, para equilibrar el peso del aparato en conjunto y de las alas, un contrapeso que le impedía elevarse libremente en el aire; estaban, pues, limitados sus movimientos á girar dentro de cierto espacio, en el cual aquel contrapeso podía encontrar un punto de apoyo. La fig. 101 representa, sobre poco más ó menos, la vista exterior de la máquina.

En época relativamente más reciente, de 1808 á 1809, el relojero de Viena

Degen, hizo mucho ruido con una máquina para volar, construída, según parece, de un modo semejante á la anterior. Degen, que era hombre al que se debía atribuir por su oficio algunos conocimientos mecánicos, volaba sólo, por lo que se sabía, dando vueltas alrededor de un picadero de Viena, y no suelto por completo, sino mediante una especie de columnas colocadas de trecho en trecho en el espacio que debía recorrer. Cuando quiso mostrar su habilidad en una plaza pública en París, tuvo un fracaso completo, y el pobre se vió obligado á escapar avergonzado y escarnecido. Sin embargo, Degen tampoco pretendía volar en París como un pájaro, sino solamente levantarse en un aparato dirigible, y

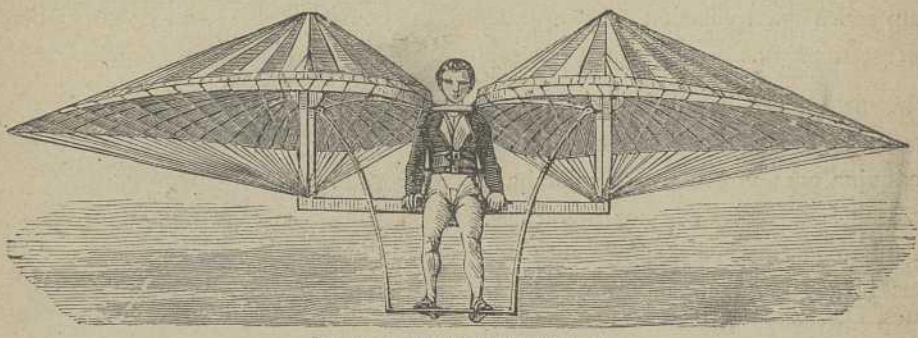


FIG. 101.—Bote volador de Blanchard.

efectivamente su máquina era una especie de combinación de un globo y una cometa.

Peor suerte que Degen tuvo un mecánico holandés, De Groof, que en 1874 inventó en Londres un aparato con el cual pretendía demostrar la posibilidad de volar real y efectivamente. Debió haber ofrecido en algún ensayo la prueba de que su máquina voladora funcionaba bien, y aun parece haber reinado en muchos la idea de que á lo menos manifestó ejercer una acción como la de un paracaídas. Estas referencias no concuerdan, sin embargo, con el hecho de que, al probar el inventor á soltarse, abandonado á su aparato, desde una altura considerable, á la cual se había elevado en un globo, el aire no le opusiera resistencia bastante enérgica. En efecto, De Groof tuvo la verdadera temeridad de subirse el 9 de Julio de 1874 en el globo *Czaar*, y apenas se soltó de él, cuando cayó con su máquina desde la altura de 400 metros, estrellándose contra el suelo.

Hoy está completamente fuera de dudas, y no es tampoco difícil de demostrar, que la fuerza muscular del hombre no basta, ni con mucho, para sostener en el aire, sin un punto fijo de apoyo, el peso de su cuerpo, ni siquiera durante un tiempo muy pequeño. Pero ya hace mucho tiempo que, convencidos de esta verdad por los resultados de todas las máquinas y aparatos inventados con tal objeto, se ha recurrido á otros medios auxiliares especiales, solicitando el concurso de fuerzas sobre cuya esencia íntima y modo de obrar se tenían sólo ideas

muy imperfectas. De la electricidad y el magnetismo se prometían grandes recursos, y cuanto más complicado y confuso era un mecanismo, tanto mayores esperanzas se cifraban en él. La barca voladora, propuesta por el jesuíta Lana en el año 1680, debía ser arrastrada por cuatro grandes globos, formados de láminas de cobre extraordinariamente tenues, y en los cuales se debía haber hecho el vacío por medio de la máquina neumática. La idea fundamental es ya aquí la de obtener un cuerpo más ligero que el aire, y no está, por consiguiente, desprovista de razón. Pero la forma en que la utilizó Lana, dado que tenía un concepto completamente erróneo de la presión atmosférica, fué lo que hizo fracasar naturalmente su primera tentativa. Sin embargo, como descansa este aparato sobre una aplicación del pensamiento que constituye la base de los globos aerostáticos, nos hemos creído obligados á hacer mención especial de él.

HISTORIA DE LOS GLOBOS AEROSTÁTICOS

Por vez primera debió elevarse en el aire por el año 1709 un físico portugués, D. Guzmán, en presencia del rey Juan V, en un canastillo de madera recubierto de papel, y bajo el cual ardía una llama. Pero el aparato tropezó en la cornisa del Palacio real, se desbarató y vino á descender, felizmente con bastante lentitud para que el aeronauta quedara sano y salvo. La Inquisición se opuso á una segunda experiencia; consideró el hecho como un sortilegio, y gracias á la voluntad poderosa del Rey, pudo salvarse de la hoguera D. Guzmán. Éste debió, pues, ser el primer globo aerostático, un mongolfier antes de Montgolfier. Mas para que no nos queden tampoco en zaga los chinos en la historia de este invento, hay una Memoria del misionero francés Basson, escrita en 1694, es decir, cien años antes de que se supiera en Europa algo de los globos aerostáticos. Refiere dicha Memoria, tomada de documentos oficiales, que «ya en 1306, cuando la coronación del emperador Fo-kien, formó parte de los festejos la elevación de un globo.»

Sea de esto lo que quiera, el desenvolvimiento real y positivo de la aerostación pertenece de un modo incontestable á Francia, y van á él íntimamente ligados los hermanos José y Esteban Mongolfier, hijos de un fabricante de papel en la pequeña ciudad de Annonay. Su familia descendía de la ciudad Ambert, en la Auvernia. Los antecesores habían sido partidarios entusiastas de la Reforma, y por tal concepto sufrieron la cruel persecución que tuvo digno remate en la noche de San Bartolomé. Fueron confiscados sus bienes; el molino de papel, herencia de familia, fué destruído, y ellos mismos tuvieron que huir para salvar su vida. Pero el establecimiento que fundaron de nuevo más tarde en Annonay, adquirió pronto tal importancia, que hacia principios del siglo XVIII la fabrica-

ción Montgolfier tenía una gran fama. Caracterizaba á esta familia un acendrado amor patrio y una gran afición al cultivo de las ciencias.

Esteban Montgolfier, nacido en 1746 y fallecido en 1810, fué enviado á París para su educación, dedicándose á la arquitectura, en cuyos estudios reveló una gran aptitud para las matemáticas. Reclamado más tarde por su padre, con objeto de que tomara parte en el negocio de la fábrica, se conquistó pronto un nombre distinguido en este terreno, por los perfeccionamientos que llevó á cabo. Su hermano José, nacido en 1745 y fallecido en 1799 no estaba ciertamente adornado de menores dotes por la Naturaleza; era, sin embargo, menos aficionado á los procedimientos sistemáticos y rigurosos que caracterizaban los trabajos de Esteban. Dotado de un instinto sutil, se apoderaba pronto de la verdad, y para llegar á soluciones rápidas no tenía nunca necesidad de pasar esos procesos é investigaciones metódicas en que los sabios pierden á veces un tiempo precioso. Cuanto hacía, lo hacía en forma propia, pronto y con entusiasmo; lo que no le agradaba, no lo aprendía; era un temperamento espontáneo, fogoso, uno de esos espíritus investigadores para los cuales aquella época ofrecía ancho campo y terreno abonado. Las ciencias físicas y químicas, aún en la infancia de su desarrollo moderno, comenzaban á ramificarse y á cubrirse sus ramas de vida exuberante, por cuya razón, empresas que hoy nos parecen insensatas, entonces se acariciaban con fe; la más alta sabiduría en su manera de ser á la sazón, abrigaba en su seno muchos absurdos, y, en cambio, de muchas otras cosas se carecía aún en absoluto de conocimientos, ó, á lo más, se tenía un conocimiento muy imperfecto. Pero como cada época tiene en sí sola su propia medida, no es posible poner en parangón las investigaciones primeras de los hermanos Montgolfier con nuestros conceptos y conocimientos actuales. Aparte del que nos ocupa en este capítulo, los demás inventos á que va asociado el nombre Montgolfier, y de entre los cuales sólo queremos hacer mención del ariete hidráulico como uno de los más ingeniosos, demuestran suficientemente que ambos hermanos merecen, á lo menos, ser incluídos

FIG. 102 —Los hermanos Montgolfier.

en la clase de hombres de imaginación y no desprovistos de conocimientos.

La idea de elevarse en el aire es muy probable se originara por primera vez en el espíritu emprendedor de José, hipótesis muy en armonía con el temperamento de éste. «Las nubes de humo que diariamente ascedían por las montañas desde la chimenea de su fábrica—refiere un autor frances—debieron engendrar en los Montgolfier el pensamiento de hacer nubes artificiales. Según esta idea, hicieron llegar vapor de agua dentro de una cubierta delgada, y el aparato se elevó, pero para caer de nuevo á poco. Emplearon entonces humo, y la cosa no dió mucho mejor resultado; pero á la sazón estudiaban ellos el nuevo libro de Priestley, sobre el conocimiento de las diferentes clases de de aires, y esa obra contenía multitud de descubrimientos importantes acerca de gases hasta entonces desconocidos. La idea de que el gas hidrógeno, tan ligero, debía proporcionar en especial un completo éxito, parecía inmediata. Pero sus globos de papel le debían dejar escapar demasiado rápidamente, aparte de que su preparación era entonces difícil y poco conocidas sus propiedades. Volvieron, pues, á la idea del vapor de agua; pero partiendo esta vez del supuesto erróneo de que, si quemaban juntos paja húmeda y algodón seco, se formaría un vapor «eléctrico» que tal vez poseería una fuerza impulsora mayor. Comenzaron, pues, á llenar con el supuesto vapor globos huecos de tafetán, que sostenían por el orificio inferior sobre la llama encendida, y entonces subieron efectivamente sus globos, pero sólo porque los habían revestido de cubiertas más tupidas.

El principio de los globos aerostáticos es el mismo que hace elevar una burbuja de aire en el seno del agua. Si se forma una burbuja de hidrógeno, que es catorce veces más ligero que el aire atmosférico; ó, lo que es lo mismo, si se llena con hidrógeno un globo hueco cerrado por su parte superior, es evidente que se elevará en la atmósfera. Pero también se producirá este mismo efecto haciendo al aire más ligero dentro del globo, que es lo que se practica cuando se le calienta. El calor dilata los cuerpos; y esta verdad, aun no teniendo los Montgolfier conocimiento exacto de ella, determinó el éxito de sus experiencias. Algunos sabios les hicieron advertir con este motivo la falsedad de sus ideas sobre humos eléctricos, y que la fuerza ascensional residía sencillamente en el aire enrarecido por el calor. Saussure, por ejemplo, les demostró esto mismo, colocando una barra de hierro incandescente en el interior del globo, que subió por esta sola causa, sin que hubiera aquí nada de los pretendidos humos eléctricos. A pesar de todo, los hermanos citados conservaron cierto apego á aquella primera experiencia afortunada, y en otras posteriores siguieron quemando siempre algo de la primitiva mezcla, cuya combustión es claro que no se producía sin calor.

El primer ensayo público tuvo lugar el 4 de Junio de 1783 en la casa de los Montgolfier. El globo estaba formado de tela forrada de papel, tenía 12 metros de diámetro, pesaba 219 kilogramos, y podía elevar una carga de 200 kilogra-

mos. Se elevó en diez minutos hasta una altura considerable, pero pronto volvió hacia tierra, viniendo á caer á dos tres kilómetros del punto de la ascensión.

Millares de curiosos acudieron á presenciar este espectáculo nunca visto, y saludaron el nuevo descubrimiento con indescriptible júbilo. Se remitió una Memoria á la Academia de Ciencias de París que, para comprobar las experiencias, nombró de su seno una comisión compuesta de Larrochier, Cadet, Condorcet, Desmarets, Bossut, Brisson, Leron y Villet.

La portentosa nueva se esparció rápidamente por Francia y por fuera de ella, y los parisienses, como era natural, quisieron conocer el espectáculo. Sin esperar el dictamen de la Academia de Ciencias se recogieron por suscrición privada unos diez mil francos, se nombró un comité, se designó á los inteligentes mecánicos hermanos Robert para la construcción del globo, confiriendo la dirección de la empresa al insigne profesor de física, Charles.

FIG. 103.—Profesor Charles.

Si bien es verdad que se tenían referencias detalladas del suceso, no se poseía conocimiento alguno sobre el gas empleado por los Montgolfier, pues éstos hacían de ello un secreto. Charles se vió, pues, obligado á emplear el hidrógeno. Esta sustancia, que es catorce veces más ligera que el aire atmosférico, debía de obrar mucho más enérgicamente que aquel gas desconocido, el cual se decía pesaría á lo menos el doble que este último. Pero la preparación del hidrógeno no se había verificado hasta entonces más que en pequeña escala, y en el globo que se quería llenar cabrían lo menos 40 metros cúbicos. Todos temían, incluso los sabios, la inflamabilidad del hidrógeno. Charles, sin embargo, lo arrostró todo; había que idear un aparato para la preparación, y después de muchas vacilaciones, se adoptó el siguiente: se pusieron las limaduras de hierro con agua en un tonel, se hicieron dos agujeros en la tapia de éste, al uno se adaptó un tubo de conducción de cuero que llevaba el gas hasta el globo, el otro orificio se tapó con un corcho, y de tiempo en tiempo se echaba por él ácido sulfúrico. Pronto se manifestaron dos inconvenientes: la elevación de temperatura era tan grande, que se desprendía una gran cantidad de agua impregnada de

ácido, el cual, al condensarse en el globo, amenazaba corroer el tafetán de que estaba formado. Además, escurría una gran cantidad de agua, que había que recoger continuamente del tonel, el cual tenía que bañarse continuamente por fuera con agua fría, por medio de dos bombas. Esto dió lugar á que se perdiera una gran cantidad de gas, y que, para llenar un globo que apenas pesaba nueve kilogramos, se invirtieran cuatro días enteros, así como 400 kilogramos de hierro y 250 de ácido sulfúrico.

Pronto se aprendió á evitar estos inconvenientes, para lo cual se hacía pasar el gas por una vasija con agua, la que retenía los vapores ácidos y lavaba el hidrógeno. Para la preparación de cantidades de este gas, tan enormes como las que se necesitan para llenar un globo, no se puede naturalmente emplear aparatos como los usados en los laboratorios; hay que recurrir á disposiciones especiales. La fig. 105 da una idea de una de estas disposiciones. El hidrógeno se obtiene por la acción del hierro sobre el ácido sulfúrico diluído. En estas condiciones y á la temperatura ordinaria, el hierro reemplaza al hidrógeno del ácido sulfúrico disuelto en agua, formando sulfato ferroso. El hidrógeno queda libre, y se desprende en su estado gaseoso. Nuestro dibujo representa en *AA* varios toneles, en los cuales se coloca primero el hierro y agua, y después que todo está dispuesto, se introduce por los tubos de embudo, que llegan casi hasta el fondo, el ácido sulfúrico. Es indispensable que los toneles estén herméticamente cerrados por todas partes, para que, no teniendo el gas otra salida, marche todo él por el tubo de conducción que parte de la tapa y concurre á otro más grueso, desde donde va, por medio de un tubo de goma, *C*, al aparato lavador *D*, donde atraviesa una capa delgada de agua, y se pone además en contacto con una lluvia continua de ésta en pequeñas gotas; perdiendo así todas las partículas de ácido que arrastraba. El tubo de nivel *b* indica la altura del agua

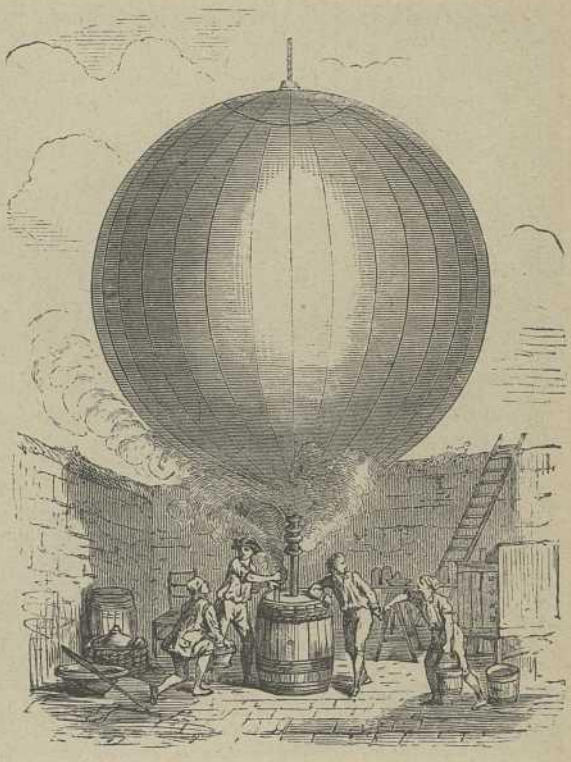


FIG. 104.
Charles y los hermanos Robert llenando el primer globo con hidrógeno.

en el interior del frasco lavador; *a* es un sifón de desagüe, por el cual sale continuamente el líquido ácido, *e*, un pequeño manómetro que da la presión en el interior del aparato. Del frasco lavador pasa el gas por el tubo de goma *E* al cilindro *F*, donde atraviesa por cal hidratada y deja el ácido carbónico y el agua que pudiera contener aún. Todavía de aquí se le hace pasar á un recipiente que contiene un higrómetro *H* y un te mómetro *d*, donde se reconoce su tempera-

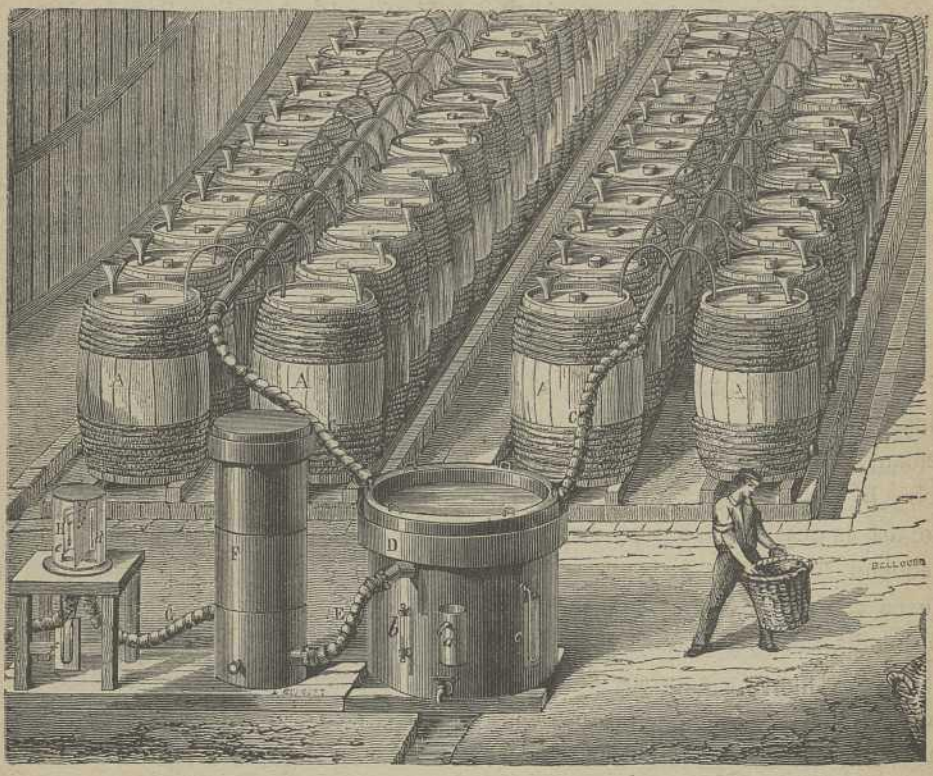


FIG. 105.—Preparación del hidrógeno para llenar los globos aerostáticos.

ra y si está bien desecado, siendo entonces conducido por último al globo. Pero volvamos á nuestra historia.

Al cuarto día de trabajo, el globo flotaba en el aire sujeto por cuerdas dentro del taller de los Robert, y entonces se emprendió la maniobra de transportar todo el aparato al Campo de Marte, donde debía tener lugar la ascensión. El transporte se verificó durante la noche del 27 al 28 de Agosto de 1783, sobre un carro á propósito, custodiado por un piquete de gendarmes y portahachas, recorriendo lentamente las calles de la población. El nocturno espectáculo tenía mucho de fantástico y misterioso; tanto que se vió arrodillarse ante él á algunas gentes del pueblo que iban al trabajo y que supusieron se trataba de alguna procesión portentosa.

Llegados á la plaza, se invirtió la mayor parte del día en acabar de llenar el globo, y, por último, hacia las cinco de la tarde se oyó un cañonazo que daba la señal para la partida. El globo subió tan rápidamente, que en pocos minutos atravesó varias capas de nubes, hasta desaparecer por completo del alcance de las miradas con que más de 200.000 personas le seguían llenas de admiración y de júbilo; tres cuartos de hora después cayó á tierra á unas cinco horas de París, habiendo recorrido un trayecto mucho menor de lo que podía esperarse. En efecto, los Robert, desoyendo el consejo de Charles, le habían llenado completamente de hidrógeno, hasta darle la forma esférica; esta masa gaseosa se dilató después en las capas superiores y menos densas de la atmósfera, rasgando en la parte superior la cubierta del globo. Entonces se escapó rápidamente el gas por aquella abertura que le ofrecía salida fácil y expedita.

FIG. 106.—Ascensión del primer globo de Charles en el Campo de Marte, en París.

La caída del globo tuvo lugar en un caserío de campesinos, junto á la aldea Gonesse, y cuyos aldeanos no tenían, como es natural, la menor idea sobre la esencia de semejante fenómeno; así es que recibieron un susto no pequeño. (Gonesse está junto á la pequeña ciudad Le-Bourget, célebre por la batalla del 29 y 30 de Octubre de 1870.) Volviendo á nuestros campesinos, diremos que los más creyeron que la luna se había caído del cielo; y más tarde, cuando aquel objeto redondo cesó de moverse, volvieron de su estupor y se atrevieron á acercársele para acabar con la vida de aquel monstruo pinchándole con sus horquillas, palas y demás armas campestres. Aquel hermoso globo que había costado tantos dolores de cabeza y tanto dinero, fué destrozado y mutilado cruelmente; y, por último, lo ataron á la cola de un caballo, arrastrándole durante una hora á través de caminos, campos y zanjas. Cuando Charles llegó de París al punto de la catástrofe, encontró sólo algunos retazos de su caro aparato. Este acto de barbarie, que levantó de todas partes unánimes protestas, dió motivo á que el Gobierno publicase una especie de circular instructiva y tranquilizadora. He aquí la historia de la vida y muerte del primer globo llenado con hidrógeno.

Se ha llamado *charlinos* á esta especie de globos, para distinguirlos de los que se llenan con aire caliente, á los cuales se reservó el nombre de montgolfie-

res, y así se consagró á los dos nombres más sobresalientes en la historia de los globos aerostáticos un recuerdo mucho más permanente que con la frase encomiástica que á fines del siglo pasado estaba en Francia de moda: *Columbus orbem, Mongolfierii cœlum*, que quiere decir: «Colón descubrió la redondez de la tierra, pero los hermanos Montgolfier escalaron el cielo.»

Esteban Montgolfier había sido testigo del afortunado ensayo de Charles, y esto le produjo nuevo estímulo para emprender por su parte otras experiencias, mientras Charles y sus partidarios se preparaban también á construir un globo mayor y más perfecto. La experiencia de Montgolfier tuvo lugar el 19 de Septiembre en Versalles, en presencia del Rey y de una multitud de curiosos, á los pocos días de haber sido destruído por la tempestad y la lluvia otro globo raro, de forma prolongada (fig. 107.) El segundo globo fué construído en cinco días tan solo; era de tela fuerte, completamente esférico, adornado exteriormente con pinturas azul y oro, y fué portador, en una jaula, de los primeros viajeros aéreos animados, á saber: un cordero, un gallo y un ánade. Majestuosamente se elevó el globo en el aire hasta muy alto; pero después, á los diez minutos, recibió un golpe de viento que le produjo una rotura, y comenzó á descender. Una hora después cayó en un bosque, pero tan pausadamente, que los animales quedaron sanos y salvos. El primer hombre que se aproximó y sacó el globo de entre las ramas, fué Pilâtre de Rozier, quien desde este momento siguió atentamente y con pasión y entusiasmo todas las experiencias de este género, sin presentir, seguramente, el suceso que había de ligar su nombre á la historia de este moderno descubrimiento. Visto el éxito del ensayo sobre la elevación en un globo de animales vivos, Montgolfier emprendió con ardor la empresa de construir un globo que pudiera llevar algunas personas; Pilâtre de Rozier manifestó entonces vehementes deseos de subir en él.

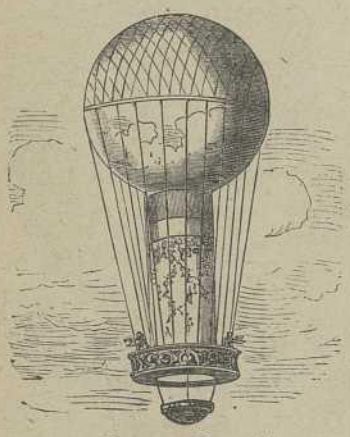


FIG. 107.—Montgolfier destruído el 17 de Septiembre de 1783.

La tan suspirada primera ascensión humana tuvo lugar por fin el 21 de Octubre de 1783 en el castillo La Muette, en las cercanías de París. El magnífico globo preparado para ello tenía la forma de un huevo y medía más de 20 metros de alto por 14 de ancho. Bajo el globo se suspendió una galería en la que se habían de colocar los dos aeronautas (Pilâtre de Rozier y el marqués d'Arlande); en medio de ella estaba el brasero para el sostenimiento constante del fuego.

Son notables los comentarios que muchos días antes se venían haciendo sobre la concesión del permiso para la ascensión. Es verdad que muchas veces ha-

bían ya subido otras personas, pero sólo hasta algunos 100 metros lo más sobre el suelo, y siempre teniendo el globo sujeto con cuerdas, de modo que se podía bajar cuando se quería; pero ahora Pilâtre de Rozier se había empeñado en subir á mayor altura y sin que el globo estuviera atado. Hasta el mismo Montgolfier se oponía; quería ejecutar antes nuevas experiencias, y una comisión de la Academia de Ciencias nombrada para que comprobase la posibilidad de la empresa, no se atrevió á resolverse en ningún sentido. Los más valientes titubeaban ante los peligros de un viaje semejante, y el rey Luis XVI, al cual se había recurrido para que lo autorizara, se negó á ello, ofreciendo que se propusiera á dos criminales condenados á muerte el que subieran en el globo, perdonándoles su pena. Esta proposición provocó la indignación del intrépido aeronauta, que trató de conquistar la opinión pública en favor de sus deseos, diciendo: «¿Por qué se ha de consentir que sean dos malvados expulsados de la sociedad, los que conquisten el honor de elevarse por vez primera en el aire?» Dicho Pilâtre de Rozier puso en juego las más altas influencias de la corte, y, por último, el marqués d'Arlande se asoció á sus aspiraciones, y para convencer al Rey de lo remoto del peligro, se comprometió con él á tomar parte en el viaje aéreo.

FIG. 108.—Primera ascensión de Pilâtre de Rozier y el marqués d'Arlande.

Instado por todas partes, el rey Luis XVI dió por último el permiso, y el citado día 21 de Octubre de 1783 subieron en el globo Pilâtre de Rozier y el marqués d'Arlande (fig. 108).

A pesar de un viento fuerte, el globo se elevó con gran rapidez. Cuando los valerosos viajeros habían adquirido una altura considerable y flotaban en ella sobre muchos cientos de millares de cabezas, agitaron sus sombreros, despidiéndose de la multitud extasiada que temía por sus vidas. El globo subía más; bien pronto no se distinguieron ya las dos figuras, y la hoguera misma se iba haciendo cada vez más pequeña á los ojos de los espectadores. El globo siguió el curso del Sena hasta la isla del Cisne, atravesó entonces el río y vino á colocarse encima de París. Las torres de la iglesia de Notre-Dame se cubrieron completamente de curiosos, y cuando el globo estuvo en línea recta entre ellos y el sol, se ocultó éste, sumergiendo por corto tiempo en la sombra á los espectadores y ofreciendo una nueva especie curiosa de eclipse solar. La altura que habían alcanzado era ya muy grande y aumentaba ó disminuía, según que los viajeros activaban el fuego ó bien lo dejaban consumir. Habían pasado ya por encima del cuartel de Inválidos y de la Escuela Militar, cuando gritó d'Arlande: «¡Ya es bastante, ahora á tierra!» No se alimentó más el fuego, y el globo bajó

lentamente, posándose después de veinticinco minutos á diez kilómetros próximamente de distancia de La Muette. D'Arlande montó inmediatamente á caballo y corrió hacia la multitud que todavía permanecía extasiada en el punto de la ascensión. En diez minutos se empaquetó el globo y se le puso sobre un carro, donde, escoltado por el intrépido Pilâtre de Rozier, fué transportado á la ciudad (fig. 109).

Entre los espectadores se encontraba también el célebre Benjamín Franklin, que quiso ser testigo de este nuevo triunfo del ingenio humano sobre los elementos. Interrogado acerca del alcance que atribuía al nuevo invento, contestó, eludiendo evidentemente una respuesta categórica: *C'est l'enfant qui vient de naître;* ó, lo que es lo mismo, «es un niño recién nacido.» La posteridad ha demostrado que aquel niño que tanto prometía, hasta ahora ha dado pocos resultados.

FIG. 109.—Pilâtre de Rozier.

A poco de esta primera ascensión presenció París el espectáculo de un segundo viaje aéreo verificado por Charles y Robert, con el fin de hacer observaciones científicas, según ellos anunciaban, y en un globo lleno de gas hidrógeno y costeado por suscrición pública. Este segundo viaje no fué ya una empresa tan temeraria como el primero; el ingenioso Charles lo había previsto todo, inventando cuantos accesorios completan todavía hoy el equipo de un globo aerostático. La válvula, la barquilla con la red, el lastre, la tela engomada y el áncora. Purificó el hidrógeno por loción con el ácido sulfuroso, á pesar de los peligros que la operación ofrecía, y se sirvió también ya del barómetro para determinar la altura que alcanzaba. En un mes tuvo tiempo bastante para concebir y poner en práctica todas estas innovaciones, y su ensayo debía verificarse el 1.º de Diciembre de 1773. Medio París acudió á las Tullerías, de donde debía tener lugar la partida, y donde el globo, hinchado ya, pero sujeto aún por largas cuerdas, se mecía suavemente en el aire. De pronto recibe Charles orden del Rey mandándole suspender la ascensión, bajo pretexto de que era demasiado expuesto. Idénticos temores que cuando Pilâtre de Rozier, y luego las mismas excitaciones públicas que sirvieron de acicate para obtener la elevación del montgolfier, audiencias, ruegos importunos, hasta que al fin se oyó también ahora el disparo de la señal; los dos aeronautas tomaron asiento en su barquilla, se

oyó un segundo disparo, se desataron las cuerdas, y flotó el globo libremente, elevándose con majestuosa calma.

Se elevaron quinientos ó seiscientos metros y se dejaron caer á nueve horas de París, en la llanura de Nesle. Robert saltó á tierra el primero, y el globo, aligerado con esto de unos 70 kilogramos de peso, rebotó, elevándose de nuevo con gran rapidez con Charles, que había quedado en él, y alcanzando ahora una altura nada menos que de 3.000 metros. El sol, que habían visto ponerse cuando la primera elevación, apareció otra vez visible para Charles desde esta considerable altura, hasta que por segunda vez en aquel día se ocultó ante sus ojos bajo el horizonte. Charles llegó á tierra de nuevo, con toda felicidad, á los quince minutos.

En 5 de Enero de 1784 subieron Pilâtre de Rozier y el mayor de los Montgolfier con cinco personas más en un globo gigantesco de 40 metros de alto y 32 de ancho, en Lyón. Se habían elevado ya á 1.600 metros cuando, á consecuencia de una rotura producida por el exceso de peso, descendieron á tierra en quince minutos. Al principio no habían pensado tomar parte en la expedición más que seis personas, los dos ya citados, el príncipe Ligne, los condes Laurencín, Dampierre, y Laport d'Anglefort; pero en el momento en que comenzó á elevarse el globo se encaramó á él un joven de Lyon que había prestado alguna ayuda en los preparativos, viniendo á caer de pronto en la barquilla.

Pilâtre de Rozier había ya hecho antes protestas sobre el gran número de los viajeros, y sus predicciones vinieron á quedar tanto más justificadas, cuanto que el globo chocó bruscamente contra el suelo con el aumento del intruso, siendo precisamente Montgolfier, que no había querido hacer caso de aquellos temores, el que sufrió más desagradablemente el golpe. A pesar de este contratiempo, la población estaba frenética de entusiasmo, comunicando á los aeronautas una verdadera embriaguez con sus aclamaciones y vítores.

Después se ejecutaron también ascensiones en globo en otros países, principalmente en Italia, donde el caballero Andreani tomó parte en varias de ellas.

En Marzo del mismo año 1784 Blanchard que, como ya hemos indicado, se venía ocupando, mucho antes de los Montgolfier, en la construcción de barcos aéreos y máquinas voladoras, emprendió su primer viaje en globo. Éste (figura 110) estaba provisto de remos y timón, de cuya utilidad se manifestó, al descender, completamente convencido, afirmaba haber subido 600 metros más alto que todos los areonautas anteriores. También una señora, Thible, la primera mujer que se arriesgó á empresa tan peligrosa, subió en un globo en Lyon el 4 de Junio de 1784, en honor al rey de Suecia.

La mayor parte de estos golpes de audacia no ofrecieron ningún interés particular. En cambio merece notarse el primer viaje aéreo, propiamente dicho, esto es, un viaje en dirección determinada y prevista y á través de una distancia considerable.

Todos sabemos que Inglaterra está separada de Francia por un brazo de mar de unos 35 kilómetros de ancho. Los dos puntos más cercanos de sus orillas son Calais, en Francia, y Dover, en Inglaterra. Pues bien; desde este último punto intentó Blanchard transportarse hasta Francia en un globo, el 7 de Enero de 1785, en compañía de un americano, Jefferys, proporcionándole su empresa un éxito completo. En dos horas y treinta y dos minutos llegaron felizmente á tierra firme los viajeros, desembarcando en el bosque de Guines, en las cercanías de Calais. Pero aunque el término del viaje fué feliz del todo, no se llegó á él sin pasar antes por grandes peligros, pues cuando ya estaban cerca de dicho término descendió el globo considerablemente, y los aeronautas, para aligerarse de peso, se vieron obligados á arrojar al mar primero todo el lastre que les quedaba, y después sus libros, provisiones, vestidos y hasta el áncora, estando ya decididos á colgarse de la red y cortar también la barquilla si la fuerza de ascensión adquirida por la pérdida de peso que todos estos objetos les habían proporcionado, no hubiera bastado para sacarlos de aquella difícil situación. Afortunadamente, no hubo necesidad de ello, y llegaron sanos y salvos al suelo francés, calmando así también la zozobra de los habitantes de Calais, que desde larga distancia, primero con anteojos y después á simple vista, los miraban flotar sobre el Canal de la Mancha. El recibimiento fué entusiástico. Blanchard, que hasta entonces no había sido atendido en Francia como se merecía, fué recompensado con grandes donativos en metálico, y en la proximidad de Calais, en el sitio donde bajó del globo, se levantó en su honor una columna que inmortalizó esta hazaña.

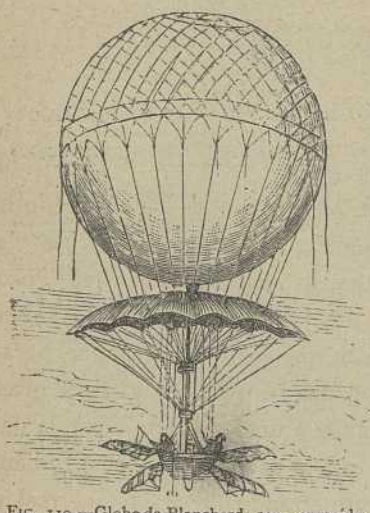


FIG. 110.—Globo de Blanchard, con paracaídas.

Desgraciadamente, el feliz resultado de esta empresa fué indirectamente causa de uno de los sucesos más tristes que registra la historia de la aerostación. En cuanto Pilâtre de Rozier recibió la noticia del viaje de Blanchard, aguijoneado por su afán de gloria, propuso atravesar el Canal desde Francia á Inglaterra. El globo en que había de hacer el viaje fué construído con arreglo á su propia idea, y constituía una atrevida combinación del montgolfier y el charlino; pues bajo una parte esférica llena de hidrógeno, contenía otra parte cilíndrica, en la cual debía enrarecerse el aire por medio del fuego. En vano se le dirigieron de todas partes consejos y excitaciones para que desistiera de su propósito. Charles mismo le dijo: «Amigo mío, usted quiere jugar con fuego,» pero el destino fué inflexible. La doble máquina subió en condiciones muy desfavorables de tiempo el 13 de Junio de 1785. Pronto se le vió flotar sobre el mar, pero un gol-

pe de viento le hizo retroceder, arrojándole hacia la costa. Parece ser que el aeronauta no quiso proseguir su viaje en vista de lo tempestuoso del tiempo, y decidido ya á descender, tiró de la válvula, cuyo juego debía estar imperfectamente dispuesto. Entró el aire, pero la válvula ya no se cerró de nuevo, y el globo se precipitó contra la tierra con horrible velocidad. Una atroz ironía del azar hizo que la caída tuviera lugar á pocos pasos del sitio donde poco antes se había levantado al afortunado Blanchard la columna de triunfo. Pilâtre de Rozier quedó muerto en el acto. Su malogrado acompañante, un joven físico de Boulogne, llamado Romaine, vivió todavía, pero expiró también á los diez minutos. He aquí las dos primeras víctimas de la navegación en globos aerostáticos.

EL PARACAÍDAS

Los desgraciados accidentes ocurridos á varios aeronautas hicieron surgir por todos lados proposiciones por cuya realización se confiaba, en el caso de una caída imprevista, suavizar la fuerza del choque haciéndolo inofensivo. Poco después de la invención del globo se había pensado ya en esto, creyendo haber conseguido el objeto por medio de un instrumento que es lo que se llama paracaídas, y que por su forma tiene la mayor semejanza con un paraguas de gran tamaño. Y en rigor, no es otra cosa el paracaídas que una cubierta como la del paraguas, formada de tafetán fuerte, plegada, y que al caer se abre, suspendiéndose en el aire. Suele tener un diámetro bastante grande (de 6 á 10 metros) y lleva colgada una barquilla que recibe al amenazado aeronauta, viniendo así á quedar el centro de gravedad del conjunto bastante bajo, lo cual se opone á las oscilaciones.

Por lo demás, la idea del paracaídas es muy antigua.

El primero que lo puso en práctica fué el profesor Lenormand, que se dejó caer desde el primer piso de su casa en Montpellier el 26 de Noviembre de 1783, fuertemente cogido á un paraguas en cada mano; el choque contra el suelo fué muy pequeño. Repitió el experimento, y dedujo de sus resultados que para sostener á un hombre determinando una caída muy lenta, bastaría una tela de 4 á 5 metros de diámetro.

El aeronauta Blanchard comenzó por soltar desde lo alto en un paracaídas animales vivos, no creyendo oportuno arriesgar su propia vida en la prueba. Esto último es lo que quiso verificar después su rival Garnerín, quien, cogido prisionero por los austriacos en la guerra civil y encerrado en una fortaleza de Buda, construyó allí secretamente un paracaídas para escapar; pero fué descubierto. Lo mismo exactamente intentó en el fuerte de Spielberg otro prisionero, Drouet, el cual se dejó caer efectivamente, pero se rompió una pierna y no pudo, por consiguiente, moverse del sitio de la caída. Garnerín, en cuanto

quedó libre, se propuso verificar su experiencia con el paracaídas, lanzándose desde lo alto de un globo (París, 22 de Octubre de 1797); llegó á tierra, recibiendo un golpe bastante fuerte, pues su aparato verificaba en el aire oscilaciones muy intensas y peligrosas.

Entonces se reconoció que para que un paracaídas pueda llenar por completo su objeto, debe tener arriba un pequeño orificio ó tubo de respiración, el cual ya no le faltó en lo sucesivo.

El ejemplo de Garnerín tuvo después muchos imitadores, y puede decirse que, estando bien construído el paracaídas, no ofrece ningún peligro el descenso en él desde cualquier altura. Y sin embargo, por más raro que parezca, es lo cierto que ningún aeronauta debe á él la salvación de su vida, una vez en peligro. La intrépida Mad. Garnerín dió remate muchas veces á sus ascensiones abandonando el globo y dejándose caer con el paracaídas. Testigos presenciales aseguraban haberla visto atravesar el aire cual una flecha con la velocidad del rayo, antes de abrirse el paracaídas; pero siempre se efectuaba esto á tiempo para que llegara lentamente á tierra.

Robertson trató de modificar este aparato dándole la forma de un paraguas doble, una de cuyas mitades se abría en un sentido y la otra en sentido contrario (fig. 111); pero fué éste un error pagado con la vida de un hombre. Aún más absurdo era el paracaídas ideado por el inglés Cocking. Había éste subido varias veces con Green, y se imaginó poder dotar á la humanidad de un paracaídas sin rival, dándole la forma de un paraguas invertido, para cuya idea se fundaba en la observación de que los paraguas, al caer desde lo alto, se invierten ellos por sí mismos. No comprendió el desdichado que esto es una consecuencia natural de la resistencia opuesta por el aire, y que, una vez invertida la bóveda del paracaídas, es más fácil la salida libre de aquél, y puede, por tanto, el aparato seguir también con más facilidad el movimiento de descenso, obedeciendo á las leyes de la gravedad. Sordo á todo consejo, persistió Cocking en el empeño de probar su paracaídas invertido, y Green tuvo la debilidad de acceder á esta locura. El 27 de Noviembre de 1836 partieron ambos del Vauxhall de Londres en un globo, bajo cuya barquilla estaba suspendido el malhadado paracaídas; Cocking en una cestilla pendiente de este último. Después que alcanzaron la altura de unos 1.000 metros, Green le instó de nuevo á que desistiese de su proyecto; pero antes de que éste pudiera apercibirse de ello por el movimiento extraordinariamente rápido de ascensión del globo, Cocking cortó la cuerda que hasta entonces le había mantenido unido á él, viéndole Green, aunque confusamente, atravesar el aire con gran rapidez (fig. 112); tanto, que en el último segundo de su caída debió recorrer próximamente 20 metros, y en minuto y medio los 1.000 desde cuya altura se había arrojado. Se acudió al sitio de la caída, encontrando completamente destrozado el cuerpo del temerario Cocking.

El número de ascensiones iba en aumento de día en día, y sólo durante el mes de Marzo de 1785 se contaron ya treinta y cinco. Todavía en lo sucesivo se multiplicaron de un modo considerable, lo cual se explica por el irresistible

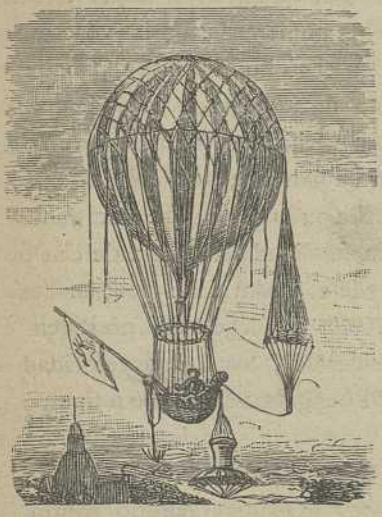


FIG. 111.—Paracaídas de Robertson.

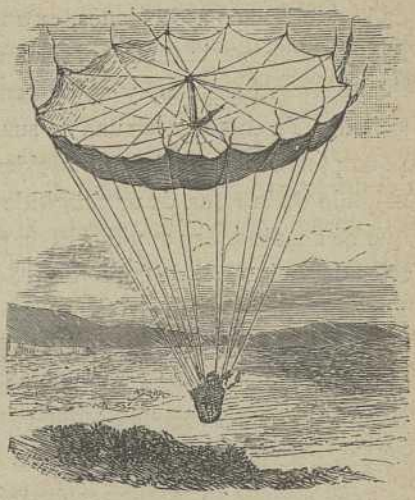


FIG. 112.—Caída de Cocking.

atractivo que había de ofrecer forzosamente el escalamiento de las nubes. Surgieron aeronautas de oficio que convertían sus ascensiones en un negocio y que inventaban sin cesar mil novedades para mantener latente el interés del público Testu-Brissy puso en su barquilla un caballo y se elevó montado en él (fig 113). En los jardines públicos de París se elevaron seudoglobos aerostáticos, á los cuales se daba la forma de seres mitológicos, como el caballo de Pegaso, etc., y sucesivamente era sustituída una de estas superficialidades por otra nueva. Nada se descubre que signifique un verdadero progreso, un invento nuevo, siendo más bien la audacia con que muchos aeronautas se han lanzado á su empresa, muchas veces en circunstancias lo más desfavorables, que las conquistas que hayan podido realizar en beneficio de la cultura de la humanidad, lo que excita nuestra admiración.

FIG. 113.—Ascensión de Testu-Brissy.

No siendo nuestro ánimo fatigar al lector con una enumeración cronológica de las diferentes expediciones aéreas emprendidas en todas las naciones más importantes, nos contentaremos sólo con mencionar algunas de las más dignas de

mención, bien por las circunstancias especiales que las han acompañado, bien por haber ofrecido algunos resultados más ó menos transcendentales.

Después de la muerte del célebre Blanchard, su mujer continuó sus viajes aéreos, ganando una gran fortuna, pero demostrando también la mayor temeridad en todas sus ascensiones, extraordinariamente numerosas. Varias veces ocurrió elevarse por la tarde, pasar toda la noche en el globo, durmiendo tranquila mente en su barquilla, y no descender de nuevo á tierra hasta la mañana siguiente. Ya en 1817, en una de sus expediciones verificada en Nantes, le faltó poco para ser víctima de un accidente; cayó en un pantano, pero el globo quedó colgado de la rama de un árbol, de suerte que ella pudo sostenerse en alto hasta que se acudió en su auxilio. Pero, por último, la fatalidad hizo presa de ella dos años después. El 6 de Julio de 1819 subió desde el jardín del Tívoli, en París, pensando dar al público un magnífico espectáculo de fuegos artificiales en el aire. Cuando había alcanzado una altura considerable, trató de encender, sirviéndose de una mecha, una corona con luces de bengala, unida á un paracaídas. Pero por una fatal inclinación del globo, vino á quedar la boca de éste junto á la mecha y se inflamó el hidrógeno contenido en el interior de aquél. Desde abajo se veía cómo la intrépida aeronauta intentaba ahogar el fuego comprimiendo la boca del globo para cerrarla; pero cuando reconoció la impotencia de sus esfuerzos, se colocó en la barquilla como esperando la catástrofe. Cual un meteoro brillaba en el aire el gas en combustión; el globo bajaba bastante lentamente, y si el aire hubiera seguido en calma, Mad. Blanchard hubiese llegado felizmente á tierra; pero de pronto se levantó un viento algo fuerte, que arrastró al globo en dirección hacia París. Vino á caer sobre un tejado, resbaló la barquilla hacia su borde y Mad. Blanchard cayó, dando un grito, que fué el último: se la levantó del suelo con el cráneo destrozado. El globo quedó casi intacto, pero vacío; el gas que contenía antes había desaparecido por completo.

Otro gran número de personas han hecho célebre su nombre por las ascensiones que realizaron; los Garnerín, Jacobo y su sobrina Elisa, Robertson, Margat, Coxwell, y sobre todos, los dos Green, Carlos Green, padre, y Jorge Green, hijo; en los tiempos modernos figuran Coxwell, los hermanos Godard, Nadal, los Tissandier, los malogrados Croce-Spinelli y Sivel, que encontraron la muerte por asfixia por elevarse á una altura que probablemente nadie había alcanzado antes que ellos, y aun ellos mismos fueron sin duda arrastrados á la misma contra su voluntad. Aparte de la ascensión de Gay-Lussac, y en los tiempos modernos en particular las de Glaischer y Welsh en Inglaterra y Flammarion en Francia, se han verificado otras varias con fines científicos; pero por más que los que subieron primeramente en este notable vehículo se vanagloriaron de contribuir con sus observaciones á la solución de problemas meteorológicos, para lo cual se proveían de instrumentos y aparatos adecuados al objeto, hay que recibir con alguna prevención los resultados de semejantes estudios; pues

observaciones que no son susceptibles de comprobación, es decir, que no pueden ser reproducidas en idénticas circunstancias, tienen para la ciencia escaso valor.

Aunque apenas es posible hablar de perfeccionamientos á propósito de la aerostación, pues excepción hecha de la cuerda de gobierno, los medios empleados recientemente por Green para la seguridad del globo son los mismos que se inventaron en los primeros años, de modo que hoy puede decirse que la navegación aérea se encuentra en el mismo estado que en el año 1784, el número de ascensiones en estos últimos años ha sido extraordinariamente grande. La experiencia ha demostrado que los peligros á que se expone el que sube en la barquilla de junco de un globo, para ser transportado en los aires por aquella gran vejiga de tafetán hinchada con gas, no son mayores que aquellos otros á que están expuestos los que viajan en carruaje por la tierra. Si se divide por 20.000 (número de ascensiones que, según cálculos aproximados, se han practicado hasta estos últimos años) la cifra correspondiente á los que han tenido un fin desgraciado, se obtiene una relación que no parece justificar los grandes temores que á primera vista inspira esta clase de transporte. La estadística destruye las alarmantes apariencias. Y con esta seguridad, relativamente grande, que ofrece, crece de día en dia la curiosidad por viajar en globo; tanto, que en los últimos años se hizo esto casi de moda, del mismo modo que antes había sido, en otra época, de moda también ascender á las cumbres más altas de los Alpes. En realidad, si se establece un paralelo entre estas dos clases de *sport*, los aeronautas llevan gran ventaja sobre los viajeros de las montañas, pues sus sentidos, en ausencia de todo obstáculo ni limitación, son completamente libres para percibir los admirables y variados fenómenos que ante su vista se presentan en vertiginosa sucesión al elevarse sobre el nivel del mar, mientras que el segundo tiene que contentarse frecuentemente con recibir como única recompensa la satisfacción de haber vencido las dificultades que se oponen á su empresa; pues la fatiga y las privaciones anejas á ésta suelen agotar su sensibilidad, impidiéndole gozar de cualesquiera otras impresiones. Sin embargo, no es posible tampoco establecer una verdadera comparación entre ambas formas de penetrar en las altas regiones del océano aéreo, y aparte del empleo del barómetro para determinar las alturas máximas y mínimas, nada se encuentra de común, como no sea la monotonía en las descripciones de los aeronautas y en los anales del club de viajeros de los Alpes. Cuanto más grandioso es el espectáculo que se ofrece á la contemplación del viajero, tanto menos fácil se hace su descripción en forma que pueda dar una idea exacta á los demás; y como quiera que los fenómemenos generales á los cuales tienen que ceñirse las descripciones se reproducen en todos los viajes, resulta que dichas descripciones se parecen entre sí como un huevo á otro huevo. Nos contentaremos, pues, con extractar sólo un pequeño número de entre las muchas descripciones de viajes aéreos, eligiendo aque-

llas que, bien sea por las personas que tomaron parte, bien por circunstancias especiales ó por su extensión, ofrecen mayor interés.

VIAJE AÉREO DE GREEN SOBRE EL CANAL

El nombre de Green está íntimamente enlazado á la historia de la aerostación. Así como al nombrar á Napoleón pensamos siempre en la guerra, y al decir Paganini en el violín, del mismo modo el nombre de Green trae inmediatamente á nuestra imaginación al globo aerostático. El Green más antiguo nació en 1784, alcanzó una edad de más de ochenta años, verificó sobre unas 1.600 expediciones por los aires, atravesó en alas de su globo tres veces el Canal, y ha conducido en su barquilla, entre los 700 pasajeros que viajaron con él, 120 mujeres. Es interesante, en primer término, el viaje que emprendió desde Londres Carlos Green en Noviembre de 1836.

Fig. 114.—Globo de Green.

Desde la época de Pilâtre de Rozier se había hecho ya repetidas veces la travesía del Canal, hasta el 7 de Noviembre de 1836, en que Green subió en su globo en Londres con dos viajeros más. Este gran globo se llenó con gas hidrógeno carbonado (gas del alumbrado), en lugar de hacerlo con hidrógeno, que es mucho más caro. Tenían aún el suelo inglés bajo sus pies los viajeros, cuando oscureció la tarde, llevando el globo un movimiento en dirección fija hacia las costas de Francia. Llegó la noche; surcaban los buques el tempestuoso mar del Norte, que se dejaba reconocer por el murmullo de las olas, mientras el globo caminaba sin cesar por las altas regiones de la atmósfera. Desde lejos se vió un faro; era el puerto de Calais; al instante el globo flotaba ya sobre la ciudad; llegada la media noche, entre los muchos pueblos que en serie no interrumpida se presentaban á su vista, apareció á lo lejos uno nuevo, de perímetro sumamente especial; estaban sobre la ciudad de Lieja, iluminada por gas; pero estas luces

también se extinguieron, y quedaron los aeronautas siendo los únicos seres que en aquella oscuridad que lo envolvía todo, atravesaban el espacio en su globo débilmente iluminado. Continuó el viaje por Bélgica, entrando en la Prusia renana, cuando ya la luz del día comenzó á resplandecer en las primeras horas de la madrugada. Por fin les saludó el sol, que se elevaba sobre el horizonte; bajo sus pies se encontraba un país montañoso, la neblina matinal iba disipándose, y entonces pensaron los aeronautas en descender; se echó el ancla, y los labradores, que ya estaban en los campos y que advirtieron su presencia, no rehusaron prestarles gustosos su oportuno auxilio, por más que la aparición del globo les causaba profunda admiración. Con gran sorpresa supieron los recién llegados que se encontraban en el Rhin Central, cerca de Weilburgo, provincia de Nassau (Prusia), habiendo recorrido próximamente 675 kilómetros en diecinueve horas. El globo en el cual se realizó este viaje (fig. 114) recibió como homenaje el nombre de *Nassau*; con él hizo Green después 150 expediciones aéreas.

ELEVACIÓN INVOLUNTARIA DE GUERÍN

Por el caso que vamos á referir, ocurrido en Nantes en 1843, se ve que pueden también verificarse ascensiones casuales é imprevistas.

Tenía anunciada en esta ciudad una gran ascensión el aeronauta Kirsh. Una multitud inmensa se apiñaba dentro y en los alrededores del paseo La Fosse; ya estaba lleno el globo y todo preparado para la partida, cuando se rompió una de las cuerdas que le sujetaba á dos mástiles, la otra no fué suficiente para retenerlo, y el globo se elevó, arrastrando tras sí á la barquilla, que aún no estaba atada por completo, así como á la cuerda de salvación, de la cual pendía el áncora. Ésta, después de recorrer un trecho por el suelo, tropezó con un muchacho de doce años, llamado Guerín, un aprendiz de carretero, le enganchó fuertemente por el pantalón, rasgándoselo desde la rodilla izquierda hasta la cintura, y quedando aquí colgada oblicuamente, de modo que una de las puntas sobresalía del pantalón por encima de la cadera izquierda. De este modo enganchado arrastró consigo, hasta que sus pies abandonaron el suelo, al citado muchacho, que hasta aquel instante no había pensado siquiera en el peligro de un viaje aéreo. Guiado por el instinto de conservación, se asió con ambas manos á la cuerda del áncora, cual si, teniendo premeditada la ascensión, quisiera de este modo afirmarse en su posición, y entonces fué levantado en el aire hasta la altura de unos cien metros, en medio de la angustia de la gente que le rodeaba. Se creía inevitable una terrible catástrofe; pero como por milagro, el globo vino á posarse, descendiendo lentamente en un prado á corta distancia de la ciudad, y el chiquelo corrió, en alas del ardor juvenil, sano y salvo tras la arriesgadísima expedición.

ASCENSIÓN DE ARBÁN, EN TRIESTE

El francés Arbán había anunciado varias veces á los habitantes de Trieste un viaje aéreo, que siempre se había tenido que suspender por efecto de cambios desfavorables acaecidos en el estado del tiempo. El día 9 de Septiembre de 1846 se había comenzado á llenar de gas el globo en el patio de la gran caserna, y se había hecho subir un globo pequeño para reconocer la dirección del viento, que soplaba á la sazón del Sudeste hacia el Noroeste. Por un descuido en la preparacion del gas, no se produjo la cantidad de éste necesaria para llenar el globo, como se necesitaba para conducir al aeronauta y á la barquilla cargada de diferentes objetos. Habían ya sonado las seis, sin que hubiera podido tener lugar la partida anunciada para las cuatro. Arbán comenzó á inquietarse, temiendo que el público creyera que trataba de engañarle, y concibió la temeraria resolución de elevarse sin barquilla, simplemente agarrado á la débil cuerda. Con pretextos hábiles alejó de su lado al comisario de policía, así como á su propia esposa, que debía acompañarle en la expedición, cual lo había hecho antes en Milán y Vicenza, soltó la barquilla, hizo un nudo á la cuerda á que estaba cogido, se montó sobre él, soltó el globo, y mientras con la mano izquierda estaba asido á la cuerda, saludaba con la derecha al pueblo, elevándose en el aire, en medio de la sorpresa general. Todos hablaban con admiración del atrevido aeronauta, que prefería matarse á faltar á su palabra. Subió el globo majestuosamente hasta alcanzar la altura de 400 metros, y entonces pareció tomar la dirección del monte de Carso; pero de pronto cambió de ruta, siendo impelido con extraordinaria rapidez en dirección opuesta; esto es, precisamente contra el golfo de Trieste. Por espacio de una hora se le vió siempre en la misma dirección, hasta desaparecer entre las nubes. Se dió por perdido á Arbán, y se deploró su suerte con tanta mayor sinceridad, cuanto que la desesperación de su esposa, que pasó toda la noche en la punta del Molo de San Carlo, debía partir los corazones de aquella muchedumbre emocionada. Se enviaron gran número de lanchas en dirección del curso aproximado del globo; sin embargo, la noche había pasado, y seguía siendo desconocida la suerte de Arbán. Por último, á la mañana siguiente se presentó en la Comandancia del puerto un falucho de pescadores, en cuyo interior se hallaba el aeronauta. El patrón de la lancha y su hijo refirieron que habían salido de Chioggia el lunes anterior, con objeto de pescar en las aguas de Grao, y cuando se aprestaban á comenzar su tarea, vieron flotar sobre las olas al globo, apenas lleno por mitad, y en él á Arbán, que con agua hasta los hombros se mantenía dificultosamente á flote. Pusieron proa hacia el sitio donde se hallaba el náufrago, alcanzándole á una distancia próximamente de dos millas de Grao, y salvándole de una muerte segura. Su-

cedió esto á las once de la noche, y, según Arbán, la caída había tenido lugar á las ocho, habiendo pasado, por consiguiente, tres mortales horas luchando contra el oleaje, que debió hacerle tragar una buena porción de agua salada. Por lo demás, no salió mal librado, pues de esta desastrosa experiencia no le resultaron otras consecuencias que una ligera fiebre.

MALOGRADA ASCENSIÓN NOCTURNA DE COXWELL Y GYPSON

El éxito desgraciado de muchos viajes aéreos no puede atribuirse siempre á una misma causa; influyen multitud de circunstancias y, en realidad, estos accidentes se originan tan súbitamente, que no suele bastar la previsión del aeronauta para aplicar en momento oportuno los remedios que se exigen para cada caso. En efecto; dadas las grandes dimensiones del aparato, el manejo de sus partes no puede hacerse sino por medio de cuerdas, que fácilmente se enredan entre sí, y, lo que todavía es peor, se hacen muchas veces invisibles para el mismo conductor del globo, comsumándose la catástrofe antes de que haya podido hacerse su diagnóstico. Los accidentes ocurridos aun á físicos eminentes y aeronautas experimentados, demuestran suficientemente lo dicho. El globo en que subieron Carlos Brioschi, astrónomo real de Nápoles, y el señor Andreani, estalló en las altas regiones por el enrarecimiento del aire, y el estar poco expedita la válvula estuvo á punto de costar la vida á Coxwell y sus compañeros de viaje. El 9 de Julio de 1847 decidieron subir por la tarde en un globo desde el jardín de Vaux-hall, en Londres, y encender en lo alto fuegos artificiales, Coxwell y Gypson, en compañía de varias otras personas. El tiempo estaba sombrío y nebuloso; no soplaba apenas un pelo de aire; se preparaba una tempestad; «por último, refiere el narrador, se terminaron todos los preparativos, cargamos algunas provisiones, pues Mr. Gypson se proponía permanecer toda la noche en el aire, pusimos también seis ú ocho sacos de arena como lastre, y se dió orden de soltar el globo, mientras tocaba la música y el público discurría regocijado por el parque. El globo subió con extraordinaria rapidez, girando al propio tiempo alrededor de su eje. La primera tentativa para encender los fuegos por medio de una mecha, falló; la segunda salió mejor, sembrando la atmósfera de cascadas de luces de color, que hacían un magnífico efecto, y desde el Vaux-hall debían ofrecer un soberbio golpe de vista. Estas luces se cruzaban también con los fuegos disparados en el jardín, cuyos resplandores llegaban hasta nosotros, así como también veíamos subir los cohetes. De tiempo en tiempo un relámpago iluminaba el conjunto, pero demasiado fugazmente para que pudiéramos distinguir los detalles. Sobre nuestras cabezas se veía el cielo sembrado de innumerables estrellas. Subíamos siempre más y más, hasta que míster Gypsón nos dijo que habíamos alcanzado una altura de 7.000 pies. En este

momento Coxwell, que estaba encargado de manejar el cordón de la válvula, el cual colgaba sobre nosotros pasando á través del anillo del armazón de la red, advirtió á Mr. Gipson que el globo se ponía muy tirante á consecuencia del enrarecimiento del aire exterior. Dada orden inmediatamente de evitar una explosión, dejando salir algo de gas por el orificio de la válvula superior, Coxwell tiró del cordón y al instante oímos un ruido semejante, aunque menos intenso, que el que se produce en las locomotoras cuando se da salida al vapor de agua con exceso; la parte inferior del globo se aplastó, y se elevó rápidamente contra la parte superior. Mr. Gipson gritó:—¡Gran Dios! ¿qué es esto?—A lo que contestó Coxwell: La válvula; estamos perdidos.—Y al mismo tiempo comenzó el globo á caer con aterradora velocidad. Dos de nuestros compañeros empezaron á lanzar gritos de pavor. Como un medio de aligerar el globo se arrojó todo cuanto había en la barquilla, pero no sirvió de nada. El viento zumbaba sobre nuestras cabezas, cada vez más amenazador, y para hacer más completo el cuadro en estos momentos de angustia, vinimos á pasar por en medio de los fuegos artificiales, que silbaban aún en el aire; de suerte que algunos cohetes encendidos y trozos de papel ardiendo caían sobre la red y estallaban aquí en chispas. Los relámpagos se sucedían sin interrupción, y la máquina entera comenzó á agitarse y á temblar.

»No me es posible imaginar en modo alguno cuánto tiempo invertimos en la caída, pero creo que serían por lo menos dos minutos; por lo demás, nuestra salvación se atribuyó á la circunstancia de que, habiéndose mantenido íntegro el armazón superior de la red, la cubierta del globo vacío quedó aplicada sobre él en forma de una sombrilla, que nos sirvió como paracaídas. Veíamos ya las casas de Londres, cuyos tejados parecía que se nos venían encima, y en el instante inmediato, cuando rozábamos el borde de una cornisa, gritamos todos á un tiempo: «¡Agarrarse bien! Dimos un golpe contra el suelo, atrozmente fuerte, que nos lanzó á todos fuera de la barquilla, cayendo sobre la red y las cubiertas del globo, en las cuales nos encontramos envueltos en tal modo, que no podíamos movernos. Si hubiéramos caído en el Támesis, nuestra muerte hubiera sido segura. Inmediatamente se reunió á nuestro alrededor un gran número de personas, que nos libraron de nuestras envolturas y nos felicitaban calurosamente por nuestra salvación. Por más inverosímil que parezca, ninguno había sufrido una herida de importancia; los vestidos rasgados, los sombreros aplastados, algunos rasguños y contusiones; he aquí las peores consecuencias de nuestra caída desde la altura de una milla.»

ASCENSIÓN DE COXWELL, EN LEIPZIG

Es digno de notarse, á propósito de la historia de la aerostación, que el interés general sobre ella se señala principalmente desde el momento en que han subido hombres en los globos y recorrido en ellos una distancia considerable, y que dicho interés se alimenta principalmente con los casos desgraciados á que han estado expuestos los aeronautas en todas partes. El espectáculo de la elevación de un globo por sí solo es sumamente sencillo, y á lo sumo podría interesar una vez á los espectadores; pero el pueblo se impresiona y es atraído por la idea de la posibilidad de un accidente que pudiera presenciar como testigo, considerando al aeronauta ni mas ni menos que como á un saltimbanquis, esto es, como un hombre que está expuesto á romperse cualquier día la cabeza.

Sin duda alguna que deben ser bien diferentes á éstas las impresiones de los que se abandonan en alas de aquella vejiga de tela para ser elevados en la barquilla al seno del océano aéreo. Vamos á dejarnos guiar por la descripción característica de una de estas expediciones, emprendida en Leipzig el año 1851, bajo la dirección de Coxwell, para que se vea hasta qué punto lo extraordinario de las emociones que se experimentan excita la fantasía. La descripción es del doctor W. Hamm, partícipe en el viaje y que falleció poco después, mientras colaboraba en esta obra.

«El globo (fig. 115) tenía 65 pies de alto, 125 pies de circunferencia, 35.000 pies cúbicos de capacidad interior, y pendía de él una barquilla que tenía sitio para cuatro personas. Se llenó en el patio de la fábrica del gas del alumbrado, con 25.000 pies cúbicos de éste. Después de equilibrado cuidadosamente el lastre con la fuerza ascensional del globo, soltó Coxwell, poco más tarde de las cinco, las amarras que lo sujetaban, y subió el globo ligero y firme en dirección del Sudeste hacia Noroeste, sobre la parte occidental de la población, desapareciendo á los pocos minutos en la espesa masa de nubes que cubría uniformemente todo el cielo. Con su ingreso en el límite de estas nubes, á unos 4.000 pies de altura, comenzó á velarse la interesante imagen de la animada plaza del Mercado, que se ocultó pronto por completo al hacerse más espesa la capa de nubes interpuesta entre ella y nuestra vista.

»En este instante, el gris oscuro de las nubes, en contraste con los brillantes colores de la tierra, nos produjo el efecto de las sombras de la noche, mientras que en derredor y por encima se iba presentando un gris claro mate y homogéneo; pronto desaparecieron las sombras nocturnas por debajo de la barquilla y con ellas la última señal de la proximidad de la tierra. Los rumores de ésta penetraban aún en nuestro oído, aunque confusos y apagados; la vista no podía juzgar de dimensiones por comparación con ningún objeto de tamaño conocido;

la dificultad en la respiración y una débil pesadez de cabeza nos hacía recordar el efecto de esas sutiles nieblas otoñales sobre la superficie de la tierra, si bien la espesura era mayor aquí; la temperatura era marcadamente baja, sintiéndose un frío húmedo. Eran casi invisibles las pequeñas gotas líquidas que se nos condensaban encima. El paso por este terreno, estéril para las impresio-

FIG. 115.—Globo de Coxwell, en Leipzig.

nes de la vista, fué utilizado atando entre tanto el áncora á un cable y dejándola caer. Una nueva disminución de lastre aceleró la marcha del globo que, complaciente, vino á mecerse sobre el borde superior de la capa de nubes de unos 3.000 pies de gruesa, sin hacernos sentir ningún movimiento. (Lám. II.)

»Encantados por la rapidez del cambio de decoración y por la admirable estratificación, se recreaba aquí nuestra vista sobre un magnífico panorama. Bajo gigantescas moles de nubes se extendía un inmenso mar de ellas, de

belleza incomparable, y cuyos límites se perdían en el horizonte. Entre ambas capas, la vista penetraba hasta el infinito por dentro de una atmósfera pura y transparente; unas veces imágenes pintorescas, otras figuras raras, parecían reproducirse las variadas formas de la superficie de la tierra en combinaciones de colores, desde el blanco y azul hasta el gris, y con una mágica iluminación mate. Los límites, inclinados en apariencia, y la bóveda de aquel cielo de nubes alejado á una distancia de lo menos dos mil pies, daban al conjunto el aspecto de una enorme y maravillosa gruta, y hacían comprender la uniforme extensión de aquella poderosa masa de nubes sobre la tierra. De esta última sólo penetraba débilmente el ruido de los trenes en el reposo silencioso de este mundo aéreo, en el centro de cuyo hueco flotaba tranquilamente el globo. Lo mismo que para la vista habían cambiado también las percepciones del tacto y la respiración. El aire era seco y agradablemente fresco ; la respiración fácil y ligera; había desaparecido la pesadez de cabeza, aquel indescriptible bienestar se asemejaba á las sensaciones que deleitan nuestro organismo cuando damos un paseo bajo los rayos de un sol puro de invierno. Pero el goce de estas sensaciones fué reemplazado pronto por impresiones nuevas; un poco de lastre menos, y la banderola de la barquilla, como las bandas de papel, caían rápidas cual flechas, indicando el movimiento ascensional del globo. Éste, flotando ya en el borde de la segunda capa de nubes, tuvo que subir todavía 2.000 pies más para atravesarla por completo. En este momento abandonó al globo un compañero de viaje en el cual no habíamos reparado hasta entonces: una gran mosca que revoloteó algún tiempo á nuestro alrededor y desapareció de pronto, de nuestra vista; probablemente se helaría. Perdimos la esperanza de llegar á una región despejada, libre de toda nube; pero no creíamos perder en el cambio. Al salir el globo de la segunda capa de nubes, se presentó ante nuestra vista el mismo espectáculo de un espacio cerrado como en las capas inferiores; la imagen de una cueva gigantesca y maravillosa, llena de un éter purísimo, limitada superiormente por un firmamento liso, argentino, radiante, vaporoso, é inferiormente por masas nebulosas, semisólidas, semejantes á grandes piedras, con la misma forma abovedada en el horizonte, las mismas figuras ilusorias, pero todas agradables, brillantes como cristales, compactas, y, sin embargo, agitándose suavemente unas dentro de otras, esparciendo reflejos y cambiantes llenos de encanto, y poseído todo de un reposo espiritual, no enturbiado por ningún fenómeno terrestre. Ninguna señal de vida, y, con todo, ninguna sensación de muerte. En presencia de aquellas lejanas cascadas de plata sobre profundos golfos azules, delante de las ruinas vagas, centelleantes, limitadas por trozos de mar solidificados, de los gigantescos hoyos y las suaves colinas de aquel inmenso desierto de nubes, la imaginación sin freno se dirigía involuntariamente al recuerdo de los espíritus de Ossián.

»¿No es esto admirable? exclamó Coxwell emocionado. Pero el sonido de su

voz carecía de timbre; su aliento se condensaba en blanca nube como en invierno, dió un tirón de la válvula, y el ruido de la salida del gas, que antes era muy perceptible, ahora se oía muy apagado; el resplandor del gas era menor que antes en el globo, y éste, que en un principio no estaba completamente lleno, ahora tenía muy tensas sus paredes. Nos encontrábamos precisamente en el límite de la tercera zona de nubes, próximamente á 11.000 pies de elevación: eran las cinco y dieciocho minutos.

»El objeto del viaje estaba satisfecho; habíamos penetrado con nuestra mirada á través del manto de nubes que ocultaba el cielo. El número de bóvedas que todavía faltaban por encima de nosotros, interceptando todo rayo de sol, nos era desconocido; el corazón no anhelaba la luz del día, después de tan sublimes resplandores crepusculares, sino que más bien deseábamos todos y cada uno de nosotros penetrar de nuevo en aquellos mundos maravillosos. Con mano segura tiró Coxwell de la válvula, y de pronto la opresión en el cerebro nos advirtió de la rapidez del descenso. A poco atravesamos de nuevo la segunda capa de nubes; el globo pasó lentamente á través de los encantos del primero de los espacios abovedados. Cogido á la cuerda de la válvula, la mirada atenta, bien á los gallardetes de papel, bien á la tirantez de las cubiertas del globo, dando salida alternativamente al lastre y al gas, condujo Coxwell su buque sin novedad en dirección á tierra. Ya habíamos llegado de regreso á la misma nube que nos recibió la primera vez en su seno. Su masa se hacía más oscura á medida que penetrábamos en su espesor; hasta tal punto, que el ancla, suspendida sólo á unos 150 pies por debajo de la barquilla, llegó á ocultarse casi por completo á nuestros ojos. Caía sobre el globo la lluvia que ya había anunciado Coxwell cuando estábamos aún por encima de esta capa de nubes, en la zona de la atmósfera transparente. De nuevo percibíamos el ruido de los trenes al rodar, y hasta el ladrido de los perros; el color gris que nos rodeaba por todas partes, fué oscureciéndose por debajo, volviendo las mismas sombras nocturnas que acompañaron á la desaparición de la vista de la tierra, cuando subimos; comenzaron á verse algunos puntos claros, y súbitamente se revelaron á nuestra vista los frescos prados, los bosques, los caseríos esparcidos aquí y allá, y entre los cuales serpenteaba como una cinta de plata el río Saale. Continuó avanzando el globo sobre éste, en dirección á una ciudad visible á lo lejos (Lützen); pero el viento le empujó hacia la izquierda, permitiéndonos esto anclar en la proximidad de una de las mayores aldeas. Antes había pasado rozando la barquilla del globo sobre otras dos, sin que fuera oída nuestra pregunta acerca del nombre de las mismas; al pasar sobre la tercera, llegó á nuestros oídos el grito amistoso: «¡Un globo! ¡Un globo!» La dejamos también atrás, y entonces Coxwell reconoció un campo yermo, situado en una altura á distancia como de un cuarto de hora, entre las lagunas de Durrenberg y Kötschau, sobre una especie de meseta, posándose en su orilla (mediante el juego alternativo de la válvula y el lastre) á

Globo aerostático en el seno de una bóveda de nubes.

las seis y cuarto, tan suavemente, que no tuvo lugar el menor choque de la barquilla, y habiendo seguido siempre en nuestro descenso, que duró treinta y cuatro segundos, la dirección de la visual hacia el punto escogido, como demostraba la línea recta formada sobre el suelo, por el lastre que íbamos arrojando.»

VIAJE AÉREO DE LAMOUNTAIN

También América ha sido teatro de expediciones muy numerosas por el aire. El 1.º de Julio de 1859, cuatro americanos, el aeronauta Lamountain, Wise, Gayer é Hyde emprendieron un viaje desde San Luis, proponiéndose recorrer por el aire la distancia que separa esta ciudad de Nueva York, ó sean próximamente seiscientas horas. El globo tenía 50 metros de alto y 20 de diámetro. Los viajeros se elevaron alternativamente hasta alturas bastante considerables, y describieron después con vivos colores las impresiones que les producían, bajo la penumbra de la noche, los paisajes de los valles con sus arroyos, bosques y praderas. Decían que no estuvieron realmente á oscuras por completo, ni aun durante la noche, y que desde una altura de 3.000 pies podían distinguir perfectamente los bosques de los prados. «Flotábamos, refiere uno de los expedicionarios, en una especie de neblina diáfana que, sin constituir un cuerpo iluminado, parecía estar formado por partículas luminosas. La acción de esta atmósfera era muy especial; daba al globo un aspecto como fosforescente, cual si llevara fuego en su interior. Esta apariencia era tan marcada, que se distinguían claramente todas las líneas de la red, todos los pliegues de la cubierta, las cuerdas, los nudos, etc.»

La descripción de las peripecias que les ocurrieron durante el viaje es tan exagerada, que nos abstenemos de reproducirla, y seguramente puede el lector muy bien fantasearla, combinando en su imaginación un aparato de nubes negras como carbón, tempestades en el mar Ontario, desprendimiento de todo el lastre, en momentos de apuro, así como de la barquilla, vertiginosa elevación de nuevo, agarrados los viajeros á la red, su vuelo sobre el Niágara, Canadá, etc., etc., todo esto adornado con mil detalles, y presentado como una novela de Julio Verne.

Después de aquel viaje se ha hablado mucho de otro todavía más gigantesco; el transporte desde América á Europa á través del Atlántico. En Nueva York estuvo expuesto al público (mediante una cuota) el globo con el cual se pensaba verificar dicha expedición, con todos los accesorios; pero tal vez no hubo en todo esto más que un negocio, pues no se ha vuelto á decir una palabra del proyectado viaje.

Lamountain, el aeronauta antes citado, perdió la vida en una ascensión. Subió en Jona (Michigán) en un montgolfier el 4 de Julio de 1873. Por su desgra-

cia, no había sujetado la barquilla al globo de la manera ordinaria, sino que estaba suspendida por medio de cuerdas de un anillo, el cual se colocaba apoyado sobre la parte superior del globo, pero sin otro lazo de unión con éste. Ahora bien: no se sabe cómo fué, que se separó este último de la red. El hecho es que, poco después de haber desaparecido el aeronauta, en la primera capa de nubes, reapareció de nuevo súbitamente, pero sin el globo, sólo con la barquilla, que se precipitaba hacia tierra con velocidad horrible y cada vez mayor, llegando por fin al suelo en medio de un campo, y á la vista de millares de espectadores, donde quedó aplastado por la violencia del choque, y convertido en una masa informe y sin vida. Indudablemente este fatal accidente fué consecuencia de la imprudencia de Lamountain al armar su globo en la forma indicada.

VIAJE AÉREO DE NADAR DESDE PARÍS

Por el año 1860, un tal doctor Roth, inventor también de una máquina para calcular, había trazado el plan de un nuevo buque aéreo; pero el proyecto no encontraba realización práctica, por las dificultades y gastos que para ello se exigían, hasta que últimamente Nadar, el conocido periodista, médico y campeón de la libertad, tomó el asunto por su cuenta. Por medio de la prensa supo entusiasmar al pueblo parisién y conseguir que se organizara una Sociedad por acciones, encargada de allegar recursos para poner[e] p áctica el indicado proyecto.

Por lo pronto, se construyó un enorme globo, *El Gigante*, con el cual debían verificarse viajes y exposiciones, en las cuales se podría recoger dinero suficiente para la máquina del doctor Roth. *El Gigante* exigía para llenarse 9.000 metros cúbicos de gas. La barquilla era lo más interesante de todo el aparato. Construída de caña, cuya tenacidad se comprobó previamente, sin que dejara lugar á ningún temor, constaba de dos pisos y tenía el aspecto exterior de un vagón de ferrocarril; reunía todas las comodidades que podían apetecerse para un viaje de varios días, camas, tocadores, aparatos fotográficos, una prensa de imprimir, instrumentos físicos, provisiones alimenticias, etc. Se había atendido á cuanto pudiera ocurrir por cualquiera concepto. Pero el primer viaje, á cuyo comienzo asistió medio París, como en tiempo de los Montgolfier, fué de corta duración. Subió el globo próximamente á 2.000 metros de altura, pero á poco volvió á descender, dando en tierra Nadar y sus compañeros, y nada suavemente por cierto, en Meaux, á pocas horas de distancia, casi á las puertas de París, todo lo cual, después de los pomposos programas que se habían hecho sobre la expedición, dió materia más que suficiente para las anécdotas y las alusiones irónicas de los parisienses, de suyo muy aficionados al *canard*.

Después los periódicos emprendieron nueva campaña en defensa de la So-

ciedad, y cuando más tarde se preparó una segunda expedición, ya se tenía ganada de nuevo la voluntad del público. Si cabe, aún acudió al Campo de Marte mayor número de curiosos que la primera vez, y se entusiasmaron también como entonces, cuando poco antes de anochecer se elevó en el aire *El Gigante* con sus habitantes. También ahora era el conocido Nadar el conductor del vehículo, en que iban, en total, nueve personas. No se hablaba de otro asunto: el nombre de Nadar estaba en todos los labios, y al día siguiente se buscaban con ansia los periódicos, con la esperanza de que darían noticias sobre los expedicionarios, pero éstas se hicieron esperar. Al tercer día llegó la nueva de que *El Gigante* había caído á tierra en Alemania, sobre el Weser; que Nadar y su joven y valiente esposa estaban gravemente heridos, y la mayor parte de los demás compañeros, contusos.

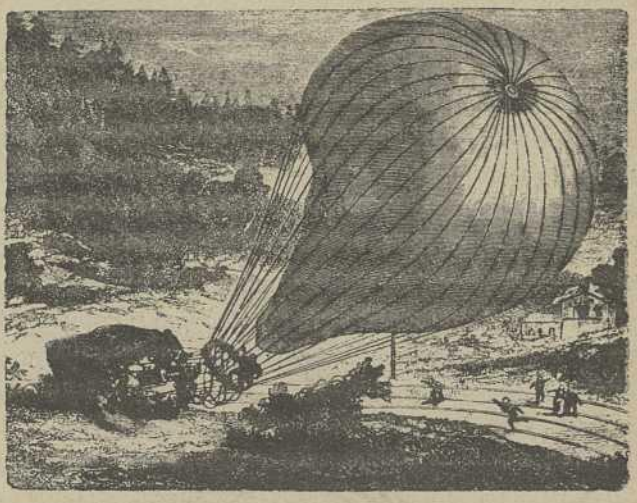


FIG. 116.—Catástrofe del globo *El Gigante*.

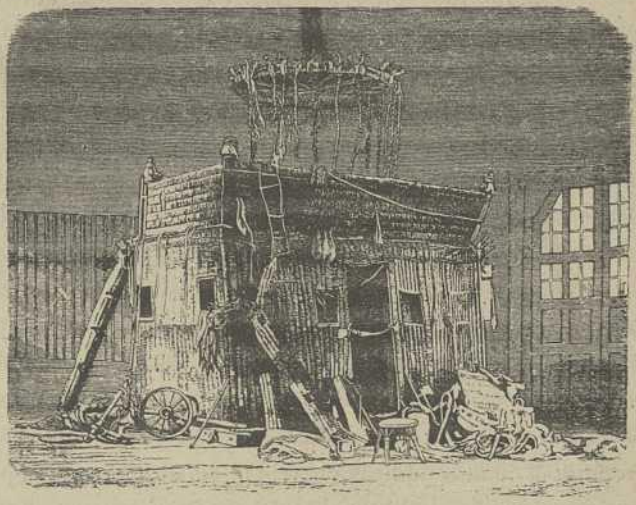


FIG. 117.—Barquilla del globo de Nadar, después de la catástrofe.

Lo ocurrido fué lo siguiente: Después de una travesía bastante monótona durante la noche, en la cual el globo se mantuvo poco elevado, vinieron á encontrarse á la mañana siguiente sobre una extensa superficie cubierta de niebla, que se tomó por el suelo holandés; y como Nadar temía aquí la proximidad del

mar, se hizo la señal para el descenso. Pero por efecto de la niebla y del rocío de la noche, la cuerda que debía servir para abrir la válvula, se había puesto tan tiesa y resbaladiza, que era casi imposible servirse de ella. No salía cantidad suficiente de gas para producir un descenso marcado y constante. Al mismo tiempo se levantó un fuerte viento, que arrastraba con toda su violencia al voluminoso *Gigante*. Se había recorrido ya en dirección Nordeste un trayecto de unas 360 leguas en catorce horas, durante la noche, estando marcada sobre el mapa su ruta por los puntos Compiègne, Saint-Quentin, Bruselas, Malinas, Bosch, Arnheim, Nienburg, Rethem, etc. En Nienburg se resolvieron los viajeros á ir á tierra; pero la salida del gas era tan imperfecta, que no hizo más tocar la barquilla en el suelo, é inmediatamente el globo, aligerado por un momento del peso de aquélla, se levantó como si hubiera rebotado, arrastrando de nuevo el vagón hacia lo alto. En adelante el viaje fué una serie de saltos como éste; saltos de ancho arco sobre los campos y empalizadas, sobre las rocas y los árboles. El ancla se había perdido ya en Nienburg.

En esta ciudad, cuando se notó la aparición del globo en la estación del ferrocarril, se lanzó una locomotora con algunos coches que había disponibles, con objeto de seguir de cerca á aquel monstruo. Este tren llegó, efectivamente, á tiempo, pero no pudo impedir el accidente; el monstruo atravesó la vía, rozó con la barquilla un trozo de terraplén, y después de romper los hilos del telégrafo, lo cual representa una fuerza de muchos cientos de quintales métricos, se alejó de un salto. El desdichado viaje seguía siempre adelante de la misma forma; dentro de la barquilla reinaba el mayor pánico; los viajeros iban dando tumbos sin cesar en todas direcciones. Por último, arrojando lastre se consiguió que el globo se elevara de nuevo, y entonces el intrépido Julio Nadar trepó por la red hasta la parte superior del globo, y abrió la válvula. Ahora descendió el globo directamente, pero tuvieron aún la desgracia de que el fuerte viento reinante les arrojase al bosque de Frankenfeld, distante una hora de Rethem, y en cuyo bosque quedó por fin el globo enredado entre los árboles. Así que la barquilla estuvo ya cerca de tierra, saltaron fuera de ella los menos estropeados; la señora Nadar se enganchó al hacerlo, y vino á caer encima de ella el vagón, que pesaba sobre 25 quintales; transcurrió más de media hora antes de que se consiguiera salvar á la pobre mujer de tan espantosa carga. Ninguno de los expedicionarios había salido ileso; algunos estaban gravemente heridos. Mad. Nadar, aparte del magullamiento general, sufrió también la dislocación de la clavícula; otro se rompió el brazo, y el mismo Nadar tenía asimismo varias heridas (figuras 116 y 117).

NAUFRAGIO DE DURNOF

Muchos de los accidentes desgraciados no se hubieran producido seguramente si los aeronautas hubieran tomado todas las precauciones que aconseja la prudencia. Pero la costumbre aleja toda idea de peligro, y á ciertos aeronautas, que convierten sus ascensiones en espectáculos públicos con frecuencia, un amor propio mal entendido les impulsa á emprender sus viajes en circunstancias desfavorables y amenazadoras. Casi fueron sacrificados á este sentimiento de vanidad dos audaces aeronautas, que sólo por una feliz casualidad lograron salvarse de la muerte.

Durnof, que era ya popular en Francia por sus ascensiones en globo, se propuso subir en Calais, impidiéndolo repetidas veces circunstancias adversas. El público reunido para presenciar el espectáculo, comenzó á lanzar expresiones ofensivas, dándose como advertido de que se iba á estar llenando el globo hasta el día siguiente. Durnof, que vió empeñada su honra, se resolvió á partir á pesar de no estar completamente lleno el globo, demostrando así á la multitud que no podía nadie reprocharle de cobardía, y su joven esposa se empeñó en acompañarle. Eran sobre las siete de la tarde del 31 de Agosto de 1873 cuando se elevó el globo, siendo impelido inmediatamente por el viento hacia el mar del Norte; el ofendido aeronauta no quiso, sin embargo, descender. *Tricoloro* se llamaba el vehículo en el cual bajo tan poco felices auspicios se preparaba á pasar la noche en el aire. No contenía más que unos 800 metros cúbicos de gas. El lector puede imaginarse las impresiones que recibirían durante su empresa; cuando apuntó la mañana se vieron flotando, á una débil altura, sobre la superficie ilimitada del mar. Dios sabía en qué punto se encontraban y hacia dónde los llevarían los vientos. La fuerza ascensional del globo, ya escasa desde la partida, había disminuido durante la noche, y se podía calcular cuánto tiempo podrían permanecer aún en aquella situación hasta que el globo poco á poco llegara á caer sobre las aguas. Si en este tiempo no eran vistos por un buque y recogidos, su muerte era segura. Por fin se distinguieron algunos buques; hicieron señales, pero había de transcurrir mucho rato antes de que los aeronautas pudieran reconocer que habían sido observadas éstas. Entretanto su situación era angustiosísima. Durnof se decidió á posarse completamente encima de la superficie del agua, naufragio voluntario cuyos horrores comenzaron pronto. La barquilla hacía ya agua; Mad. Durnof, medio muerta de frío y de terror, no podía tenerse derecha; su esposo la cogió con una mano y con la otra se agarró á la cuerda del globo, que iba arrastrado por el viento sobre las olas. Sin duda el barco aquel había mandado un bote en su auxilio; pero la distancia era grande, y además los náufragos no podían oponer resistencia al viento. ¿Lle-

garían á tiempo los socorros? Las olas chocaban contra el globo, convertido en una especie de mástil, y amenazaban hacerle trizas, y, sin embargo, en su flotación se cifraba la única esperanza de los infelices para mantenerse sobre las olas; por último, el bote ya estaba cerca, pero también el peligro se volvía ahora contra los salvadores. El globo, aún no vacío del todo, amenazaba golpear é invertir el bote; se pudo, por fin, embarcar á Mad. Durnof, desmayada, y él saltó también. Pronto el *Grand-Charge*, un buque inglés, recibió á su bordo á los náufragos, que habían estado durante largas horas tan cerca de la muerte. Pero por más que merezcan gran conmiseración sus sufrimientos en este caso particular, no podemos menos de reprocharles haber cometido la ligereza de ir en busca del peligro, no debiéndose imputar á la aerostación un accidente que hubiera sido evitado por una persona prudente. Otra cosa fué la

CATÁSTROFE DE CROCE SPINELLI Y SIVEL

Dos aeronautas, el último de los cuales se había conquistado fama de muy hábil y discreto, dirigiendo varias ascensiones, y al que muchas personas tienen que agradecer el incomparable placer de un viaje por los aires. La guerra de 1870 á 1871 había acrecentado considerablemente en París el interés general por la aerostación. Entre los que emprendieron sistemáticamente ascensiones con objeto de investigar las regiones más altas de la atmósfera y la manera más apropiada de atravesarlas, se habían hecho notables principalmente los hermanos Tissandier y el ingeniero Croce Spinelli. En unión de éstos se habían ya verificado en París diferentes ascensiones, que tenían el apoyo de las Sociedades científicas y del ministerio de Instrucción pública, en virtud del interés que ofrecían para la ciencia. En una de estas ascensiones, efectuada el 22 de Marzo de 1874, se había alcanzado la considerable altura de 7.400 metros. Era preciso someter á una comprobación los resultados obtenidos, relativos principalmente á las rayas del espectro, á la riqueza en ácido carbónico del aire en las capas superiores, así como á la existencia de una corriente cálida, procedente del Sudoeste, que se suponía reinar á la altura de 6.000 metros y con un espesor vertical de 600 metros. Para este fin se hizo un equipo completo con todos los instrumentos de observación posibles, con destino al globo *Zenit*, perteneciente á Sivel, quien se había preocupado también de hacer provisión de oxígeno puro con objeto de contrarrestar, por su inspiración, el peligro que pudiera ofrecer el enrarecimiento del aire y la falta de dicho gas.

La partida tuvo lugar el 15 de Abril de 1875 hacia el medio día (las 12 y 25 m.) en la fábrica de gas «Lavillete,» en París. Hacia la una había ya alcanzado el globo la altura de 5.000 metros y comenzaron los aeronautas sus trabajos y observaciones físicas. La temperatura en el interior del globo era de 20 grados,

pero el aire exterior estaba á 5 grados bajo cero. Croce Spinelli se dedicó á las investigaciones espectroscópicas; Sivel dirigía el globo; todos los expedicionarios estaban muy animados. Se arrojó lastre, y el globo se elevó más y más. Ya entonces pudieron apreciar la favorable influencia que producía la inspiración de oxígeno puro. A la una y veinticinco minutos llegaron á la altura de 7.000 metros; la temperatura exterior era de 10 grados bajo cero. Vamos á copiar textualmente desde este momento la descripción que el único sobreviviente, Gastón Tissandier, hizo de los detalles del viaje en una carta al presidente de la «Sociedad francesa para la navegación aérea»:

«Sivel y Croce están muy pálidos (notas tomadas durante el viaje), y yo me siento muy débil. Respiro oxígeno, lo cual me reanima algún tanto. Subimos siempre más arriba. Sivel se vuelve hacia mí, y me dice: «Tenemos aún más lastre; ¿lo arrojo?—Yo le respondo: Como gustéis.—Le hace la misma pregunta á Croce, quien le da su asentimiento con una inclinación de cabeza. Teníamos en la barquilla por lo menos cinco sacos de lastre y fuera había cuatro, colgados de unas cuerdas. Sivel cogió su cuchillo y cortó las ligaduras de tres sacos: su contenido se esparció por el aire y nosotros subimos instantáneamente con gran rapidez. Inmediatamente me sentí tan débil, que no podía volver la cabeza para mirar á mis compañeros; quise coger el tubo para respirar oxígeno, pero me fué imposible levantar el brazo. Mis ideas eran todavía claras: había dirigido la mirada al barómetro y había visto correr la aguja desde la cifra 290 á la 280, que todavía pasó. Quise gritar: ¡estamos á 8.000 metros! pero mi lengua estaba como paralizada, se me cerraron también los ojos, y caí en un síncope, perdiendo por completo el conocimiento. Era la una y treinta y ocho minutos.

»A las dos y ocho minutos me despejé por un instante; el globo cae con gran rapidez, consigo abrir un saco de lastre para moderar la velocidad, y escribo en mi registro las siguientes palabras: «Vamos hacia abajo; temperatura, 8 grados »bajo cero; arrojo lastre; presión, 355 milímetros. Sivel y Croce aún sin sentido »en el fondo de la barquilla; caemos con mucha rapidez.»

»Apenas había escrito esto, cuando me atacó un temblor especial y caí otra vez presa de un desvanecimiento. Sentía una fuerte corriente de aire, señal de nuestro veloz descenso. Algunos minutos después sentí que me sacudían los brazos, y reconocí á Croce, que había vuelto en sí:—¡Arrojad lastre! me gritó; caemos.—Pero apenas podía abrir los ojos, tanto, que no vi si Sivel estaba despierto también. Me acuerdo, sí, que Croce echó por la barandilla de la barquilla el aparato para respirar oxígeno, lastre, las mantas y otros objetos. Pero todo está muy confuso en mi memoria; la impresión se borró demasiado rápidamente, pues volví á caer en un síncope más profundo aún que la primera vez; parecía como si hubiera penetrado en el sueño eterno.

»¿Qué es lo que ocurrió durante este tiempo? Yo presumo que el globo, aligerado de peso y estando como estaba íntegro, cerrado y caliente, subiría aún

otra vez á las altas regiones. Hacia las tres y quince minutos abrí de nuevo los ojos; me sentí pesado, como si me hubieran dado una paliza; pero mi espíritu se reanimó otra vez. El globo venía hacia abajo con una rapidez que aterraba; la barquilla se conmovía con fuerza, describiendo amplias oscilaciones. Me puse de rodillas, y sacudiéndoles los brazos:—«Sivel, Croce, grité: ¡despertad!»

»Pero mis dos compañeros seguían encogidos en el fondo de la barquilla, metida la cabeza entre sus abrigos. Hice un supremo esfuerzo y traté de levantarles. Sivel tenía la cara amoratada, los ojos sin brillo, la boca abierta y llena de sangre. Croce Spinelli tenía los ojos cerrados y también sangre en la boca. Es imposible pintar lo que sucedió entonces; sentí otra vez la imponente corriente de abajo á arriba; estábamos aún á una altura de 6.000 metros. Eché dos sacos de lastre que quedaban en la barquilla; la tierra, en apariencia, se venía hacia nosotros. Quise coger mi cuchillo para soltar el áncora. No podía encontrarle; entretanto gritaba como loco:—¡Sivel, Sivel! En esto encuentro, por fortuna, un cuchillo, y en el momento crítico pude soltar el áncora. El golpe que dió contra la tierra fué atroz. El globo pareció estrecharse, y creo que hubiera quedado inmóvil, pero el viento era fuerte y se nos llevaba; el áncora no había prendido y la barquilla se lanzaba hacia el campo, y yo temí ya entonces ver caer los cadáveres de mis desgraciados amigos. Sin embargo, me ocurrió abrir la válvula; el globo se vació, destrozándose contra un árbol; eran las cuatro.»

Hasta aquí la descripción de Tissandier. Los dos cadáveres fueron sepultados el 20 de Abril, con grandes honores y en medio del dolor general, en el departamento protestante del cementerio del Padre Lachaise.

GLOBOS CAUTIVOS

Para facilitar la ascensión en un globo aerostático, sin tener que preocuparse de los peligros debidos á la acción del viento, se han construído globos cautivos, esto es, sujetos con cuerdas, como si estuvieran anclados, de suerte que no tienen juego más que dentro de un pequeño espacio; el que permite la longitud y peso del cable. Uno de estos globos fijos era motivo de gran diversión todos los domingos durante la Exposición de París de 1867. Próximo al Campo de Marte, un industrial emprendedor había comprado un gran solar, sobre el cual se construyeron tribunas para observar los preparativos de la elevación del llamado globo cautivo. Mediante el abono de 50 francos se podía tomar parte en la ascensión. El globo se elevaba tanto como lo permitía el peso de un cable, al que iba unido, y el principal encanto para los pasajeros era disfrutar del golpe de vista que ofrecía la ciudad desde aquel punto aislado en el aire. La figura 118 muestra de qué modo se sujetan esos globos, de los

que después se han construído muchos para satisfacer la pública curiosidad de vivir, siquiera sea cortos instantes, en las altas regiones de la atmósfera.

En Londres se elevó también, en 1869, un globo cautivo. Tenía la forma de una esfera de 37 metros de diámetro y 12.000 metros cúbicos de capacidad. El

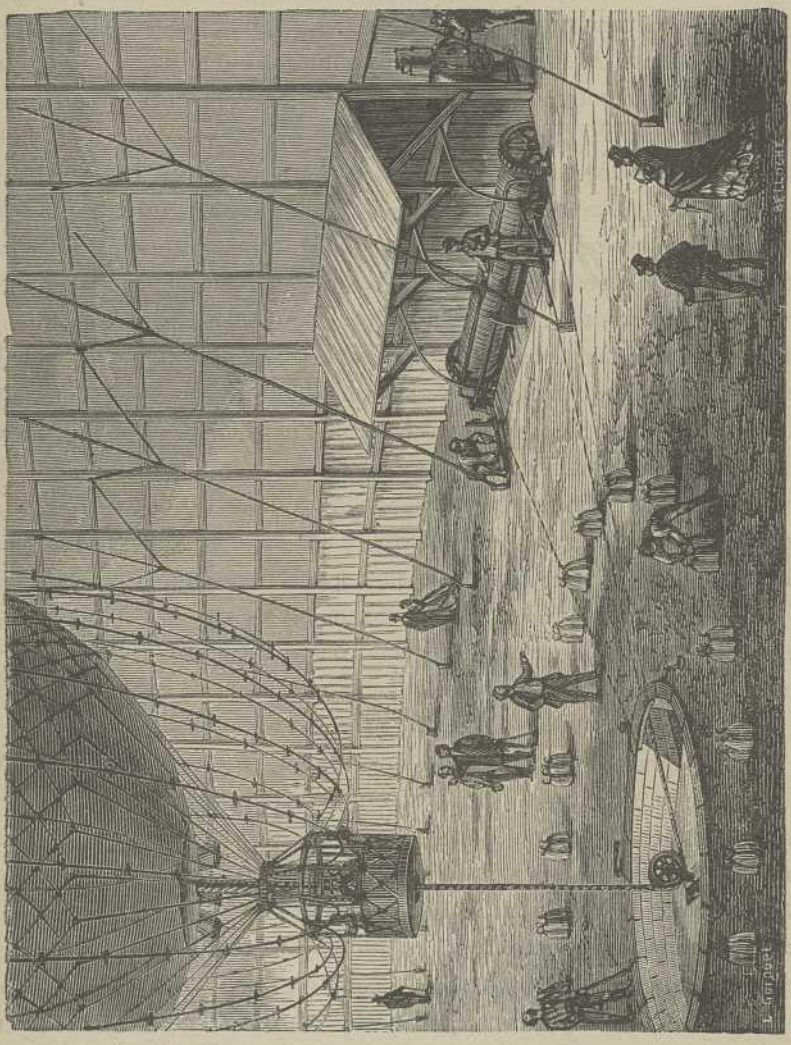


FIG. 118.—Globo cautivo de Giffard en París, 1867.

cable á que estaba sujeto tenía 650 metros de largo, y cuando se quería recoger el globo se arrollaba á un torno de hierro por medio de una máquina de vapor. Las cubiertas del globo consistían en dos capas de tela unidas entre sí por medio de una especie de cola de cauchú, y recubierto todo por un tejido de muselina, que también estaba impregnada de cauchú; se había puesto tan gran cuidado en hacer impermeable la cubierta, porque el globo tenía que llenarse con hidrógeno puro. Dichas cubiertas pesaban en total 2.800 kilogramos, y tenían

una superficie de 2.500 metros cuadrados. Por un descuido de los maquinistas ocurrió un día que se rompió el cable; por fortuna no se encontraba nadie en la barquilla, pues hubiera podido ser peligrosa la partida instantánea del globo, rápido cual una flecha. Por efecto de la pérdida del gas descendió de nuevo á una distancia de pocas millas, siendo recogido sin ningún desperfecto.

El globo cautivo construído para la Exposición Universal de Viena tuvo un fin desgraciado. Antes de su inauguración un huracán lo arrancó de su sitio, y unos aldeanos húngaros que se lo encontraron al alcance de sus manos, lo deshicieron por completo.

Con ocasión de la Exposición Universal de París de 1878, el mismo Giffard, que ya había construído el globo cautivo en 1867, construyó otro gigantesco en medio del gran patio de las Tullerías. Desde este globo disfrutaría seguramente alguno de nuestros lectores del interesante golpe de vista que ofrecía el laberinto de las calles de una ciudad tan grande como París, desde una altura de 500 á 600 metros. Las cubiertas del globo constaban de dos telas de muselina, que encerraban otras dos de lana, ligeras y compactas. Estas cuatro telas estaban después separadas entre sí por capas de cauchú. Quedaba así formado un conjunto de siete capas, que cuando el globo se llenaba de gas tomaba una forma completamente esférica, con un diámetro de 36 metros.

La superficie exterior estaba recubierta de una capa de barniz, formado con aceite de linaza, y encima de blanco de cinc, que le daba un aspecto brillante. El peso de un metro cuadrado de esta cubierta era de un kilogramo, y el peso total de 1.230 kilogramos. Por su parte el cordaje pesaba próximamente 8.000 kilogramos. Los gastos originados en la construcción del globo ascendieron á más de 60.000 francos. La barquilla, dispuesta para recibir cincuenta personas. pesaba 1.800 kilogramos. Al cable que sujetaba el globo se le dió una forma cónica; de suerte que el diámetro máximo era de 8 $^1/_2$ centímetros en el extremo superior, disminuyendo de aquí hasta el extremo inferior, en que era sólo de 6 $^1/_2$ centímetros. Esta disposición, discretamente pensada, tenía por objeto que, en el caso de que pudiera ocurrir una rotura en el cable, se produjera hacia su extremo inferior, y de este modo los improvisados aeronautas tendrían á su disposición una longitud considerable de cable, que podría servirles á modo de áncora. Por otra parte, la rotura no podía temerse sino en el caso de un huracán, en el cual seguramente no habría nadie en la barquilla. La instalación del globo, en conjunto, era muy bonita y bastante sólida, siendo utilizada por millares de personas para disfrutar aquel espectáculo, nada vulgar.

EXPEDICIONES AEROSTÁTICO-CIENTÍFICAS

Por más que, como hemos dicho, los beneficios reportados por la navegación aérea no son tan grandes como prometía en su origen, la Geografía física es

deudora á la aerostación y á la decidida afición de los franceses, en particular, á elevarse en globo, de algunos datos para la solución de problemas que sólo por la experimentación en las diferentes capas de aire podían encontrarse.

Por esta razón, retrocederemos para dar alguna noticia sobre las principales empresas de este género, de las cuales la más importante es la realizada por Gay-Lussac y Biot.

VIAJE AÉREO DE GAY-LUSSAC Y BIOT

Robertson y su compatriota L'Holst habían alcanzado, cuando subieron en Hamburgo el 18 de Julio de 1803, la mayor altura á que habían llegado hasta aquella fecha los aeronautas. Según sus cálculos, habían subido hasta 7.400 metros, ó sea más de 24.000 pies, y de sus observaciones creyeron poder deducir, entre otras cosas, que con la altura disminuía proporcionalmente la intensidad de las acciones del magnetismo terrestre, así como también que se debilitaban notablemente los fenómenos eléctricos. Como quiera que después de su regreso de San Petersburgo, donde Robertson había verificado una repetición de sus experiencias, en compañía de un sabio ruso, Saccharoff, hizo notar aquél la importancia de sus observaciones, Laplace propuso á la Academia una investigación rigurosa de estos asuntos en cuestión, por medio de una expedición al reino de los aires, preparada con carácter científico. Fueron elegidos para esta comisión los físicos Biot y Gay-Lussac, dos de los más jóvenes y sabios miembros de aquella Academia. Después de proveerse con abundancia de cuantas instrucciones pudieran serles útiles, así como de los instrumentos apropiados á su objeto, se elevaron el 20 de Agosto desde el jardín del Conservatorio de Artes y Oficios (fig. 119). De sus investigaciones, practicadas con el mayor cuidado, debía deducirse que la intensidad de la acción magnética terrestre no se alteraba por la elevación sobre la tierra. Las oscilaciones de la aguja magnética coincidían en velocidad y en amplitud á 4.000 metros (13.000 pies de altura) con las que verificaba la misma aguja magnética en la superficie de la Tierra, y, según esto, la hipótesis de Robertson debía considerarse como un error, que por lo demás puede disculparse fácilmente por las grandes dificultades de observación que se ofrecen en el globo, puesto que éste no tiene nunca una posición fija, y no sólo porque continuamente sube y baja, sino porque, obedeciendo á las más débiles corrientes de aire, adquiere un notable movimiento de rotación alrededor de su eje, ya en un sentido, ya en el sentido contrario. Esta rotación, aun no siendo muy rápida, ejerce marcada influencia sobre las oscilaciones de la aguja magnética; de suerte que, para hacer una observación exacta, es preciso aprovechar el momento en que la rotación del globo cambie de sentido, y en el cual podemos considerarle desprovisto de rotación, siquiera

sea por un instante. Es de advertir, sin embargo, que las mismas dificultades se ofrecieron á Gay-Lussac y Biot que á Robertson.

Por lo que se refiere á las observaciones barométricas, hay que tener en cuenta que si el globo se mueve hacia abajo, la columna de mercurio permane-

FIG. 119.—Ascensión científica de Gay-Lussac y Biot.

ce en el tubo un poco más alta de lo que corresponde á la presión estática en aquella altura, y, en cambio, cuando el globo sube rápidamente, dicha columna queda demasiado baja.

Los aeronautas no pueden reconocer el resultado de su movimiento por su relación con ningún objeto cercano; de aquí que para orientarse respecto al particular suelen arrojar pedacitos de papel. Si éstos desaparecen rápidamente por

debajo, es que el globo sube; si flotan alrededor de éste, es que el mismo globo cae como ellos. Según el grado de rapidez de éstas indicaciones, se puede apreciar relativamente la rapidez del movimiento del propio globo.

Gay Lussac y Biot comprobaron, por último, y también en contradicción con las afirmaciones de Robertson, que las acciones de la pila voltaica y de la máquina eléctrica no experimentan ningún cambio por la elevación á las mayores alturas. Recogieron también dichos físicos interesantísimos datos sobre las relaciones higrométricas (de humedad) y termométricas de las capas superiores del aire.

Con objeto de llegar á una altura mayor que en esta expedición, á la máxima altura posible, emprendió Gay-Lussac solo una segunda ascensión, semejante á la primera. Subió en ella hasta unos 9.000 metros de altura, adquiriendo la gloria de haberse alejado más que ningún otro, hasta entonces, del centro de la Tierra. Los resultados de esta segunda ascensión coincidieron en general con las observaciones practicadas antes por el mismo Gay-Lussac, en unión de Biot. El aire recogido en las más elevadas regiones de la atmósfera y conducido hasta la tierra en frascos perfectamente cerrados, se reveló ante el análisis como completamente idéntico en su composición química al aire que respiramos sobre la superficie de la tierra.

Aparte de estas ascensiones de Biot y Gay-Lussac, pocas más han ofrecido algún resultado científico digno de mención. En Inglaterra se han verificado de tiempo en tiempo, desde el año 1850, ascensiones científicas, mereciendo ser citadas particularmente las de J. Welsh (en compañía de Green) en 1852, y las de Glaisher (1862 y 63, en el globo de Coxwell). El último alcanzó el 5 de Septiembre de 1862 una altura de 11.000 metros; y aunque es verdad que tanto él como Coxwell perdieron el conocimiento, de modo que la obtención de sus resultados sólo pudo hacerse por cálculos, éstos tenían, sin embargo, gran verosimilitud, y según dichos resultados hay que abandonar por completo la antigua hipótesis de que por cada 90 metros de elevación desciende la temperatura en un grado, pues resulta que en un tiempo sereno dicho descenso de un grado se produce ya para 30 metros de elevación en la proximidad de la Tierra, mientras que, en cambio, para que el termómetro descienda un grado á la altura de 9.150 metros ó más, es necesario elevarse 600 metros. Ahora, entre estos dos límites, 30 y 600 metros, ó sea hasta la altura de 9.150 metros sobre el suelo de la Tierra, parece que el descenso de temperatura sigue una ley constante. Sin embargo, otras muchas observaciones verificadas particularmente en París en 1878, han dado resultados completamente distintos.

Glaisher comprobó igualmente la hipótesis que se había hecho antes de una corriente cálida procedente del Sudoeste, y de un espesor de 600 metros; es decir, una corriente que corresponde á la del Golfo en los mares. El estado de humedad de las diferentes capas de aire es muy variable. «Yo he llegado

hasta 7.000 metros, dice el mismo Glaisher, sin haber visto el sol, y aun en mis ascensiones más altas he visto cernerse sobre mi cabeza nubes más y más lejanas.» Forma, pues, también nubes á tan grandes alturas sobre la superficie de la Tierra la condensación de vapor de agua, y esta observación es preciosa; pues los medios usuales para la medida de la altura de las nubes son expuestos á grandes errores, de modo que por ellos no era posible obtener datos precisos y seguros. Por último, parece desprenderse de las observaciones de Glaisher que en las regiones superiores de la atmósfera reinan vientos más constantes, y al mismo tiempo más rápidos que sobre la superficie de los mares.

Las observaciones fisiológicas verificadas por el investigador inglés son de un interés muy especial. En las grandes alturas aumenta el número de pulsaciones, lo mismo que el de inspiraciones. A su partida de la superficie de la tierra marcaba su pulso 76 golpes por minuto; á los 3.000 metros ascendió este número á 90, á los 6.000 metros á 100, y, por último, más allá de esta altura llegó á 110 el número de pulsaciones. Es evidente que estos números dependen también de la naturaleza de los individuos, lo mismo que las otras alteraciones en las facultades corporales que ocurren al penetrar en las altas regiones del aire y entre las cuales hay una que es muy propia para desarrollar grandes aprensiones en los que observan el fenómeno por primera vez; esto es, la desaparición gradual del color de la piel. «A 7.000 pies (2.000 metros) escribe Glaisher, mis labios eran azules; á 19.000 pies, este azul se oscureció hasta hacerse negruzco, extendiéndose también por las manos. A una altura de 4 millas inglesas se oían perfectamente las palpitaciones de mi corazón; la respiración era poco profunda y débil, hasta que á los 29.000 pies perdí el conocimiento.»

Estos son los principales datos que ha proporcionado la aerostación en el concepto científico. Con posterioridad, nada nuevo importante ha venido á aumentarlos, por más que los franceses han llevado á cabo numerosas ascensiones, á las que daban un carácter científico y en las que han tomado parte sabios como Flammarión.

Con fines menos elevados, también el globo tiene la mayor importancia como vehículo para el transporte de personas y como medio de comunicación, sobre todo en aquellos casos en que no pueden ser empleados otros medios de arrastre. Continúa siendo, hasta hoy, sólo un recurso obligado; pero de todos modos, como quiera que los casos en que es preciso echar mano de él pueden ser de naturaleza muy grave, se explica el empeño que recientemente se ha manifestado en estudiar la técnica del globo, y, sobre todo, en reconocer y tratar de disminuir los peligros á que está expuesto el que navega en él.

LOS PELIGROS PARA LOS AERONAUTAS

Consisten, en su mayor parte, en los accidentes que pueden ocurrirles al partir y al desembarcar. Y al hablar de desembarcar, no nos referimos al caso desgraciado de una caída involuntaria, de una verdadera catástrofe, sino á los accidentes que á veces se originan cuando el aeronauta, arrastrado por el viento, no puede determinar con seguridad el punto de llegada y corre el peligro de ser lanzado, junto con su armatoste, contra las casas, los árboles, etc., ó cualquier obstáculo que se oponga á su paso; cuando, por efecto de las fuertes corrientes de aire, el ancla no encuentra suficiente resistencia en el suelo, y el globo, á medio vaciar, viene á chocar contra la tierra con la fuerza del huracán. A cada encuentro de la pesada barquilla con el suelo, el globo, aligerado del peso de aquélla, adquiere nueva fuerza ascensional, y como consecuencia, se eleva en rápidos saltos, no llegando á pararse hasta que se agota toda su tendencia á la elevación y el viento no puede ya levantar el peso del globo. Estos saltos son de los fenómenos más peligrosos; nada puede oponerse contra ellos, si bien un aeronauta experimentado puede, en cambio, elegir, con bastante seguridad, un punto á propósito para que prenda el ancla, y esto evita aquel peligro, ofreciendo un medio de llevar á cabo felizmente el desembarque, aun con mal tiempo.

En lo alto, las condiciones del aeronauta son mucho más favorables que las en que se encuentran los viajeros por tierra ó por mar. El globo se mueve cual una parte de la masa de aire que le rodea, y no tiene nada que temer aun de las tormentas más potentes, pues está como identificado con la misma tempestad; de suerte que tal vez se esté moviendo con velocidad pasmosa, y sin embargo el aeronauta no percibe el menor soplo de viento. Se obtiene un ascenso ó un descenso arrojando lastre ó dejando salir el gas, respectivamente; y como quiera que un puñado de arena determina ya una acción sensible, es posible producir estos movimientos de un modo completamente gradual.

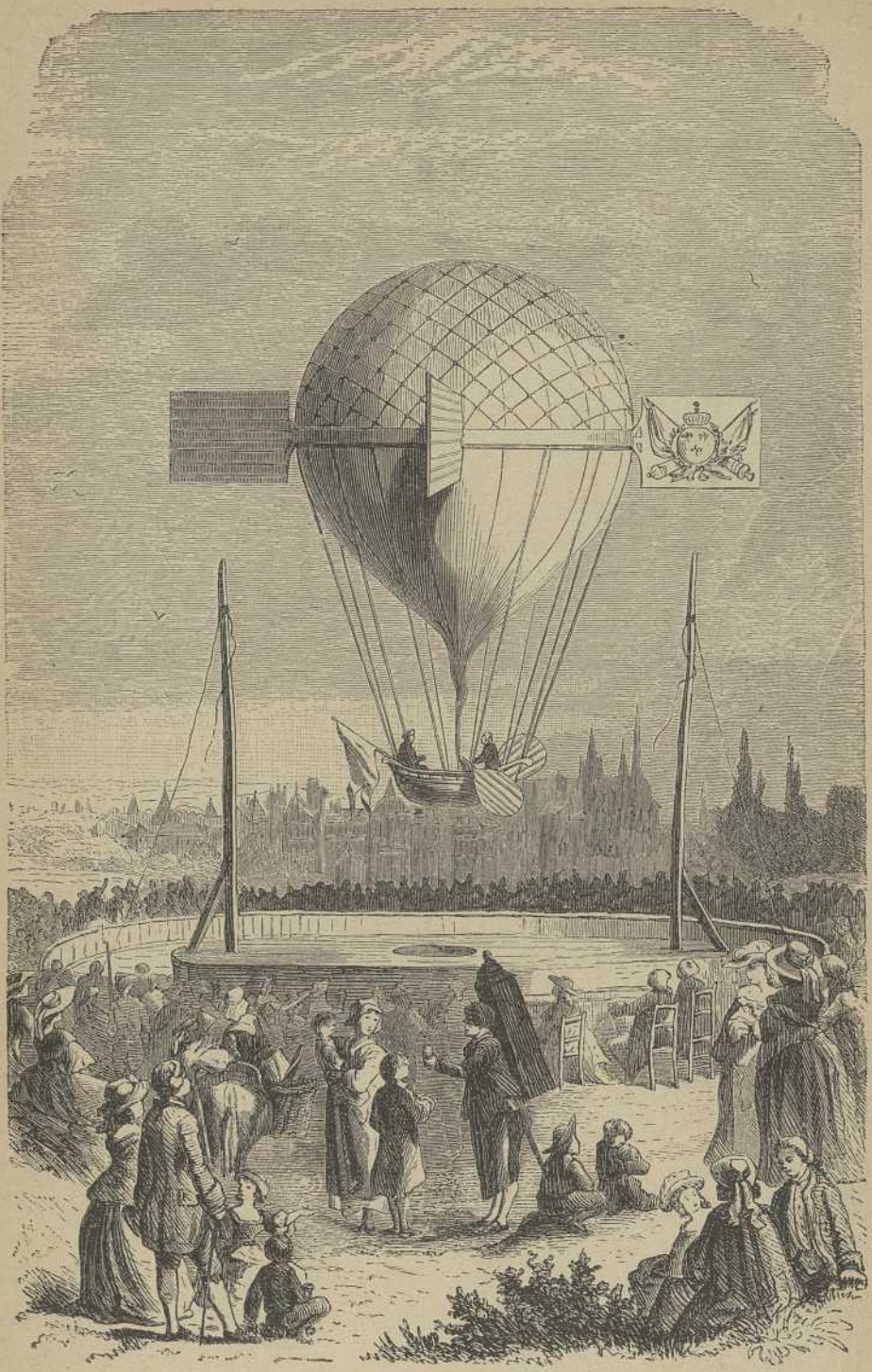
Además, el mecanismo de la válvula debe funcionar perfectamente; el globo debe tener siempre disponible un exceso de fuerza ascensional, así como una cantidad suficiente de lastre. El aeronauta ha de poner todo su cuidado en conservar á su aparato estas condiciones. Aparte de esto, debe también dirigir su atención hacia la dirección del camino seguido por el globo, para no extraviarse por sitios adonde no ha sido su ánimo llegar. Bajo este concepto, no están nunca completamente exentas de peligro las expediciones nocturnas en la proximidad de los mares, sobre todo cuando la atmósfera es poco clara y no permite fácilmente una orientación con respecto á la tierra. De todos modos, no está

en manos del aeronauta, generalmente, la conservación de una dirección determinada, sino en una esfera muy limitada, sólo en cuanto le sea posible encontrar una corriente de aire que sople en la deseada dirección de la rosa de los vientos. De no existir esta corriente, de nada sirve que se tracen planes sobre el viaje, y en ningún caso puede el aeronauta determinar fijamente el punto en que ha de venir de nuevo á tierra con su globo.

Hemos dicho antes que en las altas regiones son muy pocos los peligros para el aeronauta. Esto es exacto, pero, sin embargo, hay eventualidades que pueden hacer muy crítica la posición del globo y sus habitantes, y para evitarlas ó triunfar de ellas, se exige una previsión que sólo puede adquirirse como consecuencia de una larga experiencia. Por ejemplo, por la súbita exposición del globo á los rayos del sol, y la elevación de la temperatura que de aquí resulta, puede tener lugar una dilatación tan rápida del gas interior, que las cubiertas corran peligro de estallar. Lo mismo puede suceder por una rápida elevación á capas de aire muy enrarecidas, pues con esto disminuye la presión exterior que se oponía á la expansión del gas encerrado, y dilatándose éste instantáneamente en una cantidad considerable, puede rasgar las cubiertas si no tiene fácil salida por la boca inferior del globo, ó bien por la válvula superior. Ahora bien; no es menester decir los peligros que trae consigo la súbita desaparición del gas por una rotura producida en las cubiertas. El 9 de Diciembre de 1875 se dió el caso de que el globo *L'Univers*, en el cual se encontraban, además de los aeronautas Godard y Alberto Tissandier, seis pasajeros más, y que había ascendido desde la fábrica *La Villete*, se precipitó desde una altura de 260 metros, probablemente á consecuencia de una grieta abierta en la cubierta, y todos los que iban en la barquilla quedaron más ó menos gravemente heridos.

Por el contrario, así como una rápida elevación de temperatura produce una dilatación demasiado brusca del gas, un rápido enfriamiento, debido, ya al descenso á una capa de aire más fría, ó al ingreso en la sombra de una nube, puede determinar una súbita contracción; entonces el globo se hace más pesado específicamente, y si no hay bastante lastre, cuyo desprendimiento restablezca el equilibrio, puede aumentar hasta hacerse peligrosa la velocidad de una caída. Un efecto semejante á los descensos de temperatura es el que producen con frecuencia los depósitos por condensación del vapor de agua del aire sobre la gran superficie del globo, que pueden llegar á representar un peso considerable; y se comprende que cuando estos accidentes tienen lugar estando debilitada ya la fuerza ascensional del globo, pueden producir sensibles catástrofes.

A pesar de todo, el conocimiento previo de las contrariedades que pueden presentarse rebaja mucho su importancia; de aquí que, así como nadie se meterá en un tren que no esté conducido por un maquinista hábil y experimentado, del mismo modo no debe nadie confiarse en un globo cuyo conductor no tenga ya dadas pruebas de su destreza é inteligencia.



Ascensión aérea en Dijon.

DIRECCIÓN DE LOS GLOBOS

En los primeros tiempos de la historia de este descubrimiento se alimentó ya la esperanza de mover á voluntad un globo aerostático con ayuda de remos y de velas, á la manera como se mueve y se dirige un barco sobre el agua. Pero cuantas tentativas y disposiciones mecánicas se han practicado hasta la sazón, no han dado ningun resultado satisfactorio. La lámina III de este tomo representa una de estas múltiples tentativas, emprendida en Dijon el 25 de Abril de 1784.

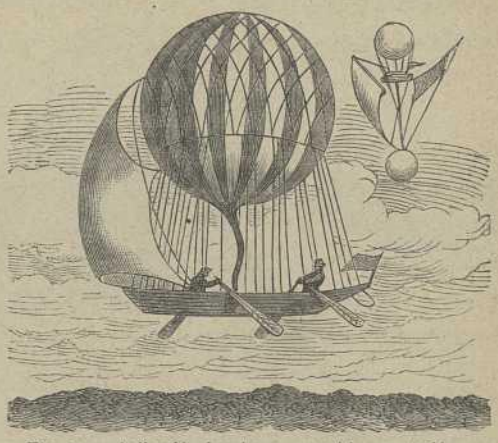


FIG. 120.—Aplicación de velas y remos á la aerostación.

Después, el resultado de algunas observaciones parecía dar á entender que en la atmósfera existían por todas partes corrientes dirigidas en diversos sentidos; y esta idea hizo confiar en que sería suficiente ascender hasta encontrar la corriente que correspondiera á la dirección deseada, para seguir entonces con seguridad un cierto rumbo. Un globo de prueba que subiera de antemano, señalaría la dirección de los vientos superiores; después las velas y los remos completarían la obra (fig. 120).

Ciertamente no se puede negar que existen con frecuencia corrientes de aire superpuestas y diversamente dirigidas: el conocido aeronauta Reichardt refirió que en una ocasión se elevó en Varsovia, y en alas de vientos contrarios por tres veces consecutivas se alejó y regresó á la ciudad. Pero sólo por excepción existen estas corrientes en tan gran número como se suponía; en el caso general se encuentran sólo dos superpuestas, en direcciones próximamente contrarias y reinando de un modo permanente, las cuales se comprende que ofrecen sólo una aplicación muy limitada. La experiencia demostró sucesivamente á los aeronautas que no era realizable su proyecto respecto al aprovechamiento de los vientos, y se volvió á intentar la aplicación de motores artificiales.

Petin propuso en París una nave aérea, destinada á ofrecer á gran número de personas el placer de un viaje simultáneo. Cuatro grandes globos, cada uno de 27 metros de diámetro, sostenían una especie de andamiaje de 140 metros de largo y 60 de ancho (véase la fig. 121). La mayor parte de este espacio estaba ocupado por tablas inclinadas movibles, con las cuales el inventor esperaba tener una acción directriz, pero que sólo hubieran podido influir para hacerles subir ó bajar. Petin trabajó con tanto entusiasmo por su proyecto, que logró

recoger medios suficientes para poner en práctica su artefacto en gran escala; pero las autoridades prohibieron su experiencia como medida de prudencia, y esta decepción llevó al inventor á América, donde tampoco parece que debió encontrar acogida su atrevido plan, pues no se ha vuelto á oir hablar de él otra vez.

Sería difícil citar todas las invenciones que se han hecho sobre este particular, muchas de las cuales no corresponden en nada á su objeto. La mayor parte

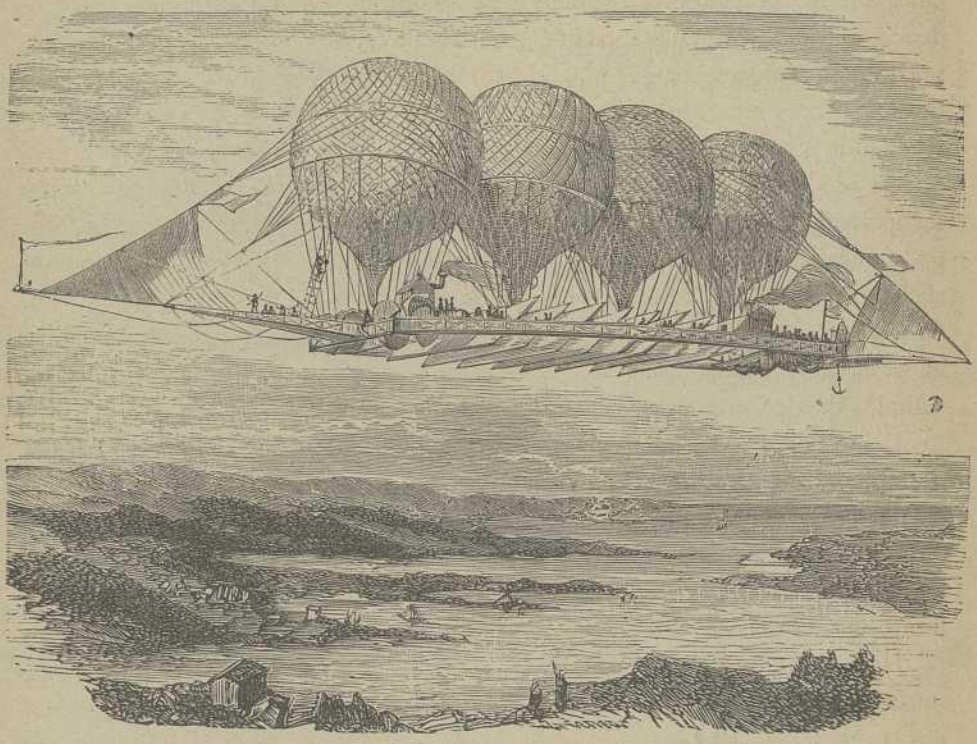


FIG. 121.—Nave aérea proyectada por Petin.

tienen el defecto capital de que los mecanismos se aplican á la barquilla, y como ésta se halla unida con el globo, mucho más voluminoso que ella, sólo mediante algunas cuerdas flexibles y débiles, la fuerza no puede actuar sobre el globo, ó actúa sólo en una pequeña parte. Si ha de ser eficaz un mecanismo directriz, debe aplicarse al cuerpo principal del globo. Pero sucede, por la naturaleza del aparato mismo, que todos los esfuerzos de este género, más bien que dar una dirección determinada y permanente al globo, han conseguido simplemente hacerle girar alrededor de su eje. Esto es lo que puso de manifiesto la máquina del ingeniero francés Giffard. Consistía en un globo de forma cilíndrica, provisto de timón y de hélice, que era movido por una máquina de vapor de tres caballos. La primera y última ascensión se verificó el 24 de Septiembre de 1852, y

Giffard bajó muy satisfecho de ella. Según él mismo decía, no había entrado en sus planes navegar contra el viento; pero pudo hacer girar á su aparato describiendo círculos á uno y otro lado, y con facilidad.

Por su originalidad vamos á dedicar aquí un recuerdo á otro proyecto, del cual se ha hecho mención estos últimos años, hasta en publicaciones científicas. Es sabido que el ácido carbónico, que se obtiene de la creta tratándola con el ácido clorhídrico diluído en agua, puede tomar el estado sólido en ciertas circunstancias. En dicho estado sólido tiene entonces el ácido carbónico una tendencia extraordinariamente grande á transformarse en vapor. Se liquida y vaporiza más rápidamente que ningún otro cuerpo, poseyendo su vapor una gran tensión. Ahora bien; estas propiedades son las que se trataba de aplicar á la dirección de los globos. Unida al globo una esfera de metal hueca con ácido carbónico sólido y provista de un pequeño orificio, al abrir este último el ácido carbónico gaseoso se precipita hacia fuera, y el vaso recibe un impulso en sentido opuesto, del mismo modo que los cohetes son lanzados por la fuerza expansiva de los gases que resultan de la combustión de la pólvora y que tienen salida libre por la parte inferior. Realmente este proyecto no ha llegado á ponerse en práctica, y aun es probable que no hubiera dado en este terreno mejores resultados que los anteriores.

Como quiera que para la aplicación usual del globo á la vida ordinaria el problema de su dirección tiene una importancia capital, pues sólo por su feliz resolución puede adquirir la navegación aérea caracteres de viabilidad, en estos últimos tiempos se han hecho esfuerzos considerables para encontrar dicha solución, y esta tendencia ha conducido nada menos que á la idea de una metamorfosis completa de la navegación aérea.

Hasta hace pocos años, sólo de la máquina de vapor podía esperarse la producción de la fuerza motriz para el aparato timonel, pues esta clase de motores era la que ofrecía el máximum de capacidad de trabajo con el mínimum de peso. También se ha pensado en sustituir al gas del alumbrado, que es caro y no siempre se tiene á mano, por el vapor de agua, que bajo la misma presión tiene próximamente la misma fuerza ascensional (Ressel). Pero para esto había que pensar también en inventar otra especie de cubiertas que permitieran un cierre del globo como era necesario. La antigua forma esférica presentaba además los inconvenientes de ofrecer demasiada resistencia á un movimiento progresivo en el seno del aire, y de que la dirección de la fuerza impulsora no podía aplicarse directamente al centro de gravedad, ni á ningún otro punto unido invariablemente con el mismo. Por estas razones comenzó á desarrollarse la idea de dar á los barcos aéreos la forma como de un cigarro puro, algo semejante á la figura de los peces. (Véanse las figuras 122 y 123). A este género pertenecen los globos construídos por Lippert, Livtschak, Hänlein (con aplicación de un motor de gas), Baumgarten, Wölfert, Dupuy de Lôme, Andrews (con una espe-

cie de andamiaje formado entre tres sacos cilíndricos), Pfister y otros. Estos vehículos están provistos de hélices y velas en diferentes formas para obtener movimientos de avance ó laterales.

Sin embargo, á pesar de todo, apenas si se ha obtenido hasta hoy otro resultado que hacer posible, en tiempo de calma completa, una dirección aproximada del globo; pero en cuanto el aire está un poco agitado, la acción directriz, sobre todo contra el viento, deja pronto de tener influencia ninguna. Queda, pues, en pie el problema de eludir esta acción perturbadora del viento, disminuyendo la superficie de resistencia, ó sea el volumen del globo y reduciendo también al menor valor posible el peso total, incluso el del aparato motor. El progreso de la técnica eléctrica (los acumuladores, por ejemplo), el ya indicado ácido carbónico sólido, que parece destinado á jugar un papel muy importante como medio de transporte de fuerza y otros géneros de motores, darán sin duda lugar en lo sucesivo á nuevas

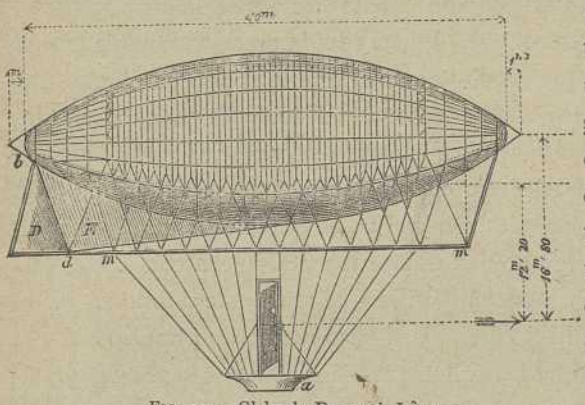


FIG. 122.—Globo de Dupuy de Lôme.

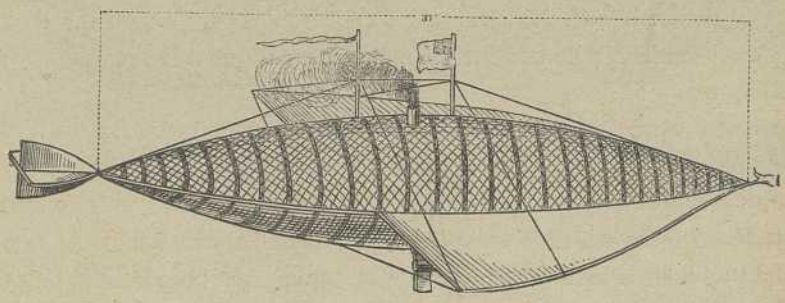


FIG. 123.—Globo de Marión.

experiencias. En nuestros tiempos, los hermanos Tissandier han puesto ya en uso baterías eléctricas para el arrastre de aerostatos.

El globo de estos inventores está representado en la figura 124, y la 125 representa su barquilla, en cuyo fondo se ven unos pequeños cubos llenos de bicromato potásico, que están puestos en comunicación con una batería eléctrica situada en la parte superior. Esta batería pone en acción una maquinita electro-dinámica situada sobre el árbol de la hélice. La máquina verificaba 1.200 vueltas por minuto, y esta rotación se comunicaba á la hélice, formada de grandes y ligeras alas, de suerte que la última giraba diez veces más lentamente

Tampoco aquí el resultado correspondió á las esperanzas en cuanto á navegar contra el viento.

En vista de tantas decepciones, hay motivo para dudar de que al fin se consiga la dirección de los globos en una forma cualquiera, puesto que, después de tanto entusiasmo y de tanto progreso aparente, nos vemos obligados á confesar que hoy, después de un siglo próximamente de tentativas, á partir desde los primeros albores de este invento, recibido con tanto júbilo, la aerostación está casi en el mismo estado que después de las disposiciones introducidas por Charles.

El globo prestó una vez servicios de verdadera utilidad en manos de los físicos Gay-Lussac y Biot; pero para el comercio pacífico de los pueblos, como

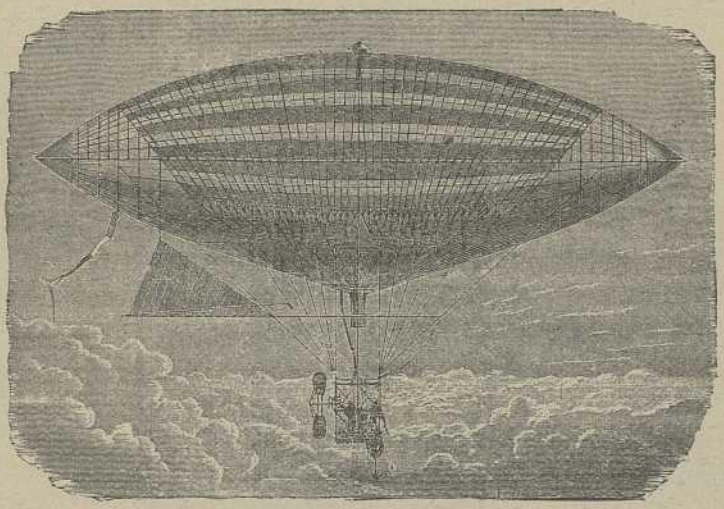


FIG. 124.—Globo eléctrico de Tissandier.

medio de comunicación, carece de la fijeza, que es requisito indispensable. En su estado actual sólo puede echarse mano del globo para satisfacer una necesidad del momento, cuando no queda ningún otro recurso, algo así como lo que sucede con las palomas mensajeras.

En casos de guerra se han ofrecido públicamente ocasiones de poner en práctica este recurso. Se ha hecho aplicación de los globos como medio estratégico para el reconocimiento de las posesiones enemigas; y en la penúltima guerra de Italia, el aeronauta Godard acompañaba al ejército francés para practicar reconocimientos por medio de un globo sujeto con largas cuerdas. Exactamente del mismo modo sirvió el globo á los franceses en la guerra de la revolución en Bélgica, y sobre el Rhin (véase la fig. 126), en donde los belgas destrozaron un globo á balazos.

Napoleón no debió dar gran importancia á este medio estratégico, porque pronto se relegó al olvido.

EXPEDICIONES AEROSTÁTICAS DURANTE EL SITIO DE PARÍS

Durante el último sitio de París, la aerostación jugó un papel mucho más importante que el que hasta entonces había tenido. Desde que el ejército alemán formalizó el bloqueo de la gran ciudad, subían diariamente globos sostenidos por fuertes cuerdas, muchas veces quizás con el único objeto de ofrecer á los parisienses, tan fácilmente impresionables, un espectáculo que excitara su fantasía y distrajera su atención; pero últimamente, cuando ya fueron interceptados todos los medios de comunicación con el exterior incluso las líneas telegráficas subterráneas, entonces, no quedando otro medio para ponerse en relacióncon el resto de Francia, apareció en escena el globo con la categoría de un verdadero recurso de tráfico. Abandonaban la ciudad en él personas que llevaban consigo paquetes de cartas, despachos, y, sobre todo, palomas mensajeras, por medio de las cuales se podían devolver á los sitiados noticias del exterior. En 26 de Octubre de 1870 la Dirección general de Correos inauguró dos grandes talleres: uno en la estación de los ferrocarriles del Norte y otro en la de Orleans. Se tendía cada vez más

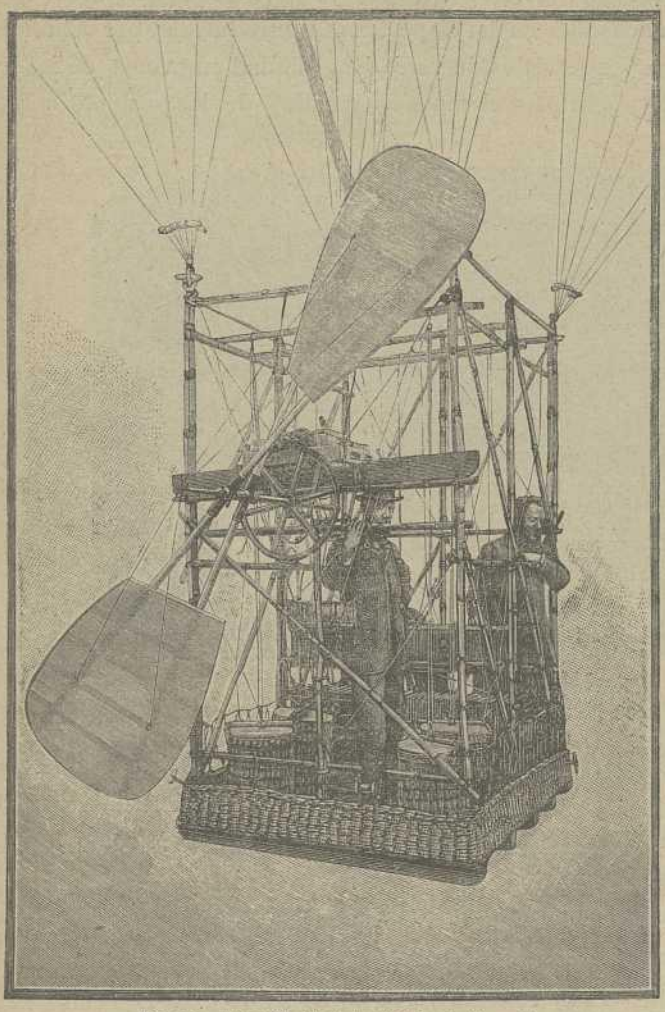


FIG. 125.—Barquilla del globo eléctrico de Tissandier.

á organizar un servicio regular, en cuanto al tiempo y punto de la partida; pues á pesar de todos los entusiasmos y emulaciones, tampoco ahora se había conseguido asegurar al globo una dirección determinada. Se constituyó una *Sociedad para el transporte por el aire en París*, la cual lanzaba, con intervalos regulares de tres en tres días, un globo, habiéndose hecho célebres por el papel que desempeñaban, *La Défense nationale*, *Latakie* y *L'éclaireur*, este último anunciado como globo de hélice, con lo cual no sabemos lo que querrían decir.

FIG. 126.—Globo cautivo empleado en la guerra para practicar reconocimientos.

A más de estos grandes globos, cada uno de los cuales era gobernado por un aeronauta (globos montados), con mucha frecuencia se abandonaban pequeños globos (globos libres), á que se daba, por todo lastre, sólo cartas, con la esperanza de que, al caer el globo, pudieran ser recogidas por personas que se encargaran de hacer seguir á su destino aquella correspondencia.

Cada uno de estos barquichuelos aéreos llevaba un decreto del Gobierno que instruía á aquél que le encontrara, que debía entregar el globo y su contenido al alcalde del pueblo más inmediato, y recibir de éste una gratificación de 100 francos. Muchos de estos globos cayeron en poder de los soldados prusianos, á veces después de una penosa y accidentada persecución. También algunas veces se consiguió cazar globos montados, y Krupp había construído ex-

presamente un cañón que se podía dirigir bastante fácilmente para que siguiera á un punto de mira transportado por el viento.

Excepto el globo en que Gambetta abandonó á París para emprender su peregrinación de uno á otro cuerpo de ejército, el objeto principal de este servicio eran las palomas mensajeras, puesto que las personas que en ellos abandonaban la ciudad sitiada no debían sentirse muy deseosas de volver á ella, y era, por consiguiente, poco probable su regreso.

Así es que iba siendo sucesivamente cada vez menor el número de los que tenían bastante práctica y destreza para no descuidar ninguna de las precauciones de las cuales dependía el éxito de una expedición de este género, para remediar lo cual se creó una escuela de aeronáutica. Su profesorado estaba á cargo de una comisión de sabios célebres y de ingenieros notables, así como en general se trabajaba con ardor para el perfeccionamiento de la aerostación, poniendo en tortura continuamente á las fuerzas todas de la naturaleza y á los recursos de la mecánica. Y si bien no puede decirse que á pesar de todo se obtuviera un progreso real y positivo, tampoco puede negarse que este invento, aun imperfecto, había adquirido un inmenso valor para los sitiados parisienses, puesto que era su tabla de salvación.

Del mismo modo que en las guerras que antes hemos indicado, también aquí se elevaron globos cautivos para reconocer el campamento sitiador, y, por ejemplo, cuando el general Trochú esperaba que el ejército del Loira hiciera levantar el sitio, se instaló una gran línea de observaciones aeronáuticas fuera del alcance de los fuegos de las baterías prusianas y cuyas estaciones comunicaban entre sí por señales con luz eléctrica.

Según resulta de una estadística publicada, se lanzaron en París desde el 23 de Septiembre de 1870 hasta el 22 de Enero de 1871, es decir, durante el sitio, no menos de 65 globos. Próximamente eran todos del mismo tamaño (de 70 á 72.000 pies cúbicos); algunos de ellos llevaban, á más del aeronauta, hasta 450 kilogramos de cartas y despachos. El *Godefroy Cavaignac*, con el cual salió de París el general Keratry, llevaba á bordo también 700 kilogramos de despachos.

Esta estadística no dice nada respecto al punto de arribada de dos de los globos, que desaparecieron sin dejar rastro con sus conductores. Eran éstos el *Jacquard*, que subió el 28 de Noviembre hacia las once de la noche, desde la estación de la línea de Orleans, y el *Richard Walace*, que emprendió su viaje el 24 de Enero, antes de las tres y media de la madrugada, de la estación de la línea del Norte. El *Jacquard* conducía á un joven marinero llamado Prince. «Voy á hacer un gran viaje, del cual tendréis mucho que hablar,» dijo al partir. Después ya no se ha sabido nada de él; solamente se pescó en el Canal un paquete de despachos de los que él llevaba, de lo que se deduce como muy probable que encontraría en el mar su sepultura, peligro que á duras penas pudo evitar

el globo que partió pocos minutos después, *Jules Favre*. El *Richard Walace* fué visto la última vez en la mañana del día de la catástrofe: desde la Rochette se dirigía al Oeste, desapareciendo á poco en el horizonte; iba en él un soldado, Emilio Lacaze, que no estaba sin duda muy familiarizado con la aerostación.

VIAJE INVOLUNTARIO DE PARÍS Á NORUEGA

La aventura más notable es la ocurrida á los pasajeros del globo *Ciudad de Orleans*, que partió poco después de media noche de la estación del Norte, el 24 de Noviembre, para llevar á Gambetta, que estaba en Tours, la noticia de que el general Trochú proyectaba una salida, mediante la cual podría reunirse al ejército del Loira, mandado por los generales Chanzy y Keratry. Eran aquellos el aeronauta Rolier y el oficial de franco-tiradores Deschamps. El globo fué primero impulsado en dirección Noroeste hacia la Somme, en el departamento Seine-et-Oise; hacia las dos y media de la madrugada, sobre el camino de Valery-sur-Somme, una nube espesa se interpuso, impidiendo toda orientacion con relación á la superficie de la tierra, y comenzaron luego á percibir un rumor monótono, ya más débil, ya más fuerte, que los viajeros interpretaron suponiendo que algún tren pasaría por cerca de ellos. Sin embargo, el ruido se iba prolongando, y fué ya produciendo en ellos una impresión de inquietud cada vez mayor. Cuando se disiparon todas las sombras de la mañana, vieron con espanto que la superficie grisácea y cubierta de bruma que se extendía ilimitadamente bajo sus pies, era el mar; el inmenso mar, que producía también aquel rumor que habían percibido. Su situación era horrible; sin alimentos, muy mal provistos de abrigo y de instrumentos para determinar la dirección de su marcha, consternados y anonadados, no veían la menor posibilidad ó esperanza siquiera de salvación; se tuvieron por perdidos. Hacia las once se despejó la atmósfera, y se encontraron con que habían descendido hasta unos mil metros sobre la superficie del mar. Vieron pasar diecisiete embarcaciones una tras otra, pero ninguna divisaba sus señales; ¿ó es que era tan grande la rapidez de su vuelo, que era inútil toda tentativa de alcanzarles? Sin duda se hubieran arrojado de buena gana sobre cualquiera de aquellos buques, aunque hubiera sido en uno alemán, como dice la misma relación. Por último, á las once y tres cuartos se presentó una corbeta francesa, dió señales de haber visto el globo, y Rolier abrió la válvula, dejándole caer; pero antes de que el globo hubiera descendido hasta la superficie del mar, el viento les había lanzado tan lejos de la corbeta, que ésta ya no podía alcanzarles. Entonces la situación se hizo todavía más crítica; no quedaban más que dos sacos de lastre, y hubo que sacrificar un saco de despachos para conseguir elevarse de nuevo en el aire. Subieron así hasta 3.700 metros; fueron envueltos en una nube densa, sintiendo un frío gla-

cial; tan inevitable veían su muerte, que para abreviar sus angustias resolvieron hacer estallar el globo. Por fortuna no consiguieron encender fuego, y el globo entretanto comenzó á descender con gran rapidez. Estando aún flotando encima del agua, vieron de pronto, á través de la niebla y sobresaliendo por encima de una extensa capa de nieve, la copa de un pino, llegando inmediatamente á tropezar la barquilla contra aquélla. Estaban en tierra. Rolier saltó primero, elevándose entonces el globo al aligerarse de peso, y Deschamps pudo ganar también el suelo á costa de un salto mayor. Ya se habían salvado al menos de morir ahogados; pero ¿qué iba á ser de ellos? Lo poco que tenían de abrigo, mantas, etc., se lo había llevado el globo. En medio de montañas cubiertas de nieve, no sabían ni siquiera dónde se encontraban: á su alrededor una soledad mortal, ninguna huella de la actividad humana; sus gritos quedaron sin respuesta, y sus miradas escudriñadoras volvían á cruzarse entre ambos, sin haber descubierto nada. Por fin Rolier encontró un rastro que tomó como de pasos humanos; le siguieron, y después de una peregrinación de largas horas, llegaron á una gruta semirruinosa, en la que se guarecieron durante la noche. Hambrientos y ateridos de frío, prosiguieron su peregrinación en la mañana siguiente, y hacia medio día encontraron por último una choza, cuyos habitantes habían salido de ella sin duda, pero habían dejado combustibles y alimentos en abundancia, de suerte que los desdichados pudieron, como quien dice, volver á la vida. El humo de fuego encendido atrajo á los propietarios de la choza, que quedaron sorprendidos y admirados ante aquel inesperado alojamiento. Los extraviados, por más esfuerzos que hacían, no lograban, sin embargo, dejarse entender, y sólo cuando Rolier dibujó sobre una hoja de papel la imagen de un globo y pronunció repetidamente el nombre *París*, señalándose á sí y su compañero, comprendieron los aldeanos lo que quería decir.—¡Globo! ¡París! gritaron pasmados, y desde entonces procuraron auxiliar con la mayor solicitud á los desgraciados huéspedes. Después de muchos esfuerzos inútiles para entender á los aldeanos, llegaron por fin á sacar en claro que el *Ciudad de Orleans* había arribado en Noruega, á los 62 grados de latitud Norte, en el departamento Silgfjord, cantón ó distrito de Liffjeld, á más de 400 kilómetros de Cristianía, á donde se dirigieron los héroes de esta aventura, que eran recibidos con cariño en su camino, pues la noticia de su salvación se había propagado como un rayo. También se encontró y recogió el globo con cinco sacos de despachos, seis palomas mensajeras y todos los demás objetos que contenía.

Después del viaje de Green desde Londres á Nassau, este fué, sin duda, el viaje aéreo más extenso.

En las anteriores páginas hemos dado á nuestros lectores una idea de cuanto ha producido hasta hoy la invención del globo aerostático. Si ahora consideramos este invento en parangón con su contemporáneo la máquina de vapor, con el poco más antiguo del telar mecánico y con los más moder-

nos de la máquina tipográfica rotativa, el telégrafo electro-magnético, el teléfono, la fotografía, etc., nada hay más elocuente que el silencio; pues es vergonzosa la mezquindad de los frutos obtenidos con relación á los esfuerzos é interés de que el mundo civilizado ha hecho objeto á la joven planta, revelándose al mismo tiempo que mientras el vulgo apasionado corre siempre tras lo portentoso y lo estupendo, el verdadero progreso, conocido por los menos, recorre silencioso y en el mayor aislamiento su penoso camino.

LA MÁQUINA NEUMÁTICA

Y EL

CORREO ATMOSFÉRICO

Otto de Guericke.—La máquina neumática y su principio.—Los hemisferios de Magdeburgo ante la Dieta de Ratisbona.—La llave de separación.—Máquina neumática de dos cuerpos de bomba.—El espacio perjudicial.—Bajo el recipiente.—La bomba de compresión y la escopeta de viento.—Ferrocarril atmosférico.—Historia y disposición.—Correo neumático en París y Londres.

DESDE que Juan Evangelista Torricelli destruyó la creencia en el *horror vacui* de la Naturaleza, y en virtud de múltiples y variada experiencias se desarrolló por todas partes el convencimiento de que la enorme presión atmosférica se ejercía sobre todos los cuerpos sin excepción, nació también naturalmente el deseo de investigar los cambios que podían sufrir las propiedades de los cuerpos cuando aquella presión disminuyera ó desapareciera por completo.

Los miembros de la Academia de Florencia fueron los primeros que hicieron experiencias en este sentido. Entonces no había otro medio de proporcionarse un espacio vacío de aire que el del tubo de Torricelli. Se daba á su extremo superior cerrado la forma de un espacio esférico hueco constituído por dos mitades que encajaban y ajustaban exactamente entre sí, y en cuyo interior se colocaba el cuerpo que quería someterse á la experiencia. Se llenaba todo con

mercurio, y cerrado el extremo abierto, se invertía el tubo, sumergiendo dicho extremo abierto en un vaso con mercurio, como indica la fig. 88.

Otto de Guericke, consejero del Gran Elector, burgomaestre de Magdeburgo, se propuso evitar los inconvenientes que se originaban por el método operatorio antes indicado. Conocedor del estado de la ciencia, pues había estudiado con entusiasmo matemáticas y filosofía en Leiden, dedicaba preferentemente su atención á los fenómenos meteorológicos y astronómicos. Él fué el que expuso por primera vez la opinión de que los cometas describían órbitas, en virtud de las cuales debían aparecer á nuestra vista en períodos constantes y regulares. Inventó el barómetro que lleva su nombre, y además es también conocido como inventor de la máquina eléctrica y de otros importantes aparatos y métodos de investigación. También, llevado de su interés por todo adelanto científico, fué el primero en reproducir en Alemania la experiencia de Torricelli. Otto de Guericke nació en Magdeburgo en 1602 y falleció en 1686 en Hamburgo, donde había trasladado su residencia al lado de su hijo. Todas sus numerosas investigaciones, que se refieren en particular al estudio del vacío y al de algunos otros fenómenos las dejó descritas él mismo en una obra especial.

Fig. 127.—Otto de Guericke.

Primeramente tomó una bomba aspirante de gran capacidad, y la adaptó por debajo á un cubo con agua, cerrado completamente por los demás sitios, de modo que al hacer jugar el émbolo en el cuerpo de bomba, pasaba á él el agua contenida en el cubo, y suponía que se originaría en éste un espacio vacío. Pero apenas hubo comenzado á maniobrar con su aparato, cuando el aire penetró por todos lados en el interior del cubo, á través de sus infinitas rendijas y de los poros de la madera, produciendo un ruido como el del agua cuando está en tumultuosa ebullición.

Una vez persuadido que la madera era bastante porosa, tomó Guericke para sus experiencias vasos metálicos, á los que daba pequeñas dimensiones y forma de esferas huecas. Siguió empleando la bomba aspirante, pero prescin-

diendo del intermedio del agua, utilizando sólo la expansibilidad del aire. A partir de entonces, todas las disposiciones de las máquinas neumáticas tienen por fundamento el mismo principio, que se hace inteligible por la observación de la fig. 128. Sea *B C* un cuerpo de bomba completamente cilíndrico de metal, y en el cual se mueve por frotamiento contra las paredes, sin que el aire pueda pasar por entre sus bordes, el émbolo *D;* si suponemos que el émbolo marche hacia fuera, y que por el cuello *a* no pueda pasar nada de aire desde el vaso *A* al cuerpo de bomba, el interior de éste detrás del émbolo quedará completamente vacío de aire. Pero si el vaso cerrado *A* está libremente en comunicación con el cuerpo de bomba, el aire situado en aquel vaso vendrá á ocupar también, en virtud de su expansibilidad, el espacio que tras sí deja el émbolo al subir, y entonces el cuerpo de bomba ya no queda vacío, sino ocupado por aire enrarecido. Este enrarecimiento es evidentemente tanto mayor, cuanto más se saca el émbolo, puesto que la misma cantidad de aire, que antes sólo llenaba el vaso *A*, tiene que ocupar después, á más de la capacidad del mismo, la del cuerpo de bomba. Si suponemos ahora que esta cantidad de aire que ha penetrado en dicho cuerpo de bomba, en lugar de retroceder á la esfera, pueda extraerse de aquél al exterior al renovarse el juego del émbolo, se extraerá una nueva cantidad de aire del depósito *A*, y esto podrá repetirse sucesivamente. Ahora bien: con ello no podrá dejarse nunca completamente vacío el vaso *A;* pues si, por ejemplo, el cuerpo de bomba y la esfera tienen el mismo volumen, las cantidades de aire que restan en la última después de los sucesivos golpes de émbolo, pasarían á ser la mitad, la cuarta parte, la octava parte, etc., de la cantidad primitiva; pero como se comprende, por la teoría simple indicada, quedaría un residuo, y lo mismo tendría lugar cualquiera que fuera la proporción entre ambos volúmenes.

Para poder llevar el émbolo *D* á su punto de partida *B*, sin introducir de nuevo con esto el aire que contiene el cuerpo de bomba en la esfera, Guericke inventó la llamada por él llave de una vía, que todavía hoy se aplica en multitud de casos con la misma forma primitiva. Consiste, como todo el mundo sabe, en un trozo de metal, madera ó cristal cilíndrico ó cónico, que enchufa exactamente en un orificio del tubo y está atravesado transversalmente por un conducto, de suerte que en la posición correspondiente puede el líquido salir por el tubo á través del conducto de la llave; pero por una rotación de ésta de un cuarto de círculo, el tubo queda completamente interceptado.

Este instrumento tan útil fué empleado primeramente por Guericke en su máquina neumática, colocándole en el cuello *a*, é interceptando éste cada vez que el émbolo debía retroceder para ocupar la posición primitiva *B*. La expulsión simultánea del aire contenido en el cuerpo de bomba la obtenía por medio de un pequeño orificio practicado en el mismo cuello, debajo de la llave, ó bien en la pared *B*, y que podía taparse herméticamente con un clavito, cuan-

do el émbolo verificaba la aspiración y estaba abierta la llave de *a*, pero que, por el contrario, se destapaba cuando se cerraba la llave y el émbolo retrocedía, saliendo entonces por él el aire contenido en el cuerpo de bomba.

En esta forma estaba constituída la primitiva máquina neumática, con la

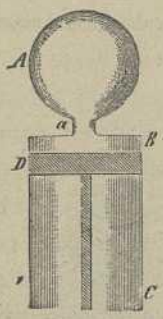


FIG 128.
Principio de la máquina neumática.

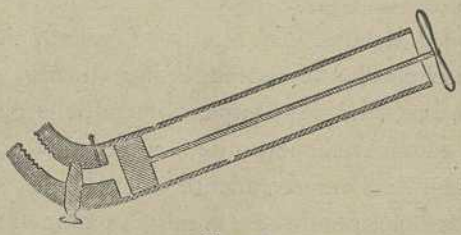


FIG. 129.
Primera máquina neumática de Otto de Guericke.

cual Guericke practicó en 1654 sus célebres experiencias ante la Dieta de Ratisbona. Esta máquina se conserva aún en la Biblioteca de Berlín, y tiene un cuerpo de bomba de latón (fig. 129), que termina por el extremo inferior en una rosca, mediante la cual se le atornilla el vaso en que se quiere hacer el vacío. En este cuerpo de bomba hacía subir y bajar el émbolo, que estaba bien engrasado, por medio de una varilla de hierro con un mango de madera. La máquina es bastante defectuosa y toscamente construída; así que es admirable cómo Guericke pudo practicar con ella tan pasmosos experimentos.

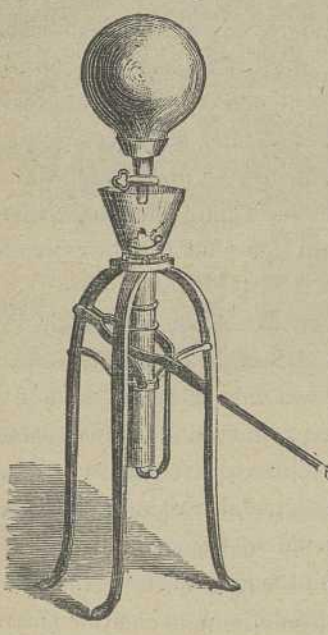


FIG. 130.—Forma perfeccionada de la primera máquina neumática.

Como quiera que en esta primera disposición la resistencia que ejercía sobre el émbolo la presión atmosférica era tan grande que dos hombres apenas podían vencerla, Guericke mismo dió pronto á su máquina la forma representada en la figura 130. El aparato descansaba sobre un trípode que estaba fuertemente atornillado al suelo. Sobre uno de los pies giraba, mediante una charnela, una palanca de segundo género, de la cual salía hacia abajo otra barra que se articulaba otra vez en el extremo inferior, mediante un gozne, con la varilla del émbolo. El tubo en que terminaba inferiormente la esfera hueca colocada encima del cuerpo de bomba, enchufaba en el extremo superior abierto de éste, y para evitar más completamente todo escape, estaba ro-

deado de un vaso lleno de agua. Un cierre hidráulico semejante se aplicaba también en el cuerpo de bomba para el émbolo. La esfera hueca, ó sea el llamado recipiente, podía separarse para practicar con él ciertas experiencias.

Los trabajos de Guericke despertaron entre sus contemporáneos extraordinaria curiosidad, sobre todo después que verificó sus experiencias ante la Dieta de Ratisbona, en presencia del Emperador y de todos los príncipes de

FIG. 131.—Experiencia de los hemisferios de Magdeburgo en Ratisbona (según un grabado de un artista de aquella época).

Imperio. Excitó particularmente la curiosidad la resistencia del aire á la elevación de un émbolo, dentro de un ancho cilindro, del cual se había extraído el aire. La fuerza de muchos hombres no era suficiente para levantarle.

Pero lo que sobre todo despertó un gran interés en el mundo científico fueron los llamados hemisferios de Magdeburgo. Una vasija esférica, hueca como el recipiente de la fig. 130, estaba dividido en dos mitades, que enchufaban perfectamente entre sí. En las condiciones ordinarias, estas dos mitades podían separarse fácilmente; pero si una vez bien adaptadas se extraía con la bomba el aire de su interior, entonces la presión atmosférica exterior obraba por todos los puntos de su superficie, comprimiendo uno contra otro los dos hemisferios y con

una fuerza tanto mayor, cuanto más grande fuera su superficie y más considerable el enrarecimiento del aire dentro de los hemisferios.

Los hemisferios con los cuales experimentó Guericke en Ratisbona tenían próximamente 60 centímetros de diámetro y estaban provistos de fuertes anillos transversales de hierro.

Se puede imaginar la sorpresa de los espectadores cuando vieron que 8, 10, 12 y hasta 20 caballos tirando unos contra los otros, no pudieron arrancar los hemisferios, que estaban como pegados por encanto, siendo necesario hasta treinta caballos para vencer la resistencia que se ofrecía á su separación. Ésta se verificó entonces, cuantas veces se practicó la experiencia, con un estrépito semejante al que produce el disparo de un cañón.

El matemático Gaspar Schot publicó la descripción de la máquina neumática de Guericke y las experiencias practicadas con ella; de este modo llegaron á conocimiento del físico inglés Roberto Boyle, el cual se dedicó con tanto entusiasmo á la repetición de dichos experimentos, y contribuyó tanto á su difusión y popularización, que los ingleses le han atribuído toda la gloria del descubrimiento; al vacío del recipiente le llamaron vacío de Boyle (*Vacuum Boylianum*). También otros físicos tomaron el asunto con empeño, y al leer la historia de aquellos tiempos, parece como si también el público en general hubiera manifestado una participación más activa en los descubrimientos científicos de la que muestra hoy en día. Ahora bien; al caer la máquina neumática en manos de unos y otros experimentadores, recibió numerosas modificaciones sucesivas, que la hacían propia para responder á todas las exigencias. Estas modificaciones serefieren: unas, á los medios de transmisión del movimiento al émbolo, para lo cual se han empleado pedales, estribos, varillas articuladas, ruedas dentadas, manubrios y toda la serie de mecanismos conocidos, cuyo género de modificaciones tiene poco interés para nuestro objeto; pero otros se refieren también á la disposición interior del aparato, y si bien el principio fundamental de Guericke sigue siendo la base en todos los casos, la ejecución de este principio se ha hecho con estas modificaciones más perfecta, y el manejo del aparato más cómodo. Particularmente es digna de mención la llave de dos vías de Senguerd, pues por medio de ella se hace innecesario aquel clavito que tapaba un orificio por donde era expulsado el aire del cuerpo de bomba. En la fig. 132 está representada una de estas llaves de Senguerd. A más del conducto que ya contiene la llave de Guericke, hay todavía un segundo canal, colocado perpendicularmente al primero, y que permite la comunicación del interior del tubo con el aire exterior; por este segundo canal es expulsado el aire contenido en el cuerpo de bomba después que se interrumpe su comunicación con el recipiente. Por último, se trató de acelerar la acción de la máquina neumática haciendo al propio tiempo más fácil el juego del émbolo. Hawksbee y Leupold combinaron dos émbolos, de suerte que, mientras el uno bajaba, el otro subía; y como los

dos cuerpos de bomba correspondientes comunican con el recipiente por sus canales respectivos, se extrae aire del mismo siempre, bien por la una, bien por la otra bomba aspirante. Además, la considerable presión del aire exterior está así neutralizada durante el juego del aparato, pues la misma fuerza que actúa sobre uno de los émbolos oponiéndose á su elevación, actúa sobre el otro, tendiendo á acelerar su descenso, y de este modo se reduce extraordinariamente el valor de las resistencias. Esta disposición puede compararse, para comprender su idea, con una balanza que se mueve á uno y otro lado con la mayor facilidad, á pesar de estar cargada con pesos muy considerables, siempre que esta carga esté repartida por igual entre los dos platillos. La fig. 133 nos da una imagen de una de estas máquinas de doble efecto; se ven, uno junto al otro, los dos cuerpos de bomba, cuyas paredes son de cristal grueso, engrasados por la cara interna para facilitar el juego del émbolo; muchas veces se construyen también estos cilindros de latón y ofrecen la ventaja de no tener el peligro de romperse. Las dos varillas de los émbolos están dentadas y engranan con una rueda dentada también, cuyo árbol pasa entre ellas, y que les comunica su movimiento. Del fondo de cada uno de los cuerpos de bomba parte un canal hacia el recipiente; ambos canales se reunen en uno detrás de los cuerpos de bomba, y este último sigue por dentro de la columna sobre la cual descansa la platina, abriéndose en un pequeño orificio de ésta. La platina en la cual descansa el recipiente, es una lámina de latón bien pulimentada. La campana de cristal que constituye el recipiente tiene también los bordes bien esmerilados y planos, y

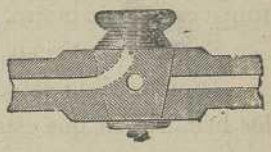


FIG. 132.
Llave de dos vías de Senguerd.

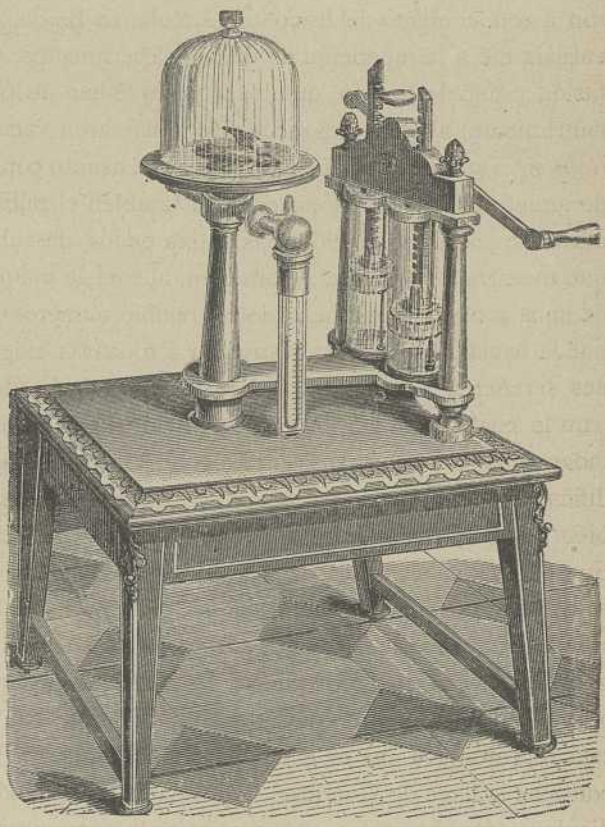


FIG. 133.—Máquina neumática de dos cuerpos de bomba.

frotándola con grasa antes de colocarla sobre la platina, puede después interceptar por completo el acceso del aire exterior. La aplicación de la platina se debe al célebre físico Dionisio Papin (1674), que también empleó por primera vez, en lugar de las llaves, válvulas, poniendo en el émbolo válvulas de charnelas, ó sean planchitas delgadas que sólo pueden moverse hacia un lado del orificio, permitiendo en este sentido la salida del aire comprimido, pero que quedan después perfectamente aplicadas al orificio, cuando, por efecto del retroceso del émbolo, es mayor la presión exterior. Sweaton y Cuthbertson, dos técnicos ingleses, prestaron también importantes servicios al perfeccionamiento de la máquina neumática, particularmente el último, que ha construído aparatos notables por una disposición del émbolo muy conveniente para su ajuste hermético contra las paredes del cilindro. Sweaton inventó para medir el enrarecimiento un aparato especial; Cuthbertson empleó el barómetro truncado, mucho más ventajoso, y que consiste sencillamente en un barómetro de sifón, pero cuya rama cerrada sólo tiene algunas pulgadas más de alta que la rama abierta, y por consiguiente sólo desciende en ella el mercurio cuando el enrarecimiento del aire ha alcanzado ya un grado considerable.

Prescindiendo de la circunstancia antes mencionada, de que en virtud del principio mismo del aparato por la extracción sucesiva de cierta parte alícuota del aire contenido en su interior, no era posible obtener un vacío absoluto en el recipiente, se presenta todavía otro obstáculo á la realización de las aspiraciones de los físicos con el llamado *espacio perjudicial*. Por mucho que se haga penetrar el émbolo en el cuerpo de bomba, siempre queda entre su superficie inferior y el fondo del cilindro, por efecto de las válvulas contenidas en ambos, un intersticio ó espacio intermedio, que queda lleno de aire á la presión atmosférica, y que al abrir la comunicación entre dicho cuerpo de bomba y el recipiente con objeto de obtener un nuevo enrarecimiento, penetra en el recipiente. Este espacio es el que se llama perjudicial, por la influencia que ejerce en el juego del aparato. Su magnitud influye en el grado máximo de enrarecimiento que es posible obtener. Ahora bien; las válvulas de charnelas aumentan siempre este espacio, por cuya razón se ha prescindido pronto de un uso normal de este medio de obturación, utilizando, bien otros sistemas de válvulas, bien las antiguas llaves, que han sufrido nuevas y diversas modificaciones.

Prescindiremos de reseñar estos perfeccionamientos graduales para considerar ahora una máquina neumática con válvulas y con dos cuerpos de bomba, tal como en la actualidad se construyen en la forma más conveniente para el uso. Después de lo ya dicho, todo se comprende fácilmente en las figuras 134 y 135. *A B* es el cuerpo de bomba; *C D*, la platina en la cual desemboca en *b* el conducto ó canal que se abre en el cuerpo de bomba *c*. Sobre *c* se encuentra un pequeño tronco de cono unido á una varilla delgada que constituye la vál-

vula correspondiente á este orificio. Dicha varilla de hierro pasa por frotamiento á través del émbolo, y tiene en *a* un tope fijo, que permite solamente una pequeña elevación de la válvula sobre el orificio *c*. La llave *D* pone en comunicación por medio de los canales que ya nos son conocidos, y según los casos, al recipiente con el cuerpo de bomba ó con el aire exterior, pudiendo también cerrar el paso para ambos; *d* es el barómetro truncado. Cuando se levanta el émbolo, la varilla asciende con él; la válvula cónica destapa el conducto y el aire sale del recipiente hacia el cuerpo de bomba; cuando, por el contrario, el émbolo retrocede, dicha válvula cónica se aplica contra el orificio, cerrándole por

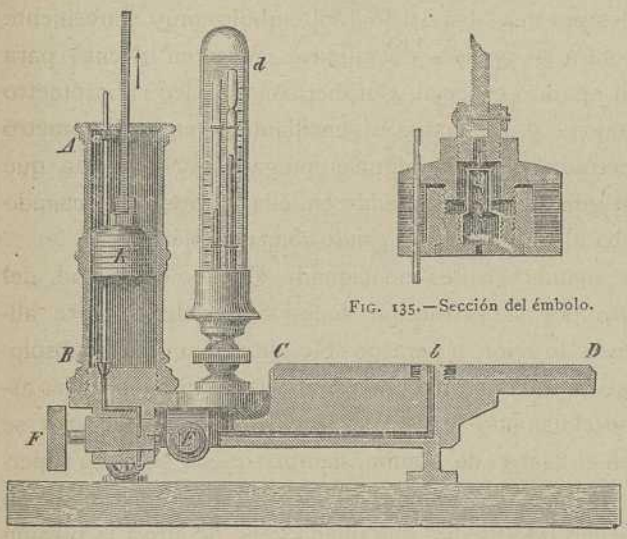


Fig. 134.—Corte transversal de la máquina neumática.

Fig. 135.—Sección del émbolo.

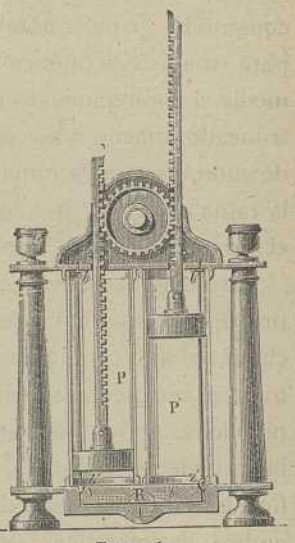


Fig. 136
Vista anterior de la máquina neumática de dos cuerpos de bomba.

completo y quedando su superficie superior exactamente rasante con la pared del fondo del cuerpo de bomba, de modo que al llegar el émbolo á la posición inferior no quede por esta causa el menor intersticio ó espacio perjudicial, viéndose obligado todo el aire contenido en el cilindro á salir á través de la válvula situada en el interior del émbolo mismo. En la fig. 135 se ve más claramente cómo está dispuesta esta válvula, revelándose también en la misma figura que el espacio perjudicial está reducido al pequeño tubito situado debajo de a válvula, y el cual ha de permanecer lleno de aire aun en la posición más baja del émbolo. Stöhrer, en Leipzig, y Stauinguer en Giedszen, han reducido todavía la influencia de dicho espacio perjudicial, incomunicando la parte superior del cuerpo de bomba con el aire exterior durante el descenso del émbolo, con lo cual dicha parte superior, ocupada por el aire enrarecido, oponía menos resistencia á la apertura de la válvula del émbolo, al mismo tiempo que el aire que ocupaba el espacio perjudicial quedaba á la débil tensión del cilindro, y no á la

presión atmosférica. En la fig. 136 se da una vista anterior de los dos cuerpos de bomba y del mecanismo de engranaje, por medio del cual se transmite el movimiento á los émbolos en el interior de aquéllos. *P* y *P'* son los cuerpos de bomba, γ y γ' los conductos que comunican con el recipiente, los cuales se abren y cierran por medio de las válvulas *z* y *z'* unidas á las varillas *b* y *b'*; *R* es la llave de dos vías, por medio de la cual puede á voluntad interceptarse el recipiente ó dar entrada al aire atmosférico.

Se han inventado también máquinas neumáticas sin válvulas, y Buchanán ha ideado una disposición muy útil é ingeniosa.

Las máquinas neumáticas hidráulicas son los antiguos aparatos que proporcionaban el vacío de Torricelli: en ellas el recipiente está en comunicación, bien con un tubo con mercurio de 76 centímetros ó más (28 pulgadas) de largo, ó bien con uno de más de 10 metros, que se llena de agua. En los modernos tiempos la máquina neumática de mercurio se ha perfeccionado mucho, de suerte que todavía ofrece algunas ventajas sobre las de émbolo. Como resultado de estos perfeccionamientos, las bombas construídas por Sprengel, Geissler y otros se emplean con frecuencia para usos físicos y químicos. Se puede considerar como una de las máquinas neumáticas más antiguas el sencillo mecanismo que desde tiempos remotos está en uso en las minas del Harz para la renovación de la atmósfera en su interior. Consiste en una especie de cuba ó tonel fijo, desde cuyo fondo parte un tubo que llega hasta la parte de las galerías subterráneas, de la cual quiere extraerse un aire impuro. El tubo que atraviesa el fondo del tonel asciende hasta sobresalir del nivel del agua, que le llena casi por completo y termina en su extremo superior por una tapadera con uno ó dos goznes, que hacen el oficio de válvulas, abriéndose de adentro afuera. En este cubo fijo se introduce un segundo invertido y abierto por debajo, cuyo fondo superior lleva también una válvula de charnela, que se abre igualmente hacia afuera. Por un mecanismo cualquiera, semejante, por ejemplo, al de las palancas que se usan para mover los émbolos de las bombas, este cubo superior se hace subir y bajar alternativamente, con lo cual, en el primer caso, se forma un espacio de aire enrarecido, en el cual se precipita el aire del interior de la mina, levantando la válvula del tubo, mientras que al descender el cubo esta válvula se cierra, se condensa el aire, levanta la válvula del fondo superior del cubo movible y sale á la atmósfera á través de ella.

EXPERIENCIAS CON LA MÁQUINA NEUMÁTICA

Hemos mencionado ya, al hablar de los globos aerostáticos, el fenómeno de que el globo lleno de gas, al llegar á las altas regiones donde el aire está enrarecido, se hincha y hasta puede estallar, si no se ofrece fácil salida al gas conte-

nido en su interior. Este mismo fenómeno puede observarse bajo el recipiente de la máquina neumática. Si colocamos en él una vejiga á medio llenar de aire, pero fuertemente atada, y extraemos el aire del recipiente, observaremos que dicha vejiga comienza á agitarse de una manera curiosa. A medida que avanza el enrarecimiento, ó, lo que es lo mismo, disminuye la presión exterior, el aire contenido en la vejiga se dilata en virtud de su expansibilidad, y aquélla se pone cada vez más tensa (fig. 137), hasta que por fin estalla, cuando la membrana no tiene resistencia suficiente para sufrir la tensión interior. Por las mismas causas un racimo de pasas adquiere, bajo el recipiente de la máquina neumática, el mismo aspecto que si contuviera hermosas uvas frescas y redondas, por más que, en cuanto se deja entrar de nuevo el aire, se contraen todos los granos instantáneamente. Un frasco herméticamente cerrado por medio de un corcho lleno por mitad de agua, en la cual se sumerge un tubito estrecho que atraviesa el corcho, se convierte debajo de la campana de la máquina neumática en una fuente ó surtidor, por efecto de que el aire contenido en el interior del frasco ejerce presión al dilatarse sobre la superficie del líquido, lanzándole á través del tubito.

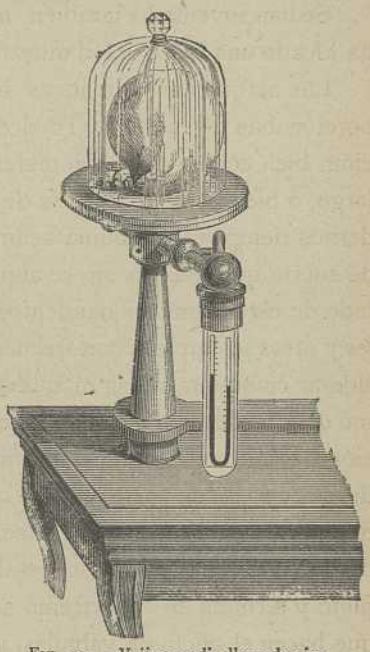


FIG. 137 —Vejiga medio llena de aire bajo el recipiente de la máquina neumática.

Esta tendencia á la expansión la poseen también muchos líquidos, convirtiéndose en vapores, aunque en mucho menor grado que los gases. Ordinariamente, la presión atmosférica es obstáculo para una rápida vaporización. En virtud de ella, los líquidos sólo llegan á entrar en ebullición cuando crece su fuerza expansiva mediante una elevación de temperatura hasta hacerse exactamente igual á la presión exterior. De aquí que sobre las altas montañas, donde es menor la presión del aire, hierven también los líquidos á temperaturas más bajas; pudiendo utilizarse la temperatura de ebullición del agua para determinar la presión, y también por tanto, la altura sobre el nivel del mar. En Quito no se pueden cocer las patatas de la manera ordinaria, pues el agua hierve antes de que tenga temperatura suficiente para ello. Por la misma causa muchos líquidos comienzan á hervir bajo el recipiente de la máquina neumática sin necesidad de calentarlos apenas; y algunos de ellos, como el alcohol, el éter sulfúrico, etc., entran en una ebullición tumultuosa á la temperatura ordinaria; habiendo necesidad de extraer naturalmente el vapor producido mediante el juego sucesivo de la bomba aspirante. En la práctica se hace de este fenómeno una aplicación muy importante.

La disolución del azúcar extraída del jugo de la remolacha se descompone con facilidad, y por consiguiente tiene que evaporarse muy rápidamente para hacer cristalizar el azúcar. Pero como por otra parte la elevación de temperatura hasta más de 100 grados (á que aquella disolución entra en ebullición) es también perjudicial á la riqueza en azúcar cristalizable, puesto que á dicha temperatura una gran parte de ésta se convierte en un jarabe incristalizable de mucho menos valor, de aquí que haya que rebajar la temperatura de ebullición, lo cual se verifica mediante la aplicación de grandes máquinas neumáticas, que rápidamente y sin interrupción aspiran el vapor de agua desarrollado en vasijas cerradas, donde se verifica la concentración de la disolución azucarada.

La falta de aire bajo el recipiente de la máquina neumática priva pronto de la vida á los animales introducidos en él. Los peces mueren también aunque estén dentro del agua, pues ésta pierde el oxígeno que tenía disuelto y que es necesario para la vida de sus habitantes. Toda suerte de gases disueltos en los líquidos ó interpuestos en ellos mediante la presión, desaparecen en forma de burbujas; por esto se hacen instantáneamente una espuma la cerveza y todas las bebidas que contienen ácido carbónico. Las llamas se amortiguan y apagan por último, pues no pueden absorber el oxígeno que tomaban del aire atmosférico para su sostenimiento.

«El aire (dice Humbolt) es conductor del sonido, y, por tanto, también de la palabra, de la comunicación de las ideas y de la sociabilidad de los pueblos. Si nuestro globo estuviera privado de atmósfera, como lo está la Luna, se presentaría á nuestra imaginación como un desierto sumido en el más profundo silencio.» El tic-tac de un reloj y el vibrante ruido de un timbre van haciéndose más y más débiles bajo la campana de la máquina neumática, á medida que se extrae el aire; por último, se apagan por completo para no reaparecer hasta que se deja entrar de nuevo el aire exterior.

En el aire libre, un trozo de papel cae á tierra más lentamente que una piedra; pero en el vacío caen ambos cuerpos con la misma rapidez, porque no existe la resistencia que consume mayor proporción de la fuerza viva total comunicada por la gravedad á la pequeña masa del papel, que de la fuerza viva de la masa más considerable de la piedra; y por tanto, nada se opone á la acción directa de la gravedad que comunica á todos los cuerpos, cualquiera que sea su masa, una misma velocidad en dirección al centro de la tierra.

Si sobre el orificio del tubo en la platina se pone, en lugar de la campana, un cilindro abierto que se tapa por la parte superior con una membrana animal, cuando se aspira el aire con la bomba, dicha membrana es empujada hacia dentro por la presión exterior; y cuando últimamente no puede ya resistir esta presión, se rasga, produciéndose un estampido. Si en lugar de la membrana se coloca una lámina de madera sobre el cilindro, no se rompe ciertamente, pero en cambio el aire penetra en el interior á través de sus diminutos poros, y aun arras-

tra consigo partículas de un líquido que se colocará encima del disco. Por este medio el mercurio produce una lluvia de gotitas tenues y brillantes, que parece una lluvia de plata.

Supongamos ahora que, en lugar del disco, se coloca encima del cilindro una vasija cuyo fondo está agujereado en forma de criba. Poniendo sobre esta criba sustancias sólidas que contengan elementos solubles, la presión atmosférica puede contribuir así á separar completamente éstos del resto de la masa, vertiendo sobre la vasija agua ó espíritu de vino, y haciendo funcionar la máquina neumática. En las farmacias y fábricas se hace aplicación de esto en mil formas, si bien el espacio enrarecido se obtiene por otro medio, como en las cafeteras, por la ebullición del agua.

Por último, mencionaremos todavía que bajo el recipiente de la máquina neumática se pesa directamente el aire; esto es, puede hallarse su peso absoluto y relativo mediante una balanza ordinaria y las pesas comunes. Si se toma, por ejemplo, una esfera hueca llena de aire y perfectamente cerrada y se cuelga de un extremo del fiel de una balanza muy sensible, cuyo platillo, suspendido en el otro extremo, lleva las pesas necesarias para que el fiel permanezca exactamente horizontal, puesto todo bajo el recipiente de la máquina neumática y extraído el aire de modo que la esfera no esté ya sumergida en el océano atmosférico, se inclina el fiel del lado de ésta. Recíprocamente, si esta misma esfera hueca se vacía de aire y se pesa, su peso es menor que después de abierta la llave y llena otra vez de aire atmosférico. Un litro de aire pesa algo más de un gramo; así, para que una esfera pueda tener en su interior un quintal de aire, no necesita tener sino un diámetro poco mayor de 5 metros.

BOMBA DE COMPRESIÓN

Cualquiera máquina neumática de llaves puede emplearse para obtener aire condensado ó comprimido, el cual tiene aplicación á diferentes usos científicos ó industriales. Para ello no hay más que dar vueltas á las llaves á cada golpe de émbolo en sentido contrario que se hacía para enrarecer el aire. No sucede lo mismo con las máquinas neumáticas de válvula, las cuales no son utilizables para este segundo objeto sino mediante una modificación que invierta el sentido en que se abren y se cierran las válvulas. En las figuras 138 y 139 puede reconocerse en qué forma quedan entonces dispuestas. *A* es un cuerpo de bomba de pequeño diámetro, en el cual se mueve por frotamiento un émbolo *c* (fig. 139). *B* y *C* son llaves para establecer ó interceptar la comunicación con el aire exterior y con el recipiente, y que se abren cuando se hace funcionar el aparato (véase la fig. 138). En *a* y *b* hay dos válvulas, de las cuales la *a* está cerrada y la *b* abierta cuando el émbolo sube; entonces entra, por consiguiente,

el aire del exterior al cuerpo de la bomba á través del tubo *D*. Cuando, por el contrario, el émbolo desciende, comprime á la válvula *b* contra el orificio cerrando el tubo que comunica con el exterior, al mismo tiempo que abre la válvula *a* é introduce el aire contenido en el cuerpo de bomba en el espacio recipiente *k*, en el cual se comprime y almacena, pudiendo después llevarle desde allí á otro espacio por medio del tubo con llave *E*. La fig. 140 muestra una disposición algo diferente. Al levantar el émbolo se abre la válvula *z* y permite la

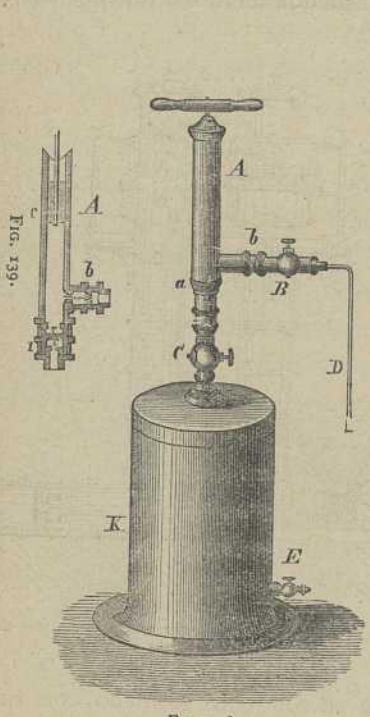


Fig. 138.

Fig. 139.

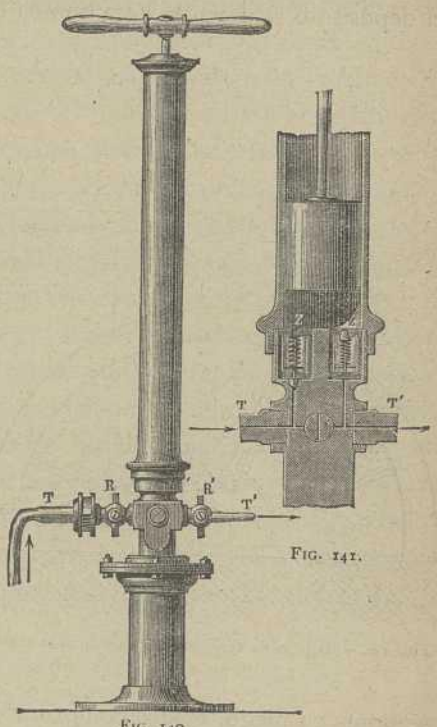


Fig. 140.

Fig. 141.

Figs. 138 á 141.—Bombas de compresión: vista exterior y corte transversal del cuerpo de bomba.

entrada al cuerpo de bomba del aire exterior á través del tubo *T;* cuando desciende el émbolo, se cierra *z* al mismo tiempo que se abre *z'*, y el aire comprimido pasa al recipiente por medio del tubo *T*.

En la fabricación de las aguas gaseosas artificiales se verifica ya una aplicación práctica muy importante de la bomba de compresión; esta misma encontró otra aplicación de más trascendencia todavía en el año 1870 en la perforación del Mont-Cenis, donde el aire comprimido fué empleado como se emplea el vapor de agua á alta presión en las máquinas de vapor, cual fuerza motriz que ponía en movimiento el aparato perforador. Nuestra fig. 155 muestra una máquina de compresión tal como las que se empleaban en el túnel del Mont-Cenis. La biela articulada con la excéntrica *M* que iba unida al volante, se articulaba por el otro extremo con la varilla horizontal de los émbolos que se mueven den-

tro de los dos cilindros horizontales que se ven en la figura. Estos cilindros están por uno de sus extremos en comunicación con otros verticales *N*, dentro de los cuales se elevan y deprimen alternativamente columnas de agua *O*, que llenan por completo los cilindros á cada golpe de los émbolos. En la parte superior y lateral de los cilindros verticales hay válvulas *B*, para la entrada del aire cuando el émbolo retrocede y desciende la columna de agua; así como otra válvula, *A*, en la pared superior, por la cual sale el aire comprimido hacia el depósito ó recipiente. Esta bomba estaba instalada fuera del túnel, y cuando

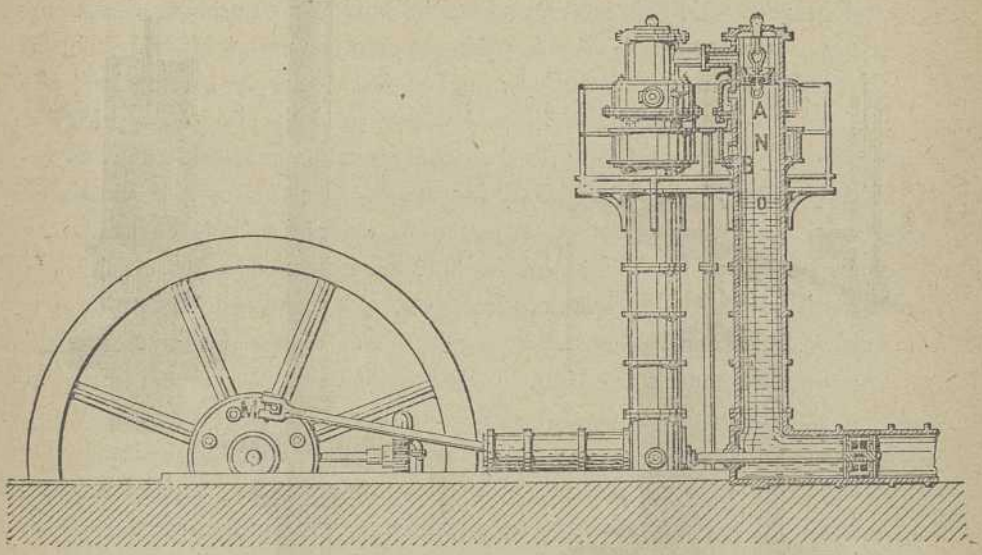


FIG. 142.—Máquina de compresión empleada para obtener aire comprimido en la construcción del túnel de Mont-Cenis.

se ponía en juego, el aire comprimido seguía un conducto formado con tubos de hierro de paredes gruesas y resistentes hasta el punto donde se hallaba situada la máquina perforadora. De este modo se alcanzaba la doble ventaja de poder desarrollar la fuerza motriz suficiente para ir abriendo los barrenos con mucha mayor comodidad de la que hubiera sido posible por medio de máquinas de vapor ó de otros motores en el interior del mismo túnel; y además la segunda ventaja consistía en que el aire comprimido que salía de la máquina proporcionaba dentro del túnel una atmósfera respirable, sustituyendo el aire viciado ya existente allí, por otro puro y fresco, en el cual lo mismo los pulmones que las lámparas podían desarrollar su actividad en buenas condiciones. Servía, pues, el aire comprimido en estos dos sentidos: como medio de transmisión de la fuerza, y como ventilador, y seguramente sin su aplicación, que fué la idea más ingeniosa de esta gigantesca obra, hubiera sido imposible llevarla á cabo, no ya en tan corto tiempo como se practicó, sino tal vez nunca. Por lo demás, después se ha hecho aplicación de máquinas del

mismo género á obras más colosales todavía que la anterior, cual el túnel del San Gotardo, realizada en la octava decena de años de nuestro siglo.

De un modo completamente semejante á las bombas de compresión están construídos los fusiles de viento, sin más diferencia que alguna ligera modificación superficial en las partes elementales que permite su manejo para el objeto que se destinan. Su invención debió tener lugar por el año 1430, y ser debida á un noruego llamado Gester, pero no hay seguridad ninguna respecto al inventor ni á la fecha. Tal vez sea más reciente de lo que hemos indicado; pues aunque, según Muschenbroeck, existía ya en 1474 un fusil de viento, imperfecto, en el armero de un señor de Schmettau, en cambio las crónicas noruegas dan á entender que el aparato fué imaginado primeramente por un tal Hans Lobsinger, en 1560. De todos modos resulta que pueden descartarse las pretensiones de los que, con posterioridad á esta época, han pretendido aspirar á la prioridad en este invento, así como á Otto de Guericke, que algunos consideran como inventor del fusil de viento, aludiendo á uno llamado por él «fusil de viento de Magdeburgo,» que se puede disparar por medio del aire que se encuentra en cualquiera punto, pues en la descripción de éste se dice: «Se carga en el cañón la bala en que se ha hecho el vacío, y con esto, al precipitarse en este espacio vacío el aire, lanza con violencia la bala colocada en el cañón.» Según esto, parece que Guericke tenía sobre el particular una idea exactamente contraria á la que sirve de fundamento al fusil de viento ordinario. Un tal Mattei, de Turín, también parece que construyó un fusil de viento que se cargaba quemando dos onzas de pólvora en una esfera hueca; los gases desarrollados tenían una tensión suficiente para producir dieciocho disparos, que podían hacer blanco á sesenta pasos de distancia, ó un número mayor de disparos, cuando se quería dar contra objetos situados á menor distancia.

Nuestros fusiles de viento comunes son bombas de compresión. El aire comprimido está, bien en una esfera de cobre hueco, en la cual se condensa mediante un émbolo, ó bien sirve de recipiente la culata misma, que se hace también hueca en este caso. El gatillo abre una válvula que da paso al aire comprimido, desde el recipiente al cañón, por detrás de la bala, siendo ésta lanzada con fuerza.

La presión del aire eleva hasta las copas más altas de las plantas, situadas á veces á más de cien metros de altura sobre sus raíces, la savia contenida en sus celdillas, y si no es aquélla la que determina exclusivamente esta circulación, su intervención es siempre necesaria; por ella también los huesos de las extremidades del hombre y los animales se mantienen adaptados á las cavidades óseas correspondientes, de tal suerte, que los miembros de dichas extremidades, á pesar de su longitud, pueden ser movidos y levantados con muy pequeño esfuerzo. Y, en general, todas las funciones de los organismos vivientes están de tal modo relacionadas con su intervención, que sería otro completamente el mundo, si desapareciera de pronto este factor.

Pero entre las variadas aplicaciones que la vida social ha hecho de esta fuerza, merecen principalmente dos de ellas ser mencionadas aquí, y son: los ferrocarriles atmosféricos y el correo neumático.

LOS FERROCARRILES ATMOSFÉRICOS

La idea de transportar mercancías y áun pasajeros por la presión atmosférica, no es nueva. Hace dos siglos que Papin fijó en ella su atención, y propuso hacer actuar aire comprimido por detrás de los carruajes que se quería mover; es decir, impulsar á éstos dentro de un tubo á propósito, á modo de túnel y en forma semejante á como se hace con la bala dentro de la cerbatana. Posteriormente otros se ocuparon nuevamente de este pensamiento, pero no se sabe que se haya verificado ninguna tentativa para ponerle en práctica. Las relaciones comerciales no habían adquirido aún desarrollo tan grande que no se reparara en los obstáculos para el ensayo de proyectos demasiado costosos. En aquellos tiempos se consideraba como una tontería, y aun como una temeridad, pensar en velocidades de transporte superiores á la de los animales de tiro.

Sólo después de más de cincuenta años, un tal Medhurst tomó de nuevo la idea con entusiasmo y desarrolló su plan bajo el título: *Nuevo sistema para enviar cartas y otros objetos por medio del aire*. Completó su plan hasta en los detalles de un ferrocarril para el transporte de viajeros. Pero aún no estaba el terreno preparado para que arraigara este proyecto. Más tarde, cuando pasó el calvario de los ferrocarriles y aquel cúmulo de temores que había despertado en su origen, tales como que el dinero empleado en ellos hubiera sido igual tirarlo por la ventana, que no quedaría en la tierra persona que no hubiera sufrido alguna desgracia de uno ú otro género por la locomotora, ó sin que hubieran muerto ó enfermado seres queridos, por la presión del aire, efecto de la velocidad del tren; que los tratantes en carruajes tendrían que dejar morir de hambre á sus caballos, que los hosteleros morirían también de hambre en los caminos reales; cuando éstas, y no ciento, sino miles de preocupaciones semejantes, quedaron felizmente desterradas de los espíritus mezquinos por los resultados positivos de este beneficioso y rápido medio de comunicación y tráfico; entonces, en lugar de aquellas aprensiones del vulgo, se despertó un entusiasmo ferrocarrilero tan ilimitado como lo habían sido aquéllas. Este entusiasmo tuvo su apogeo por los años del 1830 al 40, en cuya época nada se creía impracticable sobre este particular; si alguno hubiera propuesto la construcción de un ferrocarril al Mont-Blanc, hubiera encontrado accionistas. Esta era la época oportuna para poner en práctica el proyectado ferrocarril atmosférico. Medhurst había mostrado en general la posibilidad inmediata de hallar una disposición adecuada al objeto; esto es, un carruaje unido á una barra vertical, á cuyo otro extremo estuviera

adaptado un émbolo en el tubo colocado horizontalmente. Pero la abertura longitudinal del tubo por donde había de pasar la barra que transportara al coche, debía estar provista de un mecanismo de cierre, cuya construcción proporcionaba muchos dolores de cabeza á los mecánicos, pues no debía oponer resistencia al avance de la barra, y al mismo tiempo debía aislar perfectamente el interior del tubo del aire exterior. Cuantos progresos se han verificado sobre este asunto del ferrocarril atmosférico, se han limitado exclusivamente al sistema obturador de esta rendija.

Primeramente se partió de la idea de emplear el aire comprimido, para lo

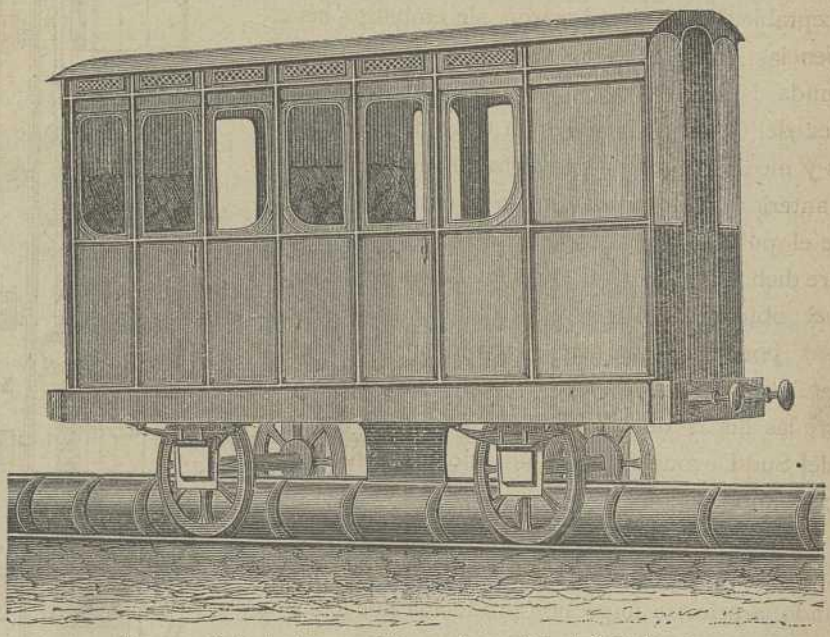


FIG. 143.—Coche de viajeros en el ferrocarril atmosférico de Saint-Germain.

cual se debían construir tubos muy anchos, en cuyo interior pudieran transportarse sobre carriles, é impulsados directamente por el émbolo, vagones de mercancías, mientras que para los viajeros se utilizarían coches al aire libre; pero Vallance cambió los términos de la cuestión. Quiso utilizar exclusivamente la presión del aire atmosférico para poner en movimiento el émbolo y la carga á él unida, produciendo por aspiración un enrarecimiento en el tubo por delante de dicho émbolo. El émbolo, pues, sería aspirado á la manera como se aspira el agua en las pajillas. Se organizaron experiencias en Brighthon, donde se construyó exprofeso una línea férrea; los coches debían moverse dentro de un túnel de hierro fundido ó tierra cocida, y según refieren las crónicas, las gentes se reían de la idea de que los graves ingleses fueran disparados dentro de un tubo como una bala de cerbatana.

Después de Vallance vino todavía un americano, Pinkus, con una patente de

una *Pneumatic Railway*. El tubo propuesto tenía un metro de diámetro, y estaba provisto de una abertura longitudinal, por la cual pasaba la barra conductora, exactamente como en el proyecto de Medhurst. La interceptación del aire por la abertura en la pared del tubo por donde pasaba la barra, se obtenía mediante un cordón de goma elástica que hacía el papel de válvula, ó mediante otra sustancia esponjosa y protegida por una armadura de hierro, que se colocaba entre los dos bordes salientes de la ranura; pero este sistema, que llegó á ponerse en práctica sobre un trozo de línea férrea, resultó inaceptable. No se abandonaron, sin embargo, las experiencias, y en 1840 tuvieron los señores Clegg y Samuda la fortuna de poder establecer sobre la vía férrea del Oeste de Londres un trozo de tres kilómetros y medio, según un proyecto que no se distinguía del anterior en otra cosa que en el éxito que obtuvo ante el público; pues después que se hizo su prueba sobre dicha vía ferrea del Oeste de Londres, creyendo haber obtenido una velocidad de sesenta millas inglesas por hora, se construyeron inmediatamente otros ferrocarriles atmosféricos del mismo sistema sobre las líneas de Croydon, de Dublin, Kingstown y del Sud-Devonshire, para abandonarlos al cabo de poco tiempo.

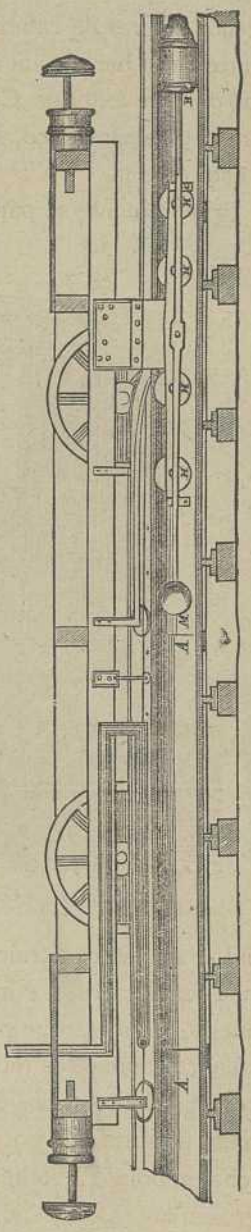


FIG. 144.—Ferrocarril atmosférico. Corte longitudinal.

Entretanto también en Francia se había tomado nota de este nuevo medio de transporte, y aprovechando la primera impresión producida por los resultados favorables de Clegg y Samuda, se terminaron los trabajos de un ferrocarril atmosférico desde Nanterre hasta Saint-Germain. Este ferrocarril atmosférico era continuación del ordinario que llegaba desde París hasta el puente de Montesson, arrastrado por locomotoras. El cambio de sistema resultaba tan rápido, que los viajeros no se apercibían de él, si no se les advertía previamente. La presión atmosférica tenía aquí que elevar el peso del tren á una altura bastante considerable, pues la diferencia de nivel entre el punto de origen y el de término era de 50 metros; de suerte que el regreso de los coches á Saint-Germain se efectuaba sin fuerza motriz alguna, solamente por su propio peso. La fig. 143 muestra un coche de viajeros tal como los que estuvieron en uso en este ferrocarril atmosférico, sólo durante corto tiempo,

pues en 1859 se recogió ya el material y se desmontaron las máquinas, dejando enterrados los tubos bajo los antiguos railes; el sistema resultaba muy caro.

Por más que estos ferrocarriles atmosféricos pertenecen al grupo de las cosas abandonadas, su interés histórico exige que fijemos nuestra atención sobre algunas particularidades de su mecanismo. Tomaremos como base el grabado de la fig. 144. El tubo *A*, en el cual se mueve el émbolo *B*, tiene próximamente medio metro de diámetro, que es la anchura que ha resultado más favorable. Nuestra figura lo presenta en parte seccionado, para que sea visible su disposición interior, que consiste principalmente en las ruedas *H H*, el contrapeso *M* y la pieza de hierro que corre entre las ruedas y á la cual va unido el vagón. El contrapeso *M* tiene por objeto mantener siempre en posición horizontal al émbolo *B;* las ruedas *H H*, que tienen distinto diámetro, van levantando las válvulas de charnela de la abertura longitudinal, antes de que pase la pieza de hierro y á la altura exactamente precisa para que ésta tenga libre el camino, cerrándose las válvulas después de su paso. Para que el cierre sea más completo, hay sobre las válvulas una capa de grasa sólida que un hierro caliente va fundiendo al pasar por encima y lubrifica continuamente las superficies del contacto. Las válvulas permanecen cerradas por la presión exterior del aire atmosférico. En la fig. 145 este cierre está reforzado por un resorte especial; la lámina de hierro *R*, que durante el paso de la pieza *C* (fig. 146) está levantada, después cae, protegiendo esta parte importante del aparato. La fig. 147 enseña la disposición del tubo con las ruedas del coche en la misma escala de la figura 144, pero en corte transversal.

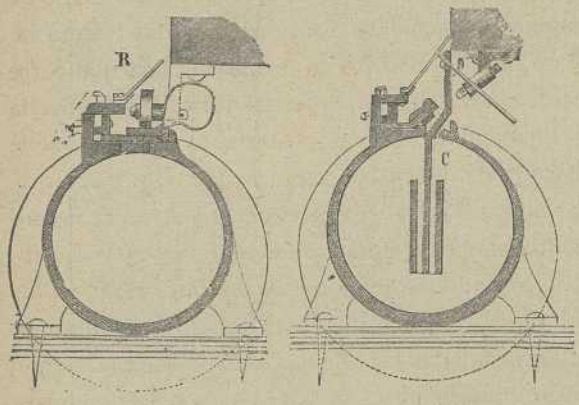


Fig. 145. Corte transversal del tubo. Fig. 146.

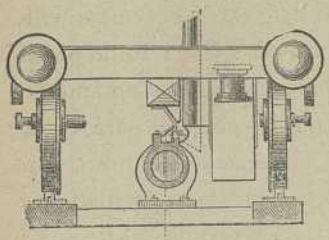


Fig. 147.
Vista anterior del ferrocarril atmosférico.

EL CORREO NEUMÁTICO

Este ha tenido mejor éxito desde su origen. Anejo á la estación de término de Euston, en Londres, hay un edificio de un solo piso, adornado con una esbelta chimenea. Todo lo que tiene de modesto y vulgar el exterior de esta casa, es no-

table é interesante en su interior. Entremos en ella: bajamos algunos escalones, y nos encontramos delante de un gran tubo de fundición, con una tapadera abovedada y fondo plano. «He aquí el extremo del correo aéreo,» nos dice nuestro *cicerone*. En este momento un telégrafo eléctrico da una señal, y la aguja de un manómetro colgado de una pared gira, indicando que en el interior del tubo en forma de túnel, con el cual está en comunicación, la presión ha cambiado de un modo notable. Al instante suena otra señal, se abre una válvula, y salta rápidamente del interior del tubo un pequeño carrito en forma de cuna que corre por el suelo, sobre unos carriles de cuerda, hasta perder su velocidad contra la pared opuesta al tubo, en una oquedad de la mampostería. Con viveza se le descarga de su contenido, se le carga de nuevo con otros paquetes y sacos preparados de antemano, y al sonar otra señal, se coloca el carrito otra vez dentro del tubo, se cierra la válvula, y al instante le oímos rodar un momento, diciéndonos á continuación el empleado, mirando al manómetro: «Ahora están ya las cartas en Eversholt-Street.» En Eversholt-Street, que dista 600 metros del punto en que nos encontramos, se hallan instaladas las oficinas de Correos. Este pequeño viaje, para el cual un peatón hubiera necesitado á lo menos diez minutos, lo ha verificado la valija invirtiendo sólo algunos segundos. Este carrito puede ir unido á otros dos ó tres ó más, según las necesidades del servicio, sin que por ello se altere lo más mínimo la velocidad.

Vamos ahora á aprovechar la ocasión de hacernos cargo más detenidamente del edificio y de su disposición interior. El tubo que forma el túnel mide próximamente un metro de altura, es un poco más estrecho que alto, presentando su sección la forma de una colmena. Sobre su suelo corren los carriles para el cochecito; éste corresponde en su sección exactamente á la sección del tubo, pero es algunas líneas menor y no llena, por tanto, completamente la capacidad interior de aquél.Por fuera del edificio marcha el tubo bajo las calles y casas, sin distinguir de bajadas ó subidas, las cuales alcanzan en algunos puntos la proporción de 1 : 80. En el otro extremo, en las oficinas de Correos, corresponde exactamente la disposición á la de la estación de Euston; sólo que ésta contiene además una parte, seguramente la más importante del mecanismo, que es el motor.

Por lo anteriormente dicho se comprende que estos cochecitos habían de adquirir su velocidad, bien por la presión del aire atmosférico, en oposición á un espacio con aire enrarecido, bien por el aire comprimido; así es que buscábamos la máquina neumática ó la de compresión que nos imaginábamos, de grandes dimensiones; pero no hallamos aquí ninguna semejante á las que hemos estudiado en las páginas anteriores; sólo vimos un gran disco de más de seis metros de diámetro, constituído por dos láminas delgadas, cóncavas, de hoja de lata, que estaban en presencia por sus caras huecas (véase la fig. 148); en los bordes distaban entre sí próximamente tres centímetros. Esta es la máquina, el «ejecutor neumático.» Como los empleados ingleses no hablan nunca en bro-

ma, creímos en su palabra; pero le invitamos á que nos diera alguna explicación más detallada. Así lo hizo, y entonces comprendimos que el árbol de este ejecutor estaba hueco y comunicaba con el tubo del túnel por medio de una llave, ó bien por medio de otra con el aire exterior. Puesta en muy rápida rotación la rueda de forma lenticular, el aire contenido entre los dos discos de hoja de lata era lanzado, en virtud de la fuerza centrífuga, hacia el exterior, como lo sería un cuerpo sólido, enrareciendo por esta acción continua la atmósfera interior del túnel. Ahora bien: en la circunferencia del disco hay también una caja que recoge el aire extraído de la rueda; allí se condensa como en el recipiente de una máquina de compresión, y puede aprovecharse por su parte para el arrastre de los vagoncitos, cuando este aire recogido no procede del túnel, sino de la atmósfera libre. Basta, pues, dar media vuelta á la llave, para hacer cambiar el movimiento del coche de una á otra dirección. Esta máquina neumática especial de fuerza centrífuga se pone en movimiento por medio de un pequeño motor de vapor á alta presión, que tiene un cilindro de cuatro decímetros de diámetro, cuyo émbolo se articula directamente con el árbol de la rueda lenticular; bajo el motor hay una caldera cilíndrica con hogar interior, que ofrece tensión de vapor de dos kilogramos por centímetro cuadrado. A pesar de que el consumo de vapor es excesivamente grande, pues la máquina está calculada para una longitud de tubería mucho mayor de la que hay, el gasto diario en combustible asciende sólo á unas 7'5 pesetas; de suerte que el coste en este concepto para cada viaje de ida y vuelta (diariamente se efectúan quince de estas expediciones) puede calcularse próximamente en cincuenta céntimos de peseta. Este servicio fué el primero establecido en su género, por una sociedad *Pneumatic despatch Company*. Después, los excelentes resultados obtenidos en él fueron causa del establecimiento de otros servicios semejantes, en diferentes puntos.

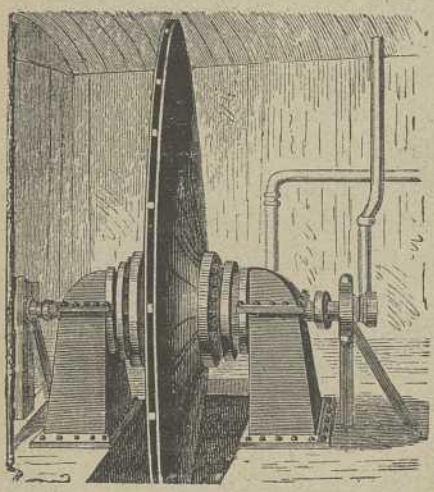


FIG. 148.
Máquina neumática del correo atmosférico de Londres.

En París se ha puesto en práctica el mismo sistema de transporte para impresos y cartas en el interior de la ciudad. La red subterránea de tubos, cuyas estaciones se distribuyen en los centros más populosos, constaba en 1873 de dieciséis tubos, cada uno de los cuales tenía la longitud de 1.200 metros. Resultaba, pues, una longitud total de 19 kilómetros. Los extremos de cada dos tubos se enlazan mediante una estación, y por consiguiente el número de éstas es también de dieciséis. La correspondencia va encerrada en pequeñas cajas, que,

mediante una cubierta de cuero, llena completamente la capacidad interior del tubo, y son impelidas dentro de él por la presión del aire. El rozamiento es tan poco considerable, que basta una fuerza muy pequeña para verificar el arrastre con una velocidad regular. Una señal eléctrica advierte al empleado de la llegada de cada envío, pues nunca se trata de un solo paquete, sino que se suceden periódicamente expediciones con pretensiones de un verdadero tren; y advertida la señal, el empleado sólo tiene que abrir la puerta del tubo para que inmediatamente aparezcan ante sus ojos los sacos, que se quitan para sustituirlos por los que están ya preparados con destino á otras estaciones; se hace la señal correspondiente, y girando una llave para que se establezca la comunicación con la máquina neumática, instantáneamente vuela hacia su destino aquel caudal de noticias, hasta llegar á una estación, donde se extraen los sacos del tubo para su distribución, ó bien se envía en otra dirección á través del tubo correspondiente. No hay para qué decir que esta forma de transporte no tiene de común con el telégrafo eléctrico otra cosa que el auxilio que éste le presta para la transmisión de señales. Los paquetes contienen cartas escritas y selladas, que llegan auténticas á manos del destinatario. La fig. 149 representa una estación del correo atmosférico en París.

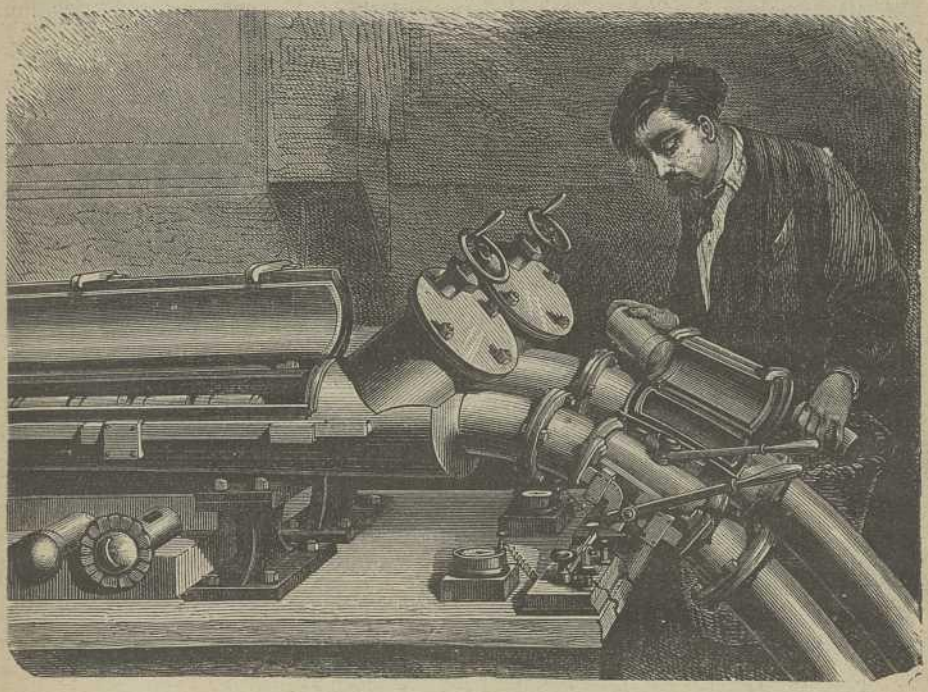


FIG. 149.—Estación del correo neumático de París.

También en Berlín existe un correo neumático que se llama allí *Rohrpost*.

Actualmente existen en esta ciudad veintitrés estaciones del Rohrpost, esparcidas en sus distintos barrios. Los tubos son de hierro colado de 65 milímetros de diámetro interior, y pueden transportar cada vez veinte cajas, cada una de las cuales puede recibir veinte cartas ó tarjetas postales, verificándose el transporte con la velocidad de 1.000 metros por minuto. En el año 1879 se habían ya verificado 300.000 expediciones de esta clase. En el año 1880, 500.000; durante cuatro años de funcionamiento, no se ha producido más que un pasajero entorpecimiento en el mecanismo, lo cual es una prueba de la bondad del sistema, construído por Crespín y Felbinger. (Fig. 150.)

Resulta, pues, hasta hoy, que el sistema de los tubos neumáticos permite el

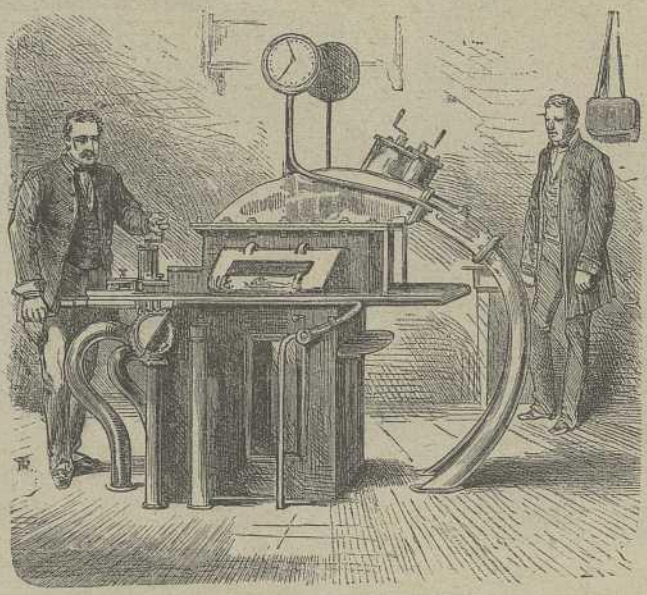


FIG. 150.—Correo neumático de Berlín.

servicio postal en el interior de una ciudad. El porvenir ha de demostrar si este medio excelente para pequeñas distancias, es aplicable también á distancias más considerables. No es imposible, y de poder llegar á ser un hecho el proyecto de un ferrocarril submarino entre Inglaterra y Francia, el túnel que uniera las Islas Británicas con el continente podría servir naturalmente para el establecimiento de una tubería, á través de la cual se estableciese por este sistema un medio rápido y permanente de comunicación postal entre ambos países.

En Inglaterra se ha utilizado este principio por W. Rammel, no sólo para el transporte de grandes pesos, sino también para el de personas, sin más que aumentar proporcionalmente los tubos que sirven para el correo neumático, sustituyendo á los pequeños carritos de paquetes postales, coches de viajeros. Para mayor claridad, añadiremos sólo á lo dicho que la gran superficie ofrecida por el émbolo á la presión del aire atmosférico, se compensa en este caso con

un grado proporcionalmente menor en el enrarecimiento del aire. Por ejemplo, si en los tubos estrechos del correo neumático la diferencia de presión á los dos lados del émbolo que determina la fuerza impulsora es de media atmósfera, aquí basta con que sea sólo de una centésima parte de una atmósfera, ó sea una presión de 100 kilogramos sobre un metro cuadrado de superficie, para obtener el movimiento de los coches de viajeros con una velocidad suficientemente grande. El tubo que se construyó era como un túnel fabricado de ladrillos. Los

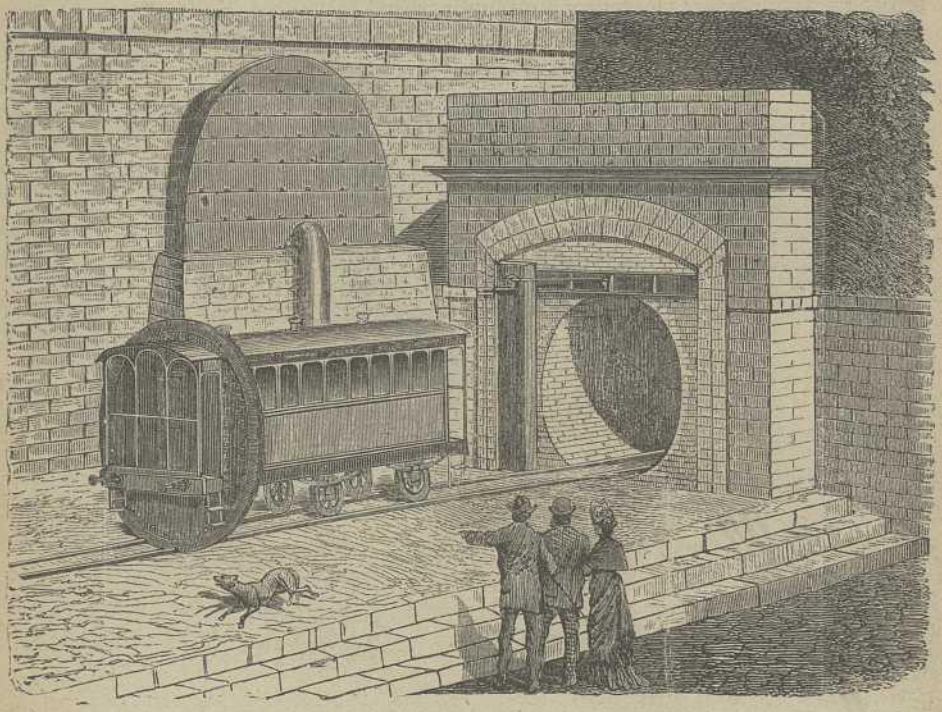


FIG. 151.—Ferrocarril neumático entre Londres y Sidenham.

coches que hacían el viaje entre Londres y Sydenham por el año 1865 tenían la forma de nuestros ómnibus y estaban elegantemente acondicionados (fig. 151). Hasta para el servicio de la extracción y la bajada y subida de operarios á las minas ha encontrado aplicación el sistema neumático como veremos en el tomo tercero.

En nuestra época en que todo se transforma y pasa rápidamente, es á la electricidad más bien que á la presión neumática á quien se pide la fuerza para todo. El teléfono ha oscurecido al correo neumático; es cierto que éste existe todavía para el servicio de correspondencia en algunos puntos; pero ¿cuánto durará? Después de todo, este aspecto de la cuestión no pertenece á nuestro propósito, sino á la historia.

MÁQUINAS HIDRÁULICAS

BOMBAS DE DIFERENTES CLASES

Y BOMBAS DE INCENDIO

Presión hidrostática.—Horizonte.—Niveles de agua y de aire.—Ley de los vasos comunicantes.—Surtidores.—Pipetas.—Sifones.—Máquinas hidráulicas.—Rueda hidráulica.—Idem de Segner.—Turbinas.—Máquinas elevadoras de agua.—Norias.—Paternostes.—Noria de cadena.—Las Bombas.—Válvulas.—Bombas aspirantes, impelentes y aspirante-impelente.—Bomba de fuerza centrífuga.—Ariete hidráulico.—Desecación del mar de Haarlem y máquinas empleadas en él.—Proyecto de desecación del Suidersee.—Bombas de incendio.—Regulador de aire.—Frascos lavadores y fuentes de Herón.—Disposición interior de las bombas de incendio.—Sistema de Repsold.—Idem de vapor.—La prensa hidráulica.

Así como en el estado sólido las partículas materiales de los cuerpos permanecen en sus posiciones relativas con cierta estabilidad, de suerte que á menudo se exigen fuerzas considerables para separarlas entre sí; así como en los gases, por el contrario, según nos enseñan los fenómenos citados en el capítulo anterior, estas mismas partículas son como repelidas entre sí y muestran siempre la tendencia á alejarse unas de otras, lo cual sólo se evita por la acción de fuerzas que se ejercen en la superficie de fuera á dentro, así también en el estado líquido las acciones atractivas y repulsivas entre los átomos guardan re-

laciones completamente diferentes. No se repelen, pero sus lazos de unión son tan débiles, que por el más pequeño impulso exterior se produce una deformación en su masa.

De aquí que los cuerpos líquidos no tengan forma propia, sino que se dispongan siempre sus partes según la forma de las superficies sólidas sobre que descansan, de las vasijas en las cuales están contenidos. Su superficie está determinada por la resultante de todas las fuerzas que solicitan á su masa en cada punto. Por esto la superficie de los grandes mares se aproxima en el más alto grado á la forma ideal del esferoide terrestre, tal como ha debido originarse por consecuencia de la acción simultánea de la gravedad y de la fuerza centrífuga.

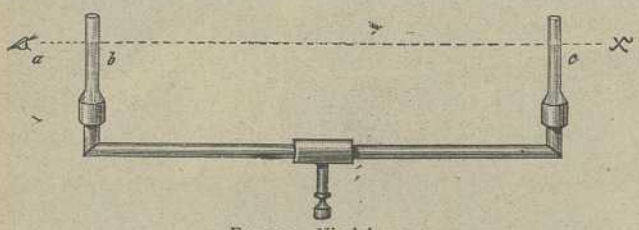


FIG 152.—Nivel de agua;
a, ojo del observador;—*b c*, superficie del agua;—*x*, objeto.

Todo el que haya visto el mar habrá observado la aparición ó desaparición sucesiva de las partes de un buque, lo que prueba la curvatura de la superficie del agua. En superficies de pequeña extensión no llega á hacerse perceptible dicha curvatura, y por esto son consideradas como superficies planas, perpendiculares ó normales á la dirección de la plomada. Esta superficie es la que se llama un plano horizontal. Un líquido libre de toda acción perturbadora sólo puede estar en equilibrio cuando su superficie de nivel es un plano horizontal.

En las construcciones de edificios de todos géneros es de la mayor importancia la determinación de superficies horizontales. Para esto se utilizan con los mejores resultados, y como término de comparacion, las superficies de nivel del agua, y estos niveles de agua debieron ser ya conocidos por los antiguos egipcios, como muestran sus planos de distribucion artificial de riegos. El mitológico Menes, que probablemente no es otro que Osiris, hizo cambiar de cauce al Nilo; también por aquella época se construyeron esclusas y diques, y se profundizó el lecho del lago Méride, para convertirlo en un gran depósito de agua; Sesostris tomó nuevas derivaciones de los canales del Nilo, y aun existió en la más remota antigüedad un canal de Suez, obras todas que no podían practicarse sin el auxilio de instrumentos que permitieran una buena nivelación. Uno de los más antiguos de estos instrumentos es el llamado nivel de agua (fig. 152); consiste esencialmente en un tubo lleno de agua que está fijo á un soporte en posición horizontal y que lleva en sus extremos dos ramas verticales de paredes de vidrio. Dirigiendo una visual sobre las superficies de nivel del agua en los dos tubos laterales, y haciendo de modo que ésta pase por un punto lejano, se sabe que este punto se encuentra á la misma altura vertical que dicha superficie de nivel. Por medio de una escala vertical se pueden medir así las diferencias de

altura de los diversos puntos. Picard añadió todavía á este aparato anteojos, con lo cual este nivel es muy apropiado para operaciones topográficas.

Actualmente se usa con preferencia para nivelar un aparato ó una superficie movible, el llamado nivel de aire, que está constituído por un tubo de vidrio recto, cerrado por ambos extremos, y que en el centro tiene un pequeño ensanchamiento y está lleno de agua, dejando una pequeña burbuja de aire (fig. 153). Cuando el tubo está horizontal, la burbuja queda situada exactamente en el centro, sobre una señal trazada en la pared del tubo. La más pequeña inclinación da por resultado una desviación hacia el punto más alto de la burbuja, extremamente movible. Ahora bien: para instalar una superficie en posición horizontal, con ayuda de este nivel, es preciso colocarle sobre ella en dos direcciones rectangulares, obteniendo en cada una la horizontalidad del tubo. Esto es incómodo; de aquí que se hayan construído instrumentos en forma de una caja circular (su invención se debe á Mayer, en 1777), en los cuales la burbuja puede moverse en todas direcciones bajo una tapadera de cristal, y cuando se detiene exactamente en su centro, la superficie en que se apoya el aparato representa un plano horizontal; éstos son los llamados niveles circulares.

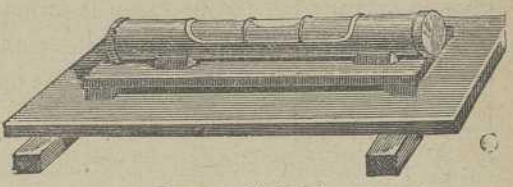


FIG. 153 —Nivel de aire.

FIG. 154.—Surtidor de una fuente.

No son necesarias ciertamente muchas explicaciones para comprender que en un tubo doblado en *U* el agua debe elevarse á la misma altura en ambas ramas. En efecto, para que el líquido esté en equilibrio, es preciso que la presión sobre cada una de sus partículas sea igual en dos sentidos opuestos; y como esta presión depende en cada punto de la altura de la superficie del nivel sobre el mismo, de aquí que para que estén en equilibrio las capas inferiores situadas en la rama horizontal, tiene que ser igual la altura de nivel en las dos ramas verticales, siendo homogénea la sustancia que llena todo el aparato. El barómetro nos ha ofrecido antes un ejemplo de este equilibrio entre dos columnas verticales, si bien la una era de aire y la otra de mercurio, por lo cual

las alturas de nivel estaban en razón inversa de sus densidades respectivas, para que fueran iguales las presiones sobre el fondo. La forma de las ramas en los tubos comunicantes, como se llaman, es completamente indiferente; que estén encorvadas ó rectas, que sean verticales ú oblicuas, cuando ambas están en comunicación con el aire libre y ocupadas por un mismo líquido las dos ó más superficies de nivel que determinan siempre un plano horizontal. La columna líquida que se eleva por el surtidor de una fuente, trata de subir en el aire á la misma altura máxima alcanzada por el tubo de conducción ó el depósito de donde procede (fig. 154); los pozos artesianos no son otra cosa que tubos comunicantes, una de cuyas ramas está formada por el pozo mismo, artificialmente agujereado, y la otra por los intersticios entre las capas del terreno que conducen el agua procedente de filtraciones que se producen generalmente en puntos elevados, por fusión del hielo ó de la nieve, y cuyas aguas tienden, en virtud de la ley á que nos referimos, á subir en el pozo vertical á la altura de su origen. Esta ley puede expresarse de un modo general diciendo: «En toda masa líquida las partículas de la superficie libre tienden á situarse en un mismo plano horizontal.»

MÁQUINAS HIDRÁULICAS

La extrema movilidad de las partículas de los líquidos es causa de gran número de fenómenos, cuya consideración es muy importante. En virtud de ella, por ejemplo, una presión ejercida en un punto cualquiera de una masa líquida, se propaga por su intermedio uniformemente en todas direcciones. De esta propiedad se originan las consecuencias más notables, tanto, que podríamos deducir exclusivamente de dicho principio fundamental (principio de Pascal), todos los fenómenos y aplicaciones de la hidráulica. Con una masa líquida limitada y encerrada por todos lados, podríamos fácilmente convencernos, por nuestros propios ojos, de que la presión que se ejerce sobre un lado cualquiera, se transmite á toda la masa y actúa contra todos los puntos de la pared con la misma intensidad.

El *sifón hidrostático* ofrece un ejemplo interesante de lo dicho. Imaginemos una vejiga ó una bota de cuero llena de agua en parte, y en comunicación con un tubo largo vertical, abierto por arriba; al principio en este tubo el agua no está más alta que en el nivel del líquido dentro de la vejiga; pero si se vierte agua por el extremo superior abierto del tubo, de modo que la altura de la columna en el tubo sea mayor, entonces la vejiga se hincha, el agua trata de elevarse dentro de ella á la misma altura que en el tubo, y como no puede verificarlo, ejerce presión sobre todos los puntos de la superficie interior de las paredes con una fuerza que corresponde á la altura de la columna de desnivel sobre

el tubo, el cual puede ser tan estrecho como se quiera. Así, pues, una pequeña masa de agua puede ejercer una presión enorme, y elevar, en virtud de ella, grandes pesos, pero sólo á alturas correspondientemente pequeñas; pues en el ejemplo citado, cuanto más pequeño sea el diámetro del tubo, tanto más rapidamente desciende en él la columna líquida compresora, á medida que el ensanche de las paredes de la vasija deja lugar á la entrada del agua en su interior.

Las máquinas de columna de agua que se usan principalmente en los trabajos de minería donde se puede disponer de grandes saltos de agua, descansa sobre el mismo principio. En ellas se pone en movimiento un émbolo dentro del cuerpo de la bomba, por la presión de una alta columna de agua. Ese émbolo, después que se interrumpe la comunicación con el agua, cuyo peso actúa como fuerza motriz, y se vacia el cilindro de la que había penetrado en su interior por el extremo inferior, desciende en virtud de su propio peso para volver á levantarse cuando se da entrada al agua en el cilindro por debajo de él. La máquina de vapor no es, en realidad, sino una reproducción de ésta, sólo que en aquélla la fuerza motriz es la tensión del vapor, en lugar de la presión de una columna de agua. Como fácilmente se comprende, es posible también disponer la máquina de columna de agua de tal modo, que el retroceso del émbolo no se efectúe simplemente por su propio peso, sino que la acción de éste esté reforzada por la presión del agua, la cual en este caso se hace penetrar alternativamente por debajo ó por encima del mismo émbolo. La primera máquina de columna de agua debió ser la construída por Denizard y de la Duaille en 1731; en Illsang (Baviera) existen mecanismos de este género, de proporciones muy considerables, instalados por Raichenbach, los cuales elevan sobre la montaña y conducen hasta Raichenhall y Rosenheim las aguas salinas que no pueden ser concentradas en Berchtesgaden.

Fig. 155.—Pipeta ó catalicores.

No necesitamos más, en rigor, para la inteligencia de lo que sigue, que el conocimiento de las leyes de la presión atmosférica y la de la propagación de las presiones en los líquidos.

La *pipeta* es, sin duda, el aparato más sencillo que pueden ofrecer á nuestra observación directa las leyes hidráulicas. En el vulgar catalicores (fig. 155), es simplemente la presión del aire exterior lo que mantiene en su interior el líquido. Si se sumerge este vaso prolongado en un líquido por su extremo inferior abierto en orificio delgado, mientras está descubierta la abertura superior, se llena con dicho líquido hasta la altura del nivel exterior; pero si ahora se tapa el orificio superior con el dedo pulgar, no cae ya el líquido, aunque se saque la pipeta de la vasija, y sólo se conseguirá vaciarla destapando la boca superior para que el aire pueda ejercer libremente su presión por encima del líquido, como la ejerce sobre el orificio inferior, oponiéndose á su salida.

El *sifón* (fig. 156) consta de dos ramas desiguales, de las cuales la mayor queda fuera del líquido. Para llenarle es preciso aspirar por su extremo libre; pero si sólo se aspira hasta tanto que el líquido quede en la rama larga exactamente al nivel *h* de la vasija, todo es simétrico á ambos lados del vértice, equilibrándose las presiones que se ejercen en uno y otro sentido, y entonces ni sale líquido por el extremo abierto, ni retrocede tampoco á la vasija el que ha penetrado ya en el sifón. Ahora, en cuanto se alteran las presiones por uno ú otro lado, cambia también la posición del líquido. Retrocede éste por completo á la vasija cuando no alcanza en la rama larga del sifón el nivel de la superficie *h* del líquido en la vasija; fluye, en cambio, por la rama larga desde el momento en que desciende en ella por bajo de este nivel. Si suponemos, por ejemplo, que el sifón estuviera lleno hasta *b*, todo el líquido contenido en la rama larga por debajo de *h* seguiría libremente la acción de su propio peso, cayendo á través de aquel orificio. Pero dejando tras sí un espacio vacío en el tubo, la presión atmosférica, actuando sobre la superficie *h*, obligaría á penetrar en el sifón al líquido de la vasija, resultando una corriente no interrumpida, que duraría hasta tanto que el extremo inferior de la rama corta, *a*, quedara descubierto por el líquido. Para facilitar la aspiración y asegurarse contra el peligro de que penetre en la boca alguna porción del líquido que se transvasa mediante el sifón, y que muchas veces es perjudicial ó venenoso, se han propuesto diferentes modificaciones de este instrumento, adicionándole tubos especiales de aspiración, de la más sencilla de cuyas modificaciones damos una idea en la fig. 157. Si se quiere, por ejemplo, transvasar de la vasija *A* á la *b* el líquido contenido en la primera mediante el sifón representado en la figura, se aspira por *c*, teniendo cerrado el orificio de *b* hasta tanto que el líquido descienda en la rama larga por debajo del nivel en la vasija *A*. Desde este momento se puede destapar el orificio *b* y dejar de aspirar por *c*. El agua corre por sí misma exactamente como en un sifón ordinario sin tubo adicional, pero cuya rama larga llegara sólo hasta el punto de unión de dicho tubo de aspiración. Con mecanismos en forma de sifón se pueden transvasar considerables cantidades de agua, aun por encima de una montaña. Bastaría para esto construír un canal cerrado que se llenara con agua como un tubo, en el cual no pudiera penetrar el aire, y llevar el extremo de este tubo hasta un punto más bajo que el nivel de la masa de agua que se quiere transvasar sobre el otro lado de la montaña; sólo

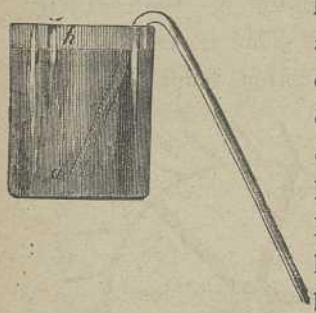


FIG. 156.—Sifón.

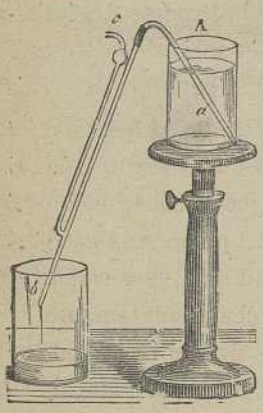


FIG. 157.—Sifón con tubo especial de aspiración.

que según las leyes ya conocidas de la presión atmosférica, la altura que puede así salvarse no ha de exceder nunca de 9 metros.

Si consideramos el círculo que el agua recorre continuamente en la Naturaleza, veremos que partiendo en estado de vapor, ya de la superficie de los mares y ríos, ya de las hojas de los vegetales, ya de los pulmones de los animales que pertenecen á los grupos superiores de la escala zoológica, se condensa en las regiones altas y frías de la atmósfera para depositarse sobre las cúspides de las montañas en estado líquido. Las gotitas resbalan y corren, reuniéndose en

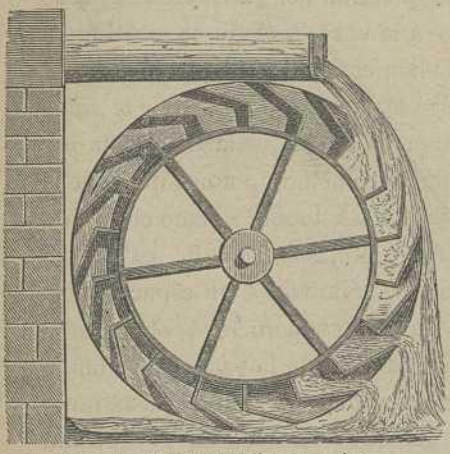


FIG. 158.—Rueda hidráulica por encima.

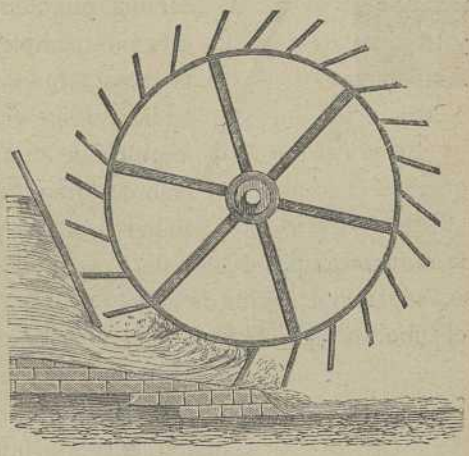


FIG. 159.—Rueda hidráulica por debajo.

masas considerables, hasta que llegan otra vez al mar, si no es que antes son chupadas por las raíces de las plantas ó devueltas por cualquier otro modo á la atmósfera. A través de su largo camino hasta los mares, el agua obedece exclusivamente á la acción de la gravedad, y según la pendiente del plano inclinado sobre el cual corren los ríos, cae con mayor ó menor velocidad. La fuerza que adquiere con esto, y que puede restituir cuando se anula ó rebaja súbitamente su velocidad, se utiliza en las formas más variadas por medio de las ruedas hidráulicas. Éstas pueden recibir el choque de la masa de agua, bien porque caiga desde lo alto sobre sus paletas, ó bien porque simplemente encuentre á éstas por su parte inferior, impulsándolas en virtud de su velocidad de translación. La disposición de estas máquinas es tan conocida, que creemos innecesaria toda explicación sobre las figuras 158 y 159.

TURBINAS

Mientras en las ruedas en que el agua cae desde lo alto sobre las paletas, actúa ésta simplemente por la fuerza viva adquirida durante la caída, en las ruedas en que el agua tropieza á las paletas por debajo, actúa en virtud de su ve-

locidad de traslación y de la fuerza viva correspondiente á la misma. Esta última manera de obrar del agua se puede utilizar con ventaja, por medio de ruedas horizontales. Una de las formas más antiguas de esta clase de ruedas consiste en un árbol fijo giratorio, cuyos extremos se apoyan en pernios, y en cuya superficie tiene paletas en forma de cuchara, sobre las cuales choca la corriente horizontal del agua. Otra clase consiste en ruedas semejantes á los ventiladores que se colocan á veces en las ventanas para renovar el aire interior de las habitaciones; sin más diferencia que, en éstos, el viento les da por delante, mientras que en las ruedas hidráulicas á que nos referimos llega el agua por el lado y tropieza á las paletas tangencialmente, determinando la rotación del aparato. Ambos motores dan, sin embargo, muy poco efecto útil y no pueden compararse bajo este concepto con las turbinas.

La primera idea de las turbinas está tomada de la rueda hidráulica de Segner. Esta se funda en la llamada fuerza de retroceso, que no es otra cosa sino la presión que revelan los fluidos contenidos en una vasija sobre una pared lateral, cuando falta el punto correspondiente de la pared opuesta. Ya hemos hablado de ella cuando tratábamos del proyecto de impulsar los globos aerostáticos mediante el ácido carbónico encerrado á gran presión, dejándole salida por un orificio á manera de cohete. También se funda en el mismo principio la causa del retroceso de los cañones y en general de todas las armas de fuego cuando se produce un disparo. La presión del gas que se ejerce en todos sentidos, cesa en la dirección en que la pared cede á su impulso, y entonces la presión contraria, no estando ya equilibrada, pone en movimiento á la vasija. En la rueda hidráulica de Segner, el agua pasa por un eje hueco á la cavidad interior de una rueda hueca también, cerrada por todas partes, pero que tiene en su perímetro una serie de surtidores formados por tubos encorvados, y todos en el mismo sentido horizontal, cuya porción extrema donde está el orificio final tiene una dirección perpendicular al radio de la rueda. Por estos orificios, en dirección tangencial, sale el agua que había penetrado por el eje hueco en el interior de la rueda, y de aquí, á los tubitos laterales, y al salir, por efecto de la presión sobre la pared del tubo opuesta á la rama abierta, pone en rotación el aparato en sentido contrario al de la salida del líquido y con una velocidad tanto mayor, cuanto más rápida es también dicha salida.

Multitud de juegos de agua en los que la salida de ésta determina una rotación, así como de construcciones pirotécnicas y aparatos de iluminación en que la salida del gas que arde en los extremos de muchos mecheros determina también un movimiento rotatorio de todo el mecanismo, son ejemplos que ilustran el mismo asunto. En los tiempos modernos se ha aplicado también este principio á la impulsión de los buques sobre el agua, empleando la máquina de vapor, no ya para producir la rotación de una rueda de paletas ó de un propulsor de hélice, sino para la elevación del agua y su caída con gran presión sobre

tubos terminados en orificios delgados que están situados á ambos lados del barco y dirigidos hacia atrás. La presión resultante sobre la pared del recodo en el tubo arrastra el buque hacia delante, y aunque el aprovechamiento de la fuerza no puede ser muy completo en esta forma, la gran sencillez del propulsor, la facilidad de su renovación, puesto que se puede instalar al aire libre sobre el nivel del agua, y la gran comodidad que ofrecería semejante sistema para las maniobras del buque, son ventajas que tal vez harían útil su aplicación en ciertos casos.

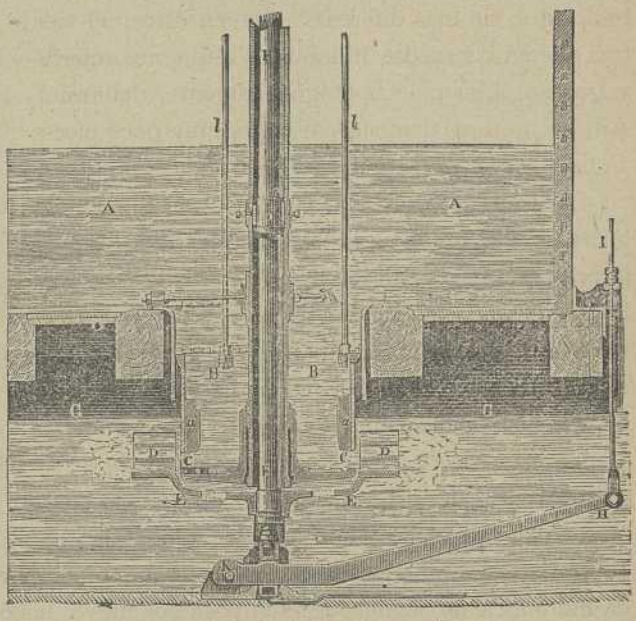


FIG. 160.—Sección vertical de una turbina.

En la turbina escocesa, que está adoptada desde el año 1830, se habían hecho algunas pocas modificaciones sobre la rueda hidráulica de Segner, que su autor había instalado como motor en una fábrica de papel.

Más tarde sufrió esta turbina otras varias modificaciones, principalmente en los orificios de salida del líquido. Se hizo que la masa de agua ejerciera presión hacia abajo sobre alas en forma de un paso de rosca, ó se emplearon verdaderas ruedas anulares y se condujo el agua por tubos especiales á través de un camino tal que llegara á las paletas de la manera más apropiada para que éstas, y por tanto las ruedas, pudieran recoger toda la fuerza viva de la masa de agua (Fourneyron). La fig. 160 aclara lo dicho. *A A* es el salto de agua, el cual llega sólo hasta *G;* el líquido penetra inmediatamente en el cilindro hueco *B B*, y de éste á través de los orificios *C C* en la cavidad del desagüe *G*, la salida puede regularse mediante las tapaderas *a a* que se mueven por medio de palancas. Delante de los orificios *C C* se halla la rueda anular *D D* cuyas paletas curvas reciben el choque del líquido, y está unida, mediante la parte encorvada *E E*, con el eje *F*, cuya rotación pone en movimiento la máquina con la cual va unido. *L H* es una palanca para poder levantar ó bajar hasta cierto grado el punto de inserción del eje. Como quiera que se ha observado que la fuerza del agua que sale en dirección radial no es tan fácilmente utilizable, se prefiere, como queda dicho, hacerla llegar en dirección tangencial desde el cilindro á las paletas de la rueda; para mayor claridad damos en la fig. 161 un corte transversal de la par-

te inferior del cilindro *B* con la rueda motriz, cuya última está constituída por el anillo exterior de paletas *D*.

La ventaja de las turbinas consiste en que se puede utilizar de la mejor manera posible, tanto la fuerza de una gran masa de agua en un pequeño salto, como, por el contrario, también cambiando la disposición en la forma correspondiente, un gran salto de una pequeña masa de agua. Resulta aproximadamente igual que la rueda motriz gire dentro del agua ó del aire, y esta circunstancia permite emplear todo el salto; pero además también permite colocar la rueda profundamente sumergida en agua, y con esto impedir los inconvenientes de su congelación. Las ruedas hidráulicas horizontales son aplicables particularmente allí donde se trata de conseguir una velocidad muy grande, y por consiguiente de preferencia en las fábricas de hilados, tejidos, etc. Las turbinas últimamente enumeradas deben sus perfeccionamientos, en virtud de los cuales aventajan en su capacidad de trabajo á las turbinas escocesas, al ingeniero Jonval, y llevan también su nombre.

FIG. 161 —Sección horizontal de la rueda motriz.

MÁQUINAS PARA LA ELEVACIÓN DEL AGUA

Vamos á considerar aquí aquellos aparatos que, en contraposición á las ruedas hidráulicas, no han de ser puestos en movimiento por un salto de agua, sino que, con ayuda de una fuerza cualquiera aplicada á ellos, están destinados á elevar el agua hasta cierto punto, más ó menos alto. Tales máquinas de elevación de agua están en uso desde los tiempos más remotos. Todavía hoy vemos utilizados los prehistóricos cubos con palancas ó poleas, que son realidad ni más ni menos que un mecanismo que ofrece al que actúa sobre él un largo brazo de palanca ó una disposición cómoda para ejercer su fuerza. Además, hay una colección de máquinas simples que se reconocen como un conjunto de gran número de cubos, y sólo tienen aplicación sobre ciertas alturas limitadas; así las ruedas de pozales que hoy, como hace miles de años, giran todavía sobre el Nilo, así como entre los indios y en los ríos de otros países para regar los terrenos inmediatos. También se utilizan con frecuencia ruedas de pozales para recoger el agua particularmente en las llanuras de Holanda y Alemania, donde la mayor parte son impelidos por molinos de viento. La forma más usual no es aquí la de ruedas con cajones ó pozales en el borde, sino que la rueda tiene paletas como las hidráulicas, las cuales vierten el agua sobre un canal que rodea una parte de su circunferencia, pero el trabajo es exactamente opuesto al de las ruedas hidráulicas propiamente dichas; allí el agua es el elemento pasivo; una fuer-

za extraña, la del viento, lo hace girar en sentido opuesto de la rotación de aquéllas, de modo que el agua va siendo recogida por las paletas y vertida en el canal ó lanzada según la velocidad de la rotación. Desde la altura alcanzada en este último caso, fluye el agua por el conducto previsto de antemano. Pero también estos aparatos primitivos recibieron ya en la antigüedad una modificación más ingeniosa, el *tympanum*, un tambor que recoge el agua por el borde, y después de conducida ésta por canales curvos hasta el eje hueco, fluye, por último, á lo largo de éste.

Con las norias se relacionan los llamados *paternoster* ó *rosarios*, tan antiguos como aquéllas, y en los que hacen el oficio de los cubos, pequeños discos unidos á una cadena sin fin, puesta en movimiento por medio de ruedas. Para elevar el agua por medio de éstos por un plano inclinado, basta, como muestra la figura 162, un canal con tres paredes, á las que se adapten bien los discos del aparato. No es raro ver en nuestras construcciones hidráulicas mecanismos de este género, que son puestos en rotación por medio de un manubrio. Los chinos son aficionados á ponerlos en movimiento con los pies, para lo cual, en lugar del manubrio, le adaptan un árbol que está provisto de pedales. Para que tales aparatos puedan trabajar en posición vertical, es preciso, como se comprende, que el canal esté cerrado por los cuatro lados, ó sustituido por un tubo cilíndrico; en cuyo último caso se emplean preferentemente para su construcción, en lugar de tablas, discos ó bolas de cuero que cierran mejor el tubo y corren más suavemente á frotamiento contra sus paredes. Esta disposición es la que ha dado su nombre á los *paternoster* ó rosarios hidráulicos. Semejante hasta cierto punto á los *paternoster* en posición vertical, es también la llamada bomba funicular, en la cual realiza un trabajo parecido al de la cadena ó rosario del aparato anterior, una simple cuerda sin fin, que se mueve dentro de un tubo estrecho. Puesta la cuerda en movimiento considerablemente rápido hacia arriba, arrastra, por efecto exclusivamente de la adherencia del agua, una cantidad de ésta mayor de lo que á primera vista pudiera creerse. Si á la cadena sin fin se añaden pozales, no es ya necesario, como es natural, el tubo ó canal para conducir á lo alto el agua.

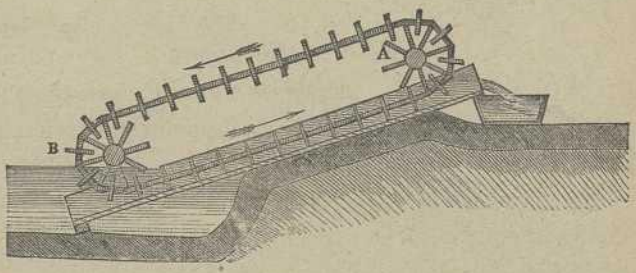


FIG. 162.—*Paternoster* ó noria de rosario.

Uno de los aparatos más interesantes pertenecientes á este objeto, es el llamado tornillo de Arquímedes, el cual, sin embargo, no fué inventado por Arquímedes, á pesar de su nombre, sino mucho antes de su época, en Egipto. Es

algo semejante, pero no idéntico, al ya citado *tympanum*, descrito por Arquímedes, y que tiene por forma fundamental una espiral plana. El tornillo de Arquímedes eleva el agua también, como el *rosario* oblicuo, sobre un plano inclinado; sólo que hay la diferencia de que este efecto no se obtiene en el primer caso por paletas aisladas, sino por un tornillo de una pieza, cuya superficie rodea al árbol en espiral, y gira dentro de un canal semicilíndrico, fijo y cerrado en la parte inferior. Pero en la forma que acabamos de describir siempre cae algo de agua por entre los intersticios, entre el tornillo y el conducto, por lo cual se da á éste la forma de una superficie envolvente por completo, la cual se adapta exactamente contra el canto de la superficie del tornillo, y por consecuencia participa de la rotación de éste. Esta disposición es la que representa la fig. 163 en corte longitudinal. La rotación del tornillo debe producirse en sentido contrario al que determinaría su avance. La cantidad de agua recogida por el extremo inferior, sumergido en la masa líquida, queda separada del resto de esta masa á la primera vuelta del tornillo, y empujada un paso más hacia arriba por cada vuelta sucesiva, pues en virtud de su peso, tiende siempre á ocupar la parte inferior, y tropieza con la que penetra de nuevo; por consiguiente, viene á alcanzar el extremo superior después de tantas vueltas como pasos de rosca tiene el tornillo. La superficie helicoidal forma en último resultado un solo canal, que el agua tiene que recorrer de abajo á arriba. En el ejemplo representado en la fig. 163 el tornillo es doble. Pero se pueden también construir estos canales combinados de tal modo, que se arrollen alrededor de un eje de rotación, á la manera de un sacacorchos, uno ó dos tubos de palastro, y ésta es una forma, la más usual, de esta máquina.

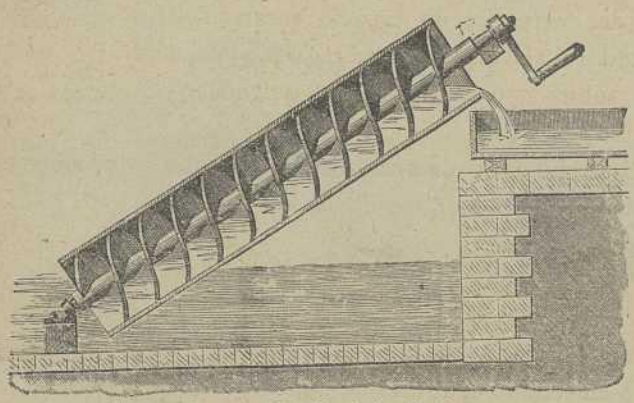


Fig. 163.—Tornillo de Arquímedes.

BOMBAS

Mientras los trabajos de elevación arriba citados recuerdan más ó menos el trabajo manual de los poceros, las bombas ordinarias descansan inmediatamente sobre otro principio, el de la aspiración, que no es otro, en el fondo, que el de la presión atmosférica. Hemos dicho que descansan inmediatamente en el principio de la aspiración; pero parece que las más antiguas bombas no han

sido nunca simplemente aspirantes, sino que se originaron de los aparatos para transporte de aire (fuelles), en los cuales, por consiguiente, primero se aspira y después se comprime. Con el tiempo se han producido sistemas de bombas que son completamente independientes de la acción de la presión atmosférica.

El mecanismo de las bombas hidráulicas es muy fácil de comprender después que hemos estudiado en esencia la máquina neumática y la de compresión. Sabemos que si el tubo de Torricelli (véase la fig. 88) lo cerramos en su extremo superior, no ya por una pared del mismo vidrio, sino por un émbolo que venga prieto contra el tubo, al elevar aquél deja tras sí un vacío, ó bien, si no parte el émbolo de la superficie misma de nivel del mercurio, un espacio enrarecido. En éste obliga la presión exterior á elevarse al mercurio ó al agua, sólo que el primero, á lo más, subirá á 76 centímetros (28 pulgadas), y la segunda 10 metros y medio.

FIG. 164. Válvula de charnela.

Ahora bien; las bombas aspirantes son aparatos en los cuales se produce el trabajo de la elevación de un líquido por medio de un émbolo movible en la forma indicada.

Las válvulas hacen posible que el émbolo pueda retroceder de nuevo, sin que el líquido ya elevado retroceda á su vez, puesto que al descender el émbolo, la presión del líquido, actuando en sentido contrario de aquél en que la válvula puede abrirse, cierra el orificio de comunicación é intercepta el paso de la columna hacia el depósito inferior de donde había partido. Al tratar de la máquina neumática, hemos fijado poco la atención sobre estos juegos de válvulas; vamos aquí á llenar este vacío, y para ello damos en las figuras 164, 165 y 166 la representación de alguna de sus principales formas. La primera forma (fig. 164) es la más antigua y usual en la mayor parte de los casos: en las bombas ordinarias, tales válvulas de charnela se mueven exactamente por medio de goznes, como las puertas ó trampas que suelen existir sobre el suelo de algunas casas para dar entrada á habitaciones subterráneas, en las cuales muchas veces, en lugar de goznes, están unidas sólo por una tira de cuero. Sin embargo, se hacen más generalmente estas válvulas con discos de metal, recubiertos con cuero ó fieltro. En tubos largos en que la carrera del émbolo es considerable, esta clase de válvulas se ajustan difícilmente en su posición; más completo es el cierre con una válvula doble, esto es, dos válvulas cuyas charnelas están en oposición. En las mejores bombas, las válvulas y los asientos sobre que se apoyan se hacen de metal torneado, tienen un cuerpo más sólido y pesado que el de las anteriores, y son más propias, por consiguiente, para obtener un cierre completo. Se distinguen todavía de entre éstas, las válvulas cónicas y las esféricas, que están

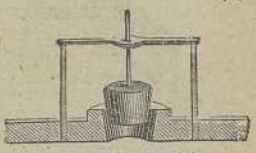


FIG. 165.—Válvula cónica.

FIG. 166. Válvula esférica.

representadas en las figuras 165 y 166. La primera (fig. 165) recuerda el tope de un frasco que se levante y caiga alternativamente sobre el cuello del mismo. Para que este cuerpo no pierda la dirección correspondiente al eje del orificio, suele haber un tope que impide que suba demasiado, y una varilla directriz que pasa á través de un orificio del tope y evita las desviaciones laterales. El tope y la varilla pueden estar colocados por debajo del orificio de la válvula, y en este caso el extremo de la varilla está provisto de una cabeza que sirve para retener la válvula al tropezar con el tope, no permitiendo que suba demasiado.

Un paso más se avanza con la válvula esférica (fig. 166) hacia el *desideratum* respecto á estos instrumentos. En este caso, una esfera de metal, bien torneada, descansa libremente sobre el orificio, se levanta cuando el agua sube y desciende de nuevo, aplicándose sobre los bordes de dicho orificio. Nada importa que haya girado entretanto en cualquier sentido, pues en virtud de su forma puede verificar un cierre hermético en cualquier posición. Por lo mismo no exige ningún mecanismo que le sirva de guía, y sólo sí el que evite que se eleve demasiado. Generalmente se emplean un par de topes en cruz, que están tendidos sobre la esfera maciza en forma de travesaños.

Cuanto más fina es la labor de un aparato de válvula, tanto más fácilmente recibe una alteración ó perturbación en su juego por el depósito de sustancias extrañas, como el polvo, etc. La válvula esférica tiene la buena cualidad de que la esfera, después de levantada, adquiere generalmente una posición distinta cada vez; con lo que ella por sí misma se libra fácilmente de todo cuerpo extraño. Para la aplicación de la acción de las válvulas á líquidos muy impuros, (por ejemplo, abonos líquidos, ó las aguas con que se riegan los excrementos para la elaboración de aquéllos) se emplean varios otros sistemas de émbolos menos delicados. Los tubos para estos objetos no se hacen generalmente redondos, sino compuestos por cuatro planchas. El émbolo es, por consiguiente, también cuadrado, muchas veces lleva un gran número de agujeros, que están cubiertos por grandes tapaderas de piel algo mayores, ó se forma el émbolo con cuatro porciones cortadas triangularmente y agujereadas, unidas de tal modo que rodeen el extremo de la varilla en forma de camisa, en cuya cara interior están las válvulas de cuero. Los émbolos de esta forma se llaman *émbolos de embudo*. Para los más ordinarios, en general, es también de muy buen resultado la disposición representada en la fig. 167, que ofrece la ventaja de que puede construirse sin grandes conocimientos técnicos. El émbolo hace aquí el papel de una doble válvula de charnela, y sólo se necesita para armarle una barra transversal en el extremo de la varilla del émbolo, contra la cual las dos alas que le constituyen se apoyan durante el movimiento de elevación.

La primera condición de una buena bomba es la de que las válvulas y el émbolo funcionen bien. Por esto se reviste el émbolo, como muestra la fig. 134 en la máquina neumática, con cuero, cáñamo, etc., de modo que pueda correr,

ajustando contra las paredes con cierta elasticidad. Cuanto más lisas y pulimentadas son las paredes entre las cuales juega el émbolo, tanto más fácil es su curso. Lo mejor sería en las bombas, como en las máquinas de vapor, correderas ó guarniciones metálicas.

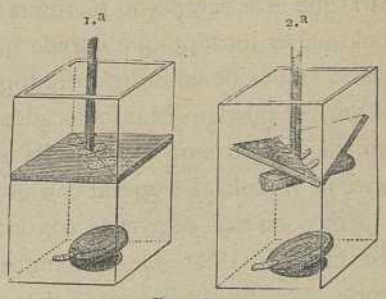


FIG. 167.
Émbolo cuadrado. 1.ª Ascenso. 2.ª Descenso.

En la bomba aspirante ordinaria, que es la clase de bombas que más frecuentemente se encuentra por todas partes, hay que distinguir el tubo de aspiración que se sumerge en el agua y está terminado en su extremo inferior por una especie de tamiz ó filtro que impide el paso de las materias extrañas en suspensión, y el cuerpo de bomba, en el cual se mueve el émbolo hacia arriba y abajo, mediante la varilla. Según la ley de la presión atmosférica, que es precisamente la que hace subir al agua en el tubo de aspiración, no puede éste ser nunca mayor de 10 metros á lo más; este tubo se suele hacer, por lo menos para las bombas pequeñas, de palastro.

Para hacer inteligible la manera de funcionar de la bombas, damos en las figuras 168 á 170 tres representaciones correspondientes á tres momentos diferentes. Con émbolos bien ajustados, la bomba debe poder aspirar lo mismo aire que agua, de tal modo, que el aparato funcione lo mismo cuando el tubo esté vacío de agua ó lleno de ella. Se mueve el émbolo dentro del cuerpo de bomba, que al principio durante algún tiempo está vacío, pero sin que se pierda el trabajo por esto. A cada golpe de émbolo se extrae algo de aire, y por consiguiente se enrarece la atmósfera en el tubo; por la misma razón, á cada golpe de émbolo penetra en el tubo tal cantidad de agua desde el recipiente, que compensa por su presión sobre el fondo la diferencia entre la tensión del aire interior y la presión atmosférica, y, por útimo, llega un nuevo golpe de émbolo (fig. 168), por consecuencia del cual el agua levanta la válvula de la pared inferior del cuerpo de bomba; al descender entonces el émbolo atraviesa por el orificio de éste, cuya válvula se abre al hacer presión contra la masa líquida, así como se cierra la del fondo del cuerpo de bomba (fig. 169); y si ahora se levanta el émbolo de nuevo, cerrada su válvula, el agua asciende sobre él para salir por el tubo lateral (fig. 170). Cuanto más alto se encuentre este tubo sobre el nivel del agua en el depósito, tantos más golpes de émbolo serán necesarios para hacer salir por él la misma cantidad de agua, ó para que ésta alcance su altura. El juego de las válvulas es el mismo para el agua que para el aire; si el émbolo se levanta, se cierra su vál-

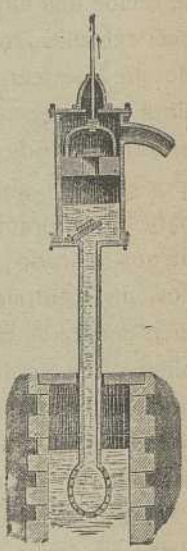


FIG. 168.
Bomba aspirante.

vula, porque el aire ó el agua colocada sobre él ejerce presión de arriba abajo; al mismo tiempo se abre la válvula de aspiración por la presión atmosférica, ya se transmita ó no por medio del agua. En el momento en que el émbolo comienza á descender, recibe presión dicha válvula de arriba abajo y se abre la válvula del émbolo. Las válvulas de las bombas no están, por consiguiente, cerradas ambas, sino cuando la bomba no funciona. Cuando está en acción, permanece la una abierta, mientras la otra está cerrada, y viceversa.

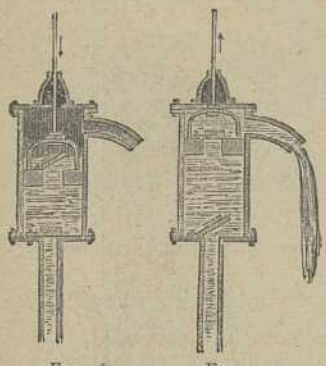


FIG. 169. FIG. 170.
Bomba aspirante en diferentes momentos de su funcionamiento.

Una vez llena de agua completamente, la bomba puede funcionar, aunque el émbolo no cierre exactamente, como sucede en la mayor parte de las bombas usuales; sólo que entonces da menos rendimiento. La válvula de aspiración debe siempre encontrarse en buen estado, pues si tiene rendijas, desaparece el agua pronto y queda la bomba seca. Echando algunos litros de agua por arriba en los orificios de la bomba, se puede evitar esta dificultad. El agua humedece las guarniciones secas y tapa los intersticios mientras está por encima del émbolo; obteniéndose así un cierre mejor, siquiera sea momentáneo.

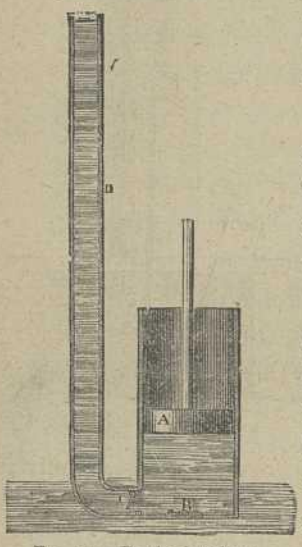


FIG 171.—Bomba impelente.

Si la bomba aspirante coincide completamente con la ya antes mencionada máquina neumática, la bomba impelente que vamos á estudiar á continuación, tiene un parecido muy grande con la máquina de compresión.

La bomba impelente está caracterizada, por lo pronto, porque el émbolo forma un cuerpo macizo sin válvulas. Se coloca en el seno de la misma agua á la que debe impeler, y la obliga á ascender por un tubo vertical. Como esencialmente es independiente de la presión atmosférica, este tubo puede ser tan alto como se quiera, sin otros límites que la resistencia de sus paredes á la presión de la columna líquida, y la fuerza de que se disponga para verificar la impulsión. También en la bomba impelente, cuya forma más sencilla hace visible la fig. 171, existen dos válvulas cuyo juego es alternativo; la válvula del fondo *B* y la válvula lateral *C*. Cuando el émbolo *A* sube, penetra por *B* el agua, mientras que el peso de la columna de líquido que existe ya en el tubo *D* mantiene cerrada la válvula *C*, la cual así evita su retroceso; al hacer bajar el émbolo se cierra *B*, y *C* tiene que abrirse para dar paso á una nueva porción de agua á el tubo. Como se ve, no se pres-

cinde tampoco por completo en esta máquina de la aspiración; pero como se trata de tan pequeña altura de aspiración, no exige esto apenas ninguna fuerza; la fuerza se emplea aquí más bien para hacer bajar el émbolo, lo contrario de lo que sucede en la bomba aspirante.

Por último, también se pueden reunir los dos aparatos en una sola bomba aspirante impelente. Supongamos que el agua se encuentra á un nivel algo inferior al del sitio en que conviene colocar el cuerpo de bomba (figura 171), en tal caso bastaría añadir un tubo al orificio de la válvula *B* y esta parte inferior obrará como una bomba aspirante, respecto de la cual habrá que tener en cuenta la condición de que la longitud del tubo no podrá exceder de los 10 metros, hasta los cuales sólo puede elevar el agua la presión atmosférica. La fuerza actuante sobre la bomba en este caso se ejerce igualmente al aspirar que al impeler. La elevación del émbolo tiene que dejar bajo sí el vacío, para que el agua del depósito suba hasta el cilindro, y el descenso del émbolo tiene que impulsarla á subir en el tubo *D* hasta una altura todavía mayor. Las bombas de mano suelen ser de este género, bombas aspirantes é impelentes, principalmente cuando la fuente de donde se quiere tomar el agua para cualquier objeto está muy honda, y también cuando la altura sobre el manantial hasta donde se quiere elevar el agua es superior á la del punto desde donde se actúa. En el primer caso, se tiene que colocar el cilindro ó cuerpo de bomba dentro de la cavidad del pozo, y tan hondo como sea preciso; la vara del émbolo desciende libremente desde la boca del pozo, donde es puesta en movimiento por un volante y una manivela.

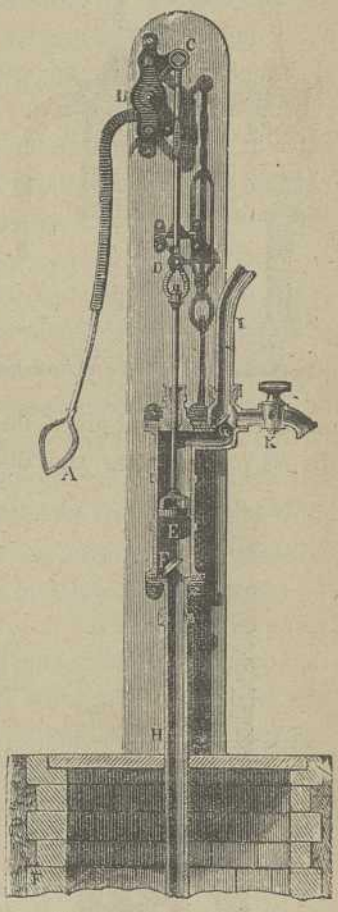


FIG. 172.—Bomba de mano.

La fig 172 muestra en qué forma se utiliza en la práctica una buena bomba construída de metal, para el servicio doméstico ó rural, que puede emplearse, bien como bomba aspirante simplemente, ó como aspirante impelente. La palanca *A B C* gira alrededor del eje *B;* al brazo menor de la palanca *C B*, se une, mediante una articulación, una varilla, *C D*, que igualmente se articula por su extremo inferior, *D*, con la varilla del émbolo. Cuando haciendo bajar el brazo de palanca *A B*, se eleva el émbolo *E*, se abren las dos válvulas *F* y *G* y sube una cierta cantidad de agua por el tubo *H* al cuerpo de bomba; mientras que al mismo tiempo el agua que ya estaba antes situada sobre el émbolo, sube con

éste y penetra á través de la válvula *G* en el tubo de elevación *I*. Si se hace descender el émbolo, se cierran las válvulas *F* y *G*, abriéndose la del émbolo y pasando á través de ésta última el agua que llenaba el cilindro, á quedar encima de dicho émbolo. Este tiene, pues, que vencer, al subir, á más del rozamiento, el peso de toda la columna de agua desde el nivel de ésta en el pozo, hasta el extremo superior del tubo de elevación; mientras que al descender sólo vence el rozamiento que se verifica en parte entre las partes sólidas y en parte entre el émbolo y el agua que atraviesa por su orificio y la válvula. Si el tubo de elevación se abriera con su válvula entre *E* y *F* en el cuerpo de bomba, como antes habíamos admitido, el émbolo *E* no tendría ninguna válvula, y aspiraría al subir é impelería al bajar; pero así, todo el trabajo se produce al levantar el émbolo, y por consiguiente al hacer bajar la palanca, lo cual no se ha pensado sin razón, pues la fuerza muscular se emplea más cómoda y ventajosamente de arriba abajo, que de abajo arriba. Cuando se abre la llave *K*, fluye el agua elevada por este tubo, y la bomba queda convertida en una bomba aspirante ordinaria, que se puede poner en marcha con mucha menos fuerza.

Si el desagüe del tubo de elevación sólo se encuentra á una altura, por ejemplo, de unos pocos metros sobre el extremo inferior, se puede conseguir el objeto con una simple bomba aspirante, sin más que hacer un poco mayor, en la proporción necesaria, el tubo de aspiración. La bomba va más pesada cuanto más alto es el desagüe, pues tiene que elevar una columna mayor de líquido. En general es fácil ver que el agua, una vez colocada encima del émbolo, se levanta exactamente del mismo modo que si se tirara de la cuerda de un pozal; de aquí que esta parte superior del tubo puede prolongarse cuanto se quiera, con tal de que, en lugar del mecanismo á mano, se aplique una máquina suficientemente potente. El límite práctico para tales aparatos está solo determinado por el peligro de que el tubo se abra á consecuencia de la enorme presión contra las paredes, ó que la vara se rompa con el peso de la columna que tiene que levantar el émbolo. Las bombas contruídas con un pequeño tubo de aspiración y tubos de elevación muy largos, así como las palancas por medio de las cuales se aplica la fuerza, se usan particularmente en la minería, y reciben el nombre de bombas elevadoras. Las de proporciones contrarias están indicadas cuando la máquina motriz se encuentra en lo alto, como, por ejemplo, en la boca de un pozo. En las bombas impelentes la aplicación de la fuerza debe verificarse en el punto más bajo. Sin embargo, con un solo aparato no hay materiales bastante resistentes para que pueda elevarse el agua á alturas de centenares de metros, cualquiera que sea la clase de bomba que se emplee, y en tales casos lo que se hace es montar diferentes bombas en puntos intermedios de la altura total, las cuales recogen respectivamente y elevan hasta el piso inmediato superior el líquido que la anterior va suministrando ó vaciando en un depósito.

En la bomba impelente se trata, sin duda alguna, de desalojar del cilindro una cierta cantidad del agua que ocupa su capacidad, reduciendo ésta por medio de una presión y obligando al líquido á salir por el único camino que se le ofrece, que es el tubo elevador. La forma del cuerpo sólido que por su avance en el interior del cilindro reduce su capacidad y desaloja al líquido, es, por tanto, indiferente. De aquí que no siempre se emplea el émbolo de la forma ordinaria, sino que, en lugar de éste, muchas veces se adapta un cilindro metálico largo, liso, macizo ó hueco, que casi llena el interior del cuerpo de bomba, aunque sin tocar á las paredes. La incomunicación del cuerpo de bomba con el exterior se obtiene entonces en la tapadera del mismo, por medio de un tapón especial, llamado caja de estopas, como se usan generalmente en los cilindros de las máquinas de vapor para dar paso á la varilla del émbolo. Este, llamado pistón ó émbolo inmersor de Mönch (fig 173) (en inglés, *plunger*; en alemán, *taucher*; en francés, *plongeur*), ofrece las ventajas de un menor rozamiento, y, por tanto, mayor facilidad en su movimiento, y un cierre más perfecto, que puede resistir hasta presiones de un grado muy considerable. En la mayoría de los casos el desagüe de las minas se verifica por medio de estas bombas de pistón, escalonadas en el pozo y combinadas con una bomba aspirante en el fondo de éste, comunicándose al sistema la fuerza del motor, situado en la boca del pozo, por medio de sólidas varas ó tirantes de madera ó hierro.

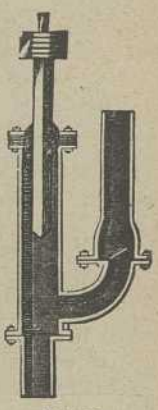


FIG. 173.
Bomba de pistón.

Las llamadas de saco ó vejiga (en francés *pompe* ó *pochette)* constituyen una modificación interesante de la bomba aspirante, en la que efectivamente juega una especie de saco de cuero bien flexible, sin fondo. Imagínese que los bordes de la abertura superior de esta caja de cuero se ajustan fuertemente, á prueba de agua, contra los bordes del émbolo, y los de la boca inferior contra el tubo de aspiración, de modo que la válvula de aspiración que se encuentra en el extremo superior de este tubo pueda funcionar luego dentro del espacio así limitado. El saco se desarrolla en toda su longitud cuando se levanta el émbolo; en la posición más alta de éste, queda aquél hinchado, y al descender se repliega como una vejiga, y, por tanto, disminuye su volumen interior. El contenido, primero aire, después agua, resulta así comprimido; y luego se produce nueva aspiración cuando el ascenso del émbolo determina otra dilatación del saco. Las válvulas y los medios de conducción del agua son exactamente los mismos que en la bomba ordinaria; pero ésta ofrece la ventaja de que se carece del rozamiento del émbolo.

El alternativo cambio de volumen del saco de cuero que produce aquí el enrarecimiento del aire, se obtiene en las llamadas bombas giratorias por un tubo de paredes flexibles, que por un extremo se sumerge en el agua, y el cual se

comprime á lo largo de su longitud, empujando el líquido ó aire contenido en su interior hacia el otro extremo. Para hacer aplicación de esta idea á la construcción de una bomba, se adapta el tubo de goma á la pared interna de una especie de tambor semicircular, y se le comprime por medio de unos topes salientes colocados á intervalos en la superficie de una rueda. La fig. 174 aclara esta disposición. Parecidas á las anteriores son también las llamadas bombas rotativas, cuya esencia consiste en que dentro de una caja de paredes sólidas se mueven unos cuerpos de tal forma y en modo tal, que á cada vuelta interrumpen dos veces la comunicación de la caja con el exterior, aspiran una cierta cantidad de líquido por un tubo inferior, y la lanzan por un tubo elevador. La fig. 175 explica este mecanismo; *q* es el tubo de aspiración, *ff* la caja en la que giran alrededor de sus respectivos árboles, y á frotamiento contra las paredes, dos émbolos en forma de un 8; *c* y *d*, *h* es el tubo de elevación. La forma de la caja es cilíndrica, con paredes planas por la parte anterior y posterior, á través de las cuales pasan los ejes en rotación de los émbolos. La impulsión se verifica por medio de una polea, que la transmite, mediante una correa, á uno de los dos árboles, el cual está unido al otro por medio de ruedas dentadas.

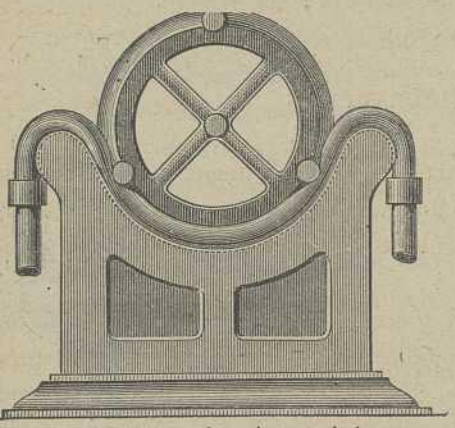


Fig. 174.—Bomba aspirante vesicular.

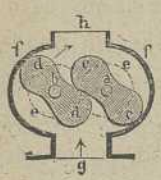


Fig. 175. Sección transversal de una bomba de cápsula.

En lugar de agua se puede transportar aire por un mecanismo de éste género, y en este caso la bomba queda convertida en ventilador.

Las bombas llamadas centrífugas, que suelen emplearse en obras provisionales de desecación, construcciones hidráulicas, etc., consisten esencialmente en una pequeña rueda de paletas ó de hélice, dispuesta de modo á poder girar con gran velocidad dentro de una caja circular de hierro fundido. Las primeras que se construyeron se colocaban horizontalmente bajo el agua, que penetraba en la caja por unas aberturas en torno del eje, y se elevaba á impulso de la rueda en un tubo vertical atornillado á la periferia de la caja. Mas como la rueda no sólo impele el agua hacia el tubo elevador, sino que crea un vacío en torno de su eje, aquella construcción primitiva pronto cedió el puesto á otra, según la cual la bomba, provista de un tubo aspirante, se monta verticalmente fuera del agua, imprimiéndose la rotación rápida á su rueda (700 á 800 vueltas por minuto), por medio de una correa y poleas en combinación con una máquina de vapor ú otro motor á propósito. Las nuevas bombas centrífugas, pues, son á la vez aspirantes é impelentes; pero

la práctica ha demostrado que sólo son útiles para pequeñas elevaciones, y la altura del tubo elevador rara vez excede de cinco á seis metros.

El llamado pulsómetro, que es un aparato elevador de agua que ha sido adoptado en estos últimos tiempos, difiere de las máquinas consideradas en este capítulo, pues su mecanismo característico es el de un aparato de vapor de agua, y será más oportuno su estudio, por consiguiente, al tratar de las máquinas de vapor.

EL ARIETE HIDRÁULICO

Así se llama, porque la fuerza que actúa en él es el choque que ejerce contra las paredes una masa de agua que súbitamente se detiene en su movimiento: constituye una de las máquinas elevadoras de agua más interesantes, y que encuentra aquí un lugar apropiado.

Montgolfier observó en el tubo de conducción de un establecimiento de baños, la enérgica reacción del agua, instantáneamente contenida en su carrera. Cuando cerraba la llave del tubo del cual fluía el líquido con rapidez, se conmovía y dejaba oir un ruido sordo el tubo conductor en toda su longitud, y un día saltó, bruscamente destruído, el aparato obturador. Montgolfier adaptó entonces antes de la llave un tubo vertical abierto por arriba, para ver hasta qué altura hacía subir en él al agua la fuerza del choque. La altura alcanzada fué bastante considerable, y utilizó dicha experiencia para la construcción de su interesante máquina, la cual puede ofrecer grandes ventajas para varios usos, allí donde las circunstancias permitan su establecimiento, es decir, donde se tenga una gran masa de agua corriente, cualquier riachuelo ó una esclusa de un estanque.

En su forma más sencilla, el ariete hidráulico consta de dos tubos y dos válvulas. La corriente de agua procedente de un depósito situado en alto, marcha por un tubo horizontal, *A B* (véase la fig. 176). El agua fluye por un orificio situado en la pared superior del tubo, bajo el cual hay una válvula pendiente, que es oprimida desde dentro contra el agujero y puede así interceptar el canal. Esta válvula es muy pesada, de modo que cae por sí sola y se descubre cuando el agua está en reposo; pero por efecto de la salida del agua á través del mismo orificio, adquiere ésta más y más velocidad dentro del conducto, y cuando dicha velocidad alcanza cierto grado, la presión que ejerce sobre la cara inferior de la válvula es suficiente, á pesar de su peso, para mantenerla adaptada contra el orificio, cerrándose este último y quedando detenida de pronto toda la masa líquida en movimiento. La presión que resulta de esto contra las paredes todas del tubo es más ó menos fuerte, según la altura de donde cae el agua y su masa; pero es siempre muy considerable, pues toda la fuerza viva que había adquirido dicha masa en virtud de su velocidad, tiene que manifestarse ahora en tal forma en el acto del choque. En virtud de esta presión se abre otra vál-

vula *b*, que juega en sentido contrario de *a* y si se adapta á su orificio el tubo elevador, el agua sube por éste. El agua así elevada no puede retroceder de nuevo por el cierre de la válvula del tubo de elevación, en virtud del peso de la columna líquida que se apoya sobre la misma. Después que ha cesado la acción del choque, se abre el orificio *a*, descendiendo la válvula correspondiente, bien en virtud de su propio peso, bien por el juego de un contrapeso. El agua comienza de nuevo á correr, fluye con rapidez creciente, y al cabo de cierto tiempo adquiere otra vez la velocidad suficiente para comunicar su movimiento á la válvula é interceptarse por sí misma el paso. El tubo de ele-

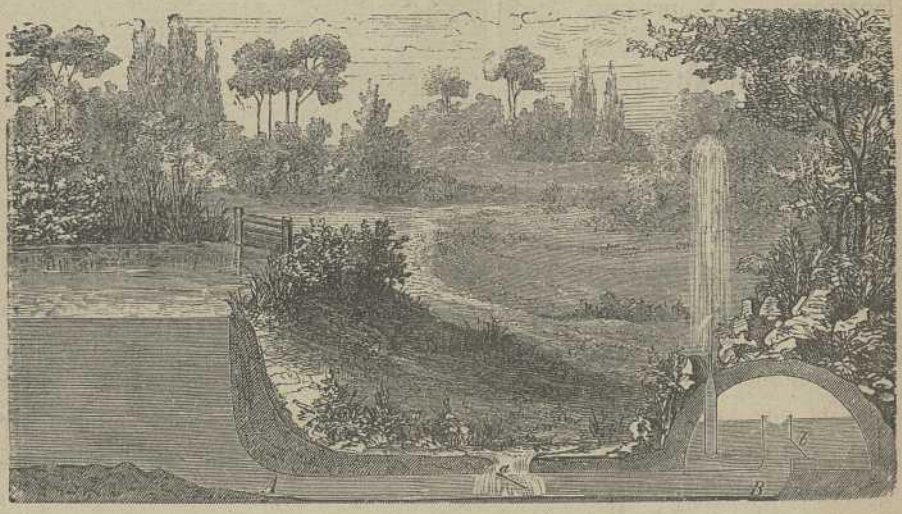


FIG. 176.—Aplicación del ariete hidráulico.

vación recibe una nueva cantidad de líquido, y de tal suerte funciona el aparato automáticamente por el abrirse y cerrarse alternativo de las válvulas. Si la altura del tubo de elevación fuera excesiva, llegaría, por último, á ser naturalmente tan pesada la columna de agua que gravita sobre la válvula, que ésta no podría ya abrirse por los choques sucesivos; hay, pues, que tomar el desagüe algo más abajo de la máxima altura de impulsión. Ahora esta altura de impulsión puede ser mucho más considerable que la del salto de agua de donde procede; pero, en cambio, en tal caso la cantidad de agua elevada es otro tanto menor con respecto á la cantidad total empleada para ello.

En nuestro grabado (fig. 176), la segunda válvula *(b)* no conduce directamente al tubo de elevación sino por medio de un depósito cerrado de aire, el cual se comprime por el ingreso del agua. De este modo, la presión se hace uniforme y la fuente fluye continuamente, á pesar de que las adiciones de agua se producen por intervalos de fuertes golpes de ariete. Montgolfier mismo añadió á su invento el depósito de aire, dándole por lo pronto la disposición represen-

tada en la fig. 177. El agua fluye aquí en el tubo *A*, procedente de un depósito colocado en lo alto á la derecha, sube en un corto tubo lateral cilíndrico y se derrama por sus bordes, pasando alrededor de un disco ó válvula *B*, cuyo descenso está limitado por un tope en forma de arco y cuya varilla puede correr libremente dentro de una armadura. Esta posición inferior de la válvula tiene lugar cuando el agua aún no corre, ó lo hace con muy poca velocidad. Cuando la corriente ha adquirido toda la plenitud de su fuerza, empuja hacia arriba á la válvula, la cual, aplicándose contra los bordes salientes del tubo lateral, impide completamente la salida del agua. El choque abre las válvulas *E E*, una porción de agua penetra á través de éstas en el recipiente que las rodea, y de aquí es impelida á subir por el tubo de elevación *G*. Sin el regulador de aire, la presión necesaria para abrir las válvulas por dentro tendría que ser mucho mayor, pues entonces el choque tendría que vencer directamente y sin intermedio elástico el peso de la columna de agua del tubo de elevación. Pero así comunicada parte de la fuerza de impulsión al aire, sigue obrando en los intervalos entre dos choques consecutivos, por compresión sobre la superficie del agua, y resulta de esto que la fuente es continua, en lugar de ser intermitente. Una disposición semejante se adopta también en las bombas, y del mismo modo la encontraremos nuevamente en las bombas de incendios; sirve lo mismo en uno que en otro caso como regulador del movimiento.

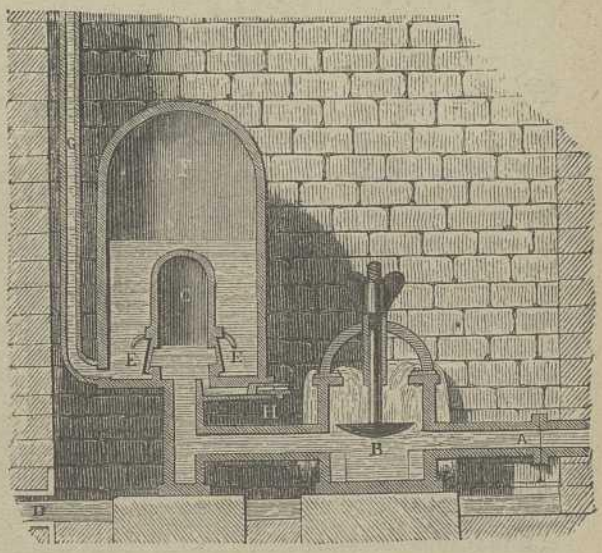


FIG. 177 —Ariete hidráulico de Montgolfier.

Pero el agua absorbe siempre una cierta cantidad del aire con el cual está en contacto, cantidad que es tanto mayor, cuanto mayor es la presión. De aquí que, en los casos antes citados, el aire se iría agotando sucesivamente en el depósito si no se cuidara de sustituir el que desaparece por nuevas cantidades. Esto es lo que se verifica de fuera á medio de un orificio horizontal *H*, provisto de una válvula que se abre por dentro. Ahora bien; en el momento inmediato al choque en que, por efecto del retroceso del agua hacia *A*, se produce en el interior un ligero enrarecimiento, el aire exterior ejerce presión sobre la válvula y penetra un poco de él en la caja *C*, mezclándose con el que ya existía allí. Resulta, pues, que á cada nuevo golpe de ariete entra por las válvulas *E* una cantidad

de aire correspondiente, la cual sube al espacio *F* para reemplazar la que ha sido arrastrada por el agua.

El ariete hidráulico resulta de aplicación especial y completamente práctica en los casos en que se dispone de grandes masas de agua, pero cuyo salto es muy pequeño, mientras que más bien fuera de desear elevar menos agua que la de que se dispone á mayor altura. Una máquina de este género, instalada en Senlis (Francia) leemos que eleva cada minuto 280 kilogramos de agua á una altura de 20 metros. Los gastos de instalación de estos arietes no son tan considerables que puedan explicar la poca generalización de tales aparatos, á pesar de las ventajas mencionadas. Más bien debemos buscar la causa de su escasa aplicación en la facilidad de los entorpecimientos y roturas que se producen en sus partes principales, particularmente en las válvulas, que á la larga no pueden resistir, aun construídas con los mayores cuidados, los choques que se suceden con una velocidad tal, que en un día llegan á abrirse y cerrarse aquéllas hasta 80.000 y más veces.

Lo que más sufre es la válvula del orificio de desagüe *B*, que hasta hace poco se aplicaba contra láminas metálicas inflexibles. Para remediar esta circunstancia, el ingeniero Foex, de Marsella, le ha dado una disposición tal, que no es comprimida contra armaduras metálicas, sino contra una especie de cojinetes hidráulicos, de suerte que al mismo tiempo que es empujada de abajo arriba, recibe una presión igual por encima. Por efecto de esta disposición, pueden ser las válvulas mucho más débiles de lo que antes se exigía, sin que corran el peligro de romperse con la misma facilidad; sin embargo, siempre deben tenerse duplicadas estas piezas en aparatos de tal índole, para proveer á una sustitución inmediata en casos eventuales de inutilización.

BOMBAS DE ABASTECIMIENTO

Desde que se perfeccionó la construcción de los motores de vapor, muchas ciudades han sido dotadas de poderosas bombas y canalizaciones, mediante las cuales se proveen de agua, no de la manera tradicional y mezquina, distribuyéndola en un par de fuentes públicas ó cosa parecida, sino con abundancia, á medida del deseo, en cada casa, cada cocina, y esto hasta en los pisos más altos, alimentando los establecimientos de baños y lavaderos, pudiéndose tomarla en todas las esquinas para acudir por medio de las bombas á combatir el fuego en los casos de incendio, á más de satisfacer con prontitud al riego de las calles, la limpieza de los alcantarillados y esclusas, etc. Las ciudades más ricas en agua son probablemente Roma y Nueva York; pero ambas satisfacen sus necesidades á beneficio de canales muy grandes, procedentes de montañas lejanas. En muchas otras ciudades, el terreno no permite una forma de abastecimiento seme-

jante, ó bien no se trata simplemente de conducir el agua á la ciudad, sino hasta los últimos pisos de las casas habitadas, y esto sólo se puede conseguir por medio de grandes sistemas de bombas. Las construcciones de este género que dan rendimientos más considerables en proporción al número de habitantes á que están destinadas, son las de Glasgow, donde se calcula, por término medio, para cada habitante, la cantidad de 21 pies cúbicos ingleses de agua diariamente. En Manchester también se dispone de 12,5 pies cúbicos; es decir, más de lo necesario, pues el gasto efectivo que se toma como tipo en el continente europeo al realizar estas obras de abastecimiento de agua, excede rara vez de 5 pies cúbicos por persona. Hasta la última decena de este siglo no han adquirido estas obras un desarrollo general, prestando á la humanidad toda su bienhechora influencia; pero desde hace poco tiempo se han llevado á cabo en Berlín, Francfort, Viena, Hamburgo, Lyon, Burdeos y otras muchas ciudades de todas las naciones, grandes obras de este género; otras poblaciones las tienen en proyecto, y hasta los Municipios más pequeños consideran como un deber el proveer á sus habitantes de agua abundante y de condiciones que la hagan potable.

Cuando el agua se toma de un río para el abastecimiento de una ciudad, aun cuando el río pase por la misma, se procura, sin embargo, que el punto en donde se toma esté más arriba de la ciudad, porque de este modo se obtiene más pura. Las instalaciones modernas se fundan generalmente en el empleo de aparatos de compresión, bien para elevar el agua á un edificio especial en forma de torre, para que desde allí parta hasta la ciudad por dentro de una tubería *ad hoc*, bien, que haya de elevarse el agua hasta una altura natural del terreno que se aprovecha para establecer allí el depósito, ó bien, por último, que, como sucede en Berlín, las bombas impelentes lancen directamente el agua en sentido horizontal.

DESECACIÓN DEL MAR DE HARLEM, EN HOLANDA

Una de las obras más grandiosas verificadas con auxilio de las bombas, es la llevada á cabo en tiempos modernos para agotar el llamado mar de Harlem, recobrando para habitación del hombre y para explotación agrícola, terrenos que habían sido invadidos poco á poco por las aguas. Es sabido que en aquellas comarcas entre las bocas del Rhin, cuyo suelo se ha formado por los sedimentos del río, constituyendo terrenos de aluvión, el nivel del suelo firme está un poco más elevado que el nivel medio del mar, y aun una gran parte del territorio holandés se halla á mayor profundidad que aquél. Los habitantes de este país están defendidos del poderoso elemento, en parte, por la barrera de dunas que el propio mar forma en sus orillas, y en parte por una muralla de diques de laboriosa construcción, y á cuya conservación se dedican los mayores cuidados, si bien esto sólo basta en tanto que no entran en juego fuerzas na-

turales extraordinarias, ó bien que casual ó intencionadamente vengan á abrirse brechas en los diques. La historia de Holanda abunda en acontecimientos de este género, que á veces han sido provocados voluntariamente en defensa contra enemigos invasores, y dando muestra de un patriotismo digno de admiración. Sin embargo, otras veces, y esto es más frecuente, el mar ha invadido aquel país á consecuencia de tempestades violentas que le cogían desprevenido y destruían vidas y haciendas, excitando la compasión del mundo entero. Por otra parte, esta lucha contra la naturaleza representa una tenacidad y perseverancia no interrumpida, y sólo en virtud de ellas ha podido sostener su población la vida y la agricultura en aquel suelo fértil en condiciones que parecían capaces de reducir á la impotencia los esfuerzos más poderosos.

Sería ir demasiado lejos el pretender hacer á nuestros lectores una descripción detallada de las condiciones físicas de aquel país, como se exigiría en primer término si fuera nuestro ánimo estudiar con detenimiento esa lucha colosal que la Holanda sostiene diariamente con el mar. En tal caso, tendríamos que admirar aquel sistema de canalización tan sabiamente establecido, aquel conjunto de puentes, diques, esclusas, etc., únicamente mediante los cuales ha podido hacerse allí posible la existencia del hombre.

Según queda ya dicho, las diferentes regiones de Holanda no están á una misma altura sobre el nivel del mar, y en particular ciertos parajes de donde se ha extraído cantidades considerables de turba, los llamados *polder*, han venido á quedar por esta causa más bajos que aquel nivel, quedando sometidos, por tanto, á los mayores peligros durante las inundaciones. Para recoger el agua que con exceso se acumula en estos puntos, bien por filtraciones, bien por las lluvias, ó á consecuencia de una inundación en la época de las altas mareas, hay establecido en dichos territorios un sistema de canales sumamente ramificado, que se presta muy bien á la navegación, y á lo largo de los cuales hay instalados pequeños molinos de viento, que por medio de bombas ó tornillos hidráulicos verifican el encauzamiento de las aguas. Las ramas parciales de este sistema de canales comunican entre sí por medio de esclusas, y en su desembocadura en el mar existen también, abriéndose durante la baja marea, cuando el nivel del agua en los canales ha alcanzado demasiada altura y permaneciendo cerradas durante el flujo ó alta marea. Pero á pesar de todas estas minuciosas precauciones, que datan de siglos atrás, en ciertos puntos puede más el mar; y como quiera que en algunas épocas se llegó hasta proteger sus irrupciones, inspirándose en móviles mezquinos, cual eran el placer de que los daños alcanzaran á vecinos odiados, sucedió, que vastos territorios en que había antes florecido una vida próspera, fueron conquistados sucesivamente por las olas. De esta suerte fué creciendo en tiempos históricos hasta su magnitud actual el Zuidersee (Mar del Sur), introduciéndose el mar tierra adentro durante los siglos XIII y XIV. Los mapas adjuntos (figuras 178 y 179) muestran cómo fué

cambiando de superficie, en el transcurso de un solo siglo, la parte de Holanda. llamada *mar de Harlem*. Mucho más reducido en un principio, comprendía el mar de Harlem en el año 1530 escasamente una extensión de 5.600 hectáreas, en el año 1591 llegaba ya al doble y en 1648 había crecido hasta 14.196 hectáreas.

Entonces se hicieron ya proposiciones por parte del constructor de molinos Juan Adrian Leeghwater para arrojar el agua al golfo de la Y, canalizándolo previamente por medio de 160 molinos de viento. Sin embargo de que la necesidad era cada vez más apremiante, no prosperó por entonces el proyecto, porque era demasiado vasto con relación á las circunstancias de la época. Se abandonó, pues, su realización, y en 1740 cubría el mar nada menos que 16.575 hectáreas. Cruquius entonces, y más tarde el Barón Lynden van Hemmen, en el año 1820 de este siglo, hicieron nuevas excitaciones en el mismo sentido, ó sea para el encauzamiento de las aguas que se proponían verificar: el primero con el auxilio de 112 molinos de viento, el segundo mediante 18 grandes máquinas movidas por el vapor.

FIG. 178.—Extensión del mar de Harlem en el año 1530.

FIG. 179.—Extensión del mar de Harlem en el año 1648

Los trabajos sumamente penosos de canalización que ya habían sido realizados en otros puntos hacia el Norte del golfo de la Y, cuya prosecución durante siglos enteros había sido coronada por un éxito feliz, puesto que reconquistaron por la desecación los territorios que revela la comparación de los mapas correspondientes á 1852 y 1530 (figs. 178 á 180) parecía natural que estimularan á desecar este mar de Harlem como exigían cada vez más imperiosamente los intereses del país. Pero

tampoco sirvió de nada este ejemplo, y dicho mar seguía ensanchándose hasta ocupar por el año 1830 una superficie de 17.980 hectáreas.

En esto ocurrieron por Noviembre y Diciembre de 1836 dos tempestades horribles. La una, procedente del Occidente, arrojó el mar sobre las costas el 29 de Noviembre, haciéndole llegar hasta los muros de Amsterdam é inundando 3.982 hectáreas de terreno por lo menos; la otra, procedente del Oriente, lanzó las aguas el día de Navidad hacia Leydem, sobre una extensión de 7.400 hectáreas. Los fríos que siguieron á ambas congelaron el agua, aumentando así los daños, que fueron inmensos.

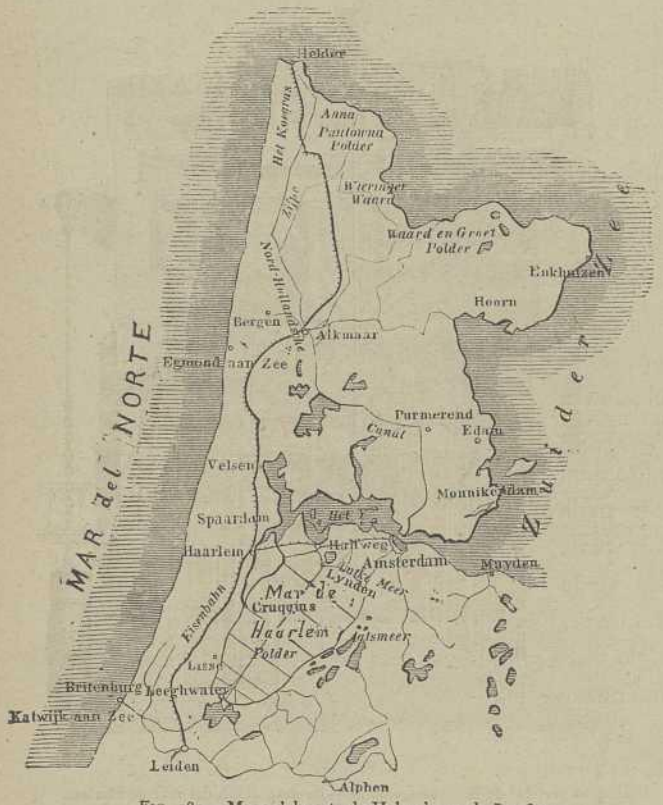


FIG. 180 —Mapa del norte de Holanda en el año 1852.

Entonces, por fin, en el año 1837 se designó una comisión para que hiciera una prueba de los procedimientos ya propuestos de canalización, y trazara, en virtud de sus resultados, un plan definitivo. En 1840 comenzaron los trabajos por el levantamiento de un dique circular y la construcción de un canal. Terminados éstos al cabo de ocho años, pudieron entonces comenzar su labor las tres colosales máquinas de vapor, que se habían construído entretanto, y que, en honor de los tres principales apóstoles de esta empresa, habían sido bautizada con los nombres *Leeghwater*, *Cruquius* y *Lynden*. Por orden cronológico fueron instaladas *Leeghwater* en Junio de 1848, y *Cruquius* y *Lynden* en Abril de 1849, trabajando después con tanto esfuerzo y tanta constancia, que en treinta y nueve meses recogieron sobre 830 millones de metros cúbicos, ó sea más de 8.000 millones de quintales de agua, quedando seco y laborable con la pala y la azada lo que era antes el fondo de un mar.

Tiempo es ya de que dirijamos nuestra atención hacia la disposición de las máquinas con las cuales se llevó á feliz término esta obra tan grandiosa y de resultados tan beneficiosos para Holanda entera.

Las tres citadas máquinas de vapor son de las ideadas por los ingenieros ingleses Deam y Gibbs y construídas en Cornwallis, de donde toman su nombre, pues los talleres de construcción de máquinas holandeses pedían un precio tan enorme, que hubo de renunciarse á proteger con este encargo la industria nacional. Unicamente fueron construídas en Amsterdam las calderas y los balancines. Cada máquina estaba dispuesta para una fuerza de 500 caballos, pero de ordinario trabajaba sólo con 350. La fig. 181 da idea de su disposición interior; más adelante, en el capítulo de las máquinas de vapor, estudiaremos con detenimiento el principio en que se fundan. El cuerpo de bomba y el émbolo están constituídos de un modo especial. El primero consta de un espacio interior cilíndrico *A*, y de otro espacio anular que le circunda y está cerrada exteriormente por la pared cilíndrica *C*. Ambos espacios comunican entre sí por bajo de las paredes. El cilindro interior comunica, mediante el espacio anular, por la parte superior izquierda con el tubo de vapor *F*, por el cual entra ó no el vapor, según la posición de la válvula *N*. Por el otro lado existe comunicación entre la parte superior del cilindro y el condensador *M* mediante una válvula *d*, que se gobierna por medio de la palanca *b* y el tirante *U V*. La parte inferior del espacio anular envolvente del cuerpo de bomba comunica siempre libremente con el condensador.

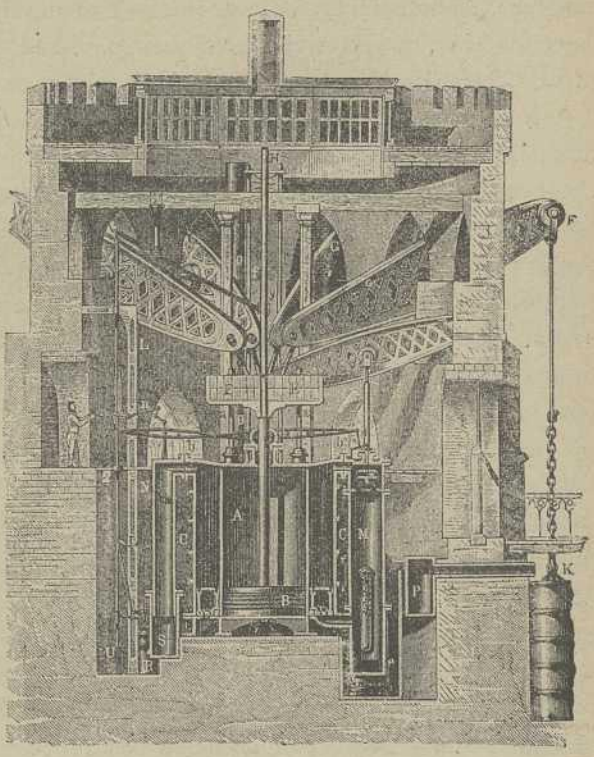


FIG. 181.
Sección vertical de las grandes bombas de desecación del mar de Harlem.

El émbolo tiene una forma correspondiente á la del cilindro ó cuerpo de bomba, y consta también de dos partes, un cuerpo circular interno *B*, y la porción anular *D D*. De ambas partes salen varas que atraviesan la tapadera del cilindro, y de las cuales cuatro pertenecen á la porción anular y una sola al cuerpo central del émbolo. Todos se reunen en la pieza de fundición de hierro *E E*, que es muy pesada, pues aparte del plomo con que se rellena, tiene ya un peso de

18.000 kilogramos. Para evitar desviaciones laterales de esta densa masa, parten de ella varillas directrices *f f*, que se ven sobresalir en *H* por entre las vigas del techo. Al contrapeso *E E* se unen mediante varillas de hierro *d* los balancines *G G* que giran alrededor de su eje, y de cuyos extremos exteriores, que sobresalen de las paredes del edificio, penden las varillas de los émbolos de las bombas hidráulicas.

En nuestro dibujo está representado el émbolo de la máquina en la posición más baja. Ahora, el juego de esta última, es como sigue: por medio de un tubo de conducción, que no es visible en nuestro grabado, pero que podemos concebir situado detrás de *N*, entra el vapor de la caldera al cilindro por debajo del émbolo *B* después que mediante una palanca *a*, se abre la válvula colocada en el tubo; al mismo tiempo la parte superior del cilindro está en comunicación con el condensador *M*; de modo que no se opone resistencia alguna á la expansión del vapor que penetra por debajo del émbolo. Este es, pues, levantado junto con la pieza *E E*; los balancines oscilan descendiendo su extremo exterior *F* y comprimiendo mediante las varas correspondientes á los émbolos que penetran en las bombas hidráulicas *K*. Estos émbolos no consisten en otra cosa que en una doble válvula de madera, cuyas mitades giran alrededor de un eje horizontal análogamente á lo representado en la figura 167. Las válvulas se abren al descender el émbolo formando un ángulo de unos de 45 grados. Al elevarse la varilla, se cierra la válvula del émbolo y éste levanta consigo al agua que había pasado encima de él mientras descendía, viniendo á verterla en el canal, cuyo nivel, hasta el cual se eleva el líquido, puede estar por encima del nivel del mar de donde el agua se extrae. Entretanto, cuando el émbolo *B* llega al punto superior de su carrera, se cierra la válvula, que establecía la comunicación entre la parte superior del cuerpo de bomba y el condensador, mientras que por otro lado se abre la válvula *N*, de suerte que el vapor entra ahora por encima del émbolo. También existe comunicación con la caldera por la parte inferior del cilindro interno por *S* bajo el émbolo *B*, de suerte que éste tiene ahora vapor á igual tensión por ambos lados; pero en el espacio anular, que siempre comunica por debajo con el condensador, la presión sobre el émbolo es mayor por arriba, á consecuencia de la entrada del vapor, y á esta presión se agrega el peso de la pieza *E E* que obliga á descender consigo el extremo interior de los balancines y levanta, por tanto, al agua colocada encima del émbolo valvular de la bomba hidráulica. Detrás de *M*, en nuestra figura se halla la máquina neumática por medio de la cual se enrarece el interior del condensador. Comunica con él mediante la válvula *e* y es puesta en juego por el pequeño balancín especial *T*, cuyo extremo de la derecha oscila alrededor de un punto fijo de la pared.

Cada golpe de émbolo de este sistema de bombas extrae 66 metros cúbicos de agua, con un peso de 66.000 kilogramos. Para mayor seguridad de que toda esta masa de agua penetra efectivamente en los cuerpos de bomba, se agrega un

mecanismo especial, llamado *catarata*, del cual sólo es visible en nuestra figura una pequeña parte, y por lo mismo trataremos de explicar con la mayor claridad posible su manera de funcionar. Su objeto no es otro que retener el émbolo *B* con el contrapeso de hierro durante un corto tiempo en el punto más alto de su carrera, con objeto de que el agua tenga durante ésta tiempo bastante para penetrar y llenar completamente el cuerpo de bomba. Se obtiene esta retención por un medio hidráulico. La masa *E E* lleva unidos á sí misma dos émbolos, uno por delante y otro por detrás, de modo que en nuestro dibujo, el primero estaría á la parte del observador, y el segundo á la otra parte, y no pueden, por consiguiente, aparecer representados en la sección transversal; basta, sin embargo, saber que los cilindros en que se mueven estos émbolos á frotamiento con las paredes, están en comunicacion con el depósito un agua mediante una válvula en *R*. A través de ésta, penetra en los cilindros durante el ascenso de la pieza *E* toda el agua necesaria para llenarles completamente por debajo del émbolo; y en el momento en que *B* y *E* han adquirido su posición más alta, se cierra la válvula *R*, y el agua encerrada en los cilindros sostiene en alto, en virtud de su escasa compresibilidad y por el intermedio de las varillas de los émbolos, todo el peso elevado por la fuerza del vapor, hasta tanto que mediante la válvula *R* se da salida de nuevo al agua. El juego de este mecanismo se dirige por medio del tirante *U V* cuyo punto de unión *p*, cambiando con la varilla del émbolo *H*, se puede reglar la altura de elevación para cada golpe de pistón. La máquina Leeghwater, salvo pequeñas modificaciones, está dispuesta exactamente lo mismo que las otras dos descritas en las anteriores líneas, y extraía por medio de once bombas hidráulicas la misma cantidad de agua que las Cruquius y Lynden por medio de ocho. Por el trabajo de las tres reunidas se consiguió al cabo recuperar el antiguo suelo, cubierto por el mar durante siglos enteros; en él quedaron al descubierto caminos y calles, cimientos de casas, de puentes, etc.; pero ¡cosa notable! no se encontraron restos humanos, ó al menos los encontrados fueron en cantidad insignificante.

Los gastos de la desecación ascendieron en total á unos 14 millones de florines holandeses (próximamente 31 ½ millones de pesetas), si bien de esta suma hay que descontar las dos terceras partes que fueron recobradas por la venta de los terrenos, restando, por consiguiente, una cantidad relativamente pequeña, que, por lo demás, estaba sobradamente compensada con las grandes ventajas políticas y de intereses materiales que el aumento de una superficie tan considerable y de terreno tan fértil, había de reportar á la nación entera. Después que se tocaron los resultados obtenidos en esta empresa, los cuales excedían con mucho á las esperanzas concebidas en un principio, los holandeses adquirieron grandes alientos para emprender otras análogas, llegando hasta trazar el plan para dejar seco por el mismo método el mar del Sur (*Zuidersee*), mucho más extenso que el de Harlem. Se inició este proyecto en 1866, prestándole desde

luego su poderoso concurso el ministro Hemskerk, á cuya extraordinaria actividad se debe tal vez, actualmente, el que no haya sido ya abandonado por completo. Su coste tendría que ser tan enorme (según los cálculos, de unos 180 millones de florines, ó sea unos 405 millones de pesetas), que sólo el Estado podría llevar á cabo esta empresa.

La superficie total de terreno que vendría con esto á quedar seca mide 195.000 hectáreas, de las cuales 176.000, por lo menos, debían tener las mejores condiciones para ser destinadas á la agricultura, según ha hecho reconocer el sondaje. El suelo de Holanda quedaría acrecentado en la décimoctava parte de su extensión actual, viniendo á ocupar por su magnitud la nueva provincia Zuidersee el décimo lugar con respecto á las doce provincias actuales.

La cantidad de agua que se tendría que extraer asciende, según cálculos, á 5.850 millones de metros cúbicos; y suponiendo que se empleara una fuerza de 9.440 caballos que permitiera extraer por medio de las máquinas más perfeccionadas 4.500 metros cúbicos por minuto, ó sean próximamente 6 ½ millones por día, se invertirían, sin embargo, dos años y ocho meses, por lo menos, en los trabajos de desecación propiamente dichos, teniendo que transcurrir todavía un espacio de tiempo mucho más considerable para completar la obra.

BOMBAS DE INCENDIOS

Las bombas de incendios son una combinacion de bombas aspirantes é impelentes, dirigidas al objeto especial de obtener, como en los surtidores de las fuentes, un chorro de agua que en el seno del aire libre pueda ascender á una altura lo mayor posible ó recorrer una distancia considerable. El agua no se deja comprimir casi nada. Así, cuando una presión actúa sobre ella, no puede ceder á su acción sino saliendo de la vasija en que está contenida. En las bombas de mano ordinarias, encontramos el ejemplo más sencillo de esta propiedad. En cuanto cesa la presión, cesa también naturalmente el surtidor, como sucede en las bombas impelentes, en que el impulso se produce en forma de choques intermitentes.

Si introducimos en un frasco bien cerrado y á medio llenar de agua un tubo de vidrio terminado exteriormente en punta capilar y de modo que el extremo inferior se sumerja en el líquido (fig. 181), al soplar por medio de otro tubo corto, se comprime el aire situado encima del agua, y ésta sale por el extremo exterior del primer tubo en forma de chorro continuo, que adquiere gradualmente su velocidad máxima y cesa también poco á poco cuando se deja de soplar. Tales frascos (frascos lavadores, ó *pisettes* de los franceses), se utilizan en los laboratorios químicos por su tenue surtidor, para lavar precipitados y para otros fines análogos.

En la fuente de Herón (fig. 183), se hace también aplicación de esta propiedad para obtener un surtidor continuo. Un tubo doblado *b* penetra en sus extremos á frotamiento por los tapones de dos frascos, de los cuales el superior contiene agua, y en ella se sumerje el extremo inferior de un segundo tubo *c*, que termina por fuera en punta delgada. Si se vierte ahora agua por el tubo de embudo *a*, al caer ésta comprime todo el aire contenido en ambos frascos y en el tubo *b*, impulsando al líquido á subir por el tubo *c* y salir en forma de surtidor, que se eleva en el aire hasta una altura tanto mayor, cuanto más alta es la columna de agua en el tubo *a*. Vemos, pues, aquí del mismo modo que en el ariete hidráulico, actuar al aire encerrado como un intermedio elástico para la transmisión de las presiones, cuya acción encontraremos de nuevo frecuentemente en el mecanismo de las bombas de incendio.

FIG. 182.
Frasco lavador.

Si bien está poco comprobado todo lo que se refiere á la historia de estos aparatos, parece fuera de duda que antes de la era cristiana se usaban ya máquinas que lanzaban el agua á los edificios presa de las llamas. Ktesibios construyó probablemente una bomba hidráulica con regulador de aire, y el aparato inventado por Herón de Alejandría (que algunos opinan era hijo de Ktesibios) estaba provisto de dos émbolos de metal y un tubo para dirigir el agua, y por tanto, tenía esencialmente la misma disposición de nuestras bombas actuales de incendios; sólo que, como tantas otras cosas, quedó perdida y olvidada en el transcurso de los tiempos, siendo preciso que fuera más tarde inventada de nuevo.

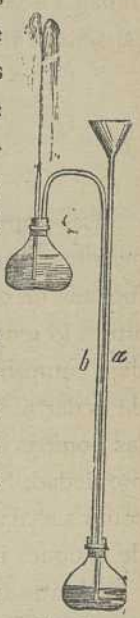


FIG. 183.
Fuente de Herón.

Las primeras bombas portátiles (con ruedas) se cree que hayan sido construídas en Augsburgo en 1518; hasta entonces sólo se usaban bombas de mano. La adición del tubo de cuero tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XVII en Holanda, y hacia la misma época en Francia se agregó el regulador de aire; después en los tiempos modernos no ha recibido ya ninguna otra modificación esencial.

La mayor parte de estos aparatos tienen dos cuerpos de bomba, cuyos émbolos se mueven mediante una especie de balancín; de suerte que mientras el uno desciende, asciende el otro. Estos cuerpos de bomba están colocados en el vehículo para su transporte, bien uno tras de otro en la dirección del eje del carro, bien uno al lado del otro, transversalmente próximos al eje de las ruedas posteriores. Según la disposición adoptada, cambia el aspecto exterior; pues en el primer caso el balancín está en la dirección del eje del carro, y en el segundo es transversal al mismo. La primera forma es más conveniente para que pueda el aparato atravesar estrechas callejuelas, y se adopta principalmente en Alemania; la segunda tiene la ventaja

de que pueden trabajar en ella á un mismo tiempo mayor número de personas, y es más usual en Inglaterra. Nuestro dibujo de la fig. 184 representa en corte transversal una bomba de incendios de construcción moderna caracterizada por estar agrupados en corto trecho ambos cuerpos de bomba y el regulador de aire.

Después de lo dicho, apenas si hay ya necesidad de más para hacer comprender el juego de la bomba de incendios. Dentro de sus cilindros metálicos P y P', ordinariamente de latón, y cuyas paredes interiores están cuidadosamente pulimentadas, formando una superficie cilíndrica bien regular, suben y bajan alternativamente los dos émbolos representados en la figura; por medio de láminas de cuero ó de cáñamo se obtiene un cierre hermético. Como quiera que las varillas de los émbolos articuladas en el balancín no podrían conservar exactamente la posición vertical en su movimiento, para evitar su flexión se articulan también con el émbolo, habiéndose propuesto una multitud de disposiciones para guiar á éste; en nuestra figura se ve una varilla vertical especial que sirve de guía. Las válvulas y su juego nos son ya conocidas. Las de aspiración permiten extraer el agua del depósito en el cual está sumergida la bomba misma, y cuyo depósito, como es natural, debe estar siempre lleno para que funcionen las bombas. Introducen éstas el agua en el recipiente común, situado entre ambas, especie de caja de aire de paredes de cobre que recibe sin cesar nuevas porciones de líquido de uno ú otro lado. Así se comprime continuamente el aire encerrado en su interior, el cual reacciona á su vez, ejerciendo una presión continua sobre la superficie del agua que ocupa su parte inferior. La fuerza se acumula, por consiguiente, en este aire comprimido, cuya elasticidad actúa como reguladora, haciendo insensibles los momentos llamados puntos muertos, en los cuales las bombas no introducen líquido en el depósito, y que tienen lugar al terminar cada oscilación del balancín. Del interior del depósito central parte el tubo elevador R que se abre por bajo del nivel del agua. Fuera del depósito está doblado y provisto de una armadura para atornillar la manga de cuero, con la cual se conduce el chorro al punto en que se desea. El tubo elevador puede faltar, siendo sustituído por un tubo lateral corto con llave, que se abre en la parte inferior de la pared cerca del fondo, y al cual se atorni-

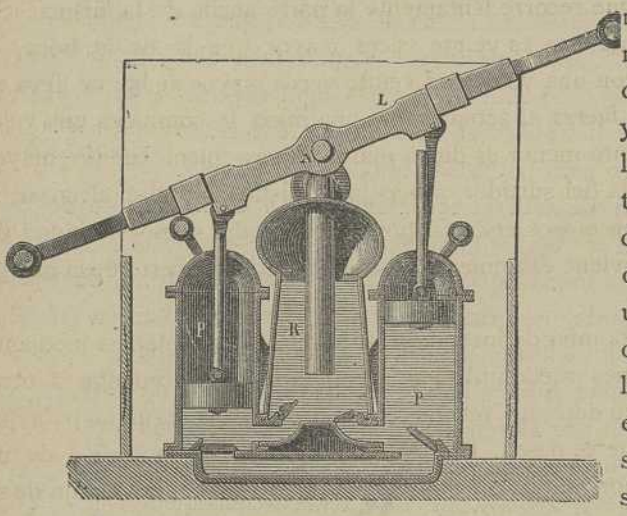


FIG. 184.—Sección vertical de una bomba de incendios.

lla directamente la manga. A veces también hay un tubo acodado rotatorio que se usa sin manga, cuando es posible colocar la bomba bastante próxima al fuego para que arroje directamente sobre él el chorro de agua. Las mangas de las bombas de incendios van estrechando desde su base, de suerte que la boca es considerablemente más estrecha que el tubo elevador. El agua va adquiriendo así una velocidad creciente, á medida que es más estrecho el camino que se ofrece á su paso, adquiriendo, por último, la fuerza de impulsión que muestra al salir de la manga, mientras que recorre lentamente la parte ancha de la misma. Si, por ejemplo, la sección de ésta es veinte veces mayor que la de la boca, el chorro sale al exterior con una velocidad veinte veces mayor de la que lleva en la base, pues una cierta fuerza al actuar sobre una masa le comunica una velocidad tanto mayor, cuanto menor es dicha masa. Ahora bien: cuanto mayor sea la velocidad de salida del surtidor, á más larga distancia podrá alcanzar; si bien actuará también con menos eficacia, porque contendrá menor cantidad de agua, por lo cual no conviene extremar la disminución de diámetro de la manga en su boca.

También á veces la bomba de incendios aspira el agua á distancia mediante una manga, y en ocasiones puede utilizarse una bomba para alimentar á otra, enviando el agua desde su depósito, mediante una manga, á la segunda, para que ésta la lance al punto que se desea. También hay bombas de incendios de un solo cuerpo de bomba horizontal con doble juego, que ofrecen la ventaja de su mayor sencillez, y pueden fácilmente calentarse puestas en posición horizontal por medio de brasas, impidiendo así la congelación del agua en los climas donde el frío es muy considerable.

Hace algunos años dió bastante que hablar el anuncio de una bomba de incendios de émbolo rotatorio de Repsold, pero no encontró aceptación. Consistía en un cuerpo de bomba en forma de tonel movible sobre un caballete. En sus extremos hay dos manubrios que hacen girar en el interior á dos émbolos especiales dispuestos como dos toscas ruedas profundamente dentadas que engranan entre sí. El principio de este aparato es el mismo que el de las bombas rotatorias aspirante-impelentes. Los dientes cogen entre sí una cierta cantidad de agua, obligándola á penetrar en la manga, originando por la otra parte una aspiración que determina el ingreso en el cuerpo de bomba de nuevas porciones de líquido, procedentes de un conducto adecuado. El inconveniente de estas máquinas está en la dificultad de establecer un cierre perfecto entre el émbolo y las paredes del cuerpo de bomba, sin que perjudique notablemente á la movilidad del primero; de aquí que consumen mucha fuerza por los rozamientos, lo cual no sería tal vez tan gran obstáculo aplicando el vapor como fuerza motriz.

Este cierre del émbolo, condición la más importante para el juego del aparato, es muy difícil conservar en buen estado, porque permanece seco la mayor parte del tiempo; de aquí que se ha empleado con éxito un sistema introducido

en uso primeramente en las bombas hidráulicas. El émbolo tiene alrededor de su pared lateral una hendidura, en la que encaja una especie de collar de cuero. Por detrás de éste se abren pequeños canales que atraviesan el émbolo hasta su cara inferior; el agua que penetra por ellos, mantiene húmeda y tensa la superficie saliente del cuero.

Algunos fabricantes de bombas de incendios obtienen un cierre perfecto sin intermedio de ninguna especie, simplemente por la construcción de émbolos metálicos macizos, que ajustan exactamente á frotamiento contra las paredes del cilindro, pero por este método es muy fácil que la arena ó polvillo destruya la regularidad de las superficies.

Las bombas de incendios del cuerpo de bomberos de París tienen una forma muy cómoda, que ha sido aceptada también en Alemania. En ella parece que se ha alcanzado el más alto grado posible de facilidad en su manejo. Son de mecanismo muy sencillo, se transportan sobre un carro de dos ruedas que puede ser arrastrado por tres ó cuatro hombres, pero para funcionar se desmontan, colocándolas sobre el suelo y pudiendo adquirir cualquiera posición con respecto á dos cubos que forman su parte inferior.

Las bombas de incendio de vapor se construyeron primeramente en América, pero hasta estos últimos tiempos no han tenido verdadera aceptación, salvo en las grandes ciudades. Arrojan grandes cantidades de agua, de modo que realmente no son utilizables más que donde hay agua corriente; pero donde esto sucede son muy eficaces, pues su construcción se ha perfeccionado mucho en punto á ligereza y solidez y solo se tarda de ocho á diez minutos en levantar el vapor suficiente para que funcionen. Sin embargo, su adquisición es costosa, y con el uso ocurren en ellas con facilidad, por su complicado mecanismo, entorpecimientos que las inutilizan. Por lo demás se puede concebir la bomba de incendios de vapor como una combinación de una locomóvil y una bomba ordinaria. El mecanismo del bombeo no se diferencia esencialmente del de las bombas ordinarias sino en que al trabajo corporal sustituye aquí la fuerza motriz del vapor. En Nueva York, cuyas calles están dotadas del alumbrado eléctrico, se aplica ya la corriente de éste para mover las bombas de incendio desde el farol más próximo.

LA PRENSA HIDRÁULICA

Como complemento á las anteriores líneas, vamos á considerar todavía un aparato interesante, que si bien por su objeto nada tiene de común con las bombas descritas, en cambio por su teoría está enlazado á ellas íntimamente. La prensa hidráulica no aspira ni arroja agua, sino que ésta forma parte integrante de su propio mecanismo, algo así como una palanca. Mirando esta máquina con más detenimiento, se ve que su juego es inverso al de la bomba de incen

dios de mano; mientras que en ésta penetra el émbolo lentamente y en virtud de un esfuerzo considerable para comunicar al pequeño surtidor de agua que sale por la boca de la manga una velocidad relativamente mucho mayor, en la prensa hidráulica, por el contrario, al actuar suavemente un émbolo delgado sobre una pequeña superficie de agua recorriendo una longitud bastante grande, transmite á otro émbolo de gran superficie, y colocado en un cilindro ancho un movimiento de ascensión mucho más lento, pero también más potente; es decir, ejerciendo una fuerza mayor que la comunicada á aquél. Las figuras 185 y 186 pueden dar una idea del principio en que se funda la prensa hidráulica (prensa de Bramah del nombre de su inventor), cuyo principio es una consecuencia de las propiedades de los líquidos. El émbolo tiene una sección mucho menor que el tubo elevador (supongamos que sea sólo la cuarta parte); cuando se introduce aquél un metro, sale del cilindro una cierta cantidad de agua que se ve obligada á penetrar en el tubo elevador, haciendo subir el nivel en éste en un cuarto de metro. Ahora bien: si hay aquí un pistón que se oponga á la ascensión del nivel, recibirá del líquido una presión que será sobre cada decímetro cuadrado, por ejemplo, tan grande como la que se ejerce directamente sobre cada decímetro cuadrado del émbolo. Teniendo, pues, éste una superficie de un decímetro cuadrado y estando cargado con un peso de cinco kilogramos, y siendo la superficie del pistón igual á cuatro decímetros cuadrados, según la hipótesis admitida, la presión de abajo arriba que recibirá el último será igual á veinte kilogramos; por más que, en cambio, el camino recorrido por el mismo será sólo la cuarta parte del recorrido por el émbolo en el mismo tiempo, manifestándose aquí, como en todas las máquinas hidráulicas, aquella relación fundamental entre

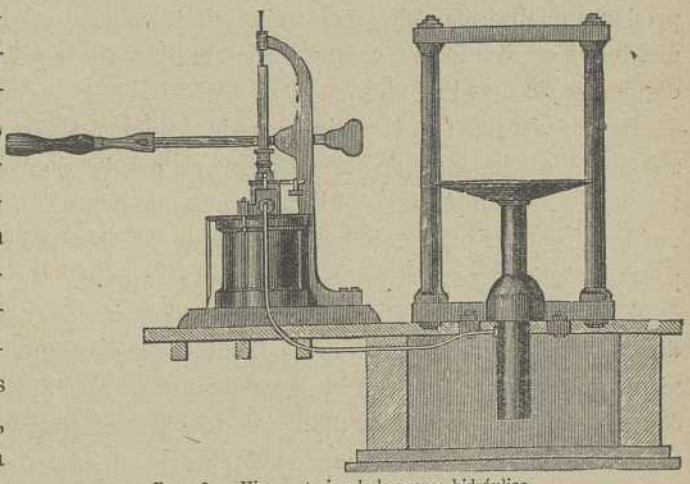


FIG. 185.—Vista anterior de la prensa hidráulica

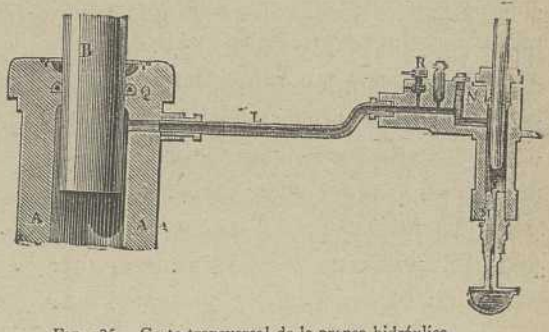


FIG. 186.—Corte transversal de la prensa hidráulica.

la resistencia vencida y el camino recorrido que demostramos primeramente en la palanca. Dando, pues, valores correspondientes á los diámetros de ambos émbolos, se pueden así verificar presiones que parecerán inverosímiles á los profanos en esta ciencia. Y sin embargo, repetiremos una vez más que no es que se produzca una creación de fuerza, sino simplemente que la fuerza ejercida se distribuye en otra forma, como sucede también en la palanca, concentrándose en un espacio más limitado.

Hemos visto que en las máquinas de columna de agua, la presión de ésta sobre un émbolo actuando alternativamente por debajo ó por encima mediante un juego de válvulas, puede utilizarse ventajosamente para poner en juego grandes bombas. Las prensas hidráulicas actúan también por la transmisión de una presión continua, pero siempre en un mismo sentido.

Las figuras 185 y 186 dan la una la vista anterior y la otra la sección detallada de una prensa hidráulica. Tanto en la una como en la otra, el mecanismo consiste simplemente en que el pequeño émbolo inmersor *I* inyecta agua ó aceite en un cilindro metálico *A*, de paredes resistentes, impeliendo, por lo tanto, hacia arriba lentamente al émbolo de gran superficie *B*. El interior del cuerpo de bomba en el cual se mueve el émbolo *I*, tiene dos válvulas como las bombas aspirante-impelentes; la una sobre el tubo de aspiración *M*, que se abre hacia adentro cuando el émbolo sube; la otra *N*, en el tubo de conducción *L*, que se abre hacia fuera cuando el émbolo desciende, comprimiendo al agua antes aspirada. Esta última se cierra por la presión que existe en el interior del cilindro *A* cuando el ascenso del émbolo *I* comienza á determinar una nueva aspiración. La cabeza del pistón *B* lleva una de las planchas compresoras; la otra está fija encima mediante fuertes columnas. El dibujo en corte transversal muestra que ambos émbolos se sumergen en el líquido; su parte inferior está así rodeada por él en todos sentidos, y, por consiguiente, es indiferente que el tubo de conducción se abra en el cilindro ancho por bajo del émbolo, ó más arriba al nivel de éste.

El émbolo compresor *I* tiene un pequeño diámetro (de 3 á 6 centímetros) y el tubo de comunicación *L* no tiene más que un centímetro de diámetro próximamente. De aquí resulta que á cada golpe de émbolo sólo pasa al cilindro mayor una pequeña cantidad de líquido. Ahora, si entre las paredes de este cilindro y el émbolo correspondiente no existiera un ajuste perfecto, saldría por entre ambos toda el agua que la bomba hace entrar. Este ajuste se obtiene de la manera siguiente: en el cuello del cilindro se ha practicado una entalladura anular, en la que se coloca un trozo de cuero ó gutapercha doblado en forma semicilíndrica, con los dos bordes hacia abajo *Q* (fig. 186). El émbolo *A* roza en toda su superficie lateral contra el lado interior de esta especie de garganta de cuero. Si ahora, lleno el cilindro de agua, funciona la bomba impelente, el líquido introducido en este anillo hueco tiende á distenderlo comprimiendo la pared interior de

esta bóveda contra la superficie del émbolo, y con tanta más fuerza, cuanto mayor es la presión en el interior del aparato, evitándose completamente por este sencillo mecanismo todo escape de líquido.

Por último, la presión puede aumentarse cambiando el punto de apoyo de la palanca, corriendo á un segundo orificio el árbol alrededor del cual gira ésta. Con esto el brazo de palanca de la resistencia se reduce á la mitad, mientras que permanece el mismo, el brazo de palanca de la potencia, pudiéndose entonces efectuar una presión doble con la misma fuerza. Por cambios correspondientes de estas relaciones se puede condensar una fuerza compresora en una acción sumamente enérgica; pero también, si no se lleva el cuidado indispensable, se podría poner involuntariamente al aparato en peligro de estallar. Para evitar esto, se coloca una válvula de seguridad en un punto tomado entre la bomba y el cilindro (véase la fig. 186, entre *N* y *R*). Si la presión excede de un límite prudente, se abre la válvula y el agua sale fuera. Además, hay todavía de ordinario una válvula, *R*, para permitir al agua que retroceda cuando se quiere que cese la presión en el cilindro mayor. Cuando se abre esta salida, el émbolo *A* cae en virtud de su peso, y el agua se derrama en un recipiente colocado debajo de la bomba.

Como quiera que las partes interiores de las máquinas tienen que estar trabajadas con mucha delicadeza, y el más pequeño grano de polvo podría causar una alteración en su superficie, es preciso cuidar también de la purificación del agua empleada. Con este objeto se coloca debajo de la bomba una criba finísima, que tiene que atravesar el agua aspirada.

El esfuerzo ejercido por la prensa hidráulica se puede calcular fácilmente. Supongamos, por ejemplo, que actúe sobre la palanca una fuerza de 50 kilogramos; que el brazo de palanca de esta fuerza sea de un metro; que la distancia desde el punto de inserción de la varilla del émbolo hasta el punto de apoyo de la misma palanca, sea de 10 centímetros; la fuerza transmitida al émbolo será de 500 kilogramos. Si ahora la sección del émbolo mayor es = 400 veces la del émbolo pequeño, la prensa ejercerá una fuerza compresora de 20.000 kilogramos. Para ciertos fines, como, por ejemplo, la extracción del jugo de la remolacha en la fabricación del azúcar, se necesita un grado de presión más considerable; de aquí que en estos casos se sustituyan las pequeñas bombas de mano por máquinas de vapor, como fuerza motriz.

LA LUZ

Ideas de los antiguos sobre la misma.—Kepler.—Descartes.—Huyghens.—Newton.—Teorías de las ondulaciones y de las emisiones.—La luz consiste en movimientos vibratorios.—Propagación.—Medida de la velocidad por las ocultaciones de los satélites de Júpiter, según Casini y Roemer.—Aberración.—Bradley.—Método de Fizeau.—Disminución de la intensidad con la distancia.—Fotómetro de Rumford.—Luz ordinaria, y luz polarizada.—Aplicaciones prácticas de la polarización en la industria.—Micro-geología.

La luz y el calor: estos preciosos dones de que el sol se sirve para engendrar, alimentar y desenvolver la vida de los seres organizados sobre la superficie de la tierra, son las primeras condiciones de su existencia. Al compararlos entre sí, observamos que si el calor representa la fuerza, la luz, en cambio, significa el espíritu, la belleza, la inteligencia. En efecto; los alimentos

dan á nuestro cuerpo el calor, y la tensión á nuestros músculos; pero seríamos todavía criaturas débiles y desdichadas si no poseyéramos un órgano para percibir las impresiones luminosas, si careciéramos de la facultad de formar y sentir en nuestro interior la imagen del mundo externo. La visión enriquece nuestra alma con conocimientos que ningún otro sentido podría proporcionarnos; de aquí que en todos los idiomas figuren como sinónimas, hasta cierto punto, las voces que significan, luz y talento, claridad é instrucción, etc. Basta comparar, por una parte, los fenómenos luminosos y sus aplicaciones á los instrumentos y métodos ópticos de fines científicos ó prácticos, y por otra los fenómenos y aplicaciones á que da origen el calor, para que desde luego se revele la diferencia que separa unos de otros, y quede señalada para la luz una categoría superior, una esencia más sublime. No es, pues, extraño que la razón humana haya necesitado miles de años para adquirir conceptos precisos sobre la naturaleza íntima de este agente físico, y acercarse en este sentido al conocimiento de la verdad.

Desde la más remota antigüedad ha intentado el hombre formarse una idea acerca de la luz; pero los filósofos antiguos siguieron malos derroteros. Se creyó en un principio que la sensación de la visión debía ser análoga á las sensaciones tactiles, y en este sentido se supuso que debían partir de los ojos pequeños filamentos ó tentáculos que, al encontrar á los cuerpos, dieran ocasión á esta impresión particular. Según esto, el movimiento luminoso, en vez de partir del cuerpo visto, partiría de nuestro propio órgano, y así se consigna en un libro de óptica, atribuido á Euclídes. «La forma de nuestro ojo (decía Heliodoro de Larista), que no es hueco ni está dispuesto de la misma manera que los órganos de los demás sentidos, demuestra que la luz es radiada desde él;» y, en efecto, se pensaba que si los ojos estuvieran destinados á recibir algo del exterior, deberían estar conformados de un modo semejante á como disponemos nuestras manos, ahuecándolas para recibir en ellas cualquier objeto; y que puesto que no era así, y además los ojos mismos son muy brillantes, y á veces el hombre, y en particular ciertos animales, pueden ver en la oscuridad, esta hipótesis fué admitida sin vacilación, y sólo por el progreso del método experimental en la investigación exacta de los hechos pudo más tarde desecharse como absurda.

Platón comprendió lo defectuoso de esta teoría, por más que no se sustrajo por completo á su influencia, y creyó que la luz ó causa de la visión no partía sólo del ojo, sino también al mismo tiempo de los cuerpos luminosos, originándose la sensación por el encuentro de ambos rayos. Aristóteles combatió de frente por primera vez esta antigua teoría, que comparaba en cierto modo á una linterna el órgano de la visión. En opinión de Aristóteles, el ojo no debía ser de naturaleza ígnea; más bien admitía que debía ser transparente y acuoso en su interior, fundándose en que el nervio óptico llega sólo hasta la pared posterior

del mismo; *la visión debía ser producida por el movimiento de un medio transparente situado entre el objeto y el ojo.* Esta idea, que puede considerarse como embrión de todas las teorías posteriores acerca de la luz, recibió expresión en diversa forma, pero de un modo también determinado. en los siguientes versos de Lucrecio, tomados del poema: *De rerum natura:* «Digo yo que tal vez de la superficie de los cuerpos se desprendan pequeñas figuras, verdaderas imágenes de los objetos; y éstas, que podría llamar capas ó membranas envolventes de éstos, se esparcerán por todo alrededor, atravesando los espacios.» Resulta, pues, que así como las palabras de Aristóteles pueden considerarse como la semilla de la teoría ondulatoria triunfante en los tiempos modernos, puede también descubrirse en estos versos de Lucrecio el primer origen de la teoría de las emanaciones, admitida generalmente hasta poco ha.

En la Edad Media los filósofos habían elevado ya á la categoría de una verdad positiva este concepto de que la luz procede de los cuerpos visibles (*Óptica de Alhazen,* sabio árabe); pero, por lo demás, los que hasta entonces se habían ocupado del estudio de los fenómenos luminosos no habían intentado imprimir á sus trabajos carácter matemático.

El primero que siguió el camino de una investigación rigurosa y exacta fué Kepler. Este consideró la luz como algo no corpóreo; pero en realidad no se expresó de un modo concreto acerca de su naturaleza, lo cual no le impidió determinar bajo el punto de vista matemático, las leyes de los fenómenos ópticos, como los cambios de intensidad, la reflexión, la refracción, etc. Así, pues, siendo Kepler el que demostró en primer término que todos estos fenómenos están sometidos á leyes mecánicas y constantes, enseñando á calcular sus elementos por métodos suyos propios, completamente originales, puede decirse que es á él á quien hay que agradecer los primeros conocimientos, verdaderamente científicos y de utilidad para el progreso de la óptica. En estos estudios de Kepler quedó completamente descartada la cuestión de la esencia de la luz; tal vez si las ciencias mecánicas hubieran estado entonces tan adelantadas como hoy lo están, Kepler y Descartes, que le sigue inmediatamente en la historia de la óptica, hubieran trazado á esta parte de la física un camino por el cual se hubiera evitado la prolongada lucha entre los partidarios de ambas hipótesis que ha alcanzado hasta nuestros días.

Inmediatamente después reclamaron, en primer término, la atención los notables fenómenos de la refracción de la luz, que ponían de nuevo sobre el tapete la cuestión de la naturaleza íntima de la misma. No podemos aquí penetrar en una investigación detallada, y por consiguiente nos contentaremos con consignar que Descartes se había creído conducido por los fenómenos de la reflexión, á considerar los rayos luminosos como corpúsculos materiales, comparándolos con un proyectil lanzado contra un cuerpo resistente, y chocando para retroceder bajo el mismo ángulo. Esta comparación entrañaba si había de adaptarse á

la explicación de los fenómenos de refracción la consecuencia, de que la luz se movería más rápidamente en el interior de un cuerpo más denso (como vidrio, agua) que en uno menos denso (aire). Fermat contradijo esto con la consideración de que un medio más denso debía oponer mayor resistencia á los movimientos luminosos, y se refugió en un principio natural particular para la explicación de la refracción. Este punto histórico tiene una importancia grande, porque, á partir de él, la cuestión capital de la velocidad de la luz adquirió una fase determinada. Si la velocidad en los medios más densos era realmente mayor que en los menos densos, quedaban explicados los fenómenos de la refracción de la luz por la admisión de pequeñas esferitas lumínicas lanzadas por los cuerpos luminosos (teoría de las emanaciones ó de las emisiones). Si, por el contrario, la luz se retrasaba en su velocidad cuando tenía que caminar á través de cuerpos más densos, dicha hipótesis era inadmisible y había que buscar otra explicación.

Poco después de Descartes apareció Hooke (1665) y enseñó que la luz consistía en movimientos vibratorios; pero Huyghens fué realmente el que dedujo de esta idea una teoría completa de dicho agente.

No tememos que exista entre nuestros lectores quien pudiera considerar como superfluos é inútiles los esfuerzos de las inteligencias más privilegiadas para la solución de un problema tan sublime como el enunciado en las anteriores líneas; pero aun aquellos que toman en conjunto el alto grado de nuestra cultura actual, sintiéndose poseídos de lisonjero orgullo por pertenecer á una época que está muy por encima de todos los tiempos pasados en cuanto á toda suerte de riquezas, no suelen dirigir bastante atrás la mirada de su gratitud, y comienzan generalmente á despreciar allí donde no salta ya á la vista directamente la utilidad para la vida práctica; por esto nosotros creemos un deber dirigir una mirada retrospectiva hacia los orígenes ya olvidados de una ciencia que abarca tal vez las ramas de mayor importancia para la humanidad. El vulgo simpatiza ciertamente con el que recoge el fruto, y se olvida con facilidad de aquellos que plantaron el árbol.

TEORÍA ONDULATORIA Ó VIBRATORIA DE HUYGHENS

Si arrojamos una piedra sobre la superficie tranquila de un estanque, vemos propagarse desde el punto de la caída, en todas direcciones, una onda anular uniforme, hasta que, haciéndose cada vez más débil con la distancia, desaparece por último. Lo mismo que se ha movido hacia fuera este primer anillo, se muere un segundo, y vemos en un punto cualquiera de la superficie del agua, sucederse en una alternativa regular elevaciones como pequeñas montañas ó depresiones cual pequeños valles. El agua misma no camina, por tanto, en un avance

propiamente dicho; sus partículas oscilan, como podemos observar, interponiendo con ellas pequeños trozos de madera, retrocediendo siempre á la posición primitiva, verifican simplemente un movimiento de sube y baja, ó en todo caso un movimiento elíptico siempre igual, y que es perfectamente comparable á las oscilaciones de un péndulo. Todas estas vibraciones dan como resultante la onda. Ésta desaparece cuando por último las partículas de agua han perdido gradualmente su fuerza por la acción continua del rozamiento.

Así, pues, la onda misma no es algo corpóreo, sino sólo un estado de movimiento. Se propaga en dirección rectilínea, si bien su forma es circular, ó más bien una superficie esférica; pues invisible marcha también el movimiento del mismo modo en el seno del aire situado encima del agua, como hacia abajo en el interior de la masa de ésta. Estas últimas vibraciones deben extinguirse antes, á causa de la mayor resistencia; en el aire las vibraciones son inapreciables para nuestros sentidos. Las ondas del agua podemos percibirlas por el tacto; todo el que se ha bañado en las costas y ha flotado encima del agua salada, sabe esto perfectamente. Las ondas aéreas, como quiera que no pueden manifestarse en la superficie de separación con un medio más ligero, cual sucede con las del agua, sino que consisten siempre en condensaciones y expansiones alternativas del aire mismo, sólo se nos hacen perceptibles cuando se suceden con gran velocidad y regularidad; entonces excitan la membrana del tímpano de nuestro oído, y la sensación recibida constituye lo que llamamos sonido.

Del mismo modo que la causa del sonido no es, pues, otra cosa que una impresión sobre nuestro nervio óptico determinada por una especie de movimiento, así también, dijo Huyghens, la causa de la sensación luminosa, ó sea la luz misma, no es tampoco otra cosa que el movimiento ondulatorio de una sustancia especial, extraordinariamente sutil, y esparcida por todo el universo (el éter de los físicos), la cual es incoercible para nosotros, porque atraviesa los poros de todos los cuerpos, y sus ondas se mueven en el interior de los transparentes, como el vidrio y el diamante, así como también en el vacío. Cuando estas ondas alcanzan á nuestro ojo, producen la sensación que nosotros llamamos *visión*, del mismo modo que las ondas de aire originan la sensación de la audición.

La investigación de las fuerzas en virtud de las cuales un cuerpo luminoso determina las oscilaciones del éter, nos llevaría demasiado lejos; basta que admitamos que sus partículas más pequeñas se hallan en un estado de gran conmoción, y que comunican este movimiento vibratorio á las partículas etéreas que les rodean, las cuales á su vez le transmiten sucesiva y exactamente como cuando una cuerda tensa es herida por un arco, comienza á vibrar á uno y otro lado, y con esto causa condensaciones y enrarecimientos del aire situado á su alrededor, las cuales, propagándose en todos sentidos, alcanzan á nuestro oído é impresionan allí el nervio auditivo.

Cuando la elasticidad del éter no está cohibida por ningún lado, las ondas

luminosas procedentes de un punto brillante y que debemos suponer en movimiento vibratorio, se propagan uniformemente en todos sentidos, y la superficie de onda propiamente dicha es una superficie esférica que tiene por centro el punto luminoso. Pero si en las diferentes direcciones son desiguales los coeficientes de elasticidad, la superficie de onda pierde su forma esférica, y en cambio adquiere otra que varía según las circunstancias.

Esto es lo que sucede en los cristales que no pertenecen al sistema regular, y los fenómenos sumamente variados observados en ellos se han convertido en los más firmes apoyos para la teoría de Huyghens.

Es realmente extraño que Newton no aceptara desde luego y por completo esta teoría que, según nuestras observaciones actuales, es tan sencilla, y que, como hemos de ver en el curso de consideraciones posteriores, explica el conjunto de los fenómenos luminosos de la manera más natural. En verdad, nada hay en sus obras que de un modo determinado sea directamente contrario á la teoría de las ondulaciones, según algunos quieren suponer, sino que más bien algunas de sus observaciones muestran cierta tendencia hacia ella, por más que no llegan á una adopción decisiva. Pero en cambio tampoco pueden contar á Newton entre sus partidarios los defensores de la teoría de las emanaciones, según la cual se desprenderían puntos luminosos desde los cuerpos celestes visibles á los más lejanos. Newton, como Kepler, dejó en la duda la cuestión de lo que fuera la luz en sí misma, y se dedicó exclusivamente á la investigación de sus fenómenos y de sus leyes matemáticas.

La teoría de las emisiones no ha sido inventada por Newton, ni siquiera una vez ha hecho de ella una adopción expresa en todas sus partes; y si sus partidarios han apelado al gran matemático y por su autoridad se ha podido sostener esta teoría hasta nuestros tiempos, en que todavía ha tenido á su lado á los Biot y Brewster, ha sido por una falsa interpretación de algunos trozos de las obras de Newton, cuyo estudio detallado no podemos hacer en este sitio.

Para la física actual está fuera de discusión que la luz consiste en vibraciones, como lo enseñó Huyghens. Este principio se ha afirmado sólidamente, tanto por el cálculo como por la vía experimental, mediante los trabajos de Fresnel, Young, Cauchy, Malus, Arago y otros; y sólo con su admisión ha venido á ser posible concebir una conexión íntima y recíproca de la transformabilidad de las fuerzas de la Naturaleza, que se ha demostrado más tarde en la gran ley de la unidad esencial de la energía. Los fenómenos fisiológicos de la luz, que deben á Helmholtz una investigación brillantísima, comprueban del modo más terminante los resultados de las ciencias exactas, debiendo considerarse ya como incontestable el principio de la naturaleza ondulatoria de la luz.

PROPAGACIÓN DE LA LUZ

Es fácil observar que la luz se propaga en todas direcciones y en línea recta, pues basta colocar entre el ojo y el punto luminoso un cuerpo opaco, para que inmediatamente desaparezca la impresión luminosa; el ojo queda en la sombra. Cuando un cuerpo recibe los rayos de un punto luminoso, la sombra que proyecta forma un espacio cónico, cuyo contorno está formado por las tangentes trazadas desde el punto luminoso al contorno exterior del cuerpo opaco. Este cono de sombra está todo él completamente oscuro, es decir, privado de luz. Pero si el foco luminoso no es un punto, sino un cuerpo bri-

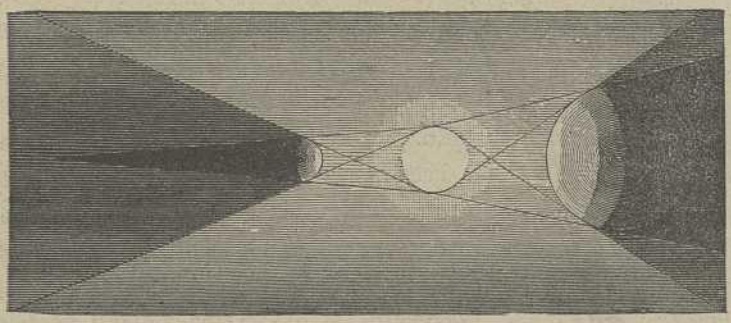


FIG. 187.—Sombra y penumbra.

llante, de cada uno de sus puntos partirán rayos de luz en todas direcciones, y por detrás del cuerpo opaco se formarán los conos de sombra correspondientes á cada uno de los infinitos puntos del cuerpo luminoso. Ahora bien: en este caso algunos de estos conos de sombra son iluminados parcialmente por los rayos que parten de otros puntos del cuerpo luminoso, como muestra la fig. 187, y de aquí que se produzca en este caso un espacio completamente privado de luz, que es el que recibe propiamente el nombre de *sombra*, limitado por una capa envolvente, que va siendo más iluminada desde dentro afuera, hasta llegar á la completa claridad, cuya capa recibe el nombre de *penumbra*.

Que la luz necesita un tiempo limitado para recorrer su camino, es consecuencia forzosa de la teoría de las ondulaciones, como de las emisiones, y se comprende que ha de ofrecer la mayor importancia el problema de medir exactamente la velocidad de la luz, así como la determinación de las diferencias en dicha velocidad á través de medios de densidad distinta. Ninguno de los movimientos que tienen lugar sobre la superficie de la tierra puede darnos una idea de la magnitud de aquella velocidad; para un objeto tan extraordinario había, pues, que emplear métodos de medida que salgan también de lo común; vamos á intentar el dar á conocer á nuestros lectores los más importantes de estos métodos.

MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ

Se admite generalmente que un astrónomo danés, Olaf Roemer resolvió en general este problema por primera vez (1675), por la observación de las ocultaciones de los satélites de Júpiter.

Júpiter está rodeado por cuatro satélites. El primero de éstos verifica su revolución alrededor del planeta en cuarenta y dos horas, veintiocho minutos y cuarenta y dos segundos, y su órbita está en el mismo plano que la de su planeta; de modo que á cada revolución tiene que penetrar una vez en la sombra proyectada por el último, y, por consiguiente, tiene que experimentar una ocultación. Pero el intervalo de tiempo entre los momentos iniciales de dos de estas ocultaciones sucesivas, no permanece siempre el mismo. Cuando la Tierra se mueve en dirección hácia Júpiter, el segundo eclipse comienza catorce segundos antes de lo calculado; cuando, por el contrario, la Tierra se aleja, el eclipse se retrasa en un tiempo igual, ó sea catorce segundos.

Ahora bien: según ha demostrado Montuclá, Dominico Cassini fué el primero que el 12 de Agosto de 1675 comunicó á los astrónomos una nueva interpretación de este fenómeno, según la cual los cambios en el intervalo de dos ocultaciones sucesivas debían depender de que la luz tuviera necesidad de un cierto tiempo para llegar desde el satélite de Júpiter hasta nosotros: y como la Tierra en el primer caso se acerca á Júpiter 590.000 millas en cuarenta y dos horas y media, los rayos de luz tendrían que recorrer este camino de menos. Al alejarse la Tierra de Júpiter, dichos rayos tendrían que recorrer 590.000 millas más para alcanzarla, y por consiguiente llegarían con el retraso correspondiente. Cassini, pues, había encontrado la verdadera explicación.

Pero las medidas practicadas entonces eran todavía muy inexactas, y la discordancia entre los resultados, debida á esta causa, condujo á Cassini á abandonar su propia idea. Entretanto Roemer, que había sido llamado á París por Ricard, encontró gran atractivo en las deducciones teóricas de Cassini, y consiguió, mediante un gran número de observaciones, afirmar con una claridad indiscutible esta teoría, aun contra las objeciones presentadas por el mismo Cassini y sus partidarios. Por consiguiente, si bien no puede en rigor concederse á Roemer la prioridad de la idea, por su demostración decisiva de la verdad de aquélla, merece á la ciencia tanto honor como el primitivo autor de la misma, que la abandonó después.

Si la luz invierte, como encontró Roemer, catorce segundos para recorrer 590.000 millas, recorrerá 42.000 millas próximamente en un segundo. El astrónomo inglés Bradley dió cincuenta años después (1729) una comprobación de la medición hecha por Roemer, con el descubrimiento de los pequeños movi-

mientos anuales aparentes que presentan las estrellas (aberración). Pero el físico francés Fizeau ha determinado directamente la velocidad de la luz de la manera más exacta, y por un procedimiento sumamente ingenioso (1849).

MÉTODO DE FIZEAU

Supongamos que las cuatro alas 1, 2, 3 y 4 de un molino de viento sean exactamente iguales entre sí, é iguales en extensión y forma á los espacios vacíos que las separan, y supongamos también que el árbol á que están fijas las alas invierta exactamente ocho segundos en una rotación completa. A cada segundo quedará alternativamente libre ó interceptada por las alas una dirección fija cualquiera que concibamos á través de éstas, resultando cuatro veces libre y cuatro interceptada para cada vuelta completa. Supongamos ahora que en esa dirección imaginada, pase entre las alas 1 y 2 una pelota de goma que vaya á rebotar perpendicularmente contra una pared situada enfrente. Si el molino está parado, la pelota retrocederá otra vez por entre las alas 1 y 2; pero si el molino gira, durante el movimiento de ida y vuelta de la pelota, cambiará la posición de las alas, y aquélla no volverá á pasar por el mismo punto entre éstas. Si, por ejemplo, la pelota invierte precisamente medio segundo en llegar á la pared, y otro medio en volver, el árbol del molino verifica durante la ida y vuelta, $^1/_8$ de su rotación, y la pelota encuentra á su vuelta, en vez del centro del vacío entre las dos alas, el centro del ala 2 que la detiene. En cambio, si la velocidad de la pelota se hace el doble, de modo que invierta dos segundos en su carrera completa, quedará de nuevo libre su retroceso, pero esta vez no pasará ya entre las alas 1 y 2, sino entre las 2 y 3. Y así, cuando se conociera con toda exactitud la velocidad rotatoria de las alas y la distancia del muro á las mismas, se podría calcular la velocidad de la pelota, determinando qué fracción de vuelta había girado el árbol durante la ida y vuelta de aquélla.

En el mismo principio exactamente se funda el aparato de Fizeau; con la diferencia de que éste, en virtud de la naturaleza del objeto á que se aplica, está construído con extraordinaria delicadeza. La fig. 188 hace visibles sus partes principales. El aparato completo consta de dos porciones, *I* y *II*, que se instalan á cierta distancia entre sí; á unos 7,3 kilómetros. Los tubos de las dos mitades se sitúan exactamente en un mismo eje, por medio de dos anteojos astronómicos, *O* y *O'*. La estación de observación está en *I*; *A* es el foco luminoso, que debe tener gran intensidad, *B* una lámina de vidrio, plana, bien pulimentada, que forma un ángulo de 45° con el eje, *C* una rueda que tiene en su periferia un gran número de incisiones iguales entre sí, y con los dientes que originan, viniendo á caer aquéllas y éstos exactamente en el eje del aparato. La rueda es puesta en rápida rotación, y el número de vueltas por segundo que-

da contado y registrado continuamente por un aparato de relojería. En la otra estación hay un espejo colocado de manera que refleje los rayos de luz reflejados ya antes por la lámina de vidrio *B*, haciéndoles volver de nuevo por el mismo camino hacia *I*.

Ahora bien: los rayos que parten del foco luminoso, son en parte reflejados por la lámina de vidrio *B*, en dirección hacia *II*, y en parte atraviesan esta lámina, que es transparente. Pero los rayos que han sido reflejados hacia *II* retroceden por su reflexión sobre el espejo *D*, y al llegar de vuelta á *B* atraviesan en parte esta lámina, de modo que el observador situado en *O'* puede en ocasiones ver por reflexión en *D* la imagen del foco luminoso *A*. Cuando la rueda *C*

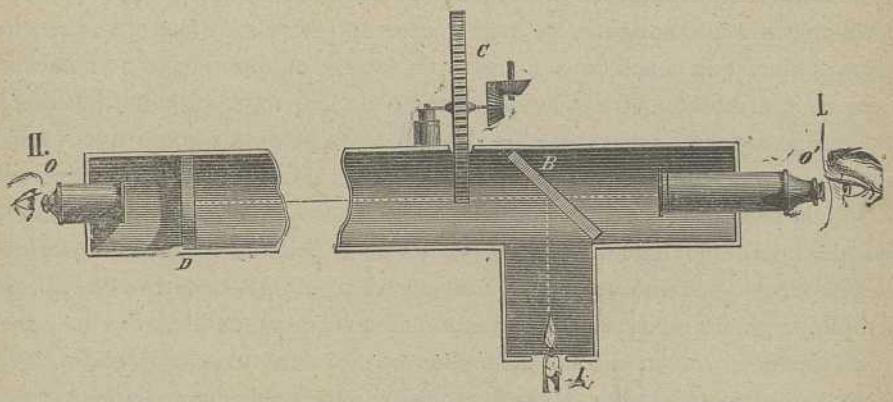


FIG. 188.—Aparato de Fizeau para medir la velocidad de propagación de la luz.

está en reposo y los rayos pasan precisamente entre dos dientes, esta imagen aparece continua; pero si la rueda gira, se originan impresiones luminosas aisladas distintas, que se suceden con tanta mayor rapidez cuanto más rápida es la rotación de la rueda.

Cada uno de estos haces de rayos de luz recorre su camino hasta el espejo, y el de vuelta hasta el observador, como aquella pelota de goma que suponíamos lanzada á través de las alas del molino de viento. Del mismo modo, pues, será detenido al final de su camino cuando durante el tiempo que ha tardado en recorrerlo, venga á colocarse en su dirección un diente de la rueda. Si el diente ha pasado á ocupar aquella posición sólo en parte, tampoco será interceptada más que una parte del haz luminoso, y la imagen producida sobre el espejo *D* aparecerá más débil en intensidad. Pero si la velocidad de la rueda es suficientemente grande para que en el mismo tiempo en que el rayo va al espejo y vuelve, se coloque exactamente un diente en el espacio mismo en que antes estaba una incisión, toda la luz enviada por *D* caerá sobre el diente, y cuando pase por el eje una nueva incisión, no recibirá tampoco el observador sino la sombra proyectada en el instante anterior por el diente sobre el espejo *D*. Desaparece, pues, por completo la imagen á la vista del observador, que no en-

cuentra más que oscuridad á través del anteojo. Sea 1 la velocidad de la rueda en este caso. Haciéndola girar más rápidamente, una parte de la luz enviada al espejo durante el paso de una incisión, atraviesa por la inmediata después de reflejada; cuando la rotación tiene lugar con una velocidad igual á 2, se produce un máximum en la claridad de la imagen, pues toda la luz que atraviesa una incisión de la rueda en dirección al espejo, encuentra á su regreso el mismo punto correspondiente de la incisión siguiente, y llega, por tanto, al ojo del observador. Para una velocidad, *3*, se produce otra vez oscuridad completa; para *4*, claridad máxima, y así sucesivamente.

La rueda dentada que empleó Fizeau tenía 720 dientes, y por consiguiente, cada diente y cada entalladura representaban $\frac{1}{1.440}$ de la circunferencia; la distancia del espejo era de 1,2 millas. La primera ocultación completa de la luz tuvo lugar cuando la rueda daba 12,6 vueltas por segundo, el primer máximum de claridad á las 25,2 vueltas por segundo, y así sucesivamente. De aquí se dedujo que la luz invertía próximamente $\frac{1}{18.000}$ de segundo para recorrer 15 kilómetros y por consiguiente, se propaga con una velocidad de unos 311.000 kilómetros por segundo. En el agua, cristal y otros medios más densos, se mostró menor la velocidad, y con esta nueva comprobación adquirió la teoría ondulatoria de Huyghens el triunfo más decisivo contra la hipótesis de las emisiones.

Para llegar desde el Sol hasta la Tierra invierte la luz sobre ocho minutos; desde las estrellas, varios años; y así, cuando contemplamos el cielo estrellado, no es una imagen de su estado real en aquel momento lo que se nos muestra, sino tal cual era en un tiempo más ó menos remoto, según que los mundos observados están más próximos ó más distantes de nosotros. Podría desaparecer de pronto una estrella, y todavía seguiríamos recibiendo sus rayos durante años enteros. Su luz seguiría centelleando en el espacio infinito, y su imagen fija en el firmamento hasta que se extinguieran las vibraciones de la última onda enviada por el astro.

INTENSIDAD

Como la luz se propaga en todas direcciones, su intensidad tiene que disminuir según el cuadrado de la distancia, en virtud de una sencilla ley mecánica. Una bujía brilla á la distancia de dos metros con sólo la cuarta parte de la fuerza luminosa que á la distancia de un metro. Para medir la intensidad de la luz (fotometría), problema que es muy importante en la Astronomía práctica, se han imaginado gran número de procedimientos; pero la descripción de la mayor parte de ellos sólo tiene un interés científico. En esta obra nos contentaremos con mencionar en el tomo V (capítulo *Alumbrado*) aquella parte de este asunto que tiene importancia para la vida práctica.

LUZ POLARIZADA

Las ondas luminosas aisladas oscilan como una cuerda tensa, en cuyo extremo se ha producido una desviación, siempre en el mismo plano, separándose las partículas etéreas á uno y otro lado normalmente á la dirección del rayo. El estado vibratorio más sencillo corresponde al caso en que todos los rayos de la luz oscilan en el mismo sentido, en que los planos de vibración son todos paralelos entre sí. Esta luz constituye la luz polarizada, llamada así porque se conduce de distinto modo en una cierta dirección lateral que en la dirección perpendicular á ésta.

Ahora bien: la luz no presenta nunca esta condición de sencillez, tal como se origina en la Naturaleza, bien por el proceso químico de la combustión, por la elevación de la temperatura, el rozamiento, la electricidad, etc., ni tampoco tal como no es irradiada por el sol y las estrellas. Más bien esta luz ordinaria ó natural consta de rayos sucesivos, en cada uno de los cuales las vibraciones se producen en una dirección distinta, aunque siempre perpendicular á la de propagación. Se puede, sin embargo, separar de entre este conjunto luminoso las vibraciones que se verifican en un cierto plano, ó bien hacer paralelos entre sí los planos de oscilación de todos los rayos, y esta operación se llama *polarización de la luz*, así como *polarizadores* los aparatos empleados en ella. Bartholin había visto ya que al pasar la luz á través de ciertos cristales espato calizos ó de Islandia), se divide en dos haces de rayos, que muestran propiedades diferentes que la luz ordinaria, y también había observado que en ciertos casos no tenía lugar esta descomposición. Huyghens determinó las condiciones bajo las cuales se producía el fenómeno. Pero hasta que Malus observó casualmente en París, en 1809, que los rayos solares, reflejados en los cristales de una ventana que tenía enfrente, se conducían exactamente del mismo modo que los que habían atravesado el espato calizo, no fué estudiado el fenómeno con toda exactitud, descubriendo entonces Malus las leyes de la polarización de la luz. Noerenberg ha construído un aparato para demostrar estas leyes, el cual se apoya en el principio puesto en evidencia por la fig. 189.

En efecto, la luz se polariza cuando cae bajo un cierto ángulo sobre la superficie de los cuerpos. Este ángulo, llamado de polarización, es distinto para los diferentes cuerpos. Sea *A B C D* una lámina de cristal transparente, sobre la cual incide un haz de rayos luminosos, *S*, *O*, bajo un ángulo de 35 ½ grados, por ejemplo; una parte de esta luz atraviesa el cristal, la otra se refleja bajo un ángulo igual al de incidencia y marcha en la dirección *O O'*. Estos rayos reflejados muestran aquel paralelismo de los planos de oscilación que hemos considerado antes como propiedad característica de la luz polarizada. El plano de oscilación

y la forma del movimiento en ellos está indicada en la figura por la línea ondulada de puntos, y las pequeñas flechas intercaladas. El plano *S O O'* se llama plano de polarización y es perpendicular el plano de oscilación. Si ahora hacemos llegar la luz polarizada sobre un segundo espejo *E F G H* que está inclinado sobre el rayo el mismo ángulo de 35 ½ grados, podremos observar sus propiedades particulares. Si el segundo espejo es movible, de modo que permaneciendo siempre constante su inclinación sobre el rayo, gire alrededor de éste, y lo ponemos en las cuatro posiciones principales *E F G H—E' F' G' H' —E'' F'' G'' H''—E''' F''' G''' H'''*, ningún cambio se vendría á observar en la imagen cuando la luz que marcha de *O* á *O'* fuera natural ú ordinaria. Pero la luz polarizada por el espejo inferior se comporta de distinto modo, pues cuando el espejo superior está en las dos posiciones paralelas al plano de oscilación *E F G H* y *E'' F'' G'' H''*, el rayo es reflejado completamente; en las posiciones rectangulares con el plano de oscilación *E' F' G' H'* y *E''F'' G'' H''*, los rayos luminosos quedan extinguidos por completo; y en todas las posiciones intermedias se produce una reflexión parcial, con mayor ó menor intensidad. Por consiguiente, girando el espejo superior en el sentido de la aguja de un reloj, á partir de la posición *E F G H*, la imagen producida por reflexión sobre él comenzará por disminuir gradualmente en intensidad, desaparecerá por completo: cuando haya girado un cuarto de vuelta, reaparecerá de nuevo aumentando sucesivamente de intensidad, hasta adquirir un máximum cuando la rotación sea de media vuelta completa, etc.; es decir, que habrá dos puntos de máxima claridad y dos de oscuridad máxima por cada rotación completa. Arago, que con Fresnel se ha dedicado con el mayor interés al estudio de los fenómenos de polarización, descubrió (en 1811) que los rayos polarizados, tanto por refracción como por reflexión, adquirían á veces nuevas propiedades al atravesar por ciertos cuerpos. Así, por ejemplo, la luz irradiada por un cielo azul, polarizada en su mayor parte, aparece completamente incolora, mirada á través de una lámina de turmalina, mientras que se muestra con brillantes colores cuando se interpone entre la lámina de turmalina y el ojo del observador un prisma birefringente de espato calizo (el llamado prisma de Nicol). Lo mismo que con la lámina de turmalina, sucede con la de

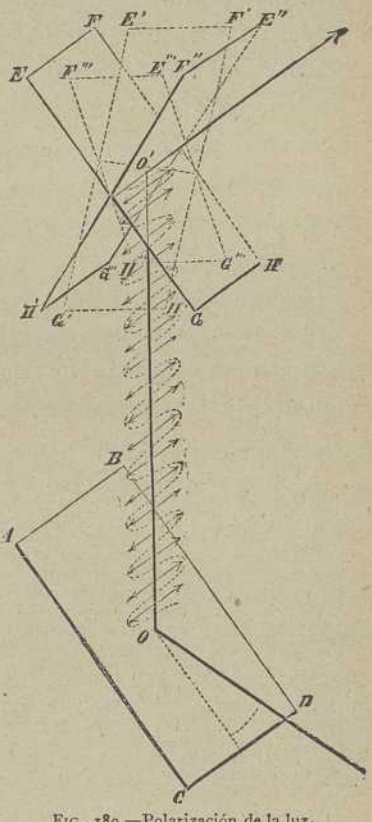


Fig. 189.—Polarización de la luz.

otro cuerpo birefringente cualquiera mirado con luz polarizada á través de dicho prisma de Nicol, siendo esta propiedad, llamada polarización cromática, un medio seguro para distinguir los cuerpos birefringentes de los monorefringentes.

La acción del espejo plano en la polarización de la luz se explica por la ley del paralelogramo de las fuerzas; cada una de las vibraciones se descompone en dos rectangulares entre sí, una de las cuales, perpendicular al plano del espejo, es absorbida por éste, mientras que la otra, paralela á dicho plano del espejo, es reflejada. La estructura interna de ciertos cristales, de entre los cuales hemos mencionado ya á los de espato calizo, obliga también á los rayos luminosos á oscilar sólo en dos planos rectangulares entre sí; la luz incidente queda así descompuesta en dos haces de rayos que al emerger están ambos polarizados en planos perpendiculares. Nicol ha introducido un modo especial de cortar los cristales de espato calizo y de formar con ellos un prisma tal, que sólo es atravesado por uno de aquellos dos haces. Este prisma de Nicol es un aparato muy cómodo cuando se trata de obtener luz polarizada.

Según ya hemos visto antes, los cuerpos transparentes se comportan de muy distinta manera con respecto á la luz que atraviesa su masa, y esta propiedad puede servir para distinguir entre sí cuerpos por lo demás muy semejantes. El cristal de roca, por ejemplo, y el vidrio blanco *(flintglás)*, pueden confundirse por su semejanza exterior en el comercio; pero si se observa en los aparatos de polarización, que siempre están constituídos esencialmente por las dos partes que en la fig. 189 representan los dos espejos planos, y de las cuales la primera que polariza la luz se llama polarizador y la segunda el analizador, porque sirve para comprobar si la luz que llega á ella está ó no polarizada; si, como decíamos, se observan con uno de estos aparatos aquellas dos sustancias tan semejantes, la lámina de cristal de roca estando tallada en dirección más ó menos inclinada con respecto á su eje, dará lugar, como la lámina de turmalina de que hablamos antes, á la aparición de colores brillantes, mientras que el vidrio siempre hará ver á su través luz blanca. Sólo cuando el vidrio sufriera previamente un enfriamiento rápido ó estuviera sometido á presiones enérgicas que hicieran cambiar su elasticidad en una dirección, presentaría fenómenos análogos á los del cristal de roca. Resulta de lo dicho que los polariscopos no sólo pueden servir para determinar la especie de los cuerpos transparentes desde el punto de vista de su estructura y sistema cristalino, sino que revelan también en ciertos casos las circunstancias bajo las cuales se ha producido su agregación molecular. Y como quiera que estos fenómenos ópticos se verifican del mismo modo con las porciones más tenues de los cuerpos, de aquí que se pueden obtener grandes ventajas analíticas por la investigación microscópica de las propiedades de los objetos en presencia de la luz polarizada. Una prueba elocuente de esto ofrece la investigación microscópica de los minerales, que ha producido, en el corto tiempo que viene poniéndose en práctica, resultados admirables, y que

no hubiera sido posible alcanzar por ningún otro de los métodos de análisis practicados hasta aquí.

Por último, las disoluciones de algunas sustancias ejercen una influencia muy notable sobre las vibraciones de los rayos de luz polarizada que las atraviesan. Una disolución de azúcar, por ejemplo, desvía el plano de oscilación de suerte que según esté más ó menos concentrada la disolución, ó según sea más ó menos gruesa la capa atravesada, dicho plano gira hacia la derecha como la aguja de un reloj, en un ángulo proporcionado en cada caso. En un tubo de longitud determinada, cerrado por ambos extremos con láminas de vidrio, el ángulo de desviación depende directamente de la concentración de la solución

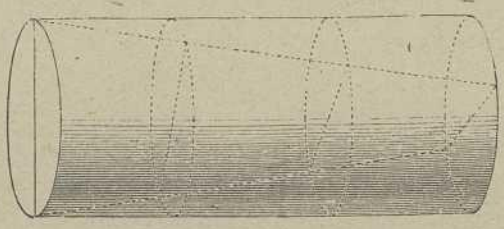


FIG. 190.—Rotación del plano de oscilación en el sacarimetro.

azucarada. Los aparatos que se emplean en las fábricas de azúcar para ensayar las disoluciones, consisten en un tubo metálico provisto en su pared superior de un orificio para llenarle de líquido, y en cuyos dos extremos está cerrado por láminas de vidrio transparentes. En el extremo posterior, á la parte de afuera, hay un prisma de Nicol delante de la lámina de vidrio, el cual polariza la luz que penetra en el aparato. En el extremo anterior se encuentra otro prisma igual; pero éste está unido á una armadura metálica giratoria que lleva á su alrededor una graduación en sentido opuesto al movimiento de una aguja de reloj, Cuando la luz polarizada por el primer prisma atraviesa el segundo, por la rotación de este último puede siempre obtenerse cierta coloración. Pero si ahora se introduce en el tubo una disolución de azúcar, habrá que hacer girar al analizador cierto ángulo hacia la derecha para restablecer la coloración primitiva, y esta rotación mide la desviación producida por el líquido en el plano de oscilación de la luz, pudiéndose determinar por medio de ella el tanto por ciento de azúcar contenido en el líquido, objeto del ensayo. Se ha convenido en no adoptar como cero de la graduación la máxima claridad ni la máxima oscuridad. Como veremos después, la luz blanca está compuesta de muchos rayos de diferentes colores. Al atravesar la disolución azucarada, el plano de oscilación sufre una desviación distinta para cada color, de modo que el menos desviado es el rojo, después sigue el amarillo, verde, y, por último, el violeta es el más desviado, siguiendo los colores intermedios. Cuando el prisma anterior gira, el campo del aparato no queda simplemente más oscuro, sino que

va pasando sucesivamente por cada uno de los colores indicados. Entre esta multitud de matices se manifiesta de una manera más determinada un violeta púrpura oscuro que se reconoce tan fácilmente, que el que ha fijado su atención en él una vez, le encuentra de nuevo con la mayor exactitud. De aquí el que se haya elegido este punto de color como base para la graduación del sacarímetro, y que se deba referir á él el aparato al practicar los ensayos.

LOS ESPEJOS
Y
APARATOS ESPECULARES

La luz se refleja por doquier.– El espejo como elemento de cultura.—Espejos de la antigüedad.– Leyes de la reflexión.—Imagen en los espejos planos.—Espectáculos de espectros animados en los teatros.– Espejos angulares.—Calidoscopio.—Sextante.—Goniómetro de reflexión.—Helióstato y heliotropo.—Reflexión sobre superficies curvas.—Espejos cóncavos y convexos.—Foco principal y distancia focal.—Imágenes reales y virtuales.

NINGÚN poeta ha cantado dignamente las bellezas de la luz reflejada; ningún ojo las ha apreciado en todo su valor. Todo aquello que es visible constituye un verdadero espejo, por medio del cual llegan hasta nosotros los rayos de luz emitidos por los manantiales primitivos. Los brillantes colores con que las flores adornan los jardines en primavera; los destellos enviados por las cumbres de las montañas nevadas al caer la tarde; la dulce mirada de la mujer amada, tienen poderío para cautivar nuestros sentidos, pero su luz es solo prestada, y dejarían de sernos visibles si no residiera en ellos la propiedad de reflejar los rayos que caen sobre su superficie. Si las ondas luminosas fueran absorbidas por todos los cuerpos que encontraran á su paso y no subsistieran retrocediendo, ¡cuán triste y solitario estaría el Universo! Por doquiera se ofrecería á nuestra vista la más

profunda oscuridad, y sólo cuando dirigiéramos casualmente la mirada hacia el sol ó las estrellas, ó cuando acaeciera la aparición de una aurora boreal ó de una combustión enérgica, vendríamos á recibir una impresión luminosa tanto más intensa, cuanto que el contraste sería más vivo. Un trozo de madera en putrefacción valdría más para nosotros que las más bellas facciones humanas, puesto que aquél podría brillar con luz propia, y por tanto podríamos verle, mientras que á éstas no.

Cuantas menos desigualdades ofrece una superficie, tanto más completamente es reflejada la luz por ella. La superficie tranquila de las aguas constituye por esto un excelente espejo. En ella vió el hombre por primera vez su propia imagen, y como él se contempla reproducida la Naturaleza según las creaciones de los poetas. Y si el hombre se deja seducir por los encantos de la reproducción de la Naturaleza en la superficie de las aguas, hasta el extremo de dedicar á ellos poéticos cantos, ¿deberemos reprochar á una niña que no sepa pasar por delante de un espejo sin dirigir una mirada furtiva á la imagen de su gracioso rostro?

El espejo es un objeto de uso universal. Aunque su descubrimiento entraña un conjunto considerable de observaciones, meditaciones y habilidad artística, le encontramos bajo diferentes formas esparcido en toda la tierra hasta en los pueblos menos civilizados. Cuentas de vidrio de reflejos coloreados y pequeños espejos, son dos armas de las más poderosas para civilizar pueblos salvajes. Lo que no consigue el oro ni todas las artes, lo consigue este aguijón de nuestra ingénita frivolidad; el trato, la confianza, los cambios, y, por último, el hábito de trabajar para procurarse medios con que satisfacer las crecientes necesidades. Por otra parte, en los antiguos sepulcros griegos encontramos espejos que depositaba junto al cuerpo de las mujeres, cual símbolo de la belleza, este pueblo de tan notable y avanzada civilización.

Los espejos de los antiguos eran en su mayor parte de metal; sin embargo, también los ha habido de cristal en tiempos muy remotos, principalmente procedentes de Sidonia, célebre por sus fábricas de vidrio, mientras que los espejos metálicos proceden de Brindisi. Por lo común, éstos consistían en una aleación de cobre y estaño. Plinio menciona también espejos de plata, y se ha advertido que Praxíteles construyó espejos de esta especie bajo el reinado de Pomponio. Se comprende, pues, que lunas de grandes dimensiones de tales espejos representaban un lujo extraordinario, y aun en la época más floreciente de Roma hubo algunos que tenían espejos de oro. Nerón debió poseer un espejo de esmeralda, por más que es de sospechar que esta piedra, más bien que como espejo, estuviera tallada como cristal transparente, tal vez á la manera de nuestros lentes de anteojos, pues Nerón se servía de ella para mirar á la arena del circo durante la lucha de los gladiadores. El cristal de roca y otras piedras transparentes han sido empleadas, así como también la obsidiana, á guisa de espejos.

Los espejos antiguos son, en su mayor parte, pequeños, redondos ú ovales con un mango como los que ahora también se usan, llamados de mano. Sin embargo, también las mujeres poseían, según Quintilius, grandes *Specula totis paria corporibus*, en los que podían contemplar su cuerpo todo, y las grandes señoras se servían de esclavas especiales, la cuales estaban destinadas á sostener el espejo durante su uso.

Creemos ahora oportuno pasar á ocuparnos ligeramente de las leyes que rigen la propagación de la luz en los fenómenos de reflexión especular.

REFLEXIÓN DE LA LUZ

Todos los cuerpos reflejan luz, unos más, otros menos; los que poseen en menor grado esta propiedad, son los gases, que en las condiciones normales son invisibles en la mayor parte de los casos. Si tomamos una superficie plana de un metal bien pulimentado, ó, lo que es lo mismo, un espejo plano (figura 191), y si hacemos llegar á él un rayo luminoso *v*, éste se refleja, y precisamente en tal forma, que el ángulo bajo el cual se aleja del espejo es exactamente igual al ángulo bajo el cual llega al mismo (el ángulo de incidencia *v c b* es igual al ángulo de reflexión *b c v'*); y por último, ambos rayos (incidente y reflejado) están en un mismo plano perpendicular al del espejo. Podemos fácilmente convencernos con toda evidencia de la exactitud de esta ley cerrando las ventanas de una cámara, dejando sólo abierto un pequeño orificio por el que pueda entrar un rayo de sol, y recibiendo éste sobre un espejo plano.

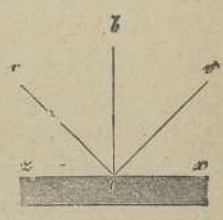


FIG. 191.—Reflexión de la luz.

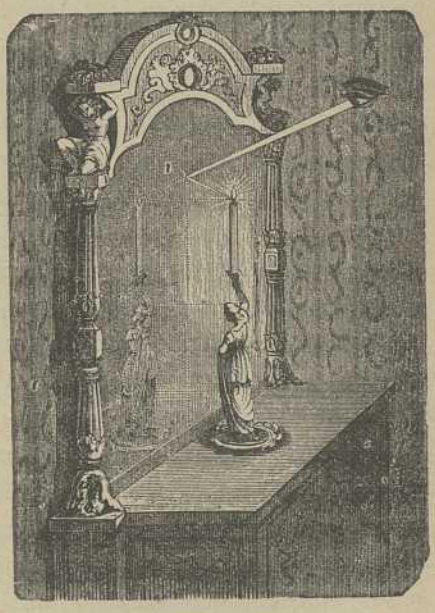


FIG 192.—Imagen en un espejo plano.

Si ahora colocamos nuestro ojo en la dirección del rayo reflejado, recibimos la impresión luminosa, y vemos la imagen del cuerpo que envía los rayos, en la dirección en que éstos llegan á nuestro ojo. El punto donde se forma la imagen, no varía aunque cambiemos la posición de nuestro ojo. Es siempre el mismo, y se puede encontrar fácilmente por la experiencia. Basta para ello prolongar las direcciones reflejadas de varios rayos procedentes de un mismo punto luminoso. Todas ellas parecen partir de un mismo punto, que se

halla detrás del espejo en la prolongación de la perpendicular trazada al mismo, desde el punto luminoso y á igual distancia del espejo que este último punto. La observación de la fig. 192, que hace visible la relación entre las distancias al espejo del objeto luminoso y de su imagen, nos enseña también que ésta debe ser invertida respecto al objeto; circunstancia que tienen siempre en cuenta en sus trabajos los grabadores en cobre ó madera, litógrafos, etc.

Nuestros espejos están construídos generalmente de cristal, y provistos en su cara posterior de una capa metálica lisa, una amalgama que le quita la transparencia. El arte de fundir el cristal en grandes láminas fué inventado por Abraham Thevart en Francia el año 1688; pero ya á fines del siglo XIV Raimundo Lulio había descrito el sistema de hacer espejos con láminas de vidrio, poniendo detrás de ellas una capa de plomo.

APARICIÓN DE ESPECTROS EN EL TEATRO

Aunque los cuerpos opacos son los que mejor reflejan la luz, para algunos fines especiales son preferibles láminas reflectantes-transparentes, al mismo tiempo. Al descubrir el aparato de Fizeau para medir la velocidad de la luz, se nos ha presentado ya un caso de este género; vamos á considerar otra aplicación encaminada á presentar en la escena de un teatro imágenes que toman una parte en la representación, produciendo en el espectador un efecto sorprendente. Los métodos para producir semejantes espectros se han multiplicado en extremo por la aplicación de estos sencillos aparatos especulares.

No es inverosímil que los antiguos nigromantes pusieran ya en juego, en sus invocaciones de espíritus, mecanismos de espejos semejantes á los que actualmente se usan con el mismo objeto. Pero de un modo público, y en gran escala, no se ha hecho uso de los métodos en cuestión hasta hace pocos años, por el físico inglés Pepper, el cual mantuvo, con sus experiencias diarias, durante largo tiempo la admiración de un inmenso público en la Politécnica de Londres, y después introdujo en el teatro su invento, sobre el cual había adquirido la correspondiente patente.

Imaginémonos por un instante transportados á la sala de un gran teatro. Se representa una tragedia, cuyo argumento consiste principalmente en la aparición de un espíritu. La catástrofe se aproxima; las luces van extinguiéndose poco á poco; la sala entera queda casi completamente oscura y el escenario mismo tiene sólo una débil iluminación; el público está ansioso de que llegue el instante en que se verifique algo extraordinario. En esto surge por cierta parte de la escena una figura vaga que va haciéndose cada vez más clara, desarrollándose y adquiriendo gradualmente contornos determinados, hasta alcanzar una forma precisa y significativa... ante el protagonista de la tragedia se halla de pronto un ser ex-

traño. En él reconoce dicho héroe al espíritu de una persona muerta en época lejana, y, sin embargo, allí no hay más que aire; el espectro habla, y su voz suena hueca; se mueve á través de árboles y matas sin mover una sola hoja; ningún obstáculo sirve para impedir su paso; al quererle encerrar entre sus bra zos, el actor se encuentra con el vacío; su cuerpo no opone resistencia alguna á la punzante espada. Por último, desaparece de nuestra vista tan súbita y misteriosamente como se presentó ante ella, y no podemos menos de sentirnos poseídos de una gran compasión hacia el desgraciado que ha recibido tal visita, pues comprendemos con terror cuán horripilante debe ser el que se nos venga á recordar en tal forma, y por medio de semejante mensajero, el cumplimiento de compromisos tal vez olvidados.

Pero si supiéramos durante la aparición que en cuanto la función termina el personaje compadecido por nosotros se marcha del brazo al café con el espíritu de su padre ó del rival asesinado, etc., sin duda que no nos dejaríamos impresionar tan fuertemente. Es más; el actor á quien compadecíamos nos confesaría tal vez que no había visto absolutamente nada de la aparición. Esto nos llenaría seguramente de extrañeza. Preguntaríamos, indagaríamos y llegaríamos á comprender que habíamos sido engañados. ¿Pero cómo?

El teatro, además del escenario propiamente dicho, tiene un segundo escenario oculto y algo más profundo. En éste representa el actor que ha de aparecerse como espíritu al que se halla sobre el escenario superior. Este foso, por lo demás, está oculto al público mediante algunas piezas del decorado, ó bien de una elevación del suelo. Pero la parte esencial de todo el mecanismo consiste en una gran plancha de vidrio bien pulimentada que está instalada un poco inclinada respecto á los espectadores, y de tal suerte, que el foso se encuentre comprendido entre ella y el local ocupado por el público. Para la inteligencia más completa de todo el aparato, remitimos á nuestros lectores á la fig. 193, que da en corte transversal la disposición tal como ha sido establecida en nuestros teatros por Dirks y Pepper. La abertura *a*, que conduce al escenario oculto *b*, se cierra por medio de una trampa para que los actores puedan moverse sin dificultad por el escenario superior cuando no entra en juego el espectro; *f* es la plancha de vidrio, cuyos bordes ó junturas se disimulan por cualquier medio, tal como ramaje, algún adorno, etc. Este cristal actúa como un espejo, y aunque sus imágenes no sean tan claras y definidas como las que daría un espejo propiamente dicho, cubierto por detrás con una hoja de estaño, por ejemplo, esto no es un inconveniente para el objeto de hacer aparecer un espectro, sino todo lo contrario. Como que es completamente transparente y permite ver con toda claridad á los actores y objetos situados detrás de ella, los espectadores no se dan cuenta de su presencia, y, por tanto, no pueden sospechar que sea la causa de la imagen. Y sin embargo, todos podemos convencernos, con un cristal limpio, de que á un mismo tiempo es posible ver á través de él nuestra propia

imagen y los objetos situados detrás, con tal de que el fondo sea algo oscuro.

Ahora, para conseguir el objeto que se desea, es preciso que el escenario superior esté algo oscuro durante la aparición. El espectro mismo se confecciona en el escenario inferior *b*. Aquí se sitúa una tabla *k*, en la cual se apoya el actor vestido con el traje correspondiente. Como que las paredes del espacio inferior están recubiertas de paños negros, la imagen de este actor, que recibe una iluminación intensa, resalta con gran claridad para el público, reflejada sobre la lámina de cristal, y esta imagen es el espíritu que se ve sobre el escenario. Vista desde la sala del teatro, parece estar situada detrás del cristal invisible; el actor

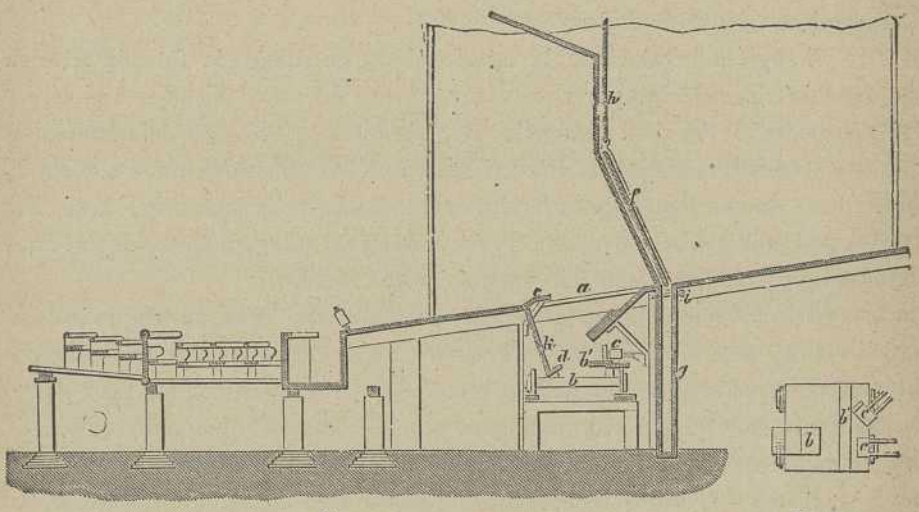


FIG. 193. FIG. 194.

FIGS. 193 y 194.—Aparato para producir la aparición de espectros en el escenario de un teatro.

que ha de representar la acción en que interviene dicho espíritu, cuyo actor se mueve también detrás de *f*, debe conocer exactamente el punto en que se ha de formar la imagen especular, puesto que él, como se comprende, no se apercibe en modo alguno de su aparición, y sin embargo, sus movimientos y accionado deben corresponder á los del espectro. La tabla *k* se coloca exactamente paralela al espejo de cristal para que en la imagen resulte derecha la figura. La misma lámina de cristal *f* se halla también colocada en un marco movible, que se lleva á la posición conveniente mediante tornillos ó cuerdas, *h* é *i*. La instalación se practica, bien durante el entreacto, bien en plena representación, aprovechando momentos en que la atención del público está solicitada poderosamente hacia otros detalles. Es evidente que en este último caso es preciso que se haya determinado de antemano el ángulo de inclinación adecuado. Ahora bien; como el que hace de espectro tiene que ocupar una posición inclinada para que resulte paralela al espejo, y esta posición inclinada dificultaría todo movimiento, la tabla *k* es movible como una especie de carro, mediante ruedas y guías adecua-

das. El foco de luz *c* (fig. 194) se mueve también con el carro cuando no está dispuesto de manera que ilumine todo el espacio inferior dentro del cual acciona la aparición. Cuando se tiene un foco constante de luz como la luz eléctrica, se puede interceptar la iluminación por medio de una pantalla que interrumpe la radiación hacia el foso colocado en una cierta posición. En la luz oxhídrica se produce lo más cómodamente la disminución ó aumento de la intensidad mediante la llave del gas.

EL CALIDOSCOPIO

Las rayos luminosos reflejados por un espejo, pueden ser reflejados de nuevo por otro, y siguen siempre, tanto en el primero como en el segundo, las leyes que antes hemos expresado de la igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión. Sabemos que cuando estamos entre dos espejos, cada uno muestra á un tiempo nuestra imagen tomada desde uno y otro lado, y esto no una vez sola, sino repetidas más ó menos veces, según la posición de los dos espejos entre sí. Dos espejos inclinados entre sí formando un ángulo agudo, dan ocasión á algunos aparatos útiles y recreativos, pues la repetición de las imágenes bajo ciertas relaciones engendra figuras muy regulares y simétricas, que en su variedad inagotable pueden prestar en algunos casos un auxilio oportuno á los dibujantes de modelos.

Simplemente con una disposición que cualquiera puede practicar, pues basta unir entre sí dos espejos rectangulares bajo un cierto ángulo, se pueden obtener bonitos efectos haciendo que el ángulo sea tal, que esté contenido exactamente un número entero de veces en la circunferencia. Según que sea la cuarta parte, ó la quinta, ó la sexta, etc., del círculo, las imágenes de los objetos situados entre los espejos se ordenan en dibujos, ó cosa así, estrellados, de cuatro, cinco, seis ó más radios. Aquel conjunto irregular de hilos de color, perlas, manchas de tinta, pétalos de flores, trozos de cristal, en una palabra, cualquiera cosa que se tenga á mano, adquiere así una regularidad preciosa, originándose las figuras más dignas de admiración.

El calidoscopio (que quiere decir: *lo que muestra bellas imágenes*) es un aparato introducido en el comercio é inventado por Brewster en 1817, que consiste en un tubo en que están fijos unas veces dos, otras tres espejos, formando ángulos de 60°. En el interior del prisma formado por éstos, se colocan pequeños objetos coloreados, cuyas imágenes se combinan en figuras regulares de seis vértices, que pueden hacerse cambiar indefinidamente, agitando para variar la posición de los objetos.

Disposiciones semejantes al calidoscopio eran conocidas ya varios siglos atrás. Porta y el P. Kircher (en 1646) las citan, pero sin fijar la atención especialmente en ellas ni concederles la importancia que después adquirió el in-

vento de Brewster, que desde París, donde se hizo un juguete de moda, se difundió rápidamente por todo el mundo, proporcionando al inventor pingües ganancias. Durante algún tiempo se fabricaron en París diariamente sobre 60.000 ejemplares de diferentes tamaños.

FIG. 195 —Imagen calidoscópica.

Pero las aplicaciones más importantes de la reflexión sobre superficies planas son las que se han hecho en la construcción de algunos instrumentos científicos, entre los cuales merecen mencionarse particularmente el sextante, los goniómetros de reflexión y los helióstatos y heliotropos.

El sextante sirve para determinar el ángulo que forman dos puntos lejanos con el punto donde está situado el observador. Debe su nombre á su construcción usual, según la cual sirve para medir la magnitud de dicho ángulo un arco graduado igual á la sexta parte de la circunferencia. La primera idea sobre este instrumento se debe al conocido físico inglés Hooke; Newton completó esta idea, y Hadley construyó, en 1731, el primer ejemplar, según sus instrucciones. En rigor este primer ejemplar merecía más bien el nombre de *octante*, pues su arco medía sólo la octava parte de una circunferencia.

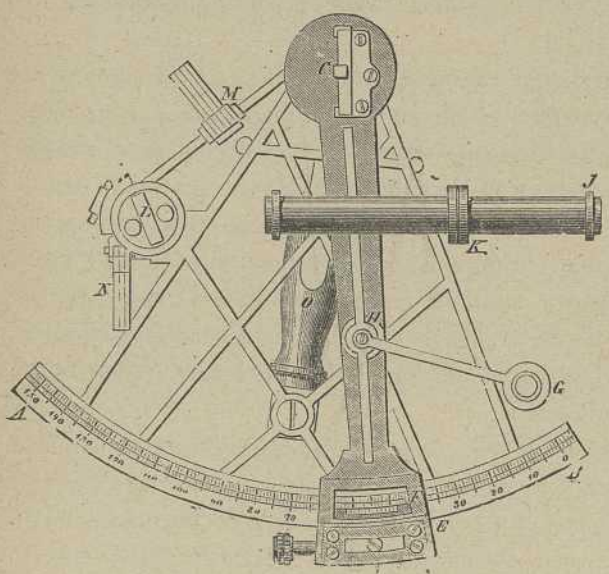


FIG. 196.—Sextante.

En la fig. 196, *A B* representa el arco de círculo graduado, alrededor de cuyo centro, *C*, puede girar la alidada *C D*. Esta lleva en su extremo superior un espejo plano *C* perpendicular al plano del arco graduado y sujeto mediante pequeños tornillos. En el otro extremo de la alidada lleva ésta un nonius, es decir, una pequeña regla formada de un modo especial, que describiremos

más adelante, y cuyas divisiones permiten leer con la mayor exactitud el valor de la rotación de la alidada. *G* es una pequeña lente que va unida á una varilla giratoria alrededor de *H* y que tiene por objeto facilitar la lectura de la graduación, cuyas divisiones están muy próximas entre sí; *I* es un anteojo que está fijo en una posición invariable dentro de una armadura, *K*. Está dirigido exactamente hacia el borde superior de un segundo espejo plano inclinado, *L*, de modo que pueda recibir á través de éste, no sólo las imágenes formadas sobre el espejo, sino también los rayos de luz emitidos por un objeto lejano situado á espaldas del mismo en la dirección del anteojo. Cuando el espejo fijo, *L*, es exactamente paralelo al espejo movible *C*, el cero del nonius coincide con el de la graduación del arco. Además de lo dicho, se ven también en la figura, en *M* y *N*, dos cristales ahumados que sirven para rebajar la intensidad de la luz cuando se quiera hacer con el instrumento observaciones solares, y en *O* se distingue una especie de mango, por el cual se sujeta el aparato para su uso. Pero para comprender mejor el principio en que se funda, es preferible que nos fijemos en la fig. 197, donde todas las partes están representadas esquemáticamente.

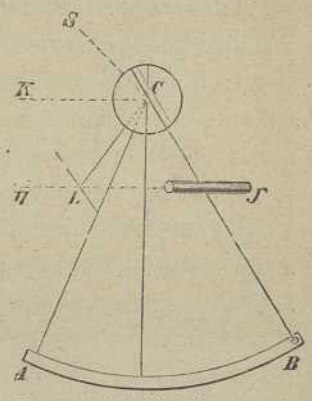


FIG. 197 —Principio del sextante.

Supongamos que los dos espejos, *C* y *L*, estén colocados paralelamente entre sí; los rayos luminosos reflejados en *C* y en *L* llegarán al anteojo en la misma dirección que llevaban antes de encontrar el espejo *C*. Se verán, por consiguiente, por el anteojo dos imágenes de un mismo objeto situado á gran distancia, la una producida por los rayos directos que pasan sobre el borde superior del espejo, *L*, la otra por los rayos reflejados sucesivamente en los espejos *C* y *L;* pudiendo establecer con toda precisión el paralelismo de dichos espejos, haciendo que estas dos imágenes se superpongan lo más exactamente posible. Esta es la posición en la cual, según ya hemos dicho, debe coincidir el cero del nonius con el del sextante. Ahora, para determinar el ángulo formado por dos puntos lejanos con el ojo del observador, en primer término es preciso situarse de modo que uno de estos puntos quede á su derecha y el otro á su izquierda, buscar después con el anteojo este último punto, que en la fig. 197 se halla en la dirección de la línea *C K*, y hacer girar después la alidada, y con ella el espejo *C* hasta que la imagen del otro punto de la derecha, vista con el anteojo por reflexión de los rayos que llegan en dirección *C S* sobre los dos espejos coincida con la del primero. El ángulo en que ha sido preciso hacer girar la alidada *C D* para obtener esta coincidencia, es precisamente la mitad del que forman las dos visuales *C S* y *C K* hacia los puntos en cuestión; y para encontrar directamente el valor de este último, la división del arco del sextante está practi-

cada de modo que señala un grado por cada arco de círculo igual á medio grado de circunferencia. El sextante es para los navegantes un instrumento irreemplazable, consistiendo principalmente su mérito en que permite verificar con exactitud suficiente las medidas angulares, sostenido en las manos sin necesidad de un punto fijo de apoyo. Para determinar un punto astronómicamente, en particular para la determinación de la latitud, es preciso tomar la altura del sol; es decir, medir exactamente el ángulo que forma éste con el horizonte á su paso por el meridiano. Todo método que exija un aparato fijo para esta determinación, que por sí misma no ofrece grandes dificultades, sería impracticable desde luego á bordo de un buque, por consecuencia de sus frecuentes oscilaciones. El sextante es el único instrumento que puede ser empleado, sin que tales oscilaciones alteren la exactitud de sus indicaciones, y por esto no falta en ningún buque que haya de navegar por alta mar.

El *goniómetro de reflexión* es un instrumento inventado por Wollaston para medir el ángulo formado por dos caras contiguas de un cristal. En él se hace aplicación para el objeto de la reflexión de los rayos de luz sobre dichas caras cuando éstas poseen naturalmente un poder reflector suficiente, ó bien se cubren de tenues láminas de cristal de espejos para darles aquella propiedad. El principio del goniómetro de Wollaston es muy sencillo. Se adapta el cristal al centro de un círculo vertical graduado en su periferia y giratorio alrededor de un eje de tal modo, que la arista del ángulo diedro que se quiere medir coincida con dicho eje. Se mira á través de un anteojo y por reflexión sobre una de las caras del cristal un objeto lejano, cuya imagen coincida con la de otro objeto situado más próximo é inmóvil. Si ahora se hace girar el círculo graduado, y por consiguiente el cristal alrededor de la arista, hasta ver á través del anteojo fijo en la posición primitiva las dos mismas imágenes por reflexión sobre la segunda cara del ángulo diedro, el ángulo de rotación es igual al suplemento del ángulo diedro que nos proponemos medir.

El *helióstato* sirve para lanzar la luz solar en una dirección constante. Su disposición es complicada, pues no estando fijo el sol, el espejo tiene que seguir continuamente sus movimientos. Sin embargo, la parte esencial de su mecanismo no está, en virtud de lo dicho, en el espejo, sino más bien en una especie de aparato de relojería, por medio del cual se obtiene el movimiento de aquél, y por esta razón no debemos entrar aquí en su estudio.

El *heliotropo* es un aparato especular para enviar la luz del sol á grandes distancias. Una superficie especular de una pulgada cuadrada, cuando le da de lleno el sol, es visible hasta una distancia de más de cuarenta kilómetros, y se comprende, por tanto, que este sistema de señales puede ser empleado con excelentes resultados en las medidas topográficas, debiendo tenerse en cuenta que es preciso que aquél que envía la luz á otra estación esté seguro que llega exactamente en la dirección del anteojo de observación. El heliotropo inventado

por Gauss realiza este objeto por un medio sumamente ingenioso. Steinheil, en Munich, ha propuesto otro instrumento de este género, que se distingue por su gran sencillez.

Mencionaremos también, aunque sólo de pasada, las diferentes disposiciones de espejos que en estos tiempos se usan para iluminar y observar las partes internas del cuerpo humano; los diversos laringoscopios, oftalmoscopios, etc. Son en su mayor parte espejos cóncavos que envían la luz sobre el órgano que se quiere observar, y que llevan un pequeño orificio para mirar por él dichos órganos, mientras son iluminados.

REFLEXIÓN SOBRE SUPERFICIES CURVAS

Cuando un rayo de luz llega á una superficie curva, obedece á la misma ley de reflexión que sobre las superficies planas. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, sólo que el punto sobre el cual incide el rayo, debemos considerarlo como un pequeño plano en dirección tangencial á la superficie curva, para encontrar comprobada aquella ley. Las superficies curvas son de dos especies, salientes ó huecas, ó, para hablar en el lenguaje de los físicos, convexas ó cóncavas. Un vidrio de reloj nos muestra por su cara externa un ejemplo de las primeras, y de las segundas por su cara interna. Pero como quiera que la naturaleza de la curvatura puede ser muy diversa, pues hay superficies cilíndricas, cónicas, esféricas, elipsoidales, parabólicas, etc., etc., las imágenes producidas sobre ellas ofrecen una gran variedad, á pesar de la sencillez de aquella ley fundamental de la reflexión.

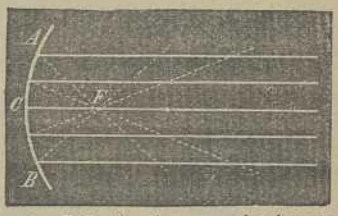


FIG. 198.—Reflexión sobre un espejo cóncavo de rayos incidentes paralelos.

En los espejos cóncavos en ciertos casos se reunen todos los rayos reflejados en un solo punto, el *foco*. Si, por ejemplo, la superficie reflectante *A B* (fig. 198) es una porción de superficie esférica, y el punto luminoso está tan lejos que los rayos que de él llegan al espejo puedan considerarse como paralelos, el foco se halla á la mitad del radio, ó sea la distancia al espejo del centro de la superficie esférica á que pertenece, y en el eje del espejo, esto es, en la dirección de un rayo tal, que se refleja en la misma dirección que traía al llegar á éste. La distancia del foco al espejo, en este caso, se llama distancia focal principal. Pero si el punto luminoso está más próximo, de suerte que no puedan ya considerarse sus rayos como paralelos, el foco se forma más lejos del espejo, aproximándose al centro de curvatura, con el cual llega á confundirse cuando el punto luminoso se sitúa en dicho mismo centro de curvatura. Si el punto luminoso se aproxima aún más al espejo, el foco se aleja de él cada vez más, y su

distancia se hace infinita cuando el punto luminoso se sitúa en el foco principal *F;* los rayos reflejados parten entonces paralelos entre sí; y, por último, se

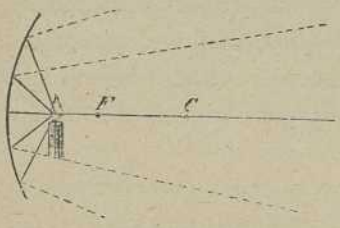


FIG. 199.—Rayos reflejados divergentes.

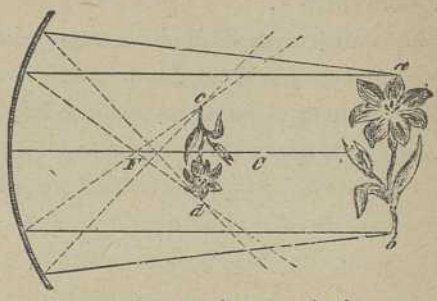


FIG. 200.—Imagen real en un espejo cóncavo.

hacen divergentes cuando el punto luminoso se halla entre el foco principal y la superficie del espejo (fig 199).

Las imágenes especulares son de dos clases, originándose respectivamente de las maneras siguientes. Cuando el objeto se halla más allá del centro de curvatura, como *a b* en la fig. 200, desde el extremo *a*, por ejemplo, parten rayos de luz hacia todos los puntos de la superficie del espejo, los cuales, después de reflejados, concurren en un punto *d* sobre el eje secundario *a c d* que pasa por el centro de curvatura *C*. Lo mismo sucede á los rayos emitidos por el otro extremo, así como por todos los puntos de la superficie del cuerpo. Por la reunión de todos estos focos, de los cuales sólo dos hemos construído en la figura, se forma la imagen, que debe ser en este caso invertida, y más pequeña que el objeto, según se ve en nuestro grabado. Esta imagen podemos recibirla sobre un disco de cristal mate, y por esto se llama imagen real, en oposición á la imagen virtual, que no existe en realidad, sino que se engendra sólo en nuestra imaginación cuando el objeto está situado entre el foco principal y la superficie del espejo. La marcha de los rayos luminosos en este último caso está dada por la fig. 201. Los peque-

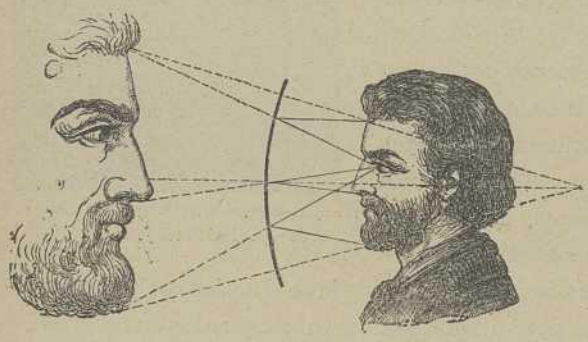


FIG. 201.—Imagen virtual en un espejo cóncavo.

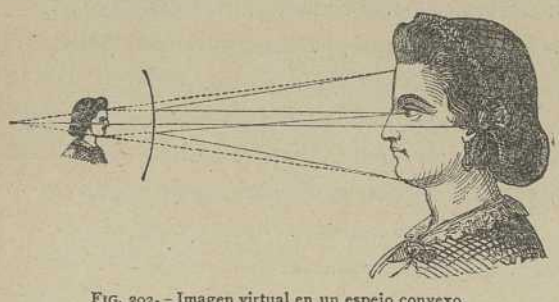
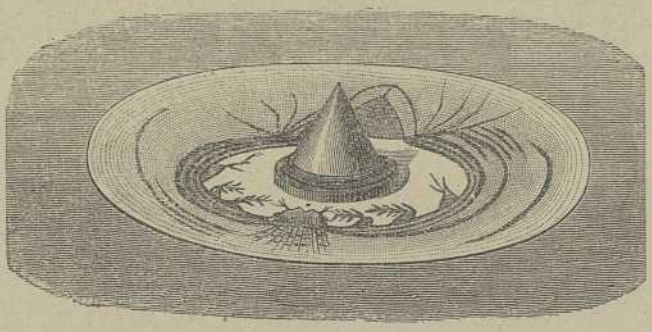
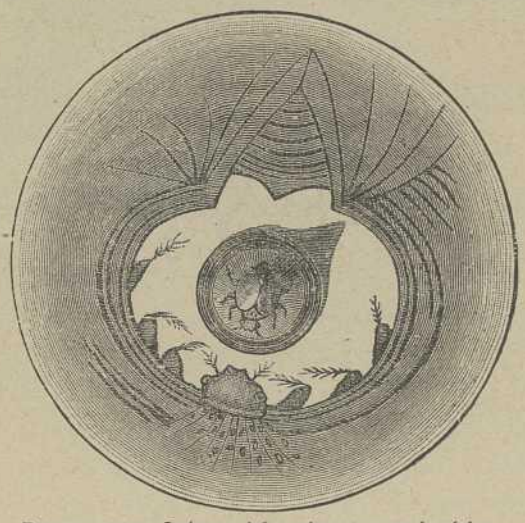


FIG. 202.—Imagen virtual en un espejo convexo.

ños espejos cóncavos que se suelen emplear para afeitarse, nos ofrecen un ejemplo de esta clase de imágenes, que son siempre derechas, y en el caso citado aumentadas.

Los espejos convexos no pueden dar nunca imágenes reales, pues los rayos que partiendo de un punto se reflejan sobre ellos, salen siempre divergentes en todos sentidos. Pero dan imágenes virtuales que son derechas y más ó menos





FIGS. 203 y 204 —Imágenes deformadas en un espejo cónico.

disminuídas, según la curvatura del espejo y la distancia á él del objeto. Esas grandes esferas ennegrecidas ó plateadas por dentro que se colocan como adorno en los jardines, permiten verificar conprobaciones experimentales, y la figura 202 aclara bastante lo dicho, aplicando á ella las mismas consideraciones que á los espejos cóncavos.

Estos son los casos más sencillos de espejos curvos. Los más complicados fenómenos que se nos presentan en la Naturaleza en formas variadas hasta lo infinito, pueden ser resueltos y aplicados según las leyes antes estudiadas. Sin embargo, no se han hecho de estos espejos aplicaciones muy importantes, á ex-

cepción de los elípticos y parabólicos, que se utilizan como medios de iluminación. Ni las imágenes deformes que se obtienen de figuras regulares en espejos cónicos y cilíndricos, y que constituían un objeto de curiosidad en antiguas colecciones (figuras 203 y 204), ni las imágenes flotantes en el aire, que se dibujaban sobre nubes de humo, ó colgaduras *ad hoc*, y debieron jugar un papel muy importante en ciertos actos misteriosos y espirituales de épocas pasadas, pueden aquí ocupar más tiempo nuestra atención. Al tratar del telescopio de reflexión y algunos otros aparatos, de los cuales forman parte integrante los espejos esféricos, tendremos ocasión de recordar los principios que dejamos establecidos.

EL PRISMA

Y EL

ANALISIS ESPECTRAL

Mitología.—Refracción de la luz.—Idem en el agua y en el aire.—*Fata morgana.*—El prisma.—Reflexión total.—La cámara lúcida.—El espectro solar.—Descomposición de la luz blanca en rayos coloreados.—Sonidos y colores.—Goëthe y la teoría de los colores de Newton.—Fluorescencia.—Líneas de Fraunhofer.—Diversidad de los espectros de distintos focos luminosos.—Espectros continuos y espectros de los gases y vapores.—Historia del análisis espectral.—Kirchhoff y Bunsen.—Espectroscopios.—Descubrimiento de nuevos metales por el análisis espectral.—Aplicación del análisis espectral á la investigación de la naturaleza de los cuerpos celestes.—*¿Qué es lo que constituye el Sol?*—Protuberancias.

SIETE vírgenes se reunieron (así cuenta la fábula india) para festejar la llegada de Krischna (Dios de la luz). Pero cuando éste se les apareció y les ordenó que bailaran en su presencia, ellas, entristecidas, se vieron obligadas á advertir que les faltaban parejas. Entonces el dios se dividió en siete partes, y cada virgen obtuvo su correspondiente Krischna.

Este mito tiene una analogía sorprendente con un cuento que nos dejó Píndaro. Cuando los dioses se repartieron entre sí la tierra, el dios del sol quedó olvidado y hubo que adjudicarle solo una isla que había quedado, la cual sobre-

salía en medio del mar. En ella, pues, se instaló, recibiendo la isla el nombre de Rhodos, del de su amante, de la cual tuvo siete hijos, quedando consagrada al culto del fuego sagrado. En las pinturas antiguas Apolo está adornado con una diadema que tiene siete radios, y Juliano llama á la divinidad del sol el «dios de siete rayos», cuya calificación, muy significativa, parece ser de origen caldeo.

Ahora bien: estas poéticas concepciones de tiempos remotos se reflejan de un modo muy notable en ciertas teorías rigurosamente matemáticas de la física moderna. También puede ser que las siete vírgenes favorecidas por Krishna y los siete hijos de la ninfa de Rhodos, como tantas otras creaciones poéticas, hayan venido á coincidir en el número siete, por ser éste considerado como sagrado, y hasta que su influencia hiciera preconcebir en el fenómeno admirable del arco iris la presencia de siete colores distintos; de todos modos, para nosotros en aquellos mitos se hallan las primeras raíces de una teoría sobre los colores del espectro que, apoyada después en los descubrimientos científicos de Newton, se halla hoy generalizada como fundamento reconocido y evidente de un importante grupo de fenómenos.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Los destellos fascinadores del diamante, el espejismo engañador de nuestros sentidos, el poder de los vidrios en forma de lentes que nos permite abarcar con la mirada lo sumamente pequeño y lo inmensamente lejano; el puente de matices delicadísimos del arco iris, todos estos y otros muchos admirables fenómenos dependen de la sencilla propiedad de los rayos de luz, en virtud de la cual adquieren una nueva dirección cuando pasan de unos á otros cuerpos transparentes, ó cuando la densidad del cuerpo en cuyo interior se propagan, es distinta en las diferentes capas recorridas por aquéllos. Esta particularidad constituye la llamada *refracción de la luz*. Podemos convencernos de ella fácilmente si en una vasija poco profunda, cuyo fondo está, sin embargo, oculto á nuestra vista por las paredes cuando nos colocamos á cierta distancia, ponemos una moneda, por ejemplo, sobre dicho fondo. Dicha moneda, que, como es natural, no nos será tampoco visible, aparecerá, sin embargo, de pronto á nuestra vista, llenando de agua la vasija. Los rayos de luz que la moneda refleja y que antes pasaban por encima de nuestros ojos, han tenido que ser desviados de su camino recto para que ahora puedan penetrar en ellos (fig. 205). La imagen se halla aparentemente en otra dirección que el objeto que la engendra, y por esta causa precisamente no podríamos acertar á un pez dentro del agua, si no apuntáramos con nuestra arma algo más abajo del punto donde parece encontrarse. La causa de este fenómeno es que el rayo de luz, á su paso del agua al aire, y en general á su paso de uno á otro medio menos refringente, se separa

de la perpendicular á la superficie de separación; recíprocamente la luz se aproxima á esta perpendicular, cuando pasa de un medio á otro más denso (fig. 206). El ángulo *a c d* que forma el rayo incidente *a c* con la normal *d c*, se llama ángulo de incidencia, y ángulo de refracción al que forma el rayo desviado *b c* con la prolongación de la misma normal *c e;* por consiguiente, en la figura será el ángulo *b c e.*

El ángulo de refracción crece con el ángulo de incidencia, pero de un modo determinado y especial. *La relación de ambos ángulos entre sí, ó más bien la relación de sus senos, a d, b e, es constante y constituye lo que se llama índice de refracción.* Esta ley fué descubierta por Snellius en el año 1620, pero no fué publicada hasta el año 1637 por Descartes.

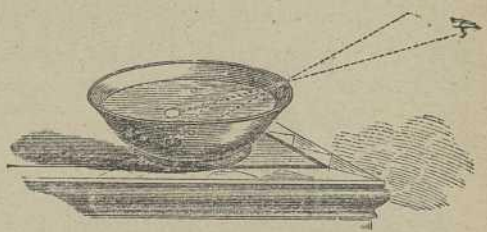


FIG. 205.—Refracción de la luz del agua al aire.

Para los dos medios en que se mueve la luz en el caso representado por la figura 206, el índice de refracción está dado por los números *4* y *3*, siendo igual á $^3/_4$ cuando la luz pase del agua al aire, y á $^4/_3$ cuando supongamos que marche del aire al agua. Generalmente se representa por *n* el índice de refracción de un cuerpo cualquiera, suponiendo que la luz pasa del aire á su interior. Cuanto mayor es la diferencia entre los llamados poderes refringentes de dos cuerpos, tanto mayor es el índice de refracción entre ambos. Cuando la luz se refracta en las capas sucesivas de un mismo medio, la refrangibilidad de éstas se halla en íntima relación con la densidad relativa de las mismas. Pero tratándose de cuerpos de distinta naturaleza, no puede confundirse, como suele hacerse con frecuencia, la densidad y la refrangibilidad, diciendo que el rayo luminoso se aproxima á la normal cuando pasa de un medio á otro más denso. El benzoico, por ejemplo, refracta la luz en mayor proporción que otros gases de mayor densidad. Por tanto, cuando empleemos en lo sucesivo las palabras más ó menos denso, refiriéndonos al fenómeno de la refracción, lo haremos sólo por la brevedad, pero siempre en el sentido de que esta densidad significa para el caso lo que podríamos llamar densidad óptica, ó sea refrangibilidad.

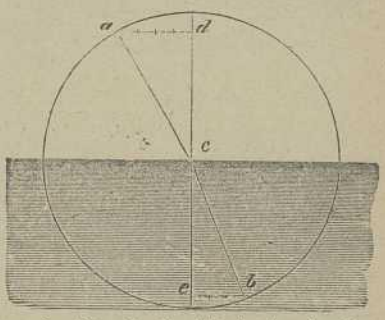


FIG. 206.—Determinación del índice de refracción.

El *espejismo (fata morgana)* nos muestra un caso en que la luz se refracta en el interior de un mismo medio. La acción desigual del Sol, y particularmente la radiación de la Tierra, produce en las diferentes capas horizontales una dilatación desigual, de suerte que cada una de ellas adquiere distinta refrangibili-

dad. En virtud de ella, puede hacerse visible un paisaje situado bajo el horizonte de un punto, de la misma manera que se hace visible la moneda oculta por las paredes de una vasija. Cuando estas capas de distinta densidad se suceden unas á otras con regularidad, las superficies de separación pueden también dar ocasión á reflexiones, por consecuencia de las cuales aparecen las imágenes invertidas de los cuerpos. No es, pues, extraño ni maravilloso que el aire burle á las sedientas caravanas del desierto con fingidos oasis y transparentes lagos. (Figura 207.) Según relaciones de periódicos, los viajeros que han subido al pico de Tenerife creen haber visto con sorpresa cadenas de montañas de América, que distan ciento de leguas. Todos los rayos de luz que, procedentes de los espacios interplanetarios, llenos de un éter sutilísimo, penetran en nuestra atmósfera, son igualmente desviados, á consecuencia de lo cual únicamente vemos en su posición real á las estrellas que se hallan exactamente sobre nuestras cabezas en el cenit; todas las demás las vemos algo más altas de lo que realmente están, y esta elevación aparente es tanto mayor, cuanto más próximas están del horizonte, y tienen, por tanto, sus rayos que atravesar una capa más espesa de aire hasta llegar á nosotros. Este fenómeno constituye en la astronomía la refracción ó aberración atmosférica.

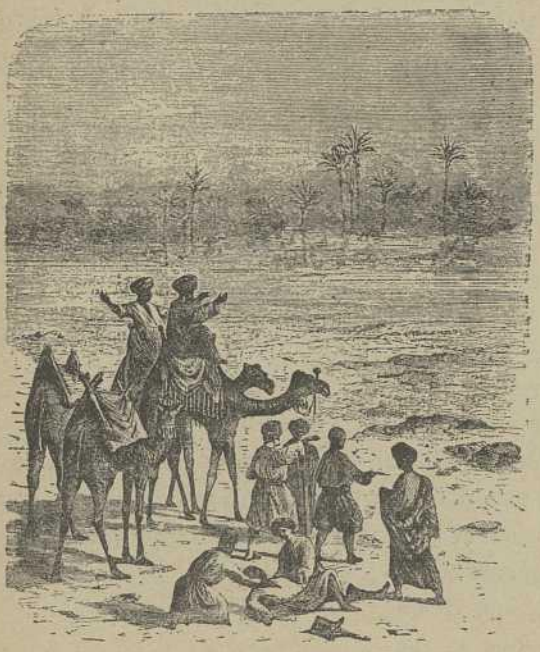


FIG. 207.—Espejismo.

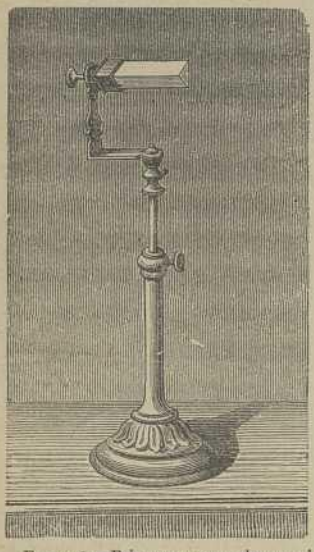


FIG. 208.—Prisma con armadura y pie.

El *prisma*, «ese instrumento (dice Goëthe) que tan alta estima alcanza en los pueblos orientales, que el emperador de la China se reserva para sí solo su posesión como un derecho supremo, y cuyas extraordinarias propiedades nos impresionan desde niños y excitan en todas las edades nuestra admiración;» instrumento sobre el cual puede decirse que

descansan todas las teorías emitidas hasta hoy sobre la composición de la luz es el objeto que va á ocupar nuestra atención en las siguientes líneas. No se exigen grandes explicaciones para comprender lo que es un prisma. Por fortuna, no tienen para nosotros ninguna fuerza los lazos de cariño que unen á los «hijos del Sol.» Este sencillo instrumento, un prisma triangular tallado en un cuerpo transparente de caras bien lisas y planas y aristas paralelas, está tan generalizado, que cualquier niño puede familiarizarse con sus vivos juegos de color. Para el físico basta sólo un ángulo diedro agudo cualquiera para el estudio de los fenómenos prismáticos. Con objeto de hacer más cómodo su manejo en las investigaciones físicas, se adapta al prisma, que debe estar tallado lo más delicadamente posible en un vidrio homogéneo y bien limpio, una armadura de latón, por medio de la cual se puede hacerle tomar cualquiera posición y mantenerle fijo en ella. Lo mismo que con el vidrio, se pueden también formar prismas con otros cuerpos transparentes, incluso con líquidos y gases, los cuales se encierran en prismas huecos de cristal de paredes delgadas.

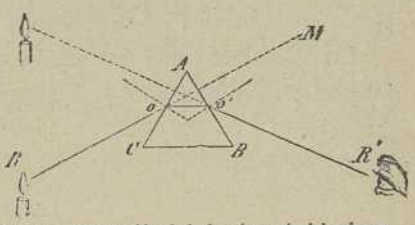


FIG. 209 —Refracción de la luz á través del prisma.

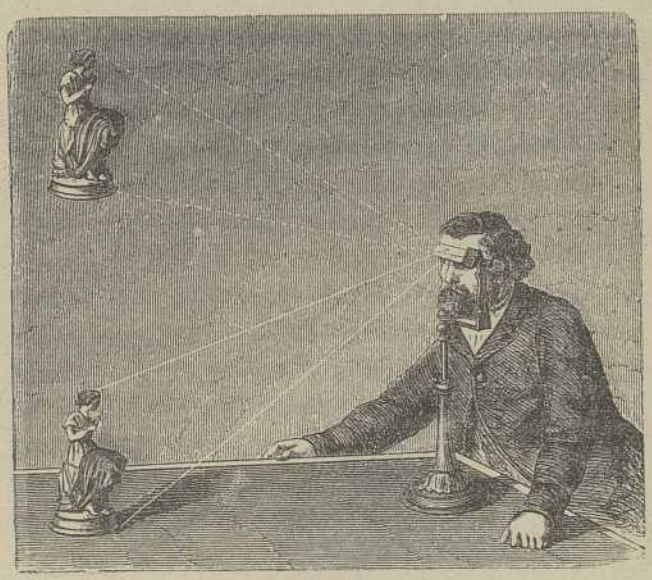


FIG. 210.—Desviación de la imagen por el prisma.

Ahora bien: ¿cómo se conduce un rayo de luz al atravesar un prisma? La fig. 209, en la que el triángulo *A, B C* representa el corte transversal de un prisma regular, nos lo explicará fácilmente. En ella *R o* es el rayo incidente; *A C* y *A B*, son las caras del prisma físico, propiamente dicho, en este caso; la arista *A* es la del prisma, el ángulo formado en *A* por las caras *C A*, y *B A* es el ángulo del prisma, y la cara *B C* su base. A su entrada en un medio más denso, el rayo *R o* se aproxima á la normal, mientras que á su salida por la cara *A B*, pasando de nuevo al aire, medio menos denso, se separa de la normal correspondiente. En lugar de seguir su dirección primitiva, marcha, pues, últimamente en la dirección *o' R'*. Si tenemos, por tanto, un prisma delante de nuestros

ojos en la forma indicada, no veremos los objetos situados detrás de él en su verdadera posición, sino que se nos presentarán transportados á otro punto, y según muestran las figuras 208 y 209 parecerán desviadas hacia lo alto, es decir, hacia la arista del prisma; pues lo que sucede á uno de los rayos sucede igualmente á todos los que parten del objeto.

La magnitud de la desviación depende del valor del ángulo del prisma *A*, del poder refringente de la sustancia del prisma y del valor del ángulo de incidencia.

LA CÁMARA LÚCIDA

En ciertas circunstancias puede ocurrir que un rayo de luz no salga de un medio más refringente á otro menos refringente, porque llegue á la superficie de separación bajo una dirección tan inclinada, que en virtud de las mismas leyes de la refracción queda ésta convertida en una reflexión; en este caso, y cuando la inclinación se haga todavía mayor, son reflejados todos los rayos, cosa que nunca sucede en los mejores espejos, en los cuales siempre es absorbida una parte considerable de la luz incidente. En nuestra fig. 211, los rayos que parten de un centro de radiación *C* colocado en el interior del medio más denso, experimentan una acción distinta, en virtud de lo dicho, en la superficie de separación de los dos medios, según que estén comprendidos dentro ó fuera del cono limitado por las líneas llenas *C b*. En efecto, todos los rayos que quedan dentro de este cono salen del medio más denso al menos denso, cambiando de dirección en la superficie límite según el índice de refracción correspondiente; los rayos *b*, por el contrario, resbalan sobre la superficie misma, pues según el mismo índice, á su ángulo de incidencia corresponde un ángulo de refracción de 90°; por último, todos aquellos rayos que llegan á la superficie de separación bajo un ángulo todavía menor que el anterior, y por consiguiente forman un ángulo de

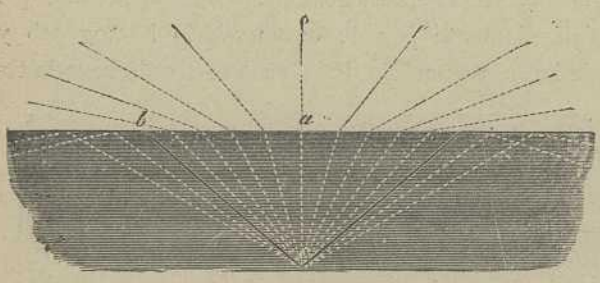


FIG. 211.—Reflexión total.

FIG. 212.—Cámara lúcida.

incidencia mayor que el de los rayos *b*, deberán formar un ángulo de refracción mayor de 90°, ó, lo que es lo mismo, el rayo refractado, en vez de salir al medio menos denso, seguirá propagándose en el primer medio como si se hubiera reflejado sobre la superficie de separación. Como que al pasar de un medio menos denso á otro más denso los rayos de luz aproximan á la normal, es evidente que en este caso siempre tendrá ingreso en el segundo medio y no podrá, por tanto, verificarse el fenómeno anterior, llamado reflexión total. Éste tiene diferentes límites, según los cuerpos entre los cuales se efectúa; para el agua y el aire el ángulo límite es de 48°,5; entre el diamante y el aire vale sólo 24°.

Una aplicación interesante de esta reflexión total, que por lo demás puede observarse fácilmente en cualquier vaso lleno de agua, es la que se ha hecho en la construcción de la cámara lúcida. Este aparato no consiste esencíalmente más que en un pequeño prisma triangular ó cuadrangular *a*, *b*, *c d* (fig. 212). Los rayos de luz que entran en éste perpendicularmente á la cara *a d*, no pueden salir por la cara *b c*, pues el ángulo que forman con ella está calculado de manera que dichos rayos sufren allí la reflexión total, y lo mismo les sucede sobre la cara *c d;* sólo cuando llegue á la cara *a d* se acercan bastante á la normal para poder atravesarla saliendo al exterior. Dirigiendo el observador su mirada en la dirección de los rayos emergentes, verá por reflexión la imagen del objeto, y como el prisma tiene tan pequeñas dimensiones que estando muy próximo el ojo se puede mirar al mismo tiempo libremente alrededor, resulta muy fácil seguir con un lápiz los contornos de la imagen reflejada sobre un papel blanco colocado á la distancia de la visión distinta. Aplicado en esta forma, y para este fin, constituye el aparato una cámara lúcida.

EL ESPECTRO

Pero volvamos ahora sobre el prisma. Parecía natural que si en lugar de un rayo único, que en la práctica es absolutamente imposible aislar, hacemos pasar á través de dicho instrumento un haz de rayos, como, por ejemplo, el que entra en una cámara completamente oscura á través de un pequeño orificio circular; parecía natural, decíamos, que por consecuencia de la refracción todo este haz de rayos fuera desviado de su propia dirección cual un rayo solo, y que sobre la pared de enfrente se formara una imagen circular blanca del orificio, aunque en un punto distinto del en que se hubiera formado si los rayos no hubieran sido desviados de su primitiva dirección. Y sin embargo, no es esto lo que sucede, sino que, practicando la experiencia en la forma indicada por la fig. 213, nos encontramos con la notable observación de que la imagen del orificio ha sido desviada, deformada y coloreada de un modo regular por el prisma. Esta imagen es lo que los físicos llaman espectro, y cuando se ha obtenido

por la luz del sol, espectro solar. Parece un trozo de arco íris, pues en éste como en aquél, encontramos los mismos colores y en el mismo orden desde el rojo al anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta.

El fenómeno se observa con mayor belleza cuando la luz penetra por una rendija vertical estrecha y se hace atravesar por un prisma de flintglas, cuya arista se coloca paralelamente á los bordes de la rendija, observando los rayos refractados por medio de un anteojo. La fig. 213 muestra una disposición semejante, y las letras colocadas sobre las distintas partes del espectro indican el color correspondiente, según la serie antes enunciada de derecha á izquierda.

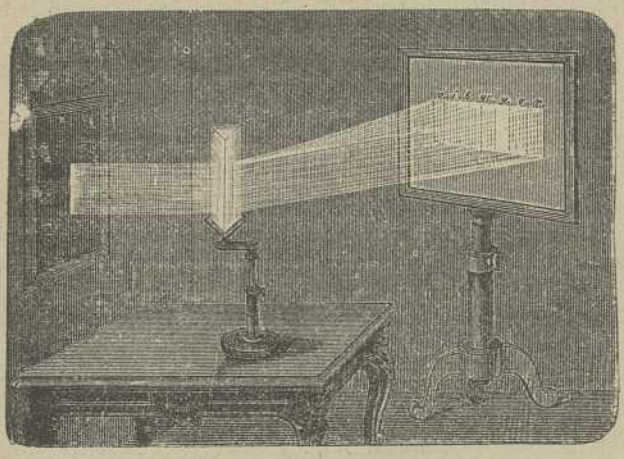


Fig. 213.—Descomposición de la luz solar por el prisma.

Wollaston enseñó en 1802 este método de experimentación; pero el primero que obtuvo espectros bien definidos en la cámara oscura por un orificio circular, fué Newton. A él debemos también la interpretación exacta de este fenómeno tan notable.

No cabe duda alguna de que los rayos rojos del espectro han sido menos desviados por el prisma de su propia dirección, que los violetas; y de que los rayos colocados entre estos extremos y diversamente coloreados, poseen una refrangibilidad tanto mayor, cuanto más lejos se hallen del rojo y más próximos del violeta en dicho espectro. Y como quiera que nada hay en el rayo solar sino su propia luz, no podemos menos de admitir que esta luz ordinaria que nos parece blanca, no es simple; es decir, no consta de ondulaciones completamente idénticas entre sí por todos conceptos, sino que en ella están contenidas vibraciones de diferente refrangibilidad, las cuales son separadas unas de otras por el prisma, y después de haber quedado así clasificadas ó agrupadas las de cada suerte, producen en nuestro ojo una impresión distinta de color. He aquí el Krishna partido en siete pedazos; he aquí los siete hijos de la ninfa amada por el dios del Sol, los siete rayos que rodean la cabeza de Apolo.

La luz de refrangibilidad constante, que no puede ser ya descompuesta ni dar un espectro alargado y coloreado por el prisma, se llama luz homogénea simple, ó monocromática, de ésta se componen las partes verticales más pequeñas ó irreductibles del espectro.

Pero esta afirmación podría ser considerada errónea si no fuera susceptible

de ser comprobada. Si es cierto que podemos descomponer la luz blanca en sus partes integrantes, también debe ser posible necesariamente regenerar este todo por la reunión de sus partes. Y así es, en efecto. La manera de conseguir esto nos la dió también Newton. Si se observa á través de un prisma el espectro producido por otro prisma de igual ángulo, igual poder refringente y colocado en posición contraria al primero, se reunen de nuevo las diferentes partes de dicho espectro y se ve una imagen completamente blanca. Si sobre el prisma á través del cual miramos cae sólo una porción del espectro, y no todo él, este prisma concentra también todas las porciones que penetran en su interior; pero entonces no se origina ya la luz blanca, sino que se forma un color, el cual sólo daría el blanco juntándole á su vez con todos los rayos del espectro que no habían entrado en su composición. Supongamos, por ejemplo, que hayamos dejado aparte el rojo; todos los demás rayos dan por su fusión un verde; si fuera el azul el que hubiéramos eliminado, obtendríamos un anaranjado. Pues bien: aquel verde y el rojo se complementan para constituir el blanco; lo mismo sucede con el azul y el anaranjado, el violeta y el amarillo, etc.; bien entendido que uno al menos de estos dos colores ha de ser siempre compuesto. Cada color, pues, tiene su correspondiente con el cual completa el blanco, y que recibe el nombre de color complementario. La teoría de los colores de Newton completa el estudio de la causa y relaciones de estos fenómenos que se obtienen directamente por la investigación espectral.

Los colores no son en modo alguno las materias colorantes y pigmentos, etc.; son ni más ni menos que las impresiones originadas sobre nuestro nervio óptico, por rayos luminosos de distinta refrangibilidad, así como los sonidos no existen fuera de nuestro oído, sino que consisten sólo en nuestra sensación auditiva, que es excitada por vibraciones del aire que se suceden con cierta regularidad y determinada rapidez. Más adelante encontraremos ocasión de discurrir detalladamente sobre la sensación del sonido; pero aquí séanos permitido, sin embargo, llamar la atención de nuestros lectores sobre la íntima analogía entre sonido y color.

La diferente refrangibilidad de los rayos de luz es una consecuencia de la velocidad distinta con que se suceden unas á otras las vibraciones etéreas, y los colores están entre sí en una relación de altura y gravedad semejante á la de los sonidos de la música, sólo que en aquéllos que se engendran en un medio incomparablemente más tenue, tienen que ser las vibraciones mucho más rápidas y menos diferentes entre sí, por su duración respectiva. Mientras que nuestro oído puede percibir ya como sonido una serie de ondulaciones correspondientes á unas 41 por segundo, el ojo sólo comienza á ser excitado cuando penetran en él vibraciones en número de 450 billones por segundo. Aquel sonido, el más grave para nuestro oído, corresponde al *mi*—$_2$; para el ojo el tono de color más bajo es el rojo más oscuro del espectro. El sonido musical más alto que

podemos todavía oir, tiene un número de vibraciones de cerca de 24.000, estando, por consiguiente, en el caso de distinguir con nuestro oído más de 9 octavas. Al ojo no le ha cabido una capacidad correspondiente, puesto que á los 800 billones de vibraciones por segundo, cesa ya para él la sensación del color con el violeta extremo. No puede, pues, abarcar una sola octava, que llegaría próximamente á 900 billones de oscilaciones por segundo. Es, sin embargo, interesante en alto grado el ver que el tono de color en el violeta á medida que se aproxima á la octava, se inclina también más hacia el matiz rojo, y si nos place podríamos admitir que en un ojo suficientemente sutil para percibir ópticamente las vibraciones con rapidez de 900 billones por segundo, la sensación sería tal vez la del rojo tan puro, aunque más intenso, que el rojo con que el espectro comienza; una potencia de este color. ¿Reinará quizá para las sensaciones de nuestros sentidos una agrupación por octavas en todo el dominio de los fenómenos vibratorios, y dependerá tal vez sólo de la imperfección de nuestros órganos el que podamos tener conciencia de esta periodicidad únicamente en una proporción muy limitada? Las vibraciones existen más allá de estos estrechos límites de la sensibilidad de nuestros sentidos, como demuestran las acciones químicas del espectro, y sería de desear, para resolver esta cuestión, que pudiera el hombre encontrar un órgano capaz de sentir como luz, tanto las más lentas vibraciones aéreas que nosotros percibimos como tales, como aquellas otras cuyo número en un segundo llega á 900 billones. Es posible que existan animales con una sensibilidad tan elevada, pero es muy difícil averiguarlo.

No podemos sustraernos al deseo de citar aquí la descripción felicísima de Doves, que nos muestra cómo las vibraciones producen sucesivamente sensaciones de sonido, calor, luz, etc. Oigamos sus propias y elocuentes palabras:

«En el centro de una gran habitación oscura, supongamos colocada una barra que puede ponerse en oscilación ó vibración existiendo un mecanismo especial que haga crecer sucesiva y continuamente la velocidad de este movimiento vibratorio. Si yo entrara en esta habitación en el momento en que la barra verificase cuatro oscilaciones por segundo, ni mis ojos ni mis oídos me dirían nada acerca de su existencia, y sólo podría adquirir el conocimiento de que estaba allí tocándola con la mano, que sentiría sus golpes. Pero las vibraciones irían haciéndose más rápidas, alcanzando el número de 32 en un segundo, y entonces vendría á herir mi oído un sonido sordo y grave (1). El sonido se elevaría continuamente, recorrería todas las notas posibles hasta la más aguda y chillona; pero después caería todo de nuevo en su anterior silencio sepulcral. Antes de que pudiera salir de mi sorpresa por aquello que había oído, me sentiría de pronto impresionado (en virtud del aumento incesante de la velocidad vibrato-

(1) Helmholtz considera que el sonido más grave, perceptible, corresponde á 40 vibraciones.

ria de la barra), por un calor suave que llegaría á mí en la dirección del punto donde se había producido el sonido, tan agradable como si fuera enviado por una estufa. Sin embargo, todo permanecería aún oscuro. Las vibraciones se irían haciendo siempre más rápidas; débil luz rojiza comenzaría á manifestarse; haciéndose cada vez más viva, la barra se vería ya enrojecida, después se haría amarilla, y recorriendo todos los colores, cesaría después del violeta, cayendo otra vez el espacio en la absoluta oscuridad. De tal modo la naturaleza hablaría á los distintos sentidos primeramente en voz muy baja, sólo perceptible á una distancia insignificante, después á gritos susceptibles de ser oídos á distancias cada vez mayores, y, por último, alcanzándonos su voz á distancias inmensas mediante las vibraciones luminosas.»

Es sabido que Goëthe trató de asentar, en contra de los principios sencillos establecidos por Newton, una teoría propia de la luz coloreada. Al gran poeta le repugnaba en cierto modo que la luz y los fenómenos relacionados con ella pudieran ser sometidos á un estudio matemático; que los vivificadores rayos del sol se vieran sujetos á la medida y el cálculo. Así que cerró los ojos en presencia de la poderosa fuerza demostrativa de las investigaciones experimentales y ridiculizó los resultados obtenidos por los partidarios del gran filósofo inglés, que se habían atrevido á separar por el prisma las partes integrantes elementales del rayo solar; esta burla de Goëthe encontró gran número de secuaces. Pero por más que éstos se hayan manifestado muy apasionados en sus esfuerzos, no podían hacer otra cosa que expresar frases, conceptos y comparaciones generales, que sin más elevaban á la categoría de verdades fundamentales, careciendo del rigor lógico de los métodos de investigación experimental y matemática. Como es natural, sus ardientes polémicas no han hecho avanzar ni un cabello á la ciencia ni á los intereses de la vida práctica, y con perfecta razón la posteridad ha sepultado en el olvido tan infecundas sutilezas.

Aparte de los rayos coloreados del espectro, hay también en la luz solar, según ya hemos indicado, otros que no originan espontáneamente ninguna sensación sobre nuestro órgano de la vista. Éstos son refractados por el prisma, exactamente en la misma forma que los otros; pero así como las vibraciones del aire demasiado rápidas no determinan ya ninguna impresión sobre nuestro oído, así tampoco actúan sobre nuestro nervio óptico las ondas étereas cuya refrangibilidad es superior á la del violeta del espectro. En cambio, hay ciertas combinaciones químicas que son alteradas por dichas ondas, cuya circunstancia permitió á Becquerel, cuando proyectó el espectro solar sobre una placa daguerreotípica en 1842, el descubrimiento de estos llamados rayos químicos. Hoy se sabe que esta luz químicamente activa, que juega un papel tan importante en la fotografía, puede también hacerse en parte visible por medio de ciertas sustancias, como disoluciones de quinina, cocimientos de castañas de Indias, vidrio de Urano, etc. Este fenómeno, conocido con el nombre de fluorescencia, ó sea la acción

que sobre las vibraciones químicas ejercen aquellas sustancias, consiste en que á través de éstas se hacen más lentas las vibraciones, con lo cual vienen á quedar visibles á nuestros ojos.

LAS LÍNEAS DE FRAUNHOFER

En sus investigaciones sobre el espectro solar, Wollaston había encontrado ya que éste no estaba constituído por partes sucesivas continuamente entre sí, como parece á primera vista, sino que mostraba en las brillantes franjas coloreadas, rayas oscuras aisladas, en dirección perpendicular á la longitud del espectro (1802). Sin embargo, Fraunhofer, el célebre óptico de Munich, fué el primero que observó exactamente este fenómeno (1814), y descubrió que las rayas oscuras aparecían siempre exactamente en los mismos puntos del espectro, y, por último, que su número era extraordinariamente grande. A la manera como la nebulosa llamada vía láctea se resuelve ante los telescopios en estrellas aisladas y distintas, así ante instrumentos de observación más perfectos que los anteriores, cada una de las bandas oscuras conocidas se resolvía cada vez en nuevas líneas separadas entre sí. Él mismo determinó la posición de 576 líneas de este género, las cuales han recibido el nombre de rayas de Fraunhofer, en homenaje á su descubridor.

Fraunhofer designó con letras las más marcadas de estas rayas, las cuales tienen una importancia especial, porque siendo posible encontrarlas siempre de una manera bien determinada, constituyen el medio más seguro para averiguar con toda exactitud los índices de refracción de los distintos cuerpos.

La construcción de instrumentos ópticos, y las ciencias que de ellos hacen aplicación, como la astronomía, microscopía, fotografía, etc., han recibido de este descubrimiento servicios de incalculable valor. Y he aquí un ejemplo de que muchas veces lo que á los ojos del vulgo parece infructuoso y reducido á fútiles sutilezas científicas, produce, sin embargo, los resultados prácticos más inesperados: que en la Naturaleza no existe lo grande ni lo pequeño; todo tiene su significación y su importancia en el inmenso y armónico conjunto.

Para hacer visible la posición de las líneas de Fraunhofer en el espectro solar, acompañamos la adjunta lámina en color. La fig. 1.ª representa el espectro solar. Las rayas *A*, *B* y *C* están en el rojo, *D* en el anaranjado, *E* sobre el límite entre amarillo y verde, *F* entre el verde y el azul, *G* en el índigo y *H* en el violeta. A más de estas rayas, hay también algunos grupos de líneas delgadas, *a*, entre *A* y *B*, *b* entre *E* y *F*. La escala colocada sobre el espectro sirve para poder determinar exactamente la posición de cada color y de las rayas. La experiencia nos enseña, pues, que las propiedades de las diferentes ondas luminosas que por su agrupación forman la luz solar blanca, no pasan de unas

á otras en forma completamente gradual, sino que más bien faltan á la luz solar al salir del prisma los rayos de cierta refrangibilidad, ó que al menos están éstos contenidos en una cantidad mucho menor que los restantes, pues las rayas no están siempre completamente desprovistas de luz, sino que pueden todavía experimentar un oscurecimiento mayor en ciertas circunstancias.

ESPECTROS CONTINUOS Y ESPECTROS DE LOS GASES Y VAPORES

En lugar de la luz solar puede también utilizarse, para la obtención del espectro, otra luz cualquiera, solamente con tal que sea bastante intensa. La luz Drummond, por ejemplo, la luz eléctrica, dan espectros muy brillantes, que se distinguen del espectro solar en que son continuos; esto es, en que los colores no están interrumpidos por ningún vacío ni solución de continuidad; en que no están atravesados alternativamente por franjas brillantes y oscuras. En la luz Drummond el cuerpo luminoso es un trozo de cal incandescente; en la luz eléctrica lo son partículas incandescentes de carbón, es decir, en ambos casos, cuerpos sólidos. Pues bien; del mismo modo que estos dos citados se conducen todos los demás cuerpos sólidos, y encontraremos siempre un espectro continuo cuando empleemos la luz de un alambre de platino incandescente ó de un trozo de carbón en el mismo estado, ó cualquiera otro cuerpo interpuesto entre los poros de una batería galvánica. Pero si hacemos atravesar por un prisma de un modo adecuado la luz de cuerpos gaseosos incandescentes, obtendremos, en cambio, espectros completamente distintos. Los espectros de los vapores y gases no son continuos, sino que, por el contrario, constan de una ó varias líneas brillantes coloreadas, que están separadas entre sí por espacios oscuros.

FIG. 214. Tubos de Geissler.

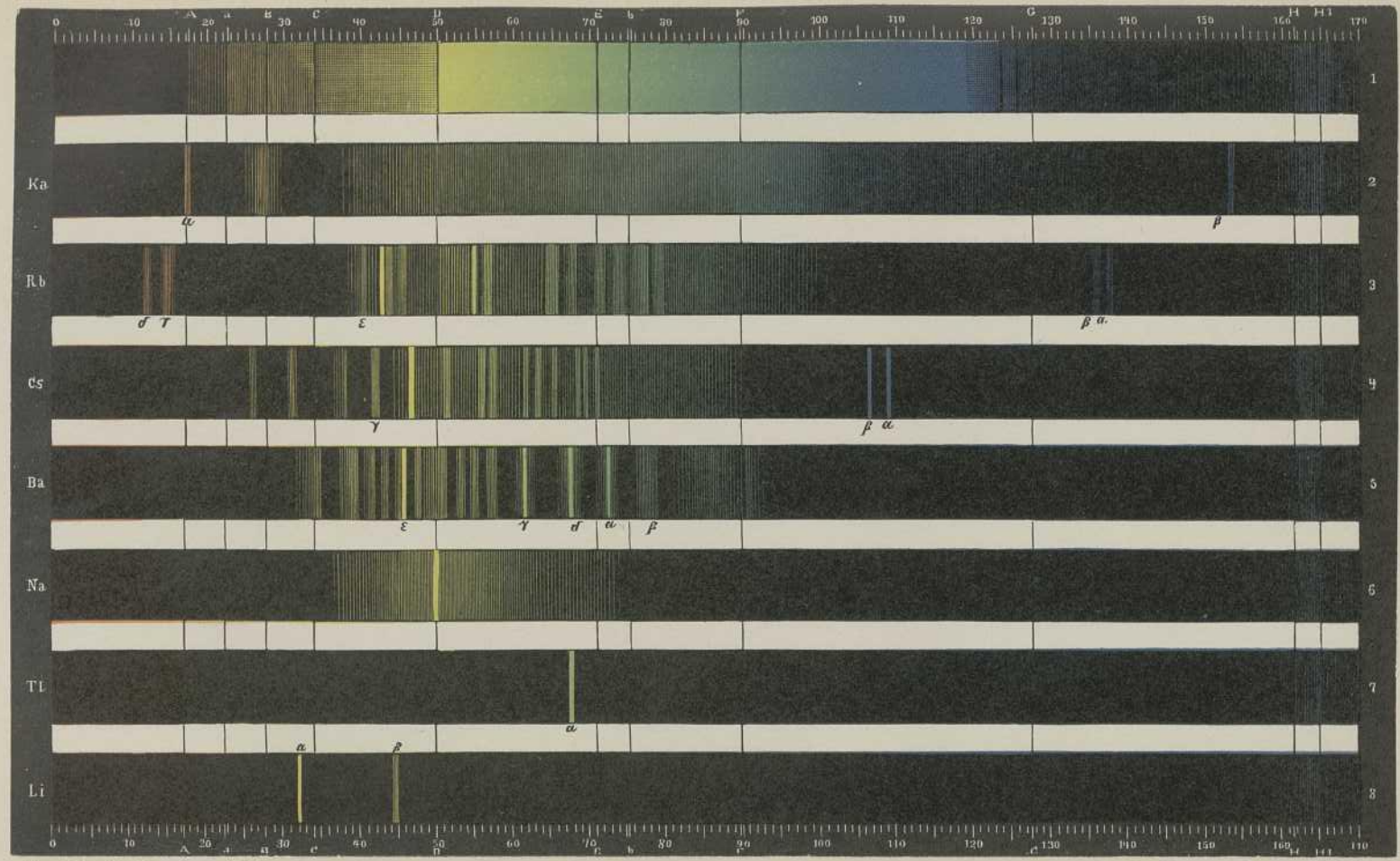
La luz de los cuerpos gaseosos se estudia por medio de los tubos de vidrio propuestos por el célebre físico Plücker, y construídos primeramente por el mecánico de Bonn, Geissler, cuyos tubos se conocen generalmente por el nombre de tubos de Geissler. Éstos tienen de ordinario, para las investigaciones espectroscópicas, la forma representada en la fig. 214. Están cerrados á la lámpara por ambos extremos después de haber hecho en su interior el vacío y de haberles llenado con el gas con que se quiere operar. Tienen también en sus dos extremos, *a* y *b*, alambres de platino que se ponen en comunicación con los polos de un aparato de inducción, y proporcionan así el paso de la descarga eléctrica á través del gas en el interior del tubo. El gas se pone con esto incandescente, y radía una luz particular, que es más intensa en los puntos de menor diámetro

del tubo, donde el arco voltaico se condensa en cierto modo. Este punto sirve de preferencia para la observación del espectro, el cual manifiesta, según las circunstancias, cambios muy notables. Supongamos, por ejemplo, que uno de estos tubos de Geissler esté lleno de gas hidrógeno á la tensión de una atmósfera: la parte estrecha del tubo brillará, en cuanto la atraviese la chispa eléctrica, con una intensa luz rojo carmín. Colocada esta luz delante del orificio del espectroscopio, engendra un espectro formado por tres líneas particulares muy marcadas, de las cuales la primera está colocada en el rojo, la segunda entre el verde y el azul, y la tercera en el azul; pero los intervalos entre estas líneas no están completamente privados de luz, sino que más bien manifiestan trazas de un espectro continuo, que aparecería aún con más claridad si el gas fuera más denso; de modo que el espectro sería efectivamente continuo si se colocara el gas en el estado de la máxima densidad.

En cambio un tubo con hidrógeno, todo lo enrarecido que sea posible, muestra un espectro completamente distinto: la luz no es ya roja, sino verde; consta de una sola línea, en lugar de las tres que tenía antes, y ésta sola está en el mismo punto que la del medio de las tres anteriores; por último, no existe ningún indicio de un espectro continuo, sino que, por el contrario, la raya brillante única se destaca con gran claridad. De estos cambios de los espectros, que se repiten del mismo modo en toda clase de gases, puede deducir el observador directamente una consecuencia sobre la densidad de la materia que emite la luz, no sólo acerca de si ésta es un cuerpo sólido ó gaseoso, sino también, cuando se trata de un gas, acerca del grado de presión á que se halla sometido.

Como quiera que las rayas brillantes características sólo aparecen en el espectro de los gases, cuando se quiere investigar una sustancia bajo el punto de vista de su espectro propio, siempre se deberá de antemano hacerle entrar en una combinación que por el calor de la llama pueda reducirse al estado de gas ó vapor. El calor de la llama basta ya en muchos casos, como se puede ver por el cambio que muestra la llama de alcohol introduciendo en ella un granito de sal común, mediante un hilo de platino doblado en la punta en forma de anillo; en otros casos se colocan los cuerpos cuyo espectro se quiere producir, entre los polos de una batería galvánica, ó se someten á la llama del soplete, ó se les introduce en combinaciones más volátiles, etc., etc. Cuando el espectro deja reconocer líneas brillantes características, éstas proceden siempre de un cuerpo en estado gaseoso.

El espectro más sencillo es el que da el sodio (véase la lámina, fig. 6, *Na*), que es el metal que está contenido en la sal común y que puede reducirse á vapor, bien en estado libre, bien en el seno de esta combinación. El espectro de vapor de sodio consta de una sola línea brillante, amarilla, cuya posición, refiriéndonos al espectro solar, está completamente determinada por la raya *D* de Fraunhofer. El efecto del potasio (fig. 2, *Ka*) se distingue principalmente por



Comparación del espectro solar (1), con los espectros de las llamas de potasio (2), rubidio (3), cesio (4), bario (5), sodio (6), talio (7) y litio (8).

una hermosa raya en el violado y un grupo en el rojo. El litio (fig. 8) muestra dos rayas más colocadas hacia el anaranjado y el rojo; el cesio (fig. 4) un grupo de líneas en el amarillo anaranjado y amarillo verdoso, aparte de otras dos líneas muy características entre el azul y el índigo. El rubidio (fig. 3) manifiesta cinco rayas dobles en el rojo, anaranjado, amarillo, verde y violeta; el talio (fig. 7) una línea en el verde, y el indio una en el azul, y otra más débil en el violeta. El oxígeno incandescente da dos líneas en el rojo, una en el amarillo, un grupo de líneas en el verde, y tres grupos muy numerosos en el azul y el violeta; en cambio el hidrógeno sólo tiene tres líneas en el anaranjado, en el azul y en el índigo.

Estos datos experimentales, y otros muchos análogos, han proporcionado un nuevo método de investigación física y química, el análisis espectral, que es tan admirable por su sencillez como pasmosos son sus resultados, y de cuyo fundamento é historia vamos á pasar á ocuparnos ligeramente.

EL ANÁLISIS ESPECTRAL

Ya Fraunhofer hizo la observación de que la luz del Sol coincidía con la de la luna y del planeta Venus, por lo que se refiere á los rayos que faltan en su espectro, ó sea la situación de sus rayas oscuras, pero que, por el contrario, en los espectros de varias estrellas como Proción, Capella y la Pastora, sólo existían comunes con el espectro solar algunas rayas, sobre todo la *D*. Brewster estudió en 1822 las rayas de Fraunhofer, correspondientes á diferentes llamas coloreadas, y observó entonces rayas nuevas y características. Cinco años después J. Herschel, que se había dedicado mucho á investigaciones de este género, y especialmente había analizado los espectros característicos de llamas, en las cuales se evaporaban los cloruros de estroncio, sodio y otros metales, puso en claro que aquellas sustancias originaban, por su presencia en la llama, rayas perfectamente determinadas y que «por la diversidad de los espectros se tenía en ellos un medio para descubrir trazas extraordinariamente pequeñas de ciertos cuerpos.» Talbot, que había encontrado en el espectro de la llama de alcohol que contenía compuestos potásicos, una raya roja perfectamente distinta, se expresó también de un modo terminante, pues decía: «Si mis observaciones son exactas, bastaría dirigir una mirada á un espectro para descubrir la presencia de sustancias que de otro modo sólo podrían reconocerse después de penosos análisis químicos.»

Pero á pesar de un reconocimiento tan claro de la gran importancia de este asunto, los trabajos sobre él siguieron aislados durante largo tiempo. Había mucho que estudiar todavía sobre la naturaleza de las rayas de Fraunhofer, para que el mundo sabio, que siempre camina paso á paso, se considerara ya en el

caso de recoger los frutos de este asunto tan poco conocido, cual ansiaban Herschel y Talbot.

¿Dónde estaba la causa de las rayas de Fraunhofer? Es evidente que en los puntos ocupados por ellas faltan las ondas luminosas correspondientes. Pero ¿acaso sería que estas ondas no fueran radiadas por el foco luminoso, ó bien que se hubieran perdido en la propagación del rayo á traves del éter libre, de la atmósfera y demás medios atravesados? Desde luego se comprendió que debía ser lo segundo, pues Brewster observó en 1832 que ciertas rayas aparecían, ó al menos se presentaban más marcadas cuando el sol se halla hacia el horizonte y sus rayos tienen que recorrer un camino más largo á través de las capas del aire atmosférico. Pero los espectros anormales de diversas llamas, los descubrimientos de G. Wollaston (1835) de que la chispa eléctrica muestra distintas rayas cuando salta, por ejemplo, en el mercurio que cuando salta en el estaño, cinc, cadmio y otros metales, y, por tanto, que aquellas rayas deben tener su causa en la naturaleza del foco luminoso; por último, la circunstancia de que sólo alguna de estas líneas sufrían influencia por la atmósfera, todo esto reunido obligó á reconocer, al lado de ciertas líneas de absorción, otras procedentes de los focos de luz y características de estos mismos. Estas rayas originarias, y en particular las rayas brillantes observadas ya en las luces homogéneas que muestran ciertas llamas en las cuales arden sales metálicas, vinieron á ser el fundamento del análisis espectral, cuyo perfeccionamiento ha dado tanta celebridad á los dos físicos y naturalistas de Heidelberg, Kirchhoff (fig. 215) y Bunsen.

FIG. 215.—Gustavo Roberto Kirchhoff.

En esta reseña histórica de la marcha seguida por el ingenioso descubrimiento que nos ocupa, no debemos olvidar la observación de Wollaston, de que cuando la chispa eléctrica salta entre dos metales distintos, el espectro muestra á un tiempo las rayas de ambos metales, así como tampoco que después que Fraunhofer comprobó la coincidencia en la situación de dos líneas brillantes de los espectros ordinarios de las llamas con la línea *D* del espectro solar, Foucault hizo en 1849 el descubrimiento de que si la luz eléctrica que mostraba las dos

rayas amarillas del sodio por la impureza de las puntas de carbón, era atravesada por los rayos del sol, se obtenía un espectro en que, en el lugar de aquellas líneas brillantes, aparecía una intensa raya negra. De suerte que aquí la luz había sido interceptada por la luz misma, lo cual significaba que las ondas de igual longitud é igual refrangibilidad se anulaban recíprocamente en su acción; caso que podemos observar del modo correspondiente sobre dos ondas de agua cuando se cruzan de suerte que las depresiones de una de ellas vengan á coincidir con las elevaciones de la otra. Este es el hecho que los físicos llaman interferencia.

A más de lo ya citado, debemos mencionar también los trabajos de Van der Willigen, Swan, Stockes, Zantedeschi, sobre el análisis espectral, y muy especialmente las clásicas investigaciones publicadas por Plücker, en Bonn, sobre el poder absorbente de diferentes gases. Euler, un siglo antes, había ya dicho en su *Teoría lucis et caloris*, que un cuerpo cualquiera absorbe luz de la longitud de onda según la cual sus propias partículas oscilan. En virtud de los descubrimientos modernos, parece haber encontrado este principio confirmación plena; de suerte que en 1853 quedó establecida por Angstrom la ley, de que los rayos luminosos que emite un gas incandescente tienen exactamente la misma refrangibilidad que los que pueden ser absorbidos por el mismo. Kirchhoff y Bunsen, el primero profesor de física y el segundo de química en Heidelberg, llevaron por último las investigaciones hasta obtener un resultado brillante, reuniendo todas las observaciones anteriores é interpretándolas en un cuerpo de doctrina que si bien venía indicándose, no había, sin embargo, adquirido una demostración tan rigurosa hasta entonces. G. Kirchhoff pudo establecer en 1860 la ley más útil, comprobando matemática y experimentalmente que «la relación entre el poder emisivo y el poder absorbente para una misma clase de rayos, es igual para todos los cuerpos á una misma temperatura.»

Esta es la ley fundamental para el análisis espectral, pues resulta de ella que todo gas ó vapor absorbe, al ser atravesado por ellos, los mismos rayos de luz que son emitidos por el mismo en estado de incandescencia; por su aplicación se han obtenido los resultados más notables en la astronomía física. En unión con Bunsen ha investigado también Kirchhoff la influencia que ejercen las temperaturas de la llama sobre el espectro, etc., y también sobre este particular ha obtenido deducciones notabilísimas.

ESPECTROSCOPIOS

Vamos á describir ahora los aparatos de que podemos servirnos para mayor comodidad en la observación de los espectros de las llamas, y en primer término nos referiremos á la fig. 216, que representa un espectroscopio en su for-

ma primitiva más sencilla. Por la parte anterior en *a* vemos el foco de luz, un llamado mechero de Bunsen, en cuya parte inferior se mezcla el gas del alumbrado, conducido por el tubo, con aire atmosférico. Esta mezcla brilla menos, pero desarrolla mucho más calor, mediante el cual las sustancias introducidas en la llama con el alambre de platino, se funden, volatilizan y entran en incandescencia. Los rayos emitidos por la llama penetran por las pequeñas rendijas *c* á través de una tapadera que cierra un tubo ennegrecido en su interior y en dirección al prisma *d*. El espectro mismo se observa á través del prisma, mediante un anteojo *e*. Dicho prisma puede hacerse girar alrededor de su eje por medio de una palanca, *f*, y un mecanismo dispuesto *ad hoc* permite medir exactamente el valor de esta rotación. Un hilo fino vertical colocado dentro del anteojo, forma una señal á la cual hay que referir siempre las rayas, y midiendo el ángulo de rotación correspondiente á las principales rayas oscuras del espectro solar, se puede reconocer con certeza la situación de todas las rayas de otros espectros con relación á aquéllas.

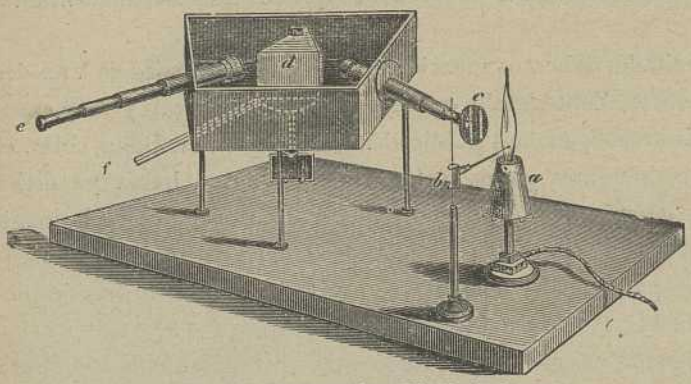


FIG. 216.—Espectroscopio de Kirchhoff y Bunsen.

Este aparato ofrece muchos inconvenientes para ciertos fines, y de aquí que los físicos y mecánicos le han ido perfeccionando desde un principio, así como le han adicionado algunos aparatos accesorios que sirven para medir ó para comparar los espectros. Pero siempre lo esencial es: la abertura por donde penetra la luz emitida por el cuerpo incandescente; el prisma que la descompone en el espectro correspondiente, y el anteojo con el cual se observa éste. Esta última parte puede faltar cuando se trata de hacer visible el espectro simultáneamente á varias personas, siendo entonces sustituída por un lienzo blanco sobre el cual se proyectan los rayos refractados. Pero en este caso hay que emplear focos luminosos especiales de gran potencia, pues al difundirse la imagen sobre un espacio relativamente mucho mayor, pierde mucho en claridad. Con objeto de que los rayos caigan paralelos sobre el prisma, se coloca entre éste y la rendija una lente convergente, y para aumentar la acción dispersiva se hace atravesar los rayos por dos ó más prismas. Una disposición semejante tiene el instrumento construído en Munich por Steinheil, según las instrucciones de Kirchhoff (fig. 217). Contiene éste cuatro prismas, de los cuales tres tienen un ángulo de 45° y el cuarto de 60°. El tubo *A* lleva en su extremo anterior la ren-

dija ajustable; *B* es el anteojo á través del cual se observa el espectro. Es giratorio sobre su soporte mediante el tornillo micrométrico *R*, y de este modo pueden medirse las menores cantidades angulares. Browning, de Londres, que

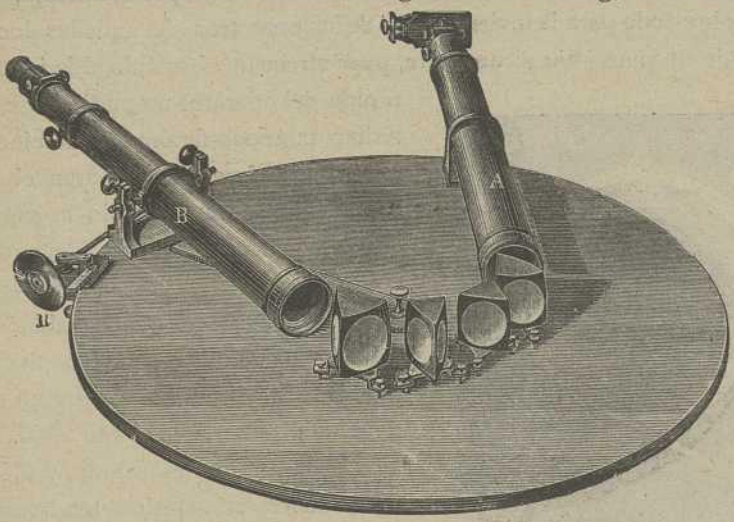


FIG. 217.—Espectroscopio de Kirchhoff construído por Steinheil.

se conquistó un nombre célebre por la esmerada construcción de instrumentos de este género, empleó un sistema de nueve prismas en un espectroscopio des-

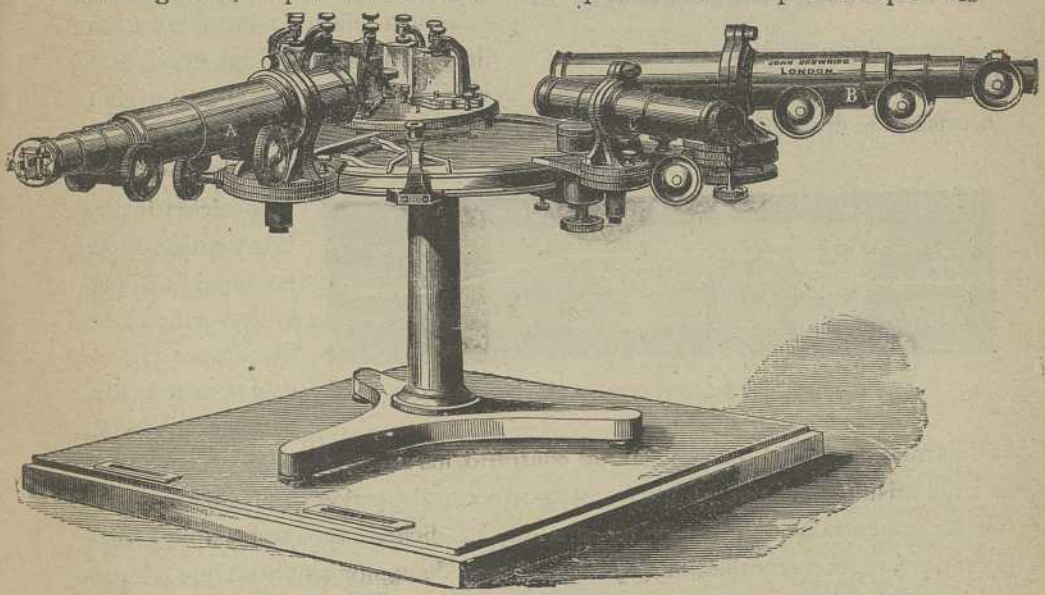


FIG. 218 —Espectroscopio de Browning, en el Observatorio de Kiew.

tinado al Observatorio de Kiew (fig. 218). La fig. 219 muestra la marcha que los rayos de luz se ven obligados á seguir á través de estos nueve prismas. Para as investigaciones científicas más delicadas son necesarios instrumentos por el estilo de este último; pero en muchos otros casos basta un aparato que, aunque

no permita alcanzar el grado de exactitud más elevado, sea en cambio de un manejo más fácil y cómodo. La circunstancia de formar entre sí un ángulo, la dirección de incidencia del rayo y la dirección de la visual por el anteojo, es perjudicial, sobre todo para la investigación de los espectros de aquellas luces que no parten de un punto fijo y constante, pues ofrece un obstáculo á la instalación rápida del aparato, no pudiéndose así estudiar tampoco fenómenos luminosos de muy corta duración. De aquí el que se iniciara desde un principio la aspiración de poder construir aparatos que permitieran observar los rayos luminosos en la propia dirección en que llegaban á él, ó sean los llamados espectroscopios de visión directa. Amici fué el primero que resolvió el problema en el año 1860.

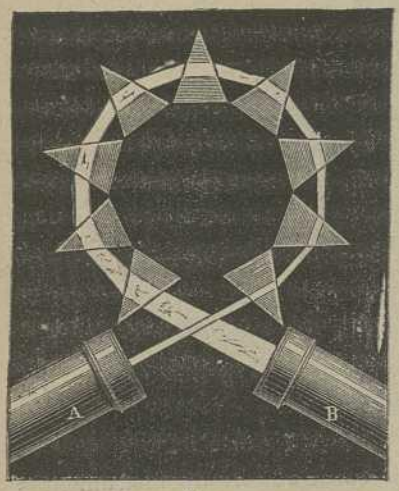


FIG. 219.
Disposición de los prismas en el espectro de Browning.

Desde antiguo es sabido, y al hablar de las lentes acromáticas tendremos ocasión de ocuparnos algo más detenidamente del particular, que la desviación de los rayos de luz y la dispersión del espectro no guardan una relación constante en las diferentes clases de prismas. Un prisma de flintglás para una misma desviación de los rayos centrales, da un espectro mucho más prolongado que el que origina un prisma de crownglás. Así, pues, si se combina un prisma de flintglás con otro de crownglás en posición invertida y tal lado con un ángulo tal que la desviación producida por el uno esté exactamente compensada con la determinada por el otro en sentido contrario, los rayos seguirán propagándose en la misma dirección primitiva; pero como la dispersión producida por ambos no se neutraliza tan completamente, quedan dichos rayos todavía algo dispersos y forman á su salida un espectro, si bien de menor amplitud que el que hubiera dado el primer prisma solo. Por la acción sucesiva de varios de estos pares de prismas puede acrecentarse la fuerza dispersiva, y los instrumentos que han construído Amici y Jaussen en París, y Browning en Londres, están dispuestos según este principio, que hace ver la fig. 220. Browning ha introducido en el comercio espectroscopios de bolsillo, cuya longitud no excede de ocho

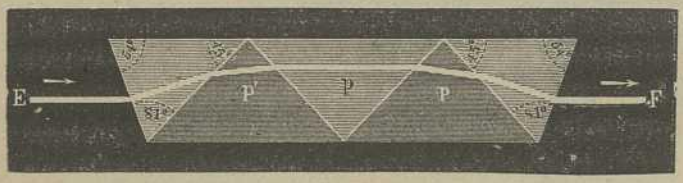


FIG. 220.—Sistema de prismas de Jaussen para visión directa.

centímetros, y que se dirigen como un anteojo directamente hacia el punto luminoso, y pueden utilizarse muy cómodamente para el estudio espectroscópico de las estrellas fugaces. Contienen un sistema de siete prismas, una lente y anteojo de observación, como los grandes aparatos. En estos últimos se suelen adaptar todavía, en ciertos casos, algunos otros aparatos auxiliares, como escalas microméticas que sirven para la comparación de dos espectros procedentes de dis-

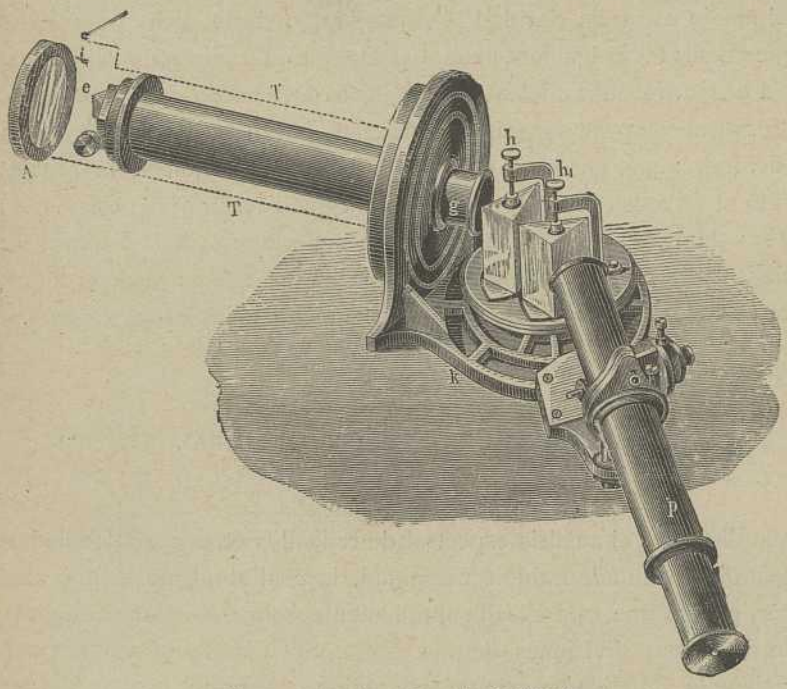


FIG. 221.—Espectroscopio estelar de Huggins.

tintos focos luminosos, los cuales no pueden naturalmente formar parte de aquellos espectroscopios en miniatura.

En la observación del sol se puede emplear espectroscopios de gran dispersión, porque su luz es muy intensa; pero cuando, por el contrario, se trata de la débil luz de los planetas, de las estrellas ó de los cometas y nebulosas, no puede llevarse generalmente á tan gran extremo la dispersión de la luz, pues el espectro resultaría demasiado vago. En estos casos se usan los llamados espectroscopios estelares. Nuestro dibujo de la fig. 221 muestra el construído por Huggins. Consiste en una lente convergente, detrás de la cual están colocados algunos prismas de visión directa, como se ve en la figura, y á los cuales sigue una lente cilíndrica. Por medio de esta última la imagen puntiforme de una estrella se transforma en un espectro estrecho en forma de hilo. A este espectroscopio se atornilla el ocular de un anteojo.

No queremos prescindir, al hacer la descripción de los aparatos que nos faci-

litan el estudio penoso del espectro, de la aplicación de la fotografía á este objeto. Como quiera que las estrellas y otros manantiales de luz no dan rayas brillantes como el Sol, sino rayas oscuras, la observación de tales espectros ofrece no pocas dificultades. Para estos casos la fotografía constituye un auxiliar poderosísimo, pues si bien los colores rojo y amarillo sólo dan imágenes fotográficas en las condiciones más favorables, en cambio las rayas correspondientes al azul y violeta, las cuales son muy poco perceptibles á nuestra vista, se revelan por aquel medio con toda claridad. Como ejemplo de lo dicho podemos mencionar que en sus investigaciones sobre el espectro de Sirio, de las cuales volveremos á ocuparnos más adelante, Huggins se ha servido de la fotografía con gran éxito, pues con gran sorpresa se encontró, junto con las tres rayas ya conocidas del hidrógeno, una serie de éstas en la parte del violeta, las cuales no habían sido observadas jamás, y nadie sabía á qué cuerpo pertenecían.

Después de esto se habló mucho de la importancia de la fotografía para estos trabajos y se ha tratado, en vista de resultados tan pasmosos, de perfeccionar los métodos de observación y los instrumentos empleados en ellos.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESPECTRAL

Lo que distingue el análisis espectral de todos los otros métodos de investigación científica es su admirable sensibilidad, la cual al mismo tiempo excluye todo error, puesto que está basada simplemente sobre el reconocimiento y la distinción de rayas y divisiones de una escala. Sus reacciones son tan sutiles, que, por ejemplo, dividida en más de tres millones de partes la 500.000ª parte de una libra de sodio, todavía en una de aquéllas pueden reconocerse claramente las líneas características del espectro de este cuerpo. Por medio del espectroscopio es posible demostrar que cuando sopla el viento del Occidente se encuentran en el aire más partículas de sodio que cuando viene del Nordeste, lo cual se explica, porque en el primer caso el viento procede del Océano, cuyas aguas son ricas en cloruro sódico, mientras que el segundo proviene de los territorios de Europa y de las grandes llanuras de Rusia.

En el transcurso de las investigaciones que practicaron Kirchhoff y Bunsen se obtuvieron resultados en extremo sorprendentes, pues no sólo quedó demostrado que muchos cuerpos considerados hasta entonces como muy raros en la naturaleza existían sumamente difundidos, formando parte, aunque en cantidades infinitamente pequeñas, de casi todos los minerales y aguas naturales, sino que también se encontraron con algunas rayas brillantes en el espectro que no coincidían con las correspondientes á ninguna de las sustancias conocidas hasta entonces. Unas veces, por ejemplo, apareció ante su vista una hermosa raya

roja, situada antes de la raya del potasio, y á la que acompañaban siempre, en el resto del espectro, algunas otras rayas de posición constante; otras veces se ofrecía á su observación una raya azul, de un brillo particular, que también iba acompañada de otras rayas determinadas y que no podía confundirse con la raya azul del estroncio. A veces se presentaban simultáneamente las dos rayas nuevas; en otras ocasiones se observaba sólo la raya roja con su correspondiente cortejo, ó bien se veía exclusivamente el sistema de las rayas azules, siendo principalmente en ciertos minerales, como por ejemplo la lepidolita, y en las aguas salinas de Durkheim, donde se presentaba el fenómeno de una manera más marcada.

Si grande fué la sorpresa que causó á estos naturalistas su descubrimiento, no podía ser menor la que se produjo en el mundo científico por las consecuencias que de aquél se dedujeron. «Las rayas deben tener su causa. Según todas las probabilidades, esta causa debe ser análoga á la de las demás rayas brillantes del espectro; todas estas rayas brillantes se originan por la presencia de sustancias especiales incandescentes y en estado de gas ó vapor; en nuestra llama, por consiguiente, deben existir en incandescencia uno ó varios cuerpos que no coinciden con los que hasta hoy nos son conocidos, así como las rayas originadas por aquellos no coinciden con las observadas anteriormente: *en la lepidolita y en las salinas de Durkheim deben existir dos nuevos elementos, de los cuales no tienen ni siquiera sospecha los químicos.*»

Así discurrieron Kirchhoff y Bunsen. Así había discurrido Leverrier en París cuando sometió á sus cálculos las observaciones verificadas sobre ciertas perturbaciones en el movimiento de los planetas y predijo la existencia de Neptuno. Neptuno fué encontrado, en efecto, y los dos nuevos elementos se obtuvieron también precisamente por sus mismos descubridores, que en atención á los colores de sus rayas características les bautizaron con los nombres de *rubidium* y *cesium*. Ambos son metales dotados de gran afinidad por el oxígeno, como el potasio, con el cual muestran gran semejanza en sus combinaciones, y esto explica que no puedan existir en estado de pureza en la naturaleza. Se consiguió su aislamiento mediante la acción de la corriente eléctrica.

Más tarde fueron descubiertos, por el mismo medio que estos dos metales, el *indium* por Reich, y el *thalium*, que se deja reconocer por una raya verde de puerro, muy marcada é intensa.

Pero no es sólo por estos descubrimientos de nuevos elementos químicos por lo que el análisis espectral ha adquirido desde luego una importancia tan grande entre los métodos de investigación científica. Mas bien resultan insignificantes dichos descubrimientos, en comparación con los que ha ofrecido el análisis de la luz sobre la naturaleza cósmica, de la cual no llegan á nosotros más que las conmociones transmitidas por el éter en forma de ondas, y por consiguiente, nada hubiéramos podido saber positivamente acerca de la misma si no hubié-

ramos aprendido á interpretar la significación de éstas. El análisis espectral nos ha proporcionado el medio de realizar esta interpretación.

Después que se estudiaron los espectros de todas las sustancias posibles, descubiertas en la Tierra, y se reconoció las leyes, mediante las cuales cambian dichos espectros según que un cuerpo esté incandescente, puro ó combinado en la llama, según que sea sólido, líquido ó gaseoso; después de discutir la influencia que ejercen los cambios de presión que experimenta el cuerpo luminoso, ó la temperatura á la cual se halla sometido; después que todas estas circunstancias se determinaron de la manera más escrupulosa, y fueron inventados aparatos y métodos correspondientes para tales investigaciones, se revelaron por la reunión de los resultados obtenidos y la discusión de las observaciones verificadas, consecuencias de una transcendencia que no podía ser prevista de antemano. Se obtuvieron conocimientos sobre la naturaleza química de los astros de nuestro sistema solar, y no sólo esto, sino también sobre la composición de las estrellas, la más próxima de las cuales dista de nosotros sobre 30 billones de kilómetros; y todavía más, se facilitó la solución de problemas, tales como el de averiguar si estos cuerpos celestes se mueven en el espacio, ó no, y si se mueven, en qué dirección y con qué velocidad lo verifican.

El ya mencionado astrónomo inglés Huggins ha estudiado, por ejemplo, la luz de Sirio, y se ha visto conducido á deducir, por consecuencia del sucesivo ensanchamiento de una raya negra producida hacia cierto lado del espectro, que Sirio se mueve en el espacio con una velocidad de 29,4 millas inglesas por hora, en dirección hacia nuestro sistema solar.

Cuando Kirchhoff reveló la ley fundamental del análisis espectral, de que el gas ó el vapor de un cuerpo absorbe los mismos rayos de luz que emite cuando entra en incandescencia siempre en el mismo estado gaseoso, comenzó á adquirirse un conocimiento exacto de la significación de las rayas de Fraunhofer en el espectro solar. Comparado éste con los espectros de incandescencia de los diferentes cuerpos conocidos, se manifestó que un gran número de aquellas rayas oscuras coincidían por su posición con las rayas brillantes de los espectros de incandescencia.

El hierro, por ejemplo, muestra 460 rayas brillantes, que corresponden exactamente á otras tantas rayas oscuras del espectro solar, según han demostrado Kirchhoff, Hoffmann, Angström y Thalen; el espectro del titano tiene sobre cien rayas brillantes, también en coincidencia con rayas de Fraunhofer; las rayas brillantes del sodio, potasio, manganeso, cromo, níquel, calcio, bario, magnesio, oro, hidrógeno y otros se reproducen en el espectro solar como rayas oscuras.

Demostrada la ley de Kirchhoff, no se hacía sino una aplicación perfectamente lógica de ella al deducir que alrededor de la foto-esfera del sol existe una envoltura atmosférica, que contiene en estado de gas ó vapor todas las sus-

tancias antedichas, y que absorbe en parte, por efecto de su constitución, la luz emitida por la masa central incandescente. Efectivamente, al considerar el gran número de rayas que varios espectros muestran, igualmente situadas que las rayas oscuras del espectro solar, no es posible atribuir á la casualidad tal coincidencia, y no podemos menos de reconocer un alto grado de verosimilitud á la existencia en el Sol de todas las sustancias indicadas por el espectro, así como á la teoría en que se funda esta suposición, por más que ésta sea susceptible de experimentar alguna modificación en ciertos detalles. La plata, el mercurio, el antimonio, arsénico, estaño, plomo, cadmio, estroncio y litio no presentan tal coincidencia en sus espectros. así como el silicio y el oxígeno; pero si dedujéramos de ello que dichas sustancias no existen en el Sol, iríamos tal vez demasiado lejos, pues pueden también influir sobre los espectros de estos cuerpos circunstancias que no nos sean aún conocidas.

A más de lo dicho, se ha penetrado todavía más, tratando de investigar la actividad vital del Sol. Se ha hallado que el espectroscopio permite demostrar la existencia de las protuberancias (1) que antes sólo podían observarse durante los eclipses totales de sol, á cualquier hora, en pleno día, y hasta determinar su forma y magnitud. Un fenómeno para observar el cual en otros tiempos, hasta en los años 1868 y 1869, que se distinguieron por la producción de eclipses totales de sol, exigía muy costosas expediciones, destinadas expresamente al objeto, actualmente, como ya hemos indicado, no ofrece la menor dificultad para su estudio en cualquier momento. Todo indica que las protuberancias son inmensos desprendimientos de hidrógeno que se elevan súbitamente á través de la atmósfera solar, por efecto de un exceso de presión, pues su espectro consiste en varias rayas brillantes que coinciden con las del hidrógeno. Dirigiendo el orificio del espectroscopio, por el cual ha de entrar la luz para la producción del espectro, en dirección radial hacia un lado del Sol, de suerte que sólo quede cubierto por éste en una pequeña parte de su longitud, se obtiene, además del espectro solar ordinario, el espectro de la protuberancia que suponemos exista en aquel punto de la superficie del sol, pudiendo distinguir muy bien uno de otro ambos espectros, aun cuando se superpongan, pues el espectro solar está atravesado por rayas oscuras, mientras que el de la protuberancia sólo contiene rayas brillantes que se hacen perceptibles, aun sobre el fondo del primero, cuando la luz solar se ha debilitado considerablemente por medio de una enérgica dispersión producida por un gran número de prismas. En efecto, las rayas brillantes de las protuberancias no sufren dispersión, sino que conservan toda su intensidad, aparte de la pérdida por la absorción del vidrio.

Se ha reconocido por medio del espectroscopio que las nebulosas son como

(1) Elevaciones de un brillo característico sobre la superficie del Sol, de considerable altura (de 50.000 y hasta 300.000 kilómetros) y de forma variable.

nubes gaseosas; las estrellas fugaces y los bólidos, estudiados al espectroscopio, manifiestan un núcleo incandescente en estado sólido, pues sus espectros son continuos. El espectro de las nebulosas no es continuo; más bien consta de rayas aisladas, y de aquí hay que deducir que estas formaciones cósmicas, sobre cuya naturaleza material no podía antes hacerse ninguna suposición fundada, son masas gaseosas en estado de gran enrarecimiento. Y todavía la analogía que muestran los espectros de algunas nebulosas como, por ejemplo, la nube anular de la Lira y la nebulosa globular de Acuario, con el espectro del gas nitrógeno, permite llevar más adelante aquella deducción de que el citado gas forma una parte esencial de la composición material de aquellas masas radiantes de luz. Desgraciadamente, en la época en que apareció sobre el cielo el gran cometa de Donati (en el año 1858), no estaba el análisis espectral todavía bastante adelantado para que hubiera podido aplicársele al estudio de aquel notabilísimo fenómeno; en los pocos años que hace que el espectroscopio ha podido prestar sus servicios á la astronomía física, sólo han aparecido pequeños cometas, cuya luz se ha prestado á ser analizada. De las observaciones practicadas sobre el particular no se puede, sin embargo, deducir ninguna consecuencia terminante; pero debe consignarse que el espectro de los cometas estudiados hasta ahora muestra una semejanza notable con el de un hidrógeno carbonado incandescente.

La aurora boreal, los fenómenos luminosos que se producen alrededor del sol, la luz de las estrellas, la luz zodiacal, en una palabra, todos los fenómenos celestes de luz, han sido estudiados con ayuda del espectroscopio; y á pesar de lo moderno de este método de investigación, los conocimientos que nos ha proporcionado sobre la esencia íntima de los cuerpos celestes, son ya extraordinariamente numerosos.

Pero el espectroscopio, no sólo tiene poder para revelarnos las causas de lo que sucede á distancias inmensas de nosotros, sino que tampoco permanece mudo á nuestras interrogaciones cuando éstas se refieren á lo que nos rodea inmediatamente; aún más, nos permite ver en el interior de nosotros mismos. Reune las propiedades del microscopio á las del telescopio. Lockyer refiere en sus escritos un caso que demuestra claramente esto que acabamos de decir. Un médico inglés inyectó una disolución de una sal de litio, que no contenía más que $^1/_5$ de gramo de dicha sal, por bajo de la cabeza de un conejillo de Indias, para determinar la velocidad con la que el cuerpo del animal era capaz de absorber y difundir por su organismo ciertas sustancias. Esta cuestión es ciertamente de gran importancia para la medicina práctica. En aquella experiencia, la aparición de la raya característica del litio en el espectro permitió comprobar que á los cuatro minutos la sustancia inyectada se hallaba ya en la vejiga de la hiel, y que después de diez minutos estaba ya inficionado el cuerpo entero, y hasta el cristalino de sus ojos mostraba trazas de dicha sustancia. Lo

mismo se ha demostrado también en el cuerpo humano, pues á un enfermo atacado de catarata se le inyectó antes de la operación una pequeña cantidad de carbonato de litio, y después de algunas horas esta sal se descubrió en todos los órganos del cuerpo, incluso el cristalino del ojo.

También la industria ha utilizado con ventaja el análisis espectral en los últimos tiempos, habiendo adquirido rápidamente una gran generalización el espectroscopio, como resultado de los importantes servicios prestados á la ciencia y á la vida práctica. Los aparatos de polarización son para la fabricación del azúcar como una varilla mágica que nos permite elevar considerablemente la explotación de este producto. Las fábricas de acero Bessemer producen hoy este metal á un precio mucho más económico, porque, mediante el espectros-

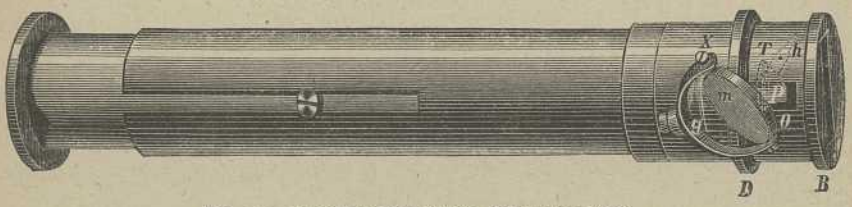


FIG. 222.—Espectroscopio universal del profesor Vogel.

copio puede regularizarse con la mayor exactitud la marcha del procedimiento.

En efecto; el acero fundido que se desea debe contener sólo una proporción centesimal, exactamente determinada, de carbono, y de aquí que debe ofrecer la importancia más decisiva el interrumpir el proceso metalúrgico en el momento preciso en que se ha obtenido aquella proporción centesimal, y que un descuido de algunos segundos basta para la pérdida completa del contenido de la retorta, el cual asciende generalmente á ciento ó más quintales. Ahora bien; el espectroscopio permite reconocer ese momento. Los vapores incandescentes que salen de la retorta por la gran temperatura que existe en su interior, ofrecen un espectro que varía gradualmente, presentando al principio bien marcadas las rayas brillantes del carbono y debilitándose éstas sucesivamente á medida que se descarburiza el hierro, desapareciendo por completo en el instante en que queda formado el acero fundido. En este instante es cuando debe suspenderse la entrada del aire. Tenemos, pues, que en este caso el espectroscopio es un guía, el mas seguro por cierto, pues ningún otro medio industrial puede compararse á él para realizar con éxito una operación en la que se arriesgan siempre sumas considerables.

También la adulteración de las sustancias alimenticias, ese gran azote de nuestros tiempos, tiene que luchar con la penetrante mirada del perito provisto de un espectroscopio, que constituye uno de nuestros más poderosos medios de defensa contra aquel peligro. Para estas investigaciones y otras semejantes es muy á propósito el espectroscopio universal del profesor Vogel. La fig. 222 le

representa en su tamaño natural. La ventaja principal de este instrumento consiste en una disposición mediante la cual aparecen, uno encima del otro, dos espectros, el uno procedente del foco de luz artificial, el otro es el espectro de absorción.

Jaussen, que descubrió la naturaleza hidrogenada de las protuberancias solares, Huggins, Miller, Secchi, Herschell, Lockyer y Talen, son nombres que están enlazados gloriosamente con el progreso y desenvolvimiento del análisis espectral de Kirchhoff y Bunsen; y al consignar éstos, no debemos tampoco olvidar á los de aquellos que han proporcionado á las observaciones espectroscópicas una claridad y exactitud cada vez mayor por el perfecionamiento del espectroscopio y de sus aparatos auxiliares, mecánicos ú ópticos, discurriendo nuevas disposiciones y haciendo posibles con ello métodos nuevos de investigación; en este concepto citaremos en primer término á Steinheil, Merz y Browning.

El análisis espectral en todas sus partes es un testimonio brillante del ingenio humano, que hace surgir de los conceptos fundamentales más extraordinariamente sencillos, el descubrimiento de los métodos más elegantes y sutiles de investigación científica, cuya aplicación al estudio del inmenso campo de los fenómenos naturales va seguida del planteamiento de los más transcendentales problemas, ofreciendo á la vez el medio de encontrar su solución y enriqueciendo nuestro espíritu con los conocimientos más interesantes.

Ahora, el que las teorías engendradas por los nuevos métodos de investigación expliquen ó no con verdad los fenómenos naturales abarcados por ellas, esto no puede en modo alguno, ni podrá nunca, saberse con certeza absoluta. Sobre estos asuntos, como sobre todo lo que se halla fuera de nosotros, no podemos adquirir conocimientos sino por el camino de las deducciones, y por tanto todas las ideas adquiridas no pasan de la categoría de hipótesis. Pero las hipótesis se aproximan á la certeza tanto más, cuanto mayor es el número de hechos que explican, y menor el de los que las contradicen. Los conocimientos adquiridos por el análisis espectral pertenecen de lleno, sin embargo, á la clase de aquellos que por su carácter matemático nos merecen gran confianza.

LA CÁMARA OSCURA

El mundo dentro de la cámara oscura.—De las lentes.—Sus clases y su principio.—Aparatos lenticulares y prismáticos de los faros.—Aberración de esfericidad.—Lentes convergentes.—Foco principal.—Distancia focal.—Imágenes reales y virtuales en las lentes.—Lentes acromáticas y su descubrimiento.—Corte de las lentes.—El Instituto óptico de Munich.—La cámara oscura.—Pequeñas imágenes solares en los eclipses.—Linterna mágica y cuadros disolventes.

Pocos aparatos físicos producen sobre los curiosos impresiones tan sorprendentes como las de la cámara oscura.

Sobre una superficie plana cubierta de papel blanco, vemos reproducirse el paisaje que nos rodea con todos los encantos naturales de la perspectiva, las luces y el color. Por entre la verde pradera serpentea un río, el sol se refleja en sus limpias aguas, las ramas de los arbustos que flotan sobre su superficie ó las escarpadas orillas proyectan su negra sombra, y al borde el edificio radiante de luz, así como los arcos del puente tendido ante él, muestran sobre el líquido elemento su imagen invertida. Desde cierto punto se eleva una cadena de verdes colinas que se pierden entre vapores á lo lejos. Pero en primer término aparecen á nuestra vista las calles y plazas de una gran ciudad, y sobre el con-

junto flota el cielo azul en cuyas profundidades se pierde la vista. Aunque el pintor pudiera seguir con su lápiz todos los contornos de esta imagen, por grande que fuera su mérito, nunca abrigaría la pretensión de conseguir aquella riqueza de luz y color que llena el admirable cuadro. Pero lo más pasmoso es el movimiento que reina en éste, movimiento por medio del cual nos encontramos transportados á un terreno completamente nuevo. No vemos á la naturaleza fija en un momento aislado. Las blancas nubes no permanecen inmóviles como en las obras pictóricas de los artistas de mayor mérito. Podemos seguirlas con nuestros ojos cuando avanzan sobre la azul bóveda celeste, seguidas por la sombra que á modo de estrías proyectan á su paso sobre el terreno. El brillo de las olas nos revela el movimiento de las aguas; las copas de los árboles se mecen en el aire; los campos de trigo se agitan en suaves ondulaciones, y aun creemos sentir el viento que hace temblar las hojas y encrespa las aguas.

En esto aparece un bote por un recodo del río; á proa van sentados los marineros que conducen, en dirección á nosotros, el ligero vehículo mediante uniformes golpes de remo. Ya llegan á la orilla; algunos de sus viajeros saltan á tierra, y á través de enramadas se dirigen hacia el jardín de aquella casa, cuya puerta se abre para volverse á cerrar inmediatamente. Más cerca, en el centro de aquel paisaje encantador, se engendra después una vida llena de animación y de variedad en sus detalles. Las mujeres, con sus vistosos trajes; los hombres, de aspecto más serio; los chicuelos, inquietos y juguetones; los perros, los carruajes, los caballos; en una palabra, todo cuanto es susceptible de ponerse en movimiento, hormiguea sobre el fondo, proyectando su sombra correspondiente. Se ve hablar unas con otras las personas, y hasta maquinalmente contiene uno su aliento creyendo que de un momento á otro va á sentir en sus oídos las voces de los interlocutores. Durante horas enteras puede uno recibir aquel cúmulo de impresiones, siempre variado é inagotable, y sin embargo, el aparato que nos las causa es tan sencillo como pudiera serlo una varita mágica. Un lienzo, un espejo, y un par de lentes. Pero ¿qué son las lentes?

Para formarnos idea de la manera cómo se engendran en la cámara oscura aquellas imágenes tan agradables, es forzoso de todo punto conocer previamente las partes principales de que aquélla se compone, y su acción especial.

Las *lentes*, es decir, las lentes ópticas, de las cuales únicamente queremos ocuparnos, son trozos de vidrio tallados regularmente, de forma generalmente circular, y cuya superficie es curva, al menos por una de sus caras. La fig. 223 representa sus diferentes clases, vistas en corte transversal. Se distinguen en primer término lentes convergentes y lentes divergentes, según que sean más gruesas hacia el centro ó hacia los bordes. Entre las primeras se consideran las tres clases de lentes biconvexas, plano-convexas y cóncavo-convexas ó meniscos convergentes; entre las segundas las hay también bicóncavas, plano-cóncavas ó meniscos divergentes.

Podemos concebir la acción óptica de las lentes de la manera más sencilla, partiendo del prisma, para lo cual sirve la fig. 224. Imaginemos dos prismas y una pequeña lámina plana, dispuestas entre sí en la forma que muestra la parte superior de la figura; en este caso los rayos paralelos que caigan sobre la lámina plana central no sufrirán ninguna desviación en su camino; pero los que caigan sobre los prismas serán desviados hacia el eje de este sistema. Cuando los prismas fueran exactamente iguales en su constitución material y en su forma, los rayos que pasen á través de cada uno de ellos, á igual distancia del eje, sufrirán una misma desviación y se encontrarán en un mismo punto con aquél. En este punto debe, pues, formarse un espectro, cuyos rayos proceden de ambos lados, y que tendrá determinada longitud, que sería la misma si supiéramos que sólo llegaba á cada prisma un haz estrecho de rayos. En este espectro común á ambos haces se suman, por tanto, las intensidades luminosas correspondientes á cada uno de ellos.

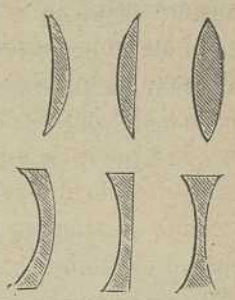


FIG 223.—Lentes convergentes y divergentes.

Si ahora suponemos que no sólo caen sobre aquel sistema de prismas dos haces de rayos aislados, sino que entre estos dos extremos hay un haz continuo de luz, todos los rayos serán desviados de un modo semejante al indicado en el caso anterior, pero se obtendrá un espectro de longitud algo mayor, pues sobre las partes centrales vendrán á sobreponerse, mezclándose, los diversos colores simples correspondientes á los espectros parciales, formando luz blanca, y sólo subsistirán los colores del espectro en los bordes.

Es evidente que los rayos que caen cerca del eje le encontrarán á éste más pronto, y que aquéllos que penetren en el prisma hacia su vértice, suponiendo que todos sean antes paralelos, y que salgan también, por consiguiente, paralelos de dicho prisma, se cortarán sobre el eje tanto más lejos cuanto más altos sean los prismas, y de esto dependería la longitud del espectro. Si se diera un ángulo mayor á la mitad superior del prisma, se podría así reducir á la mitad, por ejemplo, la longitud del espectro, haciendo al propio tiempo doble su intensidad, combinando estos dos prismas de manera que los rayos exteriores correspondientes al vértice del primero fueran desviados hacia el mismo punto del eje que los rayos exteriores determinados por el vértice del prisma inferior. Del mismo modo, dividiendo sucesivamente cada prisma en otros dos, con ángulos más abiertos hacia la parte superior en la proporción antes indicada, se podrían ir aproximando entre sí más y más sus correspondientes espectros, y, por último, reunir en uno solo toda la luz refractada á través de tales prismas. Sólo que entonces, en rigor, cada rayo luminoso

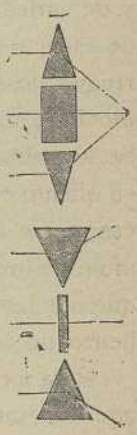


FIG. 224.—Principio de las lentes.

debería tener un prisma especial, según su distancia al eje, y los ángulos diferentes de estos prismas vendrían á cambiar de un modo continuo unos en otros. El corte transversal de todo este sistema de prismas no aparecería ya como en la fig. 224, limitado por líneas rectas, sino que mostraría una curvatura particular, propia del fin propuesto. Este es el caso de la fig. 225, la cual explica completamente el principio de las lentes biconvexas; en éstas todo plano perpendicular al de su contorno trazado desde el centro, da el mismo corte transversal, y la acción que determina la refracción de la luz sobre un diámetro se repite sobre todos los demás, de suerte que todos los rayos que llegan paralelos sobre la lente, como los *z*, se reunen al otro lado de ella en un solo punto, *A*. Estas lentes se llaman, por lo mismo, lentes convergentes.

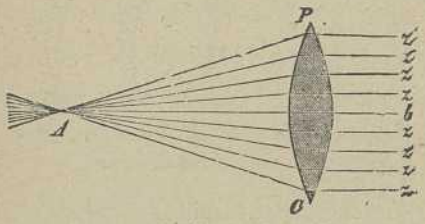


FIG 225.—Sección de la lente biconvexa sobre los rayos incidentes paralelos al eje principal.

Otra acción distinta, aunque se explica de una manera completamente análoga, ejercen sobre la luz las lentes en las que podríamos suponer dos sistemas de prismas unidos entre sí por los vértices, que es el caso indicado en la parte inferior de la fig. 224. Aquí los rayos se alejan del eje, se dispersan entre sí, y de aquí que tales lentes se llamen divergentes. En dicha figura las tres lentes superiores son convergentes y las tres inferiores divergentes.

Es fácil comprender que la acción de una lente depende de su diámetro y de su curvatura, aparte del poder refringente de la sustancia de que está formada. En cuanto á la curvatura, basta saber que en la práctica siempre se construyen según arcos de círculo, ó más bien según porciones de superficie esférica. Para adquirir conocimientos generales sobre la teoría de las lentes, basta considerar por una parte las biconvexas y por otra las bicóncavas, determinando sus propiedades respectivas. Cada una de ellas puede servir de tipo á las demás de su especie.

La recta que pasa por los dos centros de curvatura de ambas caras, y que, por consiguiente, es normal á éstas, constituye el eje principal (*b A* en la figura 225). El punto donde se reunen los rayos que llegan á la lente, paralelos al eje principal, se llama foco principal, *A*. La distancia de éste á la lente se llama distancia focal principal, y el punto del eje principal donde se reunen los rayos procedentes de un punto luminoso situado sobre el mismo, se llama foco conjugado. La posición de éstos cambia, no sólo con el índice de refraccion de la lente y su forma, sino también con la convergencia ó divergencia de los rayos incidentes. El foco conjugado de un punto luminoso se halla siempre tanto más lejos, cuanto más se aproxima aquél á la lente, y por consiguiente, sus rayos llegan más divergentes. Cuando el punto luminoso se sitúa sobre el foco princi-

pal, los rayos refractados salen entonces de la lente en dirección paralela al eje principal. La fig. 225 puede servir también para representar este caso, pues lo mismo podemos suponer que concurran en el foco principal, *A*, los rayos que llegan á la lente paralelos al eje principal, como que parten del punto *A*, y después de refractarse á través de la lente se propagan en las direcciones paralelas *s*. Del mismo modo todo foco conjugado puede considerarse como origen de rayos luminosos, en cuyo caso se forma el foco en el punto que antes suponíamos origen de radiación. Cuando el punto luminoso se sitúa más próximo á la lente que el foco principal, los rayos salen de ésta divergentes.

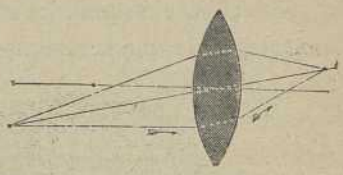


FIG. 226.—Acción de la lente biconvexa sobre los rayos oblicuos.

Por lo demás, los rayos que parten de un punto que no se halla sobre el eje principal, forman también su foco después de atravesar la lente, como indica la fig. 226. Estos focos se hallan situados sobre la recta trazada desde el punto luminoso, pasando por el centro de la lente, cuyas rectas se llaman ejes secundarios y el ángulo que pueden formar entre sí los ejes secundarios correspondientes á los puntos extremos de un objeto luminoso, sin que se destruya la claridad de la imagen formada por la lente, se llama el campo de esta lente. En las lentes biconvexas constituídas de cristal ordinario cuyo índice de refracción es 1,5, los focos principales se hallan en los centros de curvatura de las superficies esféricas á que pertenecen las caras que limitan la lente. Para sustancias de mayor poder refringente están más cerca de la lente, y más lejos para las de poder refringente menor.

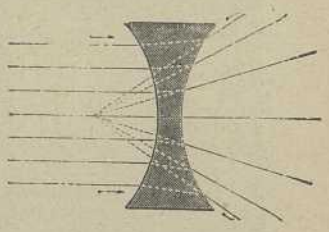


FIG. 227.—Lentes bicóncavas.

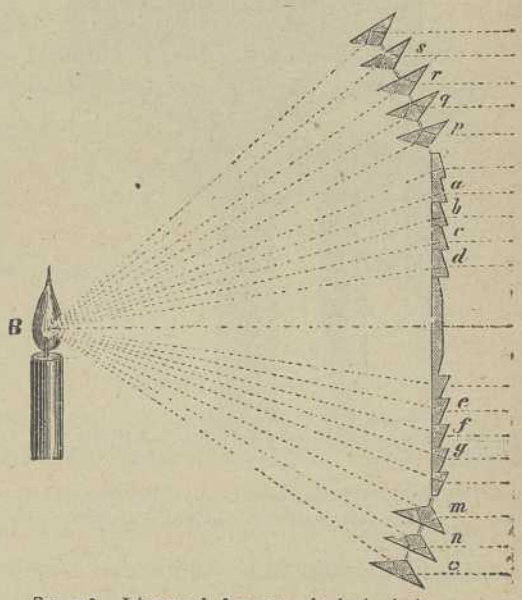


FIG. 228.—Lámpara de faros con cristales lenticulares.

Las lentes cóncavas ó divergentes no pueden tener tales puntos en los que los rayos incidentes se reunan después de atravesarlas. Pero si los rayos que salen divergentes de estas lentes se prolongan idealmente al otro lado de ellas, sus prolongaciones concurren también en un punto que se llama, por esta razón, foco virtual (véase la figu-

ra 227). Los focos virtuales se hallan hacia el mismo lado de la lente que los puntos luminosos.

Una aplicación práctica muy importante del poder dispersivo para la luz de las lentes es la que se ha hecho á las linternas de los faros: la fig. 229 nos da la vista exterior de uno de estos aparatos, mientras que la fig. 228 nos muestra en esquema el camino que se ven obligados á seguir los rayos luminosos por la acción de sus lentes y demás partes de que consta.

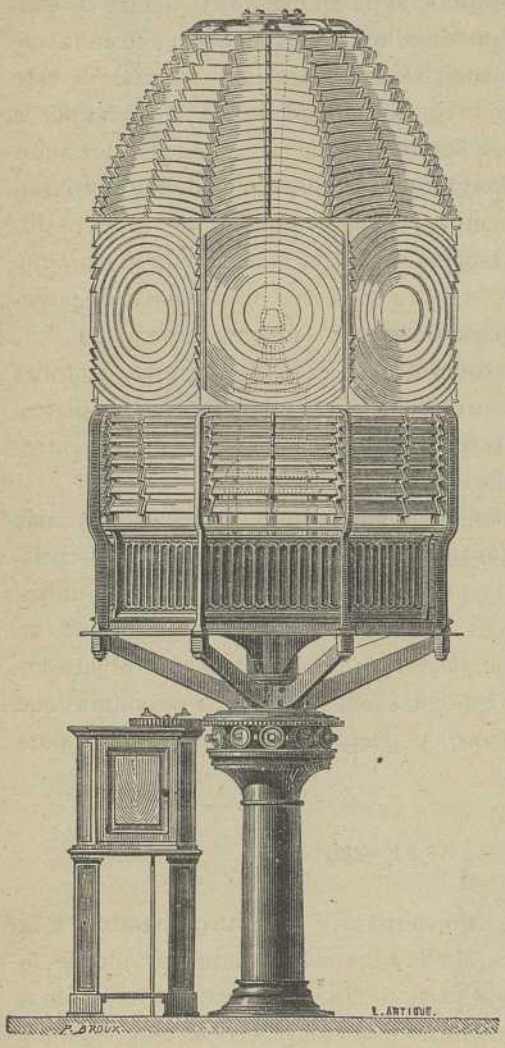


Fig. 229.—Marcha de los rayos luminosos á través de las paredes de la linterna de un faro.

Es sabido que en los faros tiene capital importancia, no sólo obtener una luz todo lo intensa posible, sino también una luz que pueda reconocerse como propia de un faro, y que no se pueda confundir con la de cualquier otro origen. Para corresponder á esta exigencia se han puesto en uso diferentes métodos y aparatos, pero se ha venido á demostrar que el medio más conveniente es una interrupción y reproducción periódica de la luz con intervalos regulares, cuya duración tenga una significación conocida para los navegantes, pues de este modo no es posible confusión alguna. Esta interrupción depende de que la cantidad total de luz que proporciona la lámpara se divide en porciones aisladas, cada una de las cuales se reune por su parte en un haz de rayos de luz paralelos, éste es lanzado en dirección horizontal, iluminando en el sentido de un radio; haciendo girar el aparato todo alrededor de su eje con determinada velocidad, cada uno de estos radios luminosos pasa sucesivamente por un mismo punto del horizonte, mediante un cierto intervalo que depende del número de ellos.

El mecanismo se hace inteligible mediante la fig. 228. El gran cuerpo de lentes apoyado sobre ocho brazos, es la linterna, en cuyo centro se halla el foco

de luz. Esta linterna descansa mediante un pivote en un cilindro dentro del cual recibe un movimiento de rotación de un aparato de relojería colocado en su interior, de suerte que los ocho sistemas de porciones de lentes aislados de los cuales consta, y que en nuestra figura sólo tres son visibles, envían rayos luminosos que giran con la linterna y alcanzan á un punto cualquiera dentro de cierta distancia ocho veces en el tiempo que dura una rotación, dejándole en la oscuridad otras tantas, pues por consecuencia de la disposición especial de este sistema, que resulta más claro en la fig. 229, la cantidad de luz enviada por la lámpara sobre cada una de estas partes, se ve obligada á caminar en dirección paralela al eje principal, y no pudiéndose, por tanto, dispersar, los rayos conservan en gran parte su intensidad. Sin embargo, claro es que á muy grandes distancias sólo pueden brillar como una especie de estría, pues por lo mismo que conservan su paralelismo, su amplitud, siempre igual á la octava parte de la linterna, atraviesa aquel punto en un espacio de tiempo sumamente pequeño.

Como muestra la fig. 228, en la parte central de cada uno de estos sectores se refractan los rayos á través de un sistema de lentes concéntricas anulares, con objeto de no tener que hacer demasiado gruesa una sola lente en su centro, con lo cual se perdería mucha luz por absorción del vidrio.

En la parte superior é inferior se obtiene el paralelismo de los rayos, más bien que por refracción, por la reflexión total en las caras internas de los prismas representados en corte transversal en la figura; la refracción sólo se utiliza aquí como un auxiliar para que los rayos situados en cada plano horizontal se propaguen en el mismo en dirección paralela á los demás. Para este objeto los prismas no son de paredes planas, sino que éstas tienen una cierta curvatura, que depende de la distancia al foco luminoso, y que, por tanto, es distinta para cada zona.

IMÁGENES DE LAS LENTES

Mediante las leyes enunciadas, que bajo cierto aspecto son comparables á la de los espejos curvos, podemos explicarnos la manera de obrar, no sólo de la cámara oscura, sino también de la mayor parte de los aparatos ópticos, inclusos los instrumentos de observación astronómica más complicados. Supongamos que lleguen á la lente representada en la fig. 230 los rayos luminosos procedentes de la bujía; dichos rayos se reunirán á cierta distancia detrás de la lente, en la forma indicada por las líneas trazadas en la misma, de suerte que todos los rayos que parten de cierto punto del cuerpo luminoso vendrán á concurrir á un mismo foco, que siempre se hallará sobre el eje secundario correspondiente á aquél. El conjunto de estos focos respectivos constituye una imagen real, que puede recibirse sobre una pantalla. Esta imagen real es invertida, y mayor ó menor que el objeto, según la distancia de éste á la lente. Cuando la bujía

dista el doble de la distancia focal principal, la imagen engendrada es igual á ella y se forma exactamente á gual distancia de la lente; si la distancia del objeto á la lente es menor de la antedicha, la imagen es mayor que el objeto (figura 232), y se forma á mayor distancia; cuando la distancia del objeto es mayor, la imagen es menor que él y dista menos de la lente. (Figura 230.)

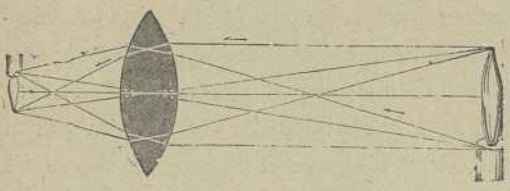


Fig. 230.
Imagen real reducida, formada por una lente biconvexa.

Pero además de estas imágenes reales, las lentes convergentes dan también imágenes virtuales de un modo análogo á los espejos cóncavos. Estas imágenes se originan por razón de que los rayos divergentes que parten de un punto después de atravesar la lente, salen menos divergentes que antes, y de aquí que nuestro ojo cree ver el objeto bajo un ángulo visual mayor (véase la fig. 231), refiriendo su posición al punto donde se encuentran las prolongaciones de aquellos rayos después de refractados. Las lentes divergentes no pueden dar nunca imágenes reales, y sus imágenes virtuales son menores que el objeto. Pronto trataremos de la forma que deben tener exactamente las curvaturas de las lentes para que estos fenómenos tengan lugar en la forma expresada.

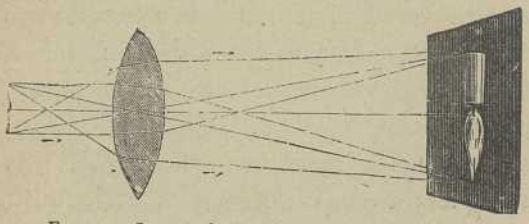


Fig. 231.—Imagen virtual debida á una lente biconvexa.

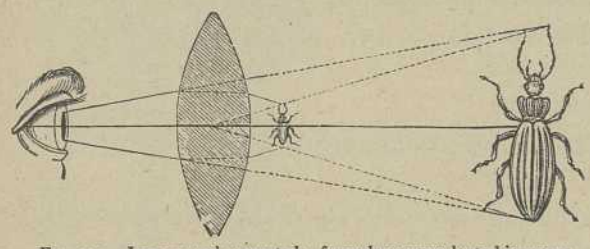


Fig. 232.—Imagen real aumentada, formada por una lente biconvexa.

Cuando estas superficies son esféricas, no puede decirse, en rigor, que reunan en un solo punto todos los rayos que parten de un punto luminoso; sucede, en efecto, que cuanto mayor es el ángulo que forman estos rayos con el eje, dan un foco más próximo á la lente, y de aquí que cada punto luminoso no tenga un foco único, sino una pequeña zona focal; y como esto se verifica para todos los puntos de cuerpos luminosos, la imagen pierde en claridad tanto más, cuanto mayor es la curvatura ó menor es la distancia focal, y también cuanto mayor es el diámetro de la lente. Esta llamada aberración de esfericidad se puede evitar dando otra curvatura á la superficie de las lentes; pero como esto es muy difícil en la práctica, se prefiere el recurso de emplear lentes de gran distancia focal, utilizando sólo su región central, sobre la cual los rayos llegan bajo un ángulo suficientemente pequeño.

LENTES ACROMÁTICAS

La luz procedente de los cuerpos visibles es descompuesta por el prisma en rayos coloreados, exactamente lo mismo que la luz solar directa. Ahora bien, las lentes tienen que ejercer forzosamente sobre la luz la misma acción que los prismas; y, en efecto, si se pone una lente en un pequeño orificio practicado en una ventana y se hace penetrar á través de ella la luz solar en una cámara oscura, sobre la pared opuesta no se forma una imagen del sol completamente blanca, aunque esta pared esté exactamente á la distancia focal de la lente, sino que se ve á la imagen rodeada de un anillo débilmente coloreado; alejando más la pantalla, el círculo de la luz se hará mayor, pero siempre estará limitado por anillos concéntricos de los colores del arco íris. La causa de esto se encuentra en que el foco de la lente para los rayos violetas se halla más próximo que el correspondiente á los rayos rojos. En los aparatos usuales no importa que el objeto se vea coloreado ó no en sus bordes; pero en los aparatos ópticos más delicados, como los anteojos, microscopios, aparatos fotográficos, etc., es de la mayor importancia para la claridad de la imagen disminuir todo lo posible esta circunstancia, llamada aberración cromática, haciendo converger á un mismo punto todos los rayos.

Al hacer aplicación de la refrangibilidad de los cuerpos transparentes, á primera vista parece imposible obtener desviación sin dispersión; tanto, que el mismo Newton negó la posibilidad de construir *lentes acromáticas*, esto es, tales que la imagen aumentada ó reducida, según los casos, no apareciera coloreada en sus bordes. El gran matemático Euler inició una gran discusión, emitiendo la opinión de que esto era posible, y esa discusión no terminó hasta que Klingenstierna demostró la falsedad de las suposiciones que servían de base á la argumentación de Newton. En efecto; éste partía de la idea de que la dispersión de la luz, es decir, la amplitud del espectro, estaba en razón directa de la desviación, y en realidad no sucede así, pues hay cuerpos transparentes que con una desviación menor que otros, forman un espectro de la misma longitud que los primeros. Desde entonces se hicieron tentativas para construir lentes sin dispersión cromática; problema que adquirió inmediatamente la mayor importancia para el perfeccionamiento de los anteojos y otros instrumentos ópticos. Se dice que un noble del condado de Essex, Chester More Hall, que entretenía sus ocios con estudios físicos, fué el primero en resolver el problema en Londres, y construyó ya en 1729 lentes acromáticas, y en 1733 anteojos acromáticos; pero, sin embargo, ninguno ha dado noticias de su procedimiento. Precisamente para no descubrir su secreto daba á construir, según sus medidas, á diferentes talladores de vidrio, las distintas partes componentes de sus lentes (éstas estaban compues-

tas de dos partes de vidrio); pero esta misma circunstancia fué causa de que se hiciera luz sobre el descubrimiento. Dollond, el célebre óptico cuyos anteojos eran considerados entonces en todas partes como los mejores, dió por entonces trabajo á los mismos operarios, y visitando los diferentes talleres, vino á encontrar en ellos vidrios tallados, que tenían comunes entre sí ciertas dimensiones, y que, según resultó de sus indagaciones, habían sido construídos para una misma persona. Sospechando en esto algún secreto, Dollond comparó y estudió lo más exactamente, los vidrios en cuestión y dió así con el procedimiento que más tarde había de prestar tan grandes servicios á la óptica.

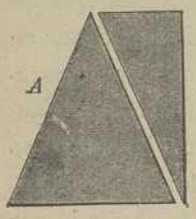


FIG. 233.
Prismas acromáticos.

No es nuestro ánimo dilucidar lo que haya de cierto en esta relación, y si efectivamente había otro hecho este descubrimiento antes que Dollond. Pero aunque hubieran sucedido las cosas tal como queda referido, para nosotros siempre sería Dollond el que habría hecho fructuoso al mundo el invento, y, por lo tanto, el que aparece mucho más digno de una consideración elevada que aquel excéntrico que quería guardar el secreto para sí solo.

Tomemos dos prismas, *A* y *B*, el primero de crownglás con un ángulo de 25°, el segundo de flintglás con un ángulo de unos 12°, y observemos sus espectros; encontraremos que no están desviados igualmente el uno que el otro, pues mientras el del prisma de crownglás manifiesta una desviación de 13°,65 próximamente, el prisma de flintglás desvía á su espectro solamente unos 8°,03; mas á pesar de esta diversidad en el poder refringente, la dispersión de los colores es igualmente intensa en ambos espectros; la misma amplitud tiene el uno que el otro. Si pues ahora combinamos entre sí los dos prismas en la forma que muestra la fig. 233, de suerte que las aristas refringentes de ambos que den en posición opuesta, los rayos del espectro formados por el prisma *A* serán desviados en dirección contraria por el prisma *B*, el cual, tendiendo á formar un espectro de la misma amplitud que el primero, hará coincidir en un solo rayo refractado el violeta con el rojo y todos los colores intermedios. Reunidos, pues, los diferentes rayos simples, se origina la luz blanca y queda anulada la dispersión cromática, pero no la desviación de los rayos, y ésta es la gran adquisición. Del ángulo de desviación producido por el prisma *A*, que es igual próximamente á 14°, el prisma *B* sólo neutraliza unos 8; el resto de 6°, queda disponible al óptico que quiera construir lentes acromáticas. Se comprende fácilmente que se puede obtener el mismo efecto con lentes que con prismas, combinando entre sí una lente convergente de crownglás y una lente divergente de flintglás, y en realidad

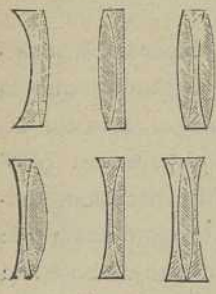


FIG. 234.
Lentes acromáticas.

esto es lo que Hall debió hacer. Dollond, y particularmente Fraunhofer, han llevado este asunto al más alto grado de perfección industrial, operándose todavía hoy exactamente del mismo modo que enseñaron aquéllos. La relación de los radios de curvatura puede calcularse partiendo del poder refringente de las variedades de cristal. Las dos partes de que constan las lentes tienen exactamente la misma curvatura en las superficies, por las cuales se aplican de modo que estén en contacto en todos sus puntos, sin necesidad de ningún intermedio. Pero con el objeto de hacer más sólida su unión, se coloca entre ambas una tenue capa de bálsamo del Canadá, que es completamente transparente y no altera la marcha de los rayos luminosos. Así, pues, cuando en lo sucesivo, al ocuparnos de los instrumentos ópticos modernos, hablemos de lentes, nos referiremos generalmente, aunque no hagamos mención especial de ello, á estas lentes acromáticas que están representadas en la fig. 234.

TALLA DE LAS LENTES

Vamos ahora á dedicar todavía algunas palabras á cuanto hace referencia á la construcción práctica de los vidrios en forma de lentes. En el tomo IV de esta obra, al hablar de los vidrios en general, trataremos la composición química de aquellas de sus clases más principalmente usadas; aquí sólo pueden tener cabida los métodos para dar á los cristales la curvatura adecuada, que es lo más importante para la óptica. El arte de cortar lentes de vidrio fué ejercido por vez primera en Holanda, en gran escala. En cuanto á la época, muy anterior, del invento, reina bastante confusión, y aun las referencias acerca de haberse encontrado una gran lente plano-convexa de 11,24 centímetros de distancia focal en las ruinas de Nínive, hay que recibirlas con alguna desconfianza, pues no existe ningún otro dato que permita suponer que los antiguos asirios hubieran ejercido con conocimiento de causa el citado arte; pero en cambio no cabe duda de que en tiempo de los romanos se conocían lentes de cristal de roca y de vidrio.

Las grandes lentes, ó bien se funden directamente en moldes adecuados, ó se tallan de trozos gruesos de vidrio; las lentes de menor curvatura, como, por ejemplo, las que se emplean en nuestros anteojos ó gafas, se cortan de láminas delgadas. La labor se completa por el desgaste mediante una especie de platillos pulidores que para las lentes convexas son verdaderas cápsulas de latón; para las lentes cóncavas tienen que poseer, en cambio, un fondo abovedado hacia fuera. Para la curvatura se exigen platillos especiales, y éstos se construyen tomando primero dos láminas de latón, á las cuales se da la curvatura que se quiere que tenga la lente, en una de las láminas hacia dentro, y en la otra hacia fuera. Después se hace girar á los dos platillos uno contra el otro sobre

el banco de tornear, de manera que sus superficies se vayan pulimentando entre sí mediante la acción de un polvo fino de esmeril colocado entre ellas, hasta tanto que queden bien limpias y se adapten exactamente. Ahora, estos platillos que se han de utilizar para tallar el vidrio, se sujetan sobre una especie de mango dispuesto para recibirlas, y unidos á un torno ordinario de pulir, que durante la operación se hace girar horizontalmente con la mayor velocidad posible. Recubiertos los platillos de una papilla clara formada con agua y polvo fino de esmeril, y sostenido el trozo de vidrio por medio de una especie de mango al cual está pegado, se acerca á los platillos en rotación, ejerciendo una presión suave contra ellos y cambiando continuamente la posición del cristal, hasta que haya adquirido exactamente la misma curvatura de los platillos. A medida que avanza la operación, hay que tomar un polvo de esmeril cada vez más fino. Cuando la lente ha adquirido la forma deseada por una de las caras, se invierte y se desgasta por la otra. Por último, sobre los mismos platillos se le da el pulimento, para lo cual, en lugar de recubrir aquéllos con esmeril, se recubren con una capa de pez ó colofonia, que por compresión entre ambos platillos ha tomado la misma forma que éstos en su superficie. La pez realiza la pulimentación, continuando la labor en la misma forma que antes se practicó el desgaste del cristal. Aunque lo que talla y desgasta al cristal es principalmente la pasta de esmeril, los platillos de latón reciben también un deterioro no despreciable, por consecuencia del cual siempre muestran una aberración mayor las lentes construídas sucesivamente, que las primeras que se tallan con ellos. Para evitar esto, se frotan los platillos unos contra otros mediante el esmeril. Durante largo tiempo las lentes sólo han tenido una aplicación limitada; servían, por ejemplo, como focos de calor, cristales de aumento para los anteojos ó gafas, microscopios simples, etc., para cuyos fines bastaba una elaboración tosca. Hasta las lentes más notables que se habían construído por su gran tamaño y por las cuales adquirió gran celebridad, en particular, el noble sajón Tschirnhausen, no significaban ni podían determinar un progreso esencial en este arte. Tschirnhausen, en efecto, colocó en una de sus posesiones de Oberlausitz un molino de agua para tallar sus vidrios, y por medio de él construyó lentes convergentes hasta de un metro de diámetro y de una distancia focal hasta de cuatro metros; pero aunque con estas lentes se podía ciertamente hacer cocer en agua pescados y mariscos, mediante los rayos solares, aparte de esto no reportaron mayor utilidad. En su época fueron naturalmente consideradas, por lo curiosas, como obras de un mérito extraordinario.

Hoy en día la óptica práctica tiene miras completamente distintas, y las máquinas y disposiciones que ha construído para conseguir sus fines alcanzan extraordinaria delicadeza y exactitud matemática.

La descripción completa de un establecimiento como el Instituto óptico de Munich, que fué fundado por Utzschneider y Reichenbach en la época de

Fraunhofer, y que posteriormente, en la de Steinheil y Merz, ha ofrecido instrumentos de fama universal, formaría por sí sola un libro. Renunciamos, pues, en este sitio á intentar semejante empresa, y dedicaremos en cambio nuestra atención hacia aquellos aparatos que, bien desde el punto de vista de la óptica filosófica, bien desde el punto de vista práctico, pueden considerarse como los más importantes.

LA CÁMARA OSCURA

¿Quién de nuestros lectores, al colocarse bajo un frondoso árbol, no habrá hecho, admirado, la observación de que los rayos de sol que penetraban por los intersticios de las hojas y caían tal vez sobré la blanca superficie de un pañuelo de bolsillo, ó simplemente sobre un suelo arenoso y brillante, no determinaban una imagen de aquellos intersticios irregulares, sino que todas las manchas de luz tenían la misma forma, una forma circular? (Fig. 235.) Efectivamente; estas manchas son pequeñas imágenes del sol, y su forma sólo depende de la forma exterior del disco solar, origen de los rayos, y de ello nos convenceríamos si repitiéramos esta misma observación durante un eclipse de sol. Entonces el astro del día no se ofrecería á nuestra vista sobre la bóveda celeste como un cuerpo redondo, sino á modo de media luna, y en tal caso aquellas manchas de luz proyectadas sobre el suelo, bajo el frondoso árbol, á través de la espesura de sus hojas, no serían tampoco, como antes, circulares, sino precisamente también en forma de media luna, correspondiendo á la de aquél. (Fig. 236.)

FIG. 235.—Imágenes solares á traves de las hojas de un árbol.

Aún es más sorprendente la siguiente experiencia, bien fácil de practicar. Si ponemos completamente oscura una habitación, é instalamos un lienzo blanco enfrente de la ventana en una de cuyas maderas se haya practicado un pequeño orificio circular de unos dos y medio milímetros de diámetro (como lienzo puede servir también una hoja grande de papel blanco extendida mediante un marco), aparecerá sobre esta pantalla, en el momento en que abramos el ori-

ficio de la ventana, de modo que pueda entrar á su través la luz, una imagen de todo cuanto exista al exterior, los paseantes, las casas, los árboles, las nubes, etc., con sus propios colores naturales y con el movimiento que ellos posean en realidad, pero todo invertido, todo cabeza abajo. Cuanto más pequeño es el orificio, tanto más finos son los detalles, más limpios los contornos y más brillante la imagen total.

FIG. 236.—Imágenes obtenidas en el caso de un eclipse parcial del sol.

Para la explicación de este fenómeno consideremos, por ejemplo, un objeto simple, un edificio del cual deben partir rayos de luz procedentes de sus distintos puntos y en dirección al orificio á través del cual penetran en la habitación y

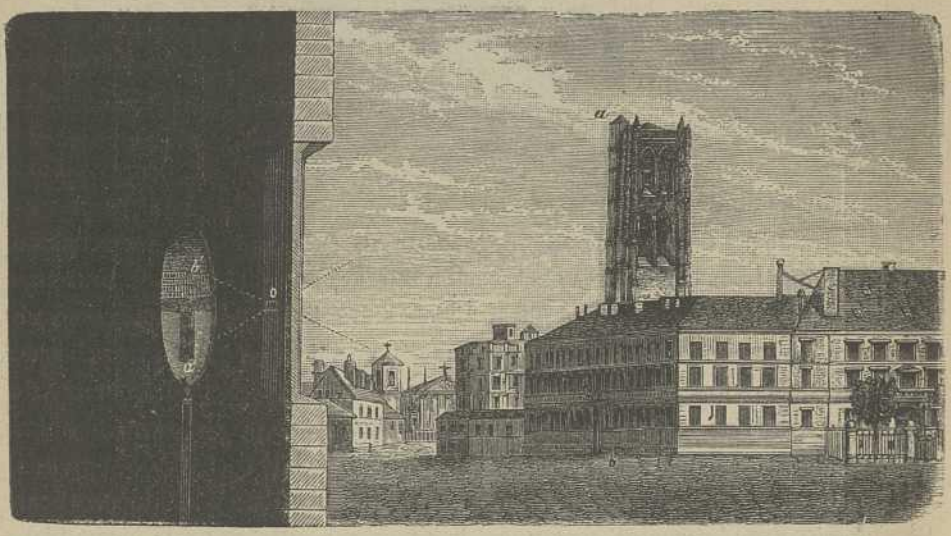


FIG. 237.—Cámara oscura.

vienen á caer sobre el lienzo. Por la observación de la fig. 237 resulta perfectamente claro por qué debe aparecer dirigida hacia abajo la torre *a*, y hacia arriba la base *b*. Por otra parte, cuanto más cerca se coloque el lienzo del orificio,

tanto más pequeña será la imagen; cuanto más lejos, tanto más grande; pero en cambio al crecer de tamaño se hará también menor su iluminación.

Esencialmente esto constituye ya una cámara oscura, por más que el aparato que nosotros designamos especialmente con este nombre se diferencia por la adición de espejos y lentes, con los cuales por una parte se coloca la imagen en posición derecha, y por otra se puede hacer resaltar con más claridad sus contornos y perfiles. La cámara oscura está representada en la viñeta de este capítulo en una forma particularmente comprensible. El aparato se sitúa en una habitación oscura, con lo cual la claridad de la imagen no queda enturbiada por la luz exterior. El orificio por el que penetran los rayos luminosos procedentes del exterior, es mucho más ancho que el de la fig. 237. Un espejo apropiado recibe la luz y la arroja sobre una lente convergente que se halla en un tubo movible y tiene por objeto reunir los rayos en una imagen real, que pueda proyectarse sobre una superficie blanca. Sin la acción concentradora de la lente no podría originarse imagen alguna por la magnitud del orificio, cuya magnitud se le da para que sea mayor la intensidad luminosa. Una segunda forma de cámara oscura transportable es la representada en la fig. 238. Forma una caja cuadrada de abertura circular y de paredes ennegrecidas, y se introdujo su uso particularmente para tomar paisajes, para cuyo objeto se manifestó desde luego muy á propósito, pues se proyecta la imagen sobre la superficie de un papel engrasado ó semitransparente, y de este modo pueden dibujarse fácilmente sobre dicha superficie los contornos de la imagen, que aparecen con toda claridad. La disposición interior está ordenada en sentido inverso que en el modelo anterior. Vemos, en efecto, que los rayos de luz pasan primeramente á través de la lente que los encamina hacia sus respectivos focos, pero después son enviados por el espejo inclinado á la lámina de cristal *k*, *i*, donde se forma la imagen. Si esta lámina está deslustrada, la imagen se dibuja perfectamente sobre ella, siempre con la condición de que la lente esté á la distancia conveniente, lo cual es posible conseguir por el enchufe del tubo anterior en el segundo. Cuando la lámina de vidrio es completamente transparente, es preciso recibir la imagen sobre un papel opaco. La tapadera sirve como sombrilla para interceptar los rayos de luz que llegan de los lados.

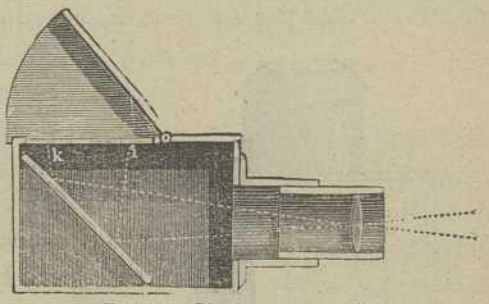


FIG. 238.—Cámara oscura portátil.

La cámara oscura es uno de los instrumentos ópticos más generalizados, pues todos los fotógrafos se sirven de ella, sin que puedan prescindir de su concurso. Fué descubierta ya hacia la mitad del siglo XVI por el napolitano Porta, que se dedicaba al estudio del ojo y la visión; sin embargo, hasta estos últimos

años no ha recibido sus principales perfeccionamientos y en éstos ha dejado de ser un entretenimiento más ó menos curioso para convertirse en un aparato de una utilidad práctica extraordinaria. Los aparatos fotográficos no tienen solamente una lente, sino un sistema completo de lentes, para evitar la acción de la aberración esférica, así como la coloración de los bordes de la imagen.

LA LINTERNA MÁGICA

Este aparato es conocido ya desde muy antiguo, y probablemente fué descubierto en 1640 por Atanasio Kircher, por más que algunos quieren suponer que Rogerio Bacón se había servido ya, cuatro siglos antes, de la misma disposición. También es en los tiempos modernos cuando ha alcanzado aceptación, siendo utilizado para engendrar los cuadros disolventes y la proyección aumentada de objetos microscópicos. Los aparatos para este último objeto, según que el foco luminoso sea una lámpara ordinaria ó un cono de cal incandescente en la llama oxhídrica, reciben los nombres de linterna mágica, simplemente, ó de microscopio de luz *Drummond* ó solar. En todos los casos no se diferencia esencialmente de la linterna mágica sencilla, la cual consiste, á primera vista, en una caja cerrada y con un tubo saliente por una de sus caras (véase la fig. 239). En el interior se sitúa una lámpara de gran intensidad luminosa, y en la pared opuesta al tubo un espejo cóncavo que aumenta la fuerza de la iluminación, enviando hacia el tubo, paralelos á su eje, todos los rayos de luz que la lámpara envía contra él. En el tubo hay dos lentes convexas, ó mejor una planoconvexa y otra biconvexa, y entre la lente más interna y la llama un poco más lejos de la distancia focal principal del sistema de las dos lentes, se halla una ranura para interponer las láminas de cristal sobre las cuales está pintado con colores transparentes el objeto que se quiere representar. Los rayos de luz que atraviesan la pintura son desviados por las lentes, cruzándose entre sí al atravesarlas, como en el orificio de la cámara oscura.

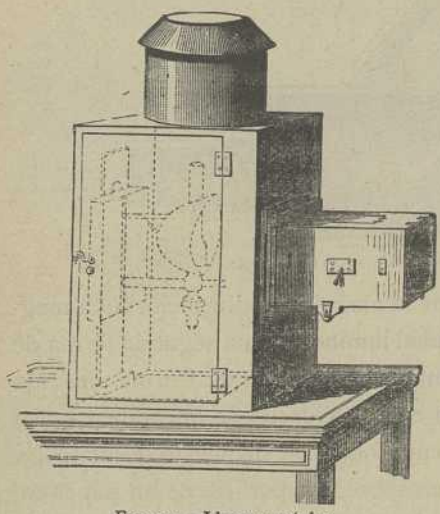


FIG. 239.—Linterna mágica.

Si ahora estos rayos alcanzan á una superficie, resulta en ella una imagen real é invertida del objeto pintado en la lámina de cristal; y como esta lámina se halla á una distancia de las lentes muy poco mayor de la distancia focal principal, la imagen se forma á mayor distancia, y es tanto mayor, cuanto mayor es

esta distancia con respecto á la del objeto á la lente. El caso es el mismo que el representado en esquema en la fig. 232. Como que la imagen resulta en posición invertida respecto al objeto, para que aquélla esté derecha se pone invertida la pintura de la lámina de cristal. La imagen puede ser recibida, bien sobre una lámina de papel transparente ó de una muselina muy fina, sostenida mediante un marco.

Se comprende que los efectos de la linterna mágica dependen en gran parte del mérito de las figuras pintadas en la lámina de cristal. Dicho efecto se hace más sorprendente cuando en dicha lámina son negros los espacios que rodean á las figuras dibujadas en color, de modo que la imagen resalte sobre fondo negro. Así, por ejemplo, las imágenes blancas de espectros, etc., se graban en una capa de color negro, de que está revestida una de las caras de la lámina de vidrio.

El célebre físico y aeronauta Robertson dió á principios de este siglo espectáculos de aparición de espíritus que llenaron de admiración al mundo entero; durante mucho tiempo nadie pudo descubrir de qué medio se valía para producir tales efectos; así que transcurrió una serie de años antes que se descubriera el secreto, no por la habilidad de nadie, sino por una traición. Su mecanismo no era otra cosa que una linterna mágica con algunos aditamentos mecánicos y teatrales, llamada por Robertson *fantascopio* (fig. 240). Hay que considerar completamente separada la sala del público del espacio en que opera el artista, por medio de un tabique. Un lienzo de muselina tirante que forma el centro de este tabique está oculto entre colgaduras, las cuales no se separan hasta que, comenzado el espectáculo, queda oscuro todo el local.

Pero como quiera que detrás del lienzo de muselina no existe ninguna otra luz que la que sale de la linterna misma, emitida por el objeto cuya imagen se forma en el lienzo, nada se ve del aparato, sino sólo una figura que parece flotar libremente en el aire, ya aproximándose en dirección á los aterrados espectadores, ya alejándose de ellos y perdiéndose á lo lejos. Ahora estas alternativas se obtienen también de un modo sumamente sencillo. Cuanto más lejos se sitúe la linterna de la superficie sobre la cual se pinta la imagen, tanto mayor se hace ésta, y, por el contrario, se hace menor á medida que se aproxima la caja, de suerte que si ésta se coloca inmediata al lienzo, la imagen se reduce naturalmente al diámetro del tubo de la linterna. Pero para los espectadores las imágenes pequeñas les producen la ilusión de un alejamiento, y las grandes de una aproximación. Por último, el tubo lleva un mecanismo por medio del cual se hace mayor ó menor la distancia entre ambas lentes.

Con esto se puede hacer que los contornos de la imagen adquieran más ó menos claridad, y de esta suerte la ilusión respecto al cambio de distancia es más completa. Falta ahora, para que esta apariencia adquiera todos los caracteres de la realidad, sólo conseguir que la imagen, á medida que se reduce á un

espacio menor, pierda, en lugar de ganar, en intensidad luminosa. Esto se consigue sin dificultad por medio de un diafragma movible situado delante de la lente, al cual llamaba Robertson *ojo de gato*, y que se podía construir como una especie de tijeras de dos hojas anchas, en forma de media luna, que se colocaba á ambos lados delante de la lente anterior y podían aproximarse entre sí, de suerte que consiguieran el grado que se deseaba de debilitación de la luz hasta la completa oscuridad. Por la combinación estudiada de todos estos medios,

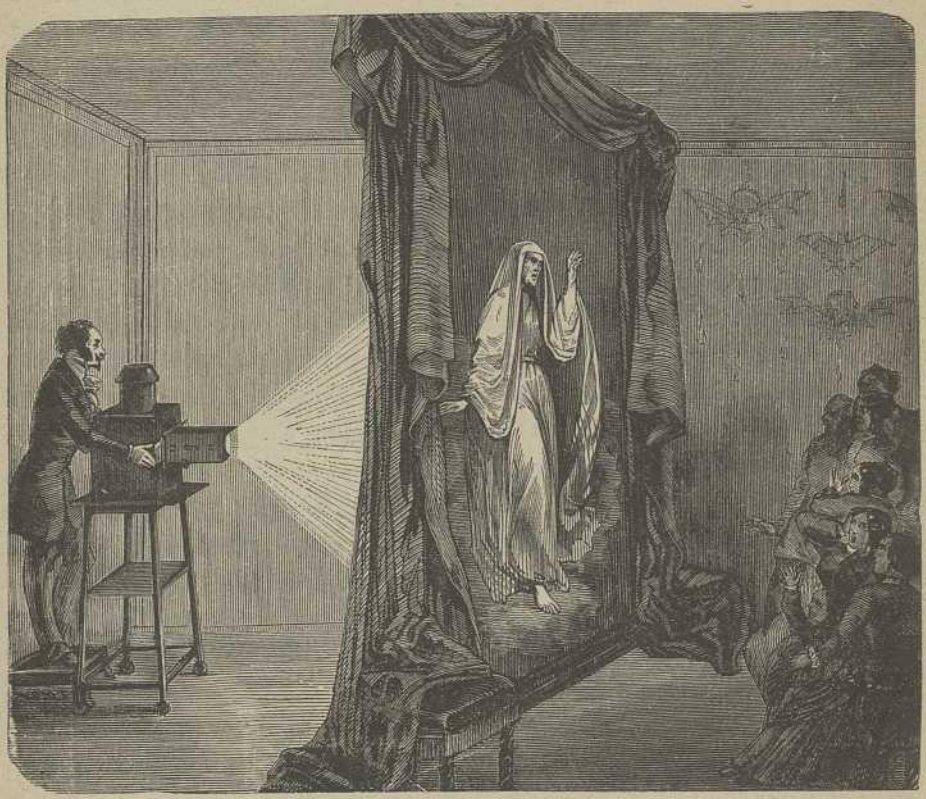
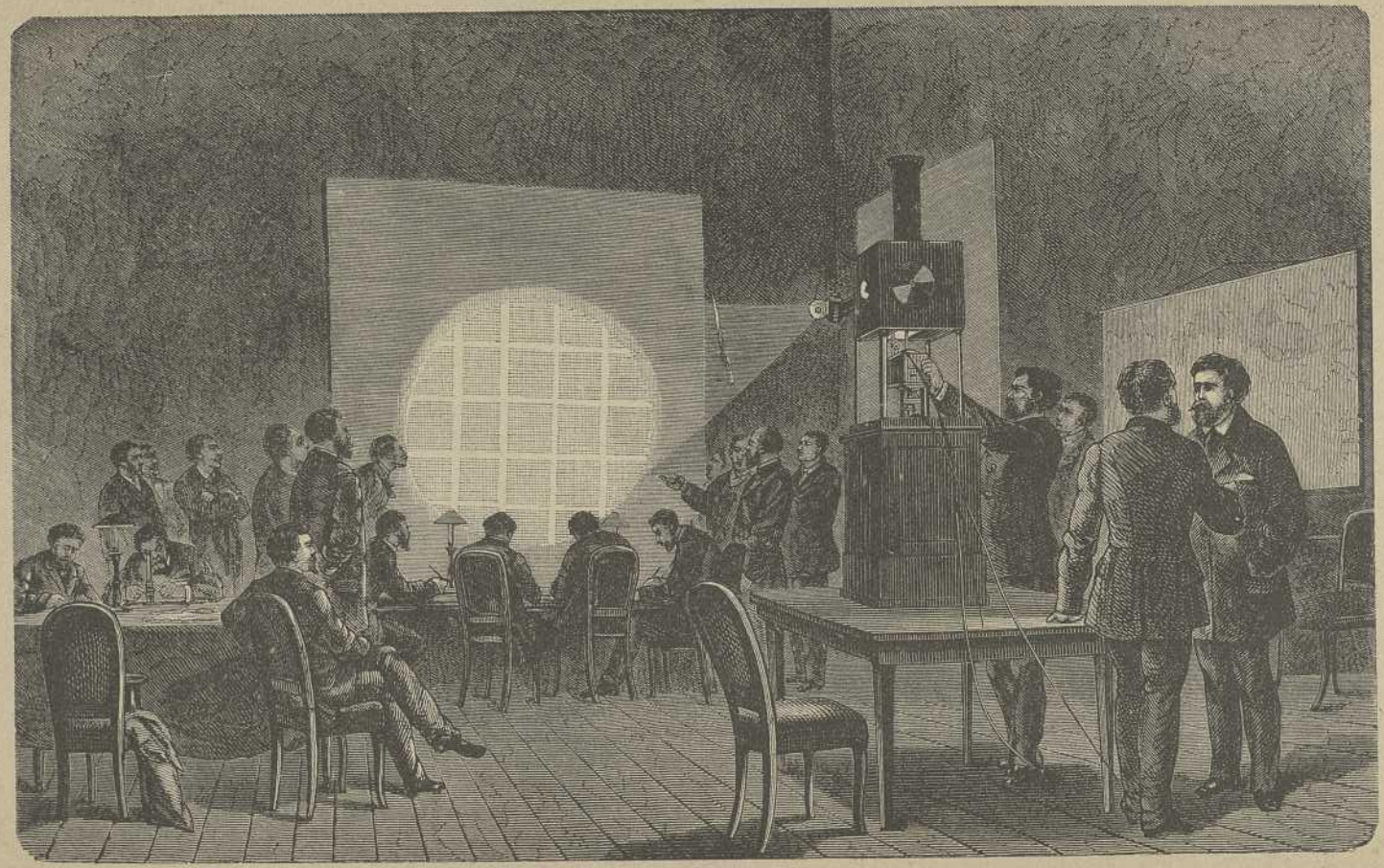


FIG. 240.—Fantascopio de Robertson.

ó sea aproximación y separación del aparato, cambios en la intensidad de luz y colocación relativa de las lentes, se practican los espectáculos espectrales. Una música adecuada, algunos truenos artificiales, ó ruidos de lluvia ó de huracán, etc., pueden hacer más grande la impresión sobre los espectadores. Tanto el operador como el aparato se mueven siempre, como es natural, en silencio, para lo cual este último gira sobre ruedas cubiertas con un paño, que apaga el ruido al rodar sobre el suelo.

Las aplicaciones que se han hecho de la linterna mágica y sus aparatos similares de proyección, como el microscopio solar y otros, aparte de los casos á que se destinan modernamente en la enseñanza para presentar ante un concur-



Reproducción de despachos fotográficos por medio de la linterna mágica durante el sitio de París.

LÁMINA IV.—TOMO II

so imágenes aumentadas de ciertos objetos y aun de fenómenos físicos producidos en un espacio sumamente pequeño, en general no han pasado de la categoría de un objeto de entretenimiento. Pero durante el largo sitio de París por los alemanes, este instrumento prestó una verdadera utilidad práctica á los sitiados, pues gracias á él les fué posible sostener una correspondencia, aunque limitada, con el resto de la nación y á través del círculo de hierro en que los tenía encerrados el ejército sitiador.

Sabemos ya que desde el interior de la ciudad se enviaban al exterior cartas y despachos, mediante globos aerostáticos, ya que la posición de los sitiadores no permitía ningún otro medio. Pero si bien era posible expedir un globo con la esperanza de que alcanzara suelo en territorio amigo, donde su contenido pudiera ser transmitido á su destino, era, sin embargo, impracticable hacer llegar á París, por el mismo medio, noticias del exterior. El único recurso que se ofrecía para este fin era el regreso de palomas mensajeras enviadas con los globos desde la ciudad. Este medio fué utilizado en gran escala, y mediante una excelente organización; de suerte que, con ayuda de aparatos fotográficos reductores, se condensaban en el más pequeño espacio posible cartas, despachos, periódicos enteros, reuniéndolos sobre una hoja que no excedía del tamaño necesario para que pudiera introducirse en el cañón de una pluma que se ataba á las palomas que debían regresar al punto de partida. Y aún llevaron los franceses sus precauciones al extremo de utilizar para las expediciones las pruebas negativas fotográficas, con lo cual obtenían la ventaja de evitarse la mitad del trabajo, y además también quedaban así más seguros de que el que no estuviera provisto de los aparatos correspondientes para la reproducción y aumento de los escritos, no habría de poder descifrarlos en modo alguno. Y, en efecto, por más que los alemanes pusieron en esta guerra los mayores cuidados, no habían pensado siquiera en semejantes aparatos fotográficos y microscópicos. Las hojas recibidas en París que contenían todo un cúmulo de correspondencias particulares, se reproducían primeramente amplificadas por la fotografía y después se proyectaban, por medio de una lámpara ó microscopio oxhídrico sobre un lienzo, en el cual eran leídos los despachos, copiados y enviados á su destino especial, como indica la lámina IV del tomo II.

CUADROS DISOLVENTES

La linterna mágica adquirió un nuevo interés por esta aplicación, procedente de Inglaterra, pues ningún otro aparato de los conocidos ha originado efectos tan maravillosos como éste á que nos referimos. En él existen simplemente dos linternas mágicas, á las cuales se da una posición relativa tal, que ambas dirijan sus tubos hacia un mismo punto, y en éste coincidan, por consiguiente,

los dos círculos de luz correspondientes. Si en una de las linternas se introduce una lámina de vidrio, mientras la luz de la otra está completamente interceptada, se verá sólo, por tanto, una imagen correspondiente á la pintura de dicha lámina. Pero ahora esta imagen va á ser transformada ante nuestros ojos en otra que está ya colocada en la caja de la segunda linterna, todavía oscura.

Esto se consigue de un modo muy sencillo, sin más que ocultar gradual y uniformemente la primera de las lámparas, descubriendo al mismo tiempo y en igual proporción la luz de la otra. Con esto comienza á disiparse y hacerse confusa la imagen que hasta entonces era únicamente visible, pues sus colores y sus perfiles van mezclándose poco á poco con los de la nueva imagen, que cada vez se hace más intensa, y á medida que desaparecen los restos de la anterior se hace más clara, hasta que por último esta nueva imagen queda ante nuestra vista en todo su esplendor. Si no se puede emplear aquellos ojos de gato á que antes nos hemos referido, puede hacerse este cambio de luces dando también á las imágenes una iluminación variable, subiendo ó bajando las llamas correspondientes. La transformación de un paisaje de verano en un paisaje de invierno con los mismos edificios, las mismas montañas, los mismos árboles, etc., resulta por este medio completamente inadvertida, siendo sorprendente en el más alto grado ver el desarrollo de un cuadro completamente distinto, cuya aparición estábamos muy lejos de sospechar, y que encontramos fijo ante nuestra vista antes de que hayamos podido darnos cuenta del fenómeno.

Existen todavía otros pequeños recursos para ejecutar transformaciones en estos cuadros. Por ejemplo, se puede colocar cierto número de vidrios unos tras de otros y dar movimiento á sus figuras, quitándolos y poniéndolos, tirando de ellos hacia uno ú otro lado; así se puede hacer pasar un tren por la vía, etc., etc. Como otro ejemplo, citaremos que se imita la caída de la nieve haciendo pasar de abajo arriba, por delante de una tercera linterna mágica, una tira de papel blanco, previamente atravesada gran número de veces con una aguja gruesa.

CÁMARA MARAVILLOSA

El óptico Krusz de Hamburgo ha hecho una modificación muy interesante de la linterna mágica que ha introducido en el comercio con el nombre de *cámara maravillosa*. En efecto, mientras en todas las otras disposiciones de la linterna mágica es condición indispensable el que los objetos sean transparentes, y por tanto se colocan con preferencia pinturas y dibujos sobre vidrio; que hacen aparecer sobre el lienzo, en tamaño natural, imágenes por el relieve de sus contornos y porciones transparentes, Kruss coloca los objetos mismos de papel, medallas, plumas, la esfera de un reloj con sus agujas, etc., en el interior de una caja oscura y la ilumina intensamente mediante una lámpara y un espejo cóncavo que

concentra sobre ellos los rayos de luz, viniendo éstos después á pasar por una lente que desarrolla sobre un lienzo blanco colocado á distancia, una imagen aumentada de aquellos objetos. Los efectos que causa este sencillo aparato son muy agradables, pudiendo cada cual multiplicarlos con facilidad de mil modos distintos; las imágenes producidas son, sin embargo, muy débiles, y se borran empleando una lámpara ordinaria para su formación. El lector puede explicarse esta debilidad en la claridad de la imagen por las ideas expuestas en los capítulos anteriores, pues se trata de rayos de luz que han de ser emitidos por objetos que absorben la mayor parte de la luz que cae sobre ellos.

EL OJO, PANORAMA, CROMÁTROPO Y ESTEREOSCOPIO

El ojo como instrumento óptico.—Su estructura y propiedades.—Visión con un solo ojo.—La retina.—Angulo visual.—Tamaño aparente de la Luna.—Perspectiva.—Medios auxiliares para el dibujo de perspectiva.—Panorama y diorama.—Velocidad de la sensación luminosa.—El cromátropo.—Ilusiones ópticas subjetivas.—Armonías de los colores.—Visión con los dos ojos.—El estereoscopio y su historia.—Wheatstone.—Brewster.—Estereoscopio especular y prismático.—El estereoscopio de Helmholtz.

El hombre lleva siempre consigo la cámara oscura más perfecta que puede concebirse. Si bien es verdad que los aparatos de los fotógrafos permiten obtener imágenes, para observar las cuales en sus detalles tenemos necesidad de hacer uso del microscopio, sin embargo, todavía es aún más delicado y sutil nuestro propio ojo. Y, á pesar de todos los obstáculos y dificultades que en tiempos pasados parecían imposibilitar el conocimiento exacto del fenómeno de la visión, el velo que lo cubría cayó por sí mismo por sólo la aplicación del método de investigación experimental, y hoy nos vemos obligados á preguntar-

nos qué es más digno de nuestra admiración, si la sencillez de la causa y de sus leyes, ó la riqueza y variedad de las acciones que la naturaleza sabe producir con aquélla.

Los esfuerzos y especulaciones de muchos siglos no han sido capaces de proporcionarnos ningún dato sobre el funcionamiento del órgano de la visión. Hasta tanto que no se ha destapado y observado interiormente dicho órgano, no podía menos de seguir desconocido lo que allí pasaba. Antes revelaría el mecanismo de su acción interior la esfera del reloj de la torre, que el aspecto exterior del ojo humano. Pero mientras que cualquier curioso penetra en la torre misma para encontrar la causa del movimiento de las agujas del mencio-

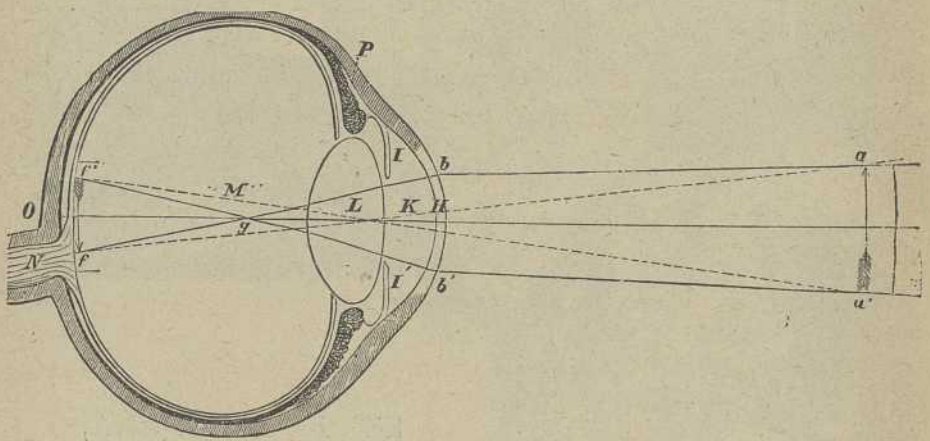


FIG. 241.—Sección transversal del ojo.

nado reloj, los sabios de la antigüedad han permanecido durante siglos contentándose con discurrir, opinar, creer, sospechar, siempre mirando al ojo desde fuera y siempre sin saber nada, por consiguiente, acerca de él.

Hasta que el penetrante bisturí del anatómico separó, mediante rápidos y seguros cortes, las membranas que le envuelven, y cogió entre sus manos las diferentes partes que constituyen el ojo, estudiando y sometiendo á comprobaciones experimentales sus propiedades particulares y composición respectiva, hasta entonces no se hizo la luz. Vamos, pues, ahora á tomar como base de nuestros razonamientos el testimonio de este anatómico.

Tomó un ojo de buey (pues los ojos de los animales pertenecientes á los grupos superiores de la escala zoológica están constituídos exactamente del mismo modo, en lo esencial, que el del hombre), y nos hizo notar en primer término su forma, aproximadamente esférica, que observamos en la fig. 241. El globo del ojo está ya cubierto exteriormente por una fuerte membrana, *O*, *P*, llamada *esclerótica;* ésta es transparente en su superficie anterior, *H*, y opaca en el resto de su superficie. Sobre la superficie posterior se ve en la figura el ner-

vio óptico, *N*, en corte longitudinal, el cual transmite la impresión de la luz al cerebro.

Al hacer una disección del ojo de delante á atrás, se nos presentan las siguientes partes, que están representadas en corte en la fig. 241. Poco después de la *córnea transparente H* se halla una membrana coloreada, *I*, *I'* que es el *iris*, según el color de la cual se llaman los ojos azules, pardos, etc. En el centro está agujereada esta membrana, y á través del orificio (*la pupila*) penetran los rayos de luz en la lente *L*, la cual los refracta reuniéndolos en una imagen menor que el objeto en la pared posterior del ojo, ó sea sobre la *retina f, f'*. El espacio interno, *M*, situado detrás de la lente ó *cristalino L*, está lleno de una sustancia transparente y gelatinosa llamada *humor vítreo*, y sus paredes están recubiertas de una membrana negra finamente reticulada, que hace de dicho espacio una verdadera cámara oscura. El espacio anterior, *K*, entre la córnea transparente y el cristalino, contiene un líquido transparente y algo salado: el humor *acuoso*. La retina no es otra cosa que una expansión externa y finísima del nervio óptico.

Supongamos ahora que desde *a*, *a'* partan rayos de luz hacia el ojo; al penetrar por la córnea transparente en *b* y *b'*, experimentan una primera desviación, realmente la más considerable, pues los medios que sucesivamente tiene que atravesar después el rayo de luz hasta llegar á la retina, se diferencian muy poco entre sí respecto á su poder refringente. La lente está en cierto modo destinada exclusivamente á producir la reunión de los rayos procedentes de un mismo punto sobre la retina; actúa por un movimiento de avance ó de retroceso, así como por ciertos cambios en sus radios de curvatura; de suerte que en un ojo normal se forma siempre el foco de cada punto luminoso en la retina, sea cualquiera la distancia de éste y la divergencia de los rayos, y, por tanto, hace posible una visión clara y distinta de objetos situados á distancias sumamente diferentes. Sin embargo, á mas de esto, es probable que esté también destinada á hacer acromáticas las imágenes.

Si el cristalino está constituído de suerte que los rayos que llegan al ojo desde la distancia media de visión distinta forman el foco, y por consiguiente la imagen se forma también delante de la retina, entonces aquellos rayos que proceden de un objeto muy próximo, pueden reunirse en la retina y dar imágenes claras; pero en cambio las imágenes de los objetos lejanos, formándose delante de la retina, determinarán sobre esta misma una impresión confusa, pues á partir del foco, los rayos procedentes de cada punto luminoso vuelven á diverger de nuevo. Los individuos cuyos ojos se encuentran en este caso, se dice que son *cortos de vista*, ó *miopes*; su cristalino tiene demasiado pequeña distancia focal; sus caras tienen una curvatura excesiva. Este inconveniente se remedia mediante lentes divergentes en el grado que corresponda, y de aquí que los anteojos para los *cortos de vista* contienen lentes bicóncavas. En los *présbitas* su-

cede lo contrario: la imagen clara y distinta no se formará sino detrás de la retina; es preciso, pues, hacer más convergentes los rayos por medio de lentes convexas.

VISIÓN CON UN SOLO OJO

Los esfuerzos que hacemos para disponer el cristalino de suerte que la visión sea clara para las diferentes distancias de los objetos, constituyen lo que llamamos acomodación del ojo. Es probable que la actividad muscular necesaria para conseguir este objeto ejerza una influencia no insignificante sobre las nociones que adquirimos acerca de la visión, pues aun cuando miramos con un solo ojo, distinguimos todavía cuál de dos puntos está más próximo y cuál más lejano. Sin embargo, la distancia hasta la cual puede alejarse un objeto sin que deje de ser visto con claridad, tiene su límite; por ejemplo, los escritos generalmente sólo pueden distinguirse con claridad, por los ojos normales, á una distancia comprendida entre 20 y 45 centímetros; esta es la distancia llamada de *visión distinta.*

Además, no todos los puntos de la retina nos comunican impresiones tan bien definidas. Cuando queremos ver algún objeto con exactitud, dirigimos nuestro ojo de manera que los rayos vengan á caer sobre la línea media del ojo, ó eje óptico. Según esto, el campo de visión sería siempre muy limitado y no podríamos tampoco percibir simultáneamente con la misma precisión todas las partes de un objeto algo extenso; pero esta imperfección aparente está compensada por la extrema movilidad del ojo, la cual nos permite fijar nuestra atención sucesivamente sobre aquellos puntos á los cuales se dirige con la mayor rapidez nuestro pensamiento.

La imagen engendrada por el cristalino sobre la retina, es menor que el objeto, é invertida. Con frecuencia ha sido objeto de prolijas discusiones, y hasta los fisiólogos se han dado en otros tiempos muchos malos ratos para resolver la cuestión de por qué nosotros vemos los objetos en su verdadera posición, á pesar de que la imagen sobre la retina aparece invertida. Todo cuanto se diga sobre este punto, es ocioso. *El alma no ve la imagen desde fuera*, como nosotros podríamos mirarla sobre la retina del ojo de un buey; recibe una impresión general que interpreta en su significación de un modo completamente peculiar y propio.

El tamaño aparente de un objeto visible depende de la magnitud del *ángulo visual*, esto es, del ángulo comprendido por los rayos que llegan á nuestro ojo desde los puntos extremos del objeto. Con este ángulo visual combinamos en nuestro pensamiento la idea de la distancia, y calculando ésta exactamente, podemos formarnos un concepto del *tamaño real* de los objetos. Cuánto influye en esta idea la apreciación de la distancia, lo demuestra la ilusión, que siempre

nos subyuga, de que la Luna parece mayor cuando está baja sobre el horizonte que cuando está hacia el zenit. Esta notable ilusión no tiene por fundamento un cambio en el ángulo visual, pues éste permanece completamente el mismo en ambas posiciones, sino que consiste muy probablemente en que, por consecuencia del diferente grueso de las capas de aire en dirección horizontal ó en dirección vertical, consideramos la bóveda celeste á la cual parecen adheridas las estrellas, no como un hemisferio, sino como una bóveda achatada, y por esto atribuímos en nuestra imaginación una mayor distancia á la Luna cuando se halla

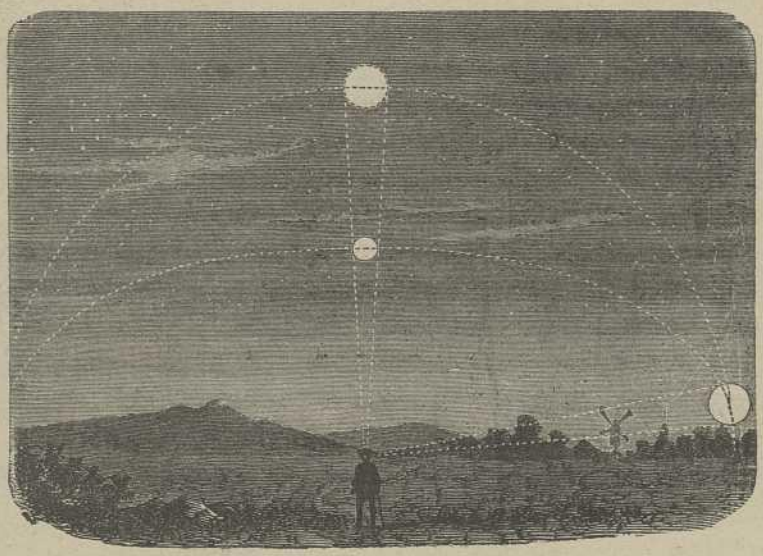


FIG. 242.—Diferencias en el diámetro aparente de la Luna.

á poca altura sobre el horizonte. La fig. 242 nos ofrece una prueba evidente de lo dicho.

En cambio, la perspectiva se funda en la variación del ángulo visual con el aumento de distancia, y su exacta aplicación puede dar á los objetos representados en un dibujo gran evidencia ó apariencia de realidad. El conocimiento y la práctica de las reglas de la perspectiva supone una observación muy inteligente de la Naturaleza; de aquí que sólo la descubrimos en los pueblos que han alcanzado un alto grado de cultura; en la Edad Media encontramos todavía cuadros y dibujos que tienen gran semejanza, por lo que se refiere á la representación anterior, posterior ó inferior de los objetos, con las caprichosas pinturas chinas.

Para transcribir sobre un plano la imagen de un paisaje, de una estatua, etc., en lo posible tal y como se ofrecen á nuestra observación directa, hay diferentes métodos. Se consigue este fin del modo más sencillo, interponiendo entre nuestro ojo y el objeto que se quiere dibujar, una lámina de cristal, y siguiendo

los contornos sobre ella directamente, tal como la naturaleza dibuja allí su imagen. Pero cualquier desviación del ojo tendría por consecuencia un cambio completo en el dibujo. De aquí que en el aparato representado por la fig. 243 se ha dado al ojo una posición fija, puesto que la lámina sobre que se va á dibujar lleva unida invariablemente una mira, á través de cuyo pequeño orificio el dibujante observa el paisaje. La imagen no se proyecta sobre una lámina de vidrio, sino sobre una hoja de papel blanco. Para esto sirve un marco á modo de pantógrafo, el cual lleva el lápiz y está provisto en un extremo de una aguja cuya punta dibujadora va siendo conducida por el observador, siguiendo los

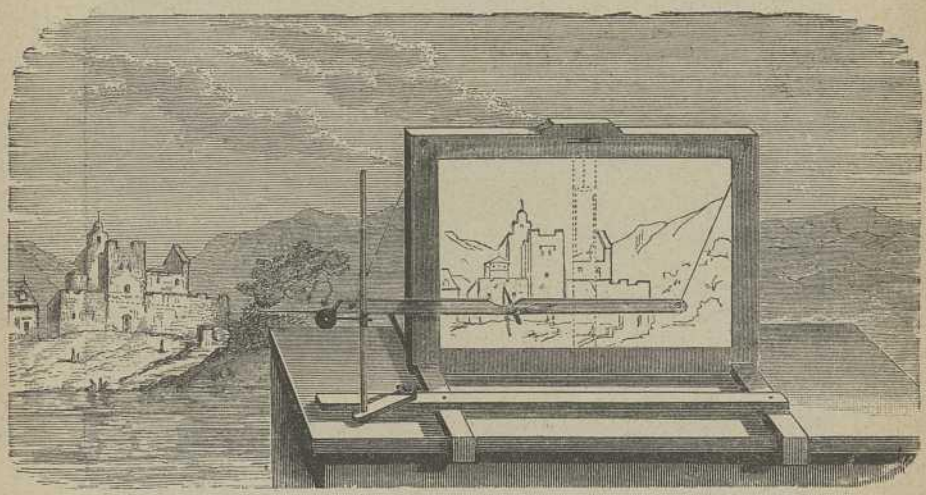


FIG. 243.—Máquina de Wren para tomar la vista de un paisaje en perspectiva.

contornos del paisaje tal como aparece ante su vista. Esta aguja está indicada en nuestro dibujo por una punta fina situada detrás de la mira, con la cual no va unida invariablemente, como parece á primera vista.

EL PANORAMA

Los panoramas dan la mejor prueba del grado hasta que puede llegar la ilusión producida en nosotros por un dibujo en perspectiva bien practicado. Son los panoramas cuadros que representan un paisaje ó una escena, produciendo sobre el espectador el mismo efecto que si se encontrara en medio del paisaje ó escena en cuestión. El lienzo sobre el cual está dibujado suele hallarse extendido sobre un edificio circular, rodeando por todas partes al observador. La perspectiva del cuadro está calculada para el punto donde se ha de situar el público; y con objeto de que éste no pueda observar el cuadro desde ningún otro punto, se construye una especie de púlpito ó tribuna especial para aquel

objeto. Mirada desde otro punto que no sea el calculado previamente, la imagen aparece deformada, como se puede comprender, poco más ó menos, por la fig. 244; y aun observada desde el punto adecuado, sólo origina la ilusión cuando puede resaltar cual si no estuviera la imagen sobre una superficie con sólo dos dimensiones, sino como si los objetos representados en ella fueran corpóreos, para lo cual es preciso evitar toda otra impresión que pudiera oponerse á esta apariencia; por ejemplo, el pequeño dibujo de la fig. 244 puede verse sin deformación haciendo en un naipe un orificio circular del grueso proximamente de un alfiler, y se coloca dicha carta de suerte que el orificio quede á una altura de unos 7,5 centímetros del dibujo horizontal, y mirando sucesivamente, moviendo el ojo á pequeña distancia del orificio de manera que se observen unas tras otras las partes de la imagen á su través.

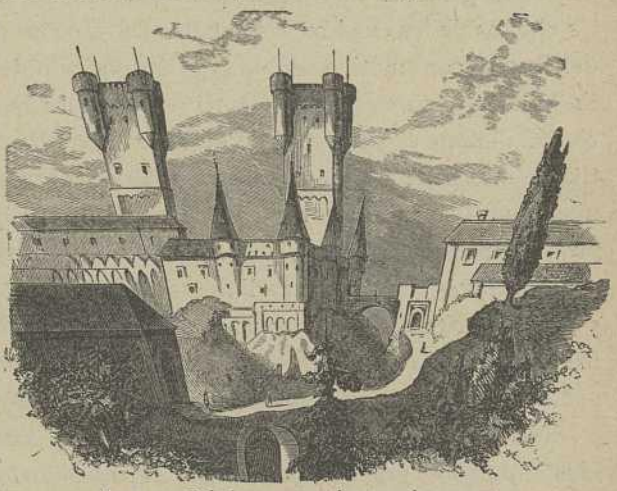


Fig. 244.—Paisaje en perspectiva para el panorama.

De un modo semejante están dispuestos los cuadros de los panoramas.

Como quiera que Alberto Dürer había ya deducido y demostrado con toda exactitud las reglas de la perspectiva, no es inverosímil que hace mucho tiempo se hayan construído pequeños cuadros panorámicos. Breisig en Dantzig mostró ya un panorama en 1763; sin embargo, sólo á partir de 1793 se han aplicado en gran escala como un objeto de curiosidad pública. En este año, próximamente, instaló Barker, en Londres, un panorama que representaba la comarca de Portsmouth y la isla Wight. El primer panorama presentado en Alemania fué precisamente el de Londres (1800); desde esta época la afición á este espectáculo se generalizó mucho, y en particular adquirieron gran fama los panoramas parisienses, sobre todo los del paisajista Prévost. El nombre de *Paisaje des panoramas* recuerda hoy todavía el sitio donde estuvieron instalados primeramente. Sesenta años há, existían allí dos rotondas de unos quince metros, con una especie de plataforma circular para los espectadores, de unos seis metros de diámetro. Este era el teatro de Prévost. El público quedaba encantado de la representación, y su concurrencia exigió pronto la construcción de un edificio mayor.

Después que murió Prévost, el coronel Langlois puso ante los ojos de los parisienses los episodios principales de la campaña recién terminada, y en la cual había él mismo tomado parte. Su panorama se situó en la *Rue des Marais du Temple*, y tenía un diámetro tres veces mayor que el de Prvéost. La imagen

del combate naval de Navarino fué la primera que expuso Langlois, y supo darle mayor atractivo y curiosidad, construyendo el palco para el público en forma de la cubierta de un navío de guerra, completamente provisto de todos los detalles correspondientes, y armado con 74 cañones. La columna central que servía de apoyo al edificio, se convirtió en el palo mayor del buque; el otro extremo de éste sólo estaba pintado; el lienzo del fondo se cerraba en la pared posterior, y así la mirada se extendía libremente en todos sentidos, bien sobre el movido mar, bien sobre los buques enemigos. En el año 1830 construyó Langlois un nuevo gran panorama, en el cual constituyeron igualmente los objetos de los cuadros las batallas del ejército francés; pero éste tuvo que derribarse con motivo de la gran Exposición de 1855; hoy día existen en París nuevos panoramas, y el que representaba hace tres años la vista de la ciudad durante el sitio, tomada desde el fuerte Issy, tenía un efecto de perspectiva lo más perfecto que pueda verse. El célebre panorama de Londres fué tomado por Tomás Horner mientras reparaba la cúpula de San Pablo. Lo expuso en una inmensa rotonda en Regentspark; los espectadores miraban también como á través de la pequeña linterna transparente de la cúpula de San Pablo, y tenían, por tanto, que dar vuelta alrededor de ésta, pues de tal suerte sólo podían disfrutar en cada punto de una parte de la vista. En Alemania adquirió renombre el pintor Lexa, especialmente por sus panoramas.

En los últimos tiempos se ha perfeccionado considerablemente este espectáculo, y en los grandes panoramas representando las batallas de la guerra franco-alemana, han trabajado muchos artistas de primer orden. En Madrid también hemos tenido ocasión de admirar la batalla de Tetuán como hermoso espectáculo de este género.

Mientras que la acción del panorama descansa principalmente sobre la perspectiva, en los dioramas, expuestos primeramente por Daguerre, el inventor del daguerreotipo, es una iluminación particular la que origina efectos no menos sorprendentes. Una gran superficie de seda transluciente se pinta de distinto modo por ambos lados. En la cara anterior, por ejemplo, lleva la imagen de un paisaje iluminado por el sol, mientras que en la posterior lleva la misma imagen, pero con todas las consecuencias de un cielo cubierto de nubes, ó bien un temporal de nieve, etc., etc. Los colores se escogen en atención á su transparencia, y según que la luz caiga sólo sobre la cara anterior ó sólo sobre la cara posterior, se pueden presentar uno tras otro rápidamente ambos efectos; pero la transformación se origina todavía de modo más admirable por la acción gradual simultánea de la luz proyectada por reflexión, y de la que atraviesa el cuadro por transparencia.

VELOCIDAD Y DURACIÓN DE LA SENSACIÓN LUMINOSA

Nosotros no vemos en el mismo momento en que la luz llega á la *retina* del ojo. Los nervios necesitan cierto tiempo para ser excitados, otro cierto tiempo para transmitir la sensación hasta el cerebro, y, por último, el alma invierte también un tiempo limitado para formarse idea de esta sensación. Como es natural, todos estos tiempos son extraordinariamente cortos; tan cortos, que se escapan á la observación ordinaria; pero á pesar de esto, los físicos y los fisiólogos han encontrado métodos para medir lo más exactamente esta velocidad del pensamiento. De su aplicación ha resultado que este intervalo entre la llegada al ojo de los rayos luminosos hasta la percepción consciente del objeto visto, varía para los diferentes individuos, oscilando entre $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{3}$ de segundo; y todas las observaciones astronómicas deben, en rigor, ser corregidas de esta causa de error, para referirlas á un tiempo absoluto.

Del mismo modo que el ojo no recibe la impresión luminosa sin pérdida de tiempo, tampoco la deja escapar instantáneamente. Cuando hacemos girar alrededor de nuestra cabeza un carbón incandescente dentro de una habitación oscura, el punto luminoso se prolonga en una especie de estría, que, si el movimiento es bastante rápido, se convierte en una circunferencia brillante. Las descargas eléctricas en la atmósfera, ó sean las exhalaciones, consisten en una serie de chispas, cada una de las cuales ocupa un solo punto; pero nos aparecen como una cinta en ziszás, porque la sensación determinada por cada una de estas chispas se conserva durante cierto tiempo después de la desaparición de la imagen sobre la *retina;* y sin que aceptemos como de autorizado origen la andaluzada de aquel viajero que para encomiar la rapidez de los trenes en América decía que pasaban tan veloces ante sus ojos los postes telegráficos, que le hacían el efecto de una empalizada continua, existen multitud de ejemplos del mismo género, cuya elección y aplicación dejamos á la discreción de nuestros lectores. Aquí sólo mencionaremos algunos de aquellos en que intervienen diferentes factores que complican el fenómeno ó impiden una inteligencia fácil.

DISCO DE NEWTON Y PEONZA MÁGICA

Es el aparato más sencillo para experimentar acerca de la persistencia de las impresiones luminosas durante cierto tiempo. Consiste esencialmente en una simple peonza que termina superiormente en un disco de quince á veinte centímetros de diámetro, la cual puede ponerse en rápida rotación tiran-

do de una cuerda arrollada á su eje, á la manera como en el trompo ordinario. Durante la rotación se pueden colocar sobre la cara superior del disco láminas circulares de cartón, que llevan en su centro un orificio, por el cual pueden penetrar en el árbol. Estos discos toman parte, como es natural, en la rotación, y si están divididos en sectores de distintos colores, la sucesión rápida de las impresiones que origina cada uno de ellos, determina el efecto de una mezcla. Los nervios y el alma misma no son tan veloces como el disco, y por ello no pueden distinguir particularmente las imagenes, sino que éstas se superponen en nuestra conciencia. Así, por ejemplo, si el disco está dividido en sectores alternativamente amarillos y azules, al girar aparece verdoso ó pardo; si los sectores son azules y rojos, el conjunto es violeta, y así sucesivamente. Con este instrumento se pueden verificar también otras experiencias, haciendo, por ejemplo, hueca la parte superior del árbol é introduciendo en él, durante la rotación, trozos de alambres doblados de diferentes modos, que producen la impresión de cuerpos huecos redondos. Adaptando á uno de estos alambres inclinados, discos de papel divididos en porciones de colores, como muestra la fig. 245, se obtienen efectos de color sumamente admirables; entre ellos anillos concéntricos perfectamente distintos, que cambian de color y anchura cada vez que se toca con el dedo el disco, y que ofrecen las combinaciones más variadas.

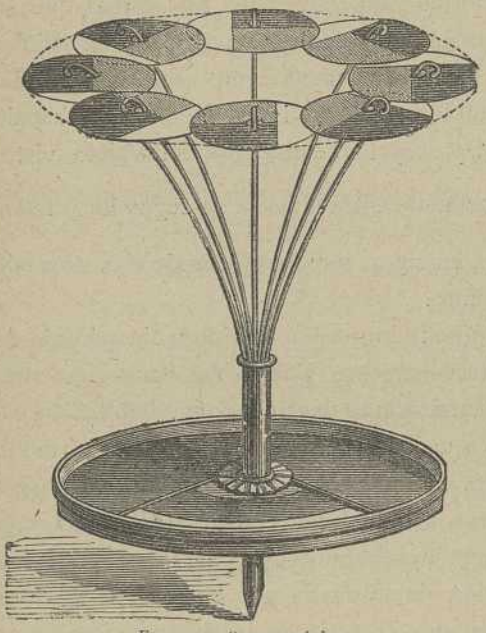


FIG. 245.—Peonza mágica.

La causa de todos estos curiosos fenómenos está también en la reunión de todas las imágenes aisladas que llegan á nuestro ojo en rápida sucesión, formando una sola imagen resultante del conjunto. Los cambios son debidos á que el disco que está simplemente apoyado sobre la varilla, muda de posición al más pequeño impulso; y del mismo modo que este disco es impelido al extremo superior más desviado de la varilla en virtud de la fuerza centrífuga, también es impelido por la misma causa hacia la parte más exterior, el punto de su periferia sobre cuyo radio correspondiente se halla el centro de gravedad del mismo. Supongamos, por ejemplo, que las tres porciones en que se halla dividido, en la forma que indica nuestra fig. 245, estén coloreadas respectivamente de amarillo, rojo y azul, según el grado de sombreado de dichas porciones; en tal caso sería azul la región exterior y se convertiría pronto en parda hacia el interior,

Junto al pardo más puro vendría siempre hacia el centro una pequeña franja anaranjada que pasaría al rojo puro. Ahora, si tocáramos el disco, siquiera fuera con la mayor suavidad, sucedería, como ya hemos indicado, que se colocaría hacia el exterior un color distinto y se originaría una combinación de dibujos completamente nueva.

EL TAUMÁTROPO Y FENAQUISTICOPIO

¿Quién no conoce esos pequeños discos de cartón que están pintados por sus dos caras con diferentes figuras, y que, puestos en rápida rotación alrededor de un diámetro, mediante un hilo unido á ellos, producen sobre nosotros el efecto de una sola imagen, cuyas partes componentes están contenidas en las dos caras? Una jaula vacía sobre una de las caras, y un pájaro en la otra, hacen aparecer, al girar el disco, que el pájaro está en la jaula. En los bazares de juguetes se encuentran innumerables combinaciones de este género, con los nombres de *disco maravilloso* ó *taumátropo*, habiendo sido inventado el año 1827 en París. Si de un modo semejante se hacen pasar ante nuestra vista dibujos que representen las diferentes fases de un cuerpo en movimiento, la sucesión rápida de éstos nos hace creer que vemos el movimiento mismo del objeto, pues las impresiones aisladas se combinan en una serie no interrumpida, cuyo comienzo y fin corresponden á un cambio de lugar del cuerpo que vemos realizar á éste de un modo sucesivo. Stampfer, en Viena, construyó en 1832 su disco estroboscópico según este principio, el cual disco vino en 1866 de la América modificado en una forma especial, y mucho más conveniente, con el nombre de *fenaquisticopio*.

Este aparato consiste en un cilindro hueco de cartón, que descansa por medio de un pivote sobre un pie pesado, y que puede ponerse en rápida rotación. La pared del cilindro lleva en su mitad superior una serie de rendijas por las cuales se puede mirar al interior. La parte inferior contiene las figuras que representan en diferentes fases sucesivas cierto movimiento, como, por ejemplo, el de los pies en la carrera, un juego de pelota, etc. Cuando, estando el cilindro en rotación, se mira á través de las hendiduras, de todas estas figuras el observador no ve más que una por cada hendidura; pero por la sucesión de las impresiones aisladas se produce el efecto sorprendente que todos hemos tenido ocasión de observar con placer.

EL CROMÁTROPO

Otro aparato óptico interesante, fundado también en la ilusión mencionada, es el que vamos á reseñar, pues sus brillantes efectos no parecen ofrecer á los curiosos profanos en la física, ninguna relación con las causas que los produ-

cen. Nos referimos al cromátropo, que seguramente habrán visto la mayor parte de nuestros lectores con ocasión del espectáculo de los cuadros disolventes. Sobre una pantalla transparente vemos de pronto un sistema circular de líneas brillantes con vivos colores, cruzándose entre sí á modo de arabescos; la impresión es mayor por el contraste característico de colores brillantes los más variados, que parecen lanzados en forma de rayos desde el centro hasta la periferia de aquel campo de luz, y se pierden de un modo tan misterioso, como se engendran de nuevo en el centro con una variedad inagotable. Ahora bien; si penetráramos detrás de la pantalla y nos diéramos cuenta del aparato, nos sorprendería en extremo la sencillez del medio por el cual se desarrollan estos efec-

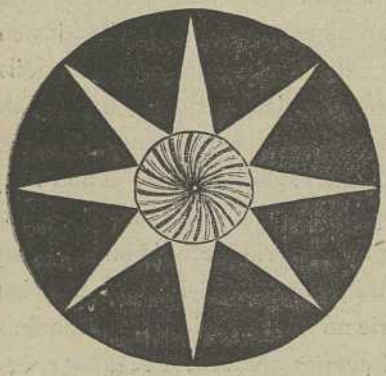


FIG. 246.

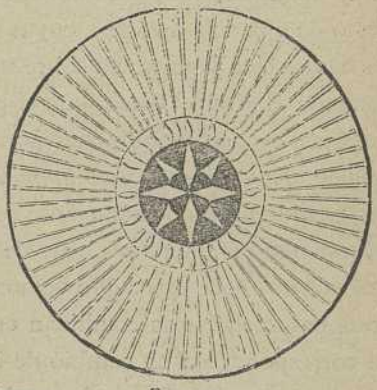


FIG. 247.

Discos para el cromátropo.

tos tan admirables. Veríamos simplemente una linterna mágica, en la que, en lugar de los cuadros pintados en transparente, y que encajan entre aquellas ranuras á que antes nos hemos referido, se han colocado discos de vidrio, giratorios, provistos de dibujos próximamente como los de las figuras 246 y 247, y pintados con colores vivos.

Delante el uno del otro, se colocan dos ó tres discos, de modo que se cubran cuando se mira á través de una abertura circular practicada en la tapadera, y se sostienen en esta posición por medio de unos pequeños cilindros, en los cuales encajan suavemente. Se hacen girar mediante un manubrio con dos correas de transmisión, y estando una de éstas cruzada y la otra no, giran los discos en dirección contraria. Cambiando así de posición relativa los discos transparentes, se producen las múltiples combinaciones que tienen alguna semejanza con las imágenes del calidoscopio, pero que, por su gradual transformación, presentan una riqueza mayor que éstas. La linterna mágica sirve para aumentar la imagen y hacerla visible con la posible claridad sobre una superficie plana. Pero es posible también formarse una idea de la manera cómo se engendran las imágenes sin necesidad de ella, bastando atravesar con una aguja de hacer media dos discos de papel pintados ó recortados en la forma correspondiente, y haciéndoles girar en sentido opuesto con la mano.

FENÓMENOS DE VISIÓN SUBJETIVA

Las impresiones de la retina no es forzoso que partan siempre de los rayos luminosos. Recibimos también otras influencias sobre el nervio óptico, y entonces la facultad particular de éste le hace determinar en nuestra alma ideas ó ilusiones de luz, que no corresponden á ninguna realidad en el mundo exterior. Como ejemplo tenemos el cuento del célebre barón de Münchhausen, que habiendo perdido la piedra de su fusil, se dió un golpe en el ojo y utilizó el fuego que saltó de éste para disparar su arma. Chispas de luz de distintos géneros se originan en el ojo, no sólo por la presión, sino también por la corriente eléctrica, por influencia del calor y otras causas, de lo cual puede convencerse cualquiera excitando el nervio óptico por medio de estos agentes, mientras tiene los ojos cerrados. Estos fenómenos se llaman de visión subjetiva.

No se necesitan grandes esfuerzos para concebir que en tales casos no interviene para nada la luz, propiamente dicha, y que hay que considerar como fábulas las relaciones como aquélla según la cual un individuo apresado en noche completamente oscura por un bandido, decía haber reconocido perfectamente sus facciones, porque, al pegarle el bandido un puñetazo en el ojo, habían surgido de éste rayos que le iluminaban. Sin embargo, tales simplezas son creídas, lo cual es consecuencia de que todavía no están generalizados entre el pueblo los conocimientos acerca de la manera de ser de los fenómenos naturales más frecuentes y sencillos. Hace poco tiempo se publicó en periódicos el maravilloso descubrimiento de que los que mueren de muerte violenta, con los ojos abiertos, conservan fijas sobre su retina las últimas imágenes recibidas en ella, y que esto podía servir para reconocer claramente la fisonomía del asesino, fotografiada en el ojo del asesinado. No es posible concebir mayor absurdo.

También pertenecen á los fenómenos de visión subjetiva ciertas relaciones que tienen un enlace íntimo con el fenómeno fisiológico designado con el nombre de «armonía de los colores;» relaciones interesantes y de mucha importancia práctica.

Si recortamos dos circulitos de papel completamente iguales, el uno negro y el otro blanco, y colocamos el negro sobre un fondo blanco, y recíprocamente el blanco sobre un fondo negro, nos parecen desiguales: el blanco mayor que el negro. Esto es debido á que la luz intensa produce un círculo de excitación sobre nuestra retina, que no está limitado á los puntos directamente heridos por los rayos, sino que se extiende á los puntos inmediatos (irradiación); por consiguiente, el campo de la expansión nerviosa excitada es mayor que la imagen. Una estatua se ve más pequeña cuando es de bronce que si se ha empleado yeso ó mármol blanco en su construcción. Los guantes negros hacen la

mano más reducida que los blancos, y cuando una encajera quiera mostrar su arte, hará mejor empleando hilo negro y colocando el encaje sobre fondo blanco, que al contrario.

Si fijamos la vista largo tiempo en un disco blanco colocado sobre fondo negro, y luego la separamos de él para dirigirla á una superficie blanca, siempre seguimos viendo en nuestro ojo la imagen anterior; pero ahora ¡cosa notable! como si fuera una mancha circular oscura. Se ha originado una imagen póstuma por desigualdad de excitación y una especie de entorpecimiento del nervio óptico, que resulta de ésta durante algunos momentos. Con el tiempo desaparece otra vez la imagen cuando las ramificaciones del nervio se hacen de nuevo igualmente sensibles en todos los puntos de la retina. Así como en este caso el blanco ha producido un cansancio del nervio, los colores ejercen también sobre él acciones notables; y la consideración de estas acciones es de la mayor importancia á los pintores, fabricantes de estampados, barnizadores, tapiceros, y, en una palabra, todas las artes é industrias cuyas producciones son para *vistas*. Si en lugar de un trozo de papel negro se toma uno de color rojo y se observa sobre una superficie blanca, al alejar el papel se sigue viendo su imagen, pero en este caso está coloreada en verde; el amarillo engendra una imagen póstuma violeta; el verde una roja. Los nervios de la retina quedan incapacitados para ser impresionados por un color, después de una acción prolongada del mismo, y entonces en la luz blanca perciben de preferencia aquellos rayos que no están contenidos en dicho color; es decir, el color complementario.

Es sabido que cuando se observan sucesivamente varios matices de un mismo color, los que aparecen posteriormente pierden cada vez más en belleza; pero, en cambio, el color complementario correspondiente gana en viveza y agrado cuando el ojo se ha saturado previamente en la vista de un color. Por esto los comerciantes en telas procuran evitar este cansancio del ojo para que no perjudique á la exhibición de sus tejidos, y los colocan en sus escaparates con la correspondiente alternativa entre los colores de las muestras inmediatas entre sí.

Ningún color es repulsivo por sí solo, sino que cualquiera de ellos puede producir una impresión agradable, combinado con otros en la forma correspondiente; y esta acción favorable puede calcularse de antemano, teniendo en cuenta el atractivo que originan los contrastes, tanto en la claridad como en el color.

VISIÓN CON LOS DOS OJOS

Todos los fenómenos estudiados hasta ahora podrían percibirse en la forma indicada, si en lugar de dos ojos estuviéramos dotados de uno solo, como los cíclopes. Pero otra cosa sucede con ciertas impresiones que nos proporcionan

el concepto del relieve, de la condición corpórea de los objetos, y que recibimos precisamente porque miramos á un tiempo con ambos ojos, ó, como se dice, por la visión *binocular*. A este interesante asunto hemos de conceder mayor atención, porque es indispensable para el conocimiento de la sensación de la visión en general, y también particularmente porque en él se funda el descubrimiento de un aparato ingeniosísimo, generalizado por todas partes y extraordinariamente curioso.

Sobre la retina de nuestro ojo se forma una imagen superficial. Como es natural, esta imagen puede ser originada exactamente lo mismo por un objeto real, un edificio, un árbol, etc., que por un dibujo de estos mismos objetos corpóreos; sólo que el dibujo ó cuadro deberá llenar por completo todas las condiciones de la perspectiva, el color y la iluminación.

Pero con un ojo sólo podemos distinguir dos dimensiones; altura y anchura. Así, pues, si hemos de reconocer un cuerpo como tal, y no simplemente como un dibujo plano del mismo, es preciso que pongamos el ojo en diferentes posiciones respecto á aquél, y nos proporcionemos, unas tras otras, imágenes de las diferentes caras del cuerpo. Si estas imágenes desde los distintos lados se distinguen realmente entre sí, nuestro espíritu, educado por otras experiencias, viene á deducir que el objeto visto tiene las tres dimensiones; es decir, es *corpóreo*. Si, por ejemplo, el ojo observa el cubo representado en la fig. 248 la primera vez exactamente por delante, sólo verá entonces la cara cuadrada *1*; pero si se sitúa en la posición indicada por la fig. 249, ve además otras dos caras, la *4* y *5*. Por la combinación de esta segunda vista con la obtenida primeramente, adquirimos la enseñanza de que con la cara *1* se juntan todavía otras que, puesto que no eran visibles la primera vez, han de hallarse en dirección distinta que la de lo alto ó lo ancho. Nos vemos así conducidos á la tercera dimensión, la profundidad, y con este concepto construímos por analogía, con las dos caras, visibles en parte la segunda vez, las caras restantes.

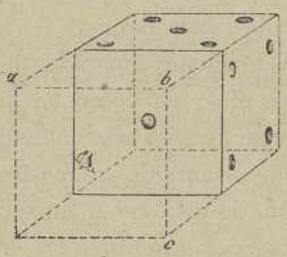


FIG 248.—Cubo mirado por delante.

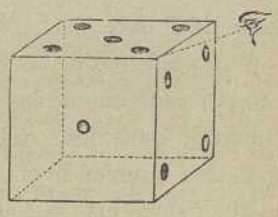


FIG. 249.—Cubo mirado por el lado.

Como quiera que poseemos una gran experiencia y un inmenso tesoro de ideas en nuestra ayuda, podemos reunir imágenes completas con muy pocos elementos visuales. Así, pues, en caso de necesidad hubiéramos podido también adquirir con un solo ojo el conocimiento de la naturaleza corpórea del mundo exterior; sin embargo, este estado sería todavía defectuoso con relación á la constitución actual de nuestro órgano de la visión en virtud de la cual, por el uso simultáneo de ambos ojos, podemos reunir completamente y de una sola

vez lo que con un ojo sólo podría tener lugar de un modo parcial y sucesivo.

Nuestros dos ojos nos dan á un mismo tiempo dos imágenes, como las figuras 248 y 249. El alma las reune ambas en un solo conocimiento, y precisamente el estímulo recibido por la coexistencia de las dos diferentes impresiones sensuales es la causa de la percepción indescriptible que caracteriza la visión de lo corpóreo.

EL ESTEREOSCOPIO

Que la reunión de dos imágenes que se diferencian entre sí por corresponder á distintos puntos de vista, es la causa de la visión de los cuerpos como tales, y que de esto procede el efecto del estereoscopio, no parece que sea un descubrimiento moderno. Brewster pretende tener motivos para creer que Euclides tenía conocimiento de este principio y que Galeno se había dado cuenta de él hace ya 1.500 años. Juan Bautista Porta, en el año 1599, dió dibujos muy perfectos de las dos imágenes separadas de un cuadro, tal como resulta visto por cada uno de los dos ojos, así como de la imagen que resulta por la reunión de estas dos, en lo cual no sólo está contenido el principio del estereoscopio, sino también lo más importante de su construcción. Los pintores, que se cuidaban antes más que ahora de los fundamentos científicos de su arte, parece ser que desde muy antiguo conocían también las leyes esenciales de la visión con relieve, ó binocular. Efectivamente, Jacobo de Empoli (nacido en 1554 y muerto en 1640) expuso en el Museo Wicar de Lille cuadros como los que había iniciado Porta. Cada dos de éstos contenían el mismo objeto tomado desde dos puntos de vista poco separados entre sí. La imagen situada al lado derecho era tomada desde un punto de vista más hacia la izquierda que la colocada al lado izquierdo, exactamente como sucedería si se destinaran estas imágenes á obtener un efecto estereoscópico. También puede ser, sin embargo, que esta circunstancia sea puramente casual, ó debida, como indica Helmholtz, á que el pintor, no satisfecho con su primera obra, emprendiera la segunda cambiando un poco el punto de vista.

De todos modos, si estos conocimientos existieron, siquiera fuera superficialmente, debieron perderse para la posteridad, pues está admitido generalmente que Wheatstone realizó su hermoso invento de un modo completamente espontáneo. Obtuvo dos dibujos de un mismo cuerpo, exactamente del mismo modo como debían pintarse sobre las retinas de ambos ojos sus imágenes respectivas, é inventó, haciendo llegar simultáneamente cada una de estas dos imágenes al ojo correspondiente (lo cual no ofrece dificultad), el aparato que hoy es conocido generalmente con el nombre de estereoscopio, cuyo estudio más detallado vamos á hacer á continuación. Pero antes, para facilitar su inteligencia, creemos conveniente hacer algunas consideraciones preliminares.

Ambos ojos reciben sobre la retina todos los rayos luminosos, cuyo ángulo, con el eje correspondiente, no excede de cierto límite; pero para que las impresiones de estos rayos se confundan en nuestra alma en una imagen única, es preciso que caigan sobre los puntos de las retinas llamados *puntos idénticos*, lo cual sólo tiene lugar para los rayos que parten de la intersección de ambos ejes visuales. Efectivamente, podemos concebir el nervio óptico como un haz de fibras que se divide en dos ramas exactamente iguales y que van á terminar respectivamente en cada una de las dos retinas. Los extremos de estas fibras ordenados simétricamente sobre uno y otro ojo, se corresponden en ambos, dos á dos, como los dedos de las manos. Cuando estos puntos simétricos de las retinas de ambos ojos son impresionados de un mismo modo, sus impresiones se funden en una sensación *única*. En cambio las imágenes subsisten aisladas en nuestro espíritu cuando las impresiones no son recibidas por puntos idénticos de las retinas. Así, pues, nuestra visión binocular ó corpórea consiste en que disponemos y dirigimos nuestros ojos de tal suerte, que los rayos procedentes de un punto alcancen á las retinas de ambos ojos en dos de aquellos puntos simétricos correspondientes. En rigor, esto sólo es posible en cada momento para un solo punto, y entonces todos los demás se ven dobles; sólo que de ordinario no nos fijamos en que las imágenes coinciden en toda su magnitud, desapareciendo la confusión desde el momento en que nos proponemos considerar sucesiva y atentamente las imágenes de ambos contornos.

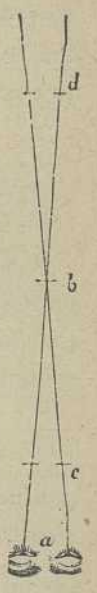


FIG. 250.

Cuando colocamos dos bujías encendidas una tras otra delante de nosotros y fijamos nuestra vista, bien en la una, bien en la otra, observamos que únicamente la llama hacia la cual dirigimos nuestra atención, y que por consecuencia se halla entonces situada en el punto de encuentro de los dos ejes, sólo ésta produce una imagen única, mientras que la otra llama determina siempre dos imágenes. Podemos colocar una tercera luz al lado de cualquiera de las dos anteriores, sea la más próxima ó la más lejana, pero de suerte que las tres se hallen con los ojos en un plano horizontal; y entonces, fijando la atención en la llama que está aislada, se ven cuatro imágenes, pertenecientes á las otras dos. De estas cuatro, es posible ocultar las dos del centro interceptándolas con la de la bujía única, y esto puede conseguirse de dos modos: bien colocando esta última de manera que las otras dos se encuentren en la prolongación de los ejes oculares dirigidos hacia ella, ó bien moviendo estas dos hasta conseguir el mismo objeto.

En lugar de las dos bujías podemos colocar ahora ante nuestros ojos imágenes dibujadas estereoscópicamente, y en tal caso resalta de un modo extraordinario la utilidad de esta facultad de nuestro órgano de la visión. La figura 250 corresponde al caso en que los ojos *a* están dirigidos de modo que sus

ejes se crucen en *b*, ó sea el caso en que se fija en *b* la mirada. Sosteniendo esta posición de los ojos, dos vistas dibujadas estereoscópicamente deben formar su imagen sobre puntos idénticos de las retinas, y sobreponerse, por consiguiente, tanto si se ponen en *c* como en *d*, es decir, en la dirección de los ejes oculares. En ambos casos las dos imágenes se reunen en una sola percepción para nosotros; el objeto dibujado le vemos como corpóreo y precisamente como si estuviera situado en *b*. Pero este efecto es, sin embargo, distinto en ambos casos, pues si, por ejemplo, situamos en *c* las dos vistas tomadas de una sola pirámide (fig. 251), el ojo izquierdo recibe la que está colocada á la izquierda, y el ojo derecho la que está situada á la derecha; y como quiera que estas corresponden exactamente á las vistas que realmente produciría una pirámide cuyo vértice estuviera dirigido hacia nosotros, haciendo la observación en tal forma, nos

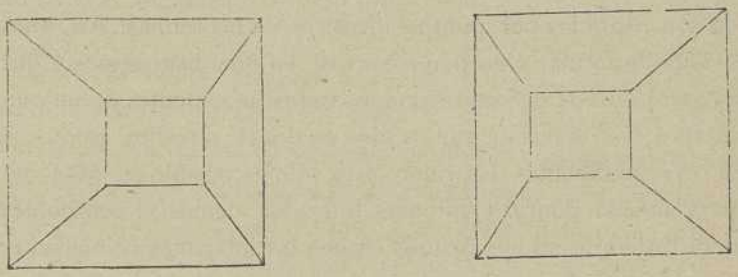


FIG. 251.—Imágenes estereoscópicas de una pirámide.

produciría la impresión de una pirámide en relieve. Por el contrario, la apariencia sería de una pirámide hueca cuya base estuviera dirigida hacia nosotros, si el ojo izquierdo recibiera una vista como la representada á la derecha en la figura, y el ojo derecho como la que está en la figura á la izquierda. De aquí que dicha ilusión de una pirámide en bajo-relieve, y cuyo vértice se halle en el fondo, se nos producirá por el cruce de los ejes oculares antes del sitio en que están colocados los dos dibujos cuando ocupan la posición *d*. Es sumamente notable la ilusión que experimentamos, segun lo dicho, en cuanto á la profundidad aparente. Esta se ve mucho mayor en el último caso que en el primero.

Por este medio se pueden reunir, por la observación apropiada, los dibujos de los cuerpos practicados según el mismo principio, en una imagen de alto ó bajo relieve, á voluntad. Nuestra fig. 252 da otro ejemplo, cuya observación será en alto grado instructiva y agradable para aquellos que no rehuyan la fatiga que causa esta posición violenta de los ojos. Como un medio auxiliar cómodo para dirigir los ojos en la forma apropiada, nos podemos servir de un alfiler cuya punta se sitúa en el punto donde deben cruzarse los ejes oculares, cuyo punto puede encontrarse fácilmente por tanteo; para ello se mueve esta aguja lentamente hacia el dibujo ó hacia los ojos, teniendo siempre la vista fija sobre ella

hasta conseguir que, de las cuatro imágenes de los dibujos, desaparezcan las dos centrales. Más difícil es que los dos ejes oculares se crucen detrás del dibujo, y por consiguiente, que las imágenes aparezcan reunidas en la forma indicada por *c*, en la fig. 250. Sin embargo, esto puede conseguirse mediante que en las

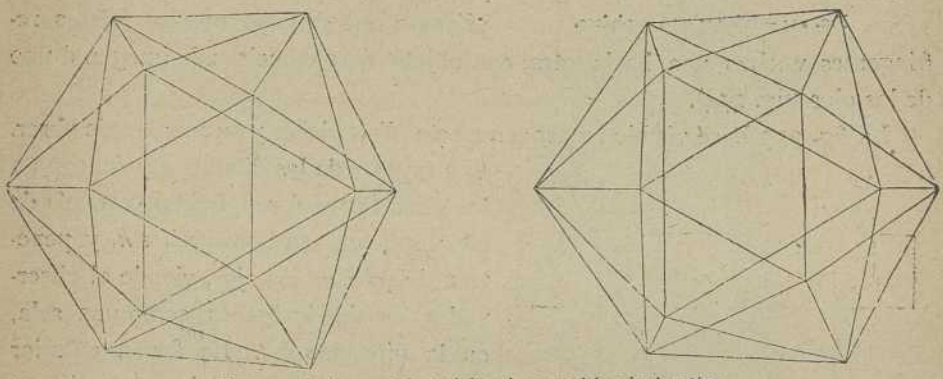


FIG. 252.—Imágenes estereoscópicas de un modelo cristalográfico.

imágenes estereoscópicas ordinarias el observador fija la vista como queriendo mirar á través de ellas un objeto situado á la distancia de unos 7 á 8 metros.

En el aparato estereoscópico ya mencionado, inventado por Wheatstone, se evitan todas las dificultades que puede ofrecer esta manera violenta de mirar, y al que no tiene conocimiento de la causa le produce el efecto más sorprendente.

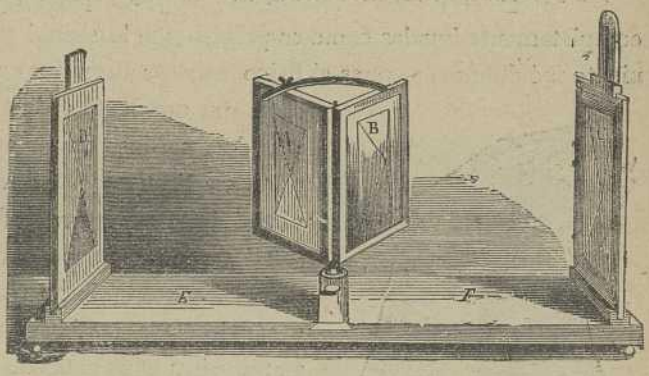


FIG. 253.—Estereoscopio especular de Wheatstone.

Por lo demás, el invento de Wheatstone fué ya revelado á la Sociedad Real de Londres el 21 de Junio de 1838. El aparato (fig 253) consistía en dos espejos planos, *A* y *B*, de unos 22 centímetros cuadrados de superficie, y que formaban entre sí un ángulo de 90°. Delante de éstos se hallaba una tablita que no está representada en la figura, con dos orificios para los ojos, los cuales podían así colocarse muy cerca de los espejos. A los lados de éstos están colocados en posicion vertical dos marcos, en los cuales pueden introducirse las dos tablitas *C* y *D*; sobre éstas están colocados los dibujos estereoscópicos, y sus imágenes, reflejadas por los espejos, pueden así ser observadas cada una por un ojo. De este modo, no pudiendo ver cada ojo más que una sola imagen, no es fácil que

haya confusión; por otra parte, esta disposición permite observar imágenes mucho mayores que á simple vista.

Wheatstone mismo sustituyó pronto este aparato por otro que tiene sobre él la ventaja de ser más facilmente manejable. En lugar de los espejos empleó prismas, que dispuso con las aristas refringentes vueltas una hacia otra, con objeto de conducir cada imagen á uno de los ojos (fig. 254).

FIG. 254.—Prismas estereoscópicos.

La fig. 255 hace visible en esquema esta disposición y su manera de obrar. Los rayos *f* de los dibujos *a* y *b* llegan á los prismas *c* y *d*, se refractan á través de ellos, saliendo en la dirección *h*, y penetran después en los ojos, viendo el observador las dos imágenes como una sola, en la dirección *h*, *i*. La forma exterior usual de este estereoscopio prismático es la representada por la fig. 256.

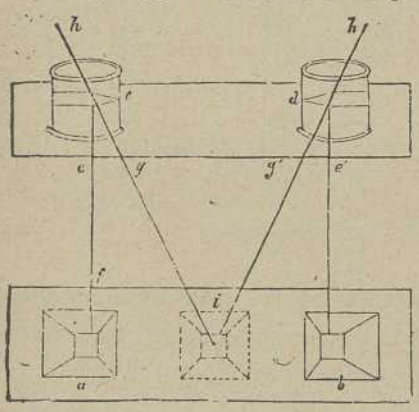


FIG. 255.—Principio del aparato estereoscópico.

Tanto como es apropiado á su objeto este aparato, se lucha en su construcción con una gran dificultad. Es efectivamente difícil proporcionarse dos prismas tan completamente iguales como es preciso que lo sean. Pero también este inconveniente fué dominado, pues el físico escocés Brewster concibió la idea ingeniosa de cortar una lente ordinaria por mitad, y sustituir sus dos partes completamente simétricas, á los prismas. Obtuvo así todavía otra ventaja, pues en virtud de la curvatura esférica de sus vidrios, resaltaban aumentadas las imágenes, lo cual influye esencialmente en hacer más completa la ilusión. A pesar de estos perfeccionamientos, transcurrieron aún muchos años antes de que se fijara la atención general en el estereoscopio, y á no ser por el golpe de vista de los franceses que supieron descubrir los encantos y atractivos á que se prestaba este aparato, tal vez no existiría hoy el estereoscopio para el vulgo. Brewster fué á París en el otoño de 1850 y enseñó su aparato á los físicos de esta capital.

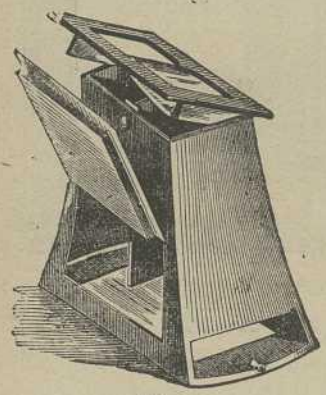


FIG. 256.
Estereoscopio prismático de Wheatstone.

En Alemania, el profesor Moser había hecho ya en 1844 imágenes fotográficas para el estereoscopio. Su Memoria sobre el particular fué publicada en el *Repertorium der Physik*, de Dove; pero, como es natural, nadie pensó en Alemania en explotar tan pronto la utilidad que esta mina podía producir. Esto

no impide que sea cierto el que dió expresión á la idea y que ésta quedó allí consignada.

En París se caminó más de prisa. El abate Moigno, conocido como físico y matemático, comprendió desde el primer momento cuánta aceptación había de encontrar el estereoscopio en el público. Decidió á Brewster á que encomendara al distinguido óptico Duboscq la construcción de aparatos estereoscópicos, y desde este célebre establecimiento se esparcieron al poco tiempo por todos los países los citados aparatos, recibidos por doquier con gran éxito. Los comerciantes ambulantes llevaban exposiciones estereoscópicas en las ferias, etc., y hoy el estereoscopio se encuentra en muchas casas como uno de los recreos ó distracciones más agradables. Las medias lentes se han tallado, para mayor comodidad, redondas, y van unidas á una pieza movible que permite colocarlas á la distancia focal propia de cada ojo; con esto el aparato adquiere cierta semejanza con los gemelos de teatro comunes, y termina por el extremo inferior en una caja rectangular, como se hace visible en la fig. 257. En la pared superior de esta caja alargada hay una tapadera, levantando la cual puede penetrar la luz cuando se quieren ver las figuras sobre un fondo opaco; las partes interiores de la caja están ennegrecidas para que no pueda caer la luz sobre el dibujo, más que por un lado. El fondo sobre el cual se colocan las pinturas está abierto,

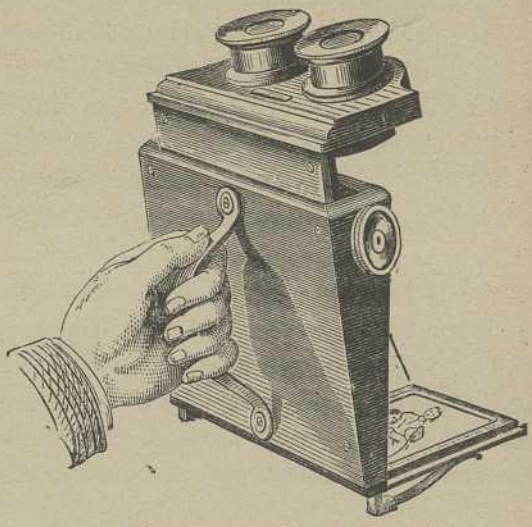


FIG 257.—Aparato estereoscópico con tubo movible.

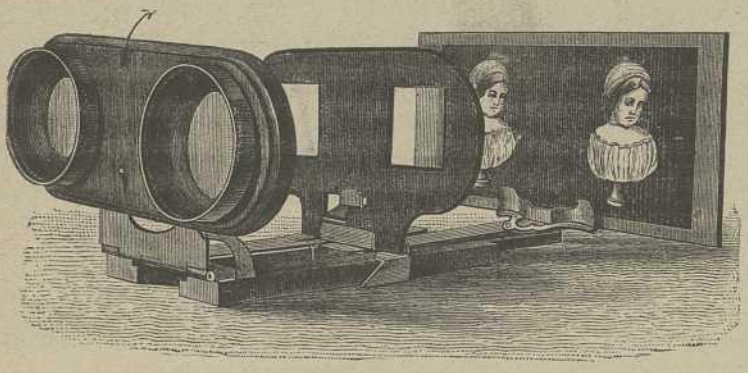


FIG. 258.—Estereoscopio de bolsillo.

porque algunas figuras están dibujadas sobre láminas de vidrio transparente, y en este caso deben observarse contra la luz, teniendo cerrada la ventana de la pared superior. A más de éstos, hay también aparatos más sencillos, que constan no más de un par de lentes, un sistema de ruedas para aproximarlas ó separarlas, etc., de los cuales sólo citaremos la disposición representada en la fig. 257 por su comodidad y la de la fig. 258, cuyo aparato puede desmontarse. Brewster duplicó todavía las lentes de suerte que cada imagen fuera vista á través de dos de ellas, obteniendo así un aumento mayor, con un volumen más pequeño.

En manos de los franceses se sacó partido principalmente de la fotografía para la obtención de figuras estereoscópicas, y ciertamente sin el concurso de este arte hermano, el invento de Wheatstone hubiera quedado limitado á las representaciones geométricas más sencillas. Por el contrario, la cámara oscura dibuja con absoluta exactitud las más pequeñas variaciones de los objetos más complicados, causada por la elección de diferentes puntos de vista, y las placas fotográficas fijan estas imágenes con sus gradaciones de luz y sombra infinitamente tenues, tales como aparecen por una iluminación instantánea. En la representación de objetos corpóreos no es, en efecto, únicamente esencial la forma de los contornos exteriores, sino también la distribución de la claridad. El brillo ó la sombra de las distintas partes de un objeto dependen también del punto desde donde se observa, y es condición precisa, para que el efecto sea el que se busca, tener en cuenta esta circunstancia con la mayor exactitud. Principalmente los cuadros de paisajes muestran hasta qué punto influyen en el efecto estas diferencias casi insensibles.

Vemos elevarse el suelo y perderse á lo lejos como á distancia de una á dos millas; en el seno del aire, cual si estuvieran á gran altura, atraen nuestras miradas las cúspides de las grandes montañas; retrocedemos ante el vacío que nos revela un abismo insondable; parece hallarse ante nuestros ojos un precipicio escarpado. Sentimos estar sobre una roca suspendida á la boca de aquél, y de la cual cuelgan las ramas de un pino cuya sombra nos protege y cuyo tronco pretendemos poder tocar con nuestras manos.

Todavía son más sorprendentes las vistas que nos conducen al interior de un edificio, bajo elevadas cúpulas, en presencia de una serie de grandes salones ó dentro de espacios llenos de los más variados objetos. Las estrías de una columna se nos aparecen con su condición plástica; las esculturas se levantan sobre su pedestal, y los efectos característicos de brillo originados por consecuencia de que cada ojo ve radiar el máximum de luz desde un punto distinto del cuerpo, permiten distinguir perfectamente la sustancia de que está compuesto cada uno de ellos. Un museo de esculturas da siempre á nuestras miradas punto de apoyo para todas las distancias. Las figuras parecen existir aisladas, resaltan del conjunto, no son como imágenes combinadas entre sí sobre una superficie de papel, les rodea por todos lados una atmósfera real, visible

en el polvillo flotante que los rayos del sol hacen brillar á su paso. Vemos por un lado una antigua estatua de mármol en la que creeríamos reconocer con nuestros dedos las huellas del desgaste que señala la acción del tiempo; por otro lado hay una figura de bronce cuya superficie pulimentada, cuyo brillo y color sólo la visión directa puede percibir y reconocer. Y todavía se distinguen con más perfección, si cabe, que los objetos inanimados, las imágenes estereoscópicas de personas, retratos, etc.

La sensibilidad de las placas fotográficas se ha llevado á tal extremo, que podemos ver en el estereoscopio las imágenes fijadas instantáneamente de una plaza de mercado llena de animación, de un ave volando y del mar agitado por las olas.

Por pequeñas que parezcan las diferencias de perspectiva de las dos imágenes estereoscópicas, aun sometidas á la más exacta investigación, siempre son mayores que las que corresponden á la distancia de nuestros ojos, sobre todo en los paisajes. Los aparatos fotográficos, cuando se aplican á este objeto, se colocan á mayor distancia el uno del otro que la que separa nuestros dos ojos. De este modo la imagen estereoscópica produce la misma impresión que si nosotros viéramos con un ángulo igual entre los ejes oculares, un modelo del mismo paisaje más reducido y más próximo á nosotros mismos. Las impresiones del estereoscopio exceden en realismo á la propia realidad, y así, por lo mismo que las partes situadas unas á continuación de otras quedan en dichas impresiones como distintas ó separadas entre sí, no puede exceder este efecto de un cierto límite sin perjudicar ya á la naturalidad. En el comercio se encuentran representaciones estereoscópicas de la Luna, cuya distancia es, sin embargo, tan grande, que no podrían darse nunca, por la adopción de dos puntos de vista distintos, sobre la superficie de la Tierra, las vistas que son precisas para originar un efecto estereoscópico. Además las dimensiones de la Luna son tales, que con nuestro aparato ó visual jamás podríamos abarcarla en su totalidad, y sólo una parte relativamente pequeña de su magnitud podría formar su imagen directamente sobre nuestros ojos. Y sin embargo, no por esto deja de aparecérsenos esta luna estereoscópica como completamente corpórea; se nos ofrece cual una esfera, y aún más; es tan considerable el relieve, que nos hace el efecto de un huevo con el vértice vuelto hacia nosotros. ¿Cómo se ha conseguido este efecto? No se ha logrado de otro modo que aprovechándose de la oscilación particular que la Luna parece poseer alrededor de su eje (libración), por consecuencia de la cual no presenta siempre á la Tierra el mismo disco, sino que se vuelve algunos grados de longitud geográfica á uno y otro lado alternativamente, ya á la derecha, ya á la izquierda. Ahora bien; para la obtención de imágenes estereoscópicas es exactamente igual cambiar en realidad el punto de vista anterior. Y en este caso de la Luna se ha hecho aplicación del segundo medio, no tomando simultáneamente las dos imágenes fotográficas, sino tomando la una

cuando el satélite mostraba de preferencia su lado izquierdo, y la otra después de transcurrido cierto tiempo, cuando, pasando por su posición media, se había vuelto en una proporción igual del lado derecho. Cuanto más distantes entre sí las dos posiciones simétricas, tanto mayor es la diversidad de las imágenes y tanto más sobresaliente el relieve que aquéllas muestran en el aparato estereoscópico.

EL TELESTEREOSCOPIO

Cuando miramos por primera vez una montaña lejana, difícilmente podemos formarnos idea exacta de sus dimensiones. También en este caso se hallan nuestros dos ojos demasiado próximos entre sí para que las dos imágenes puedan mostrar aspectos marcadamente distintos del objeto, y los detalles de la dicha montaña tienen á nuestra vista poca plasticidad, casi la misma que una vista de telón, ó cosa así. Pero por medio del telestereoscopio, inventado por Helmholtz, vienen nuestros ojos á obrar como si estuvieran separados entre sí á una distancia de algunas varas, de modo que las imágenes recibidas sobre ellos presentan al objeto visto en dos direcciones que forman entre sí un ángulo mayor que á simple vista. De este modo se hace mucho más completa la apreciación de las dimensiones del objeto, como sucede en las imágenes fotográficas estereoscópicas.

La disposición del telestereoscopio es muy sencilla, y puede comprenderse refiriéndonos al estereoscopio especular de Wheatstone (fig. 253). Pero el aparato está dispuesto directamente para la observación del paisaje; las imágenes se toman del objeto mismo, y esto tiene lugar precisamente mediante dos espejos que están colocados en lugar de los marcos *C* y *D* y que se dirigen hacia el exterior de tal suerte, que forman entre sí un ángulo de 90°, y por consecuencia los dos pequeños espejos de observación *A* y *B* quedan paralelos. Las dos imágenes especulares del paisaje difieren entre sí perspectivamente tanto más cuanto más separados están uno de otro los espejos, haciendo resaltar también las dimensiones del objeto con una claridad proporcional á la misma distancia. En lugar de los espejos oculares, se colocan en *A* y *B* dos prismas, en los cuales la imagen primera se refleja totalmente, es decir, sin que se debilite su intensidad; estos prismas están engarzados, como las lentes del aparato de Brewster, en una pieza corredera, de suerte que pueda ser observada la imagen sin mover los espejos por cualquier observador.

Por último, vamos á llamar la atención de nuestros lectores sobre una aplicación práctica del estereoscopio, descubierta por Dove, y cuyos interesantes efectos tendrán aquéllos placer al experimentar.

Si se pone en un aparato estereoscópico, ó se observan á simple vista, de suerte que las dos imágenes se reunan en una, dos dibujos exactamente iguales,

por ejemplo, dos billetes de Banco legítimos y de la misma edición, á pesar de que los ojos ven dos imágenes, la impresión recibida es, sin embargo, la de un dibujo plano, sin que se distinga ninguna profundidad. Pero si los dos billetes no son de un mismo molde, ó si el escrito tiene otro carácter de letra, la coincidencia no puede ser nunca completa, pues por grande que sea la exactitud del copiador, las líneas y las letras no tendrán la misma posición relativa. Esto resalta con más claridad en el estereoscopio, pues las imágenes reunidas de las palabras que no son idénticas, en vez de mostrarse en un plano, se superponen irregularmente como en escalera, flotando ambas en el aire.

Dove propuso desde luego observar en un aparato estereoscópico dos impresos sobre cuya identidad reinara alguna duda, como, por ejemplo, un billete de Banco sospechoso y uno legítimo. Toda salida del escrito ó del dibujo sobre el plano, señalaría de un modo seguro una falsificación. Del mismo modo es posible distinguir instantáneamente por la observación estereoscópica una copia de un impreso original, un simple cambio de cubiertas de las verdaderas nuevas ediciones, etc., etc. Y lo que hemos dicho con respecto á impresos, se aplica, como es natural, á cualquier otro género de copias. Las imitaciones, por muy bien hechas que estén, pueden descubrirse seguramente por un aparato estereoscópico; y aunque éste puede también servir para hacer notar al falsificador lo defectuoso de su obra, tampoco puede proporcionarle el medio con ayuda del cual puede llegar á triunfar de estas incorrecciones.

LA INVENCIÓN DEL TELESCOPIO

Consideraciones históricas sobre la invención.—El inventor no fué Jansen ni Metius, ni Crepi, sino Lippershey.—Galileo.—Disposición del anteojo de larga vista.—Anteojo holandés y anteojo astronómico.—Kepler.—Ocular de Campani.—Anteojo terrestre.—Disposición exterior y construcción.—Perfeccionamientos posteriores por Euler, Dollond y Fraunhofer.—El refractor de Fraunhofer, del Observatorio de Dorpat.—Instrumento de los pasos.—Nuevas aplicaciones de los instrumentos de medida.—Nonius y micrómetro.—Telescopio de reflexión.—Historia.—Instrumentos colosales.—Diferentes disposiciones, según Newton, Grégory y Herschel.—¿Qué es lo que se ve con el telescopio?

El anteojo fué inventado en Middelburgo, ciudad holandesa, á principios del siglo XVII; no está determinada con exactitud la fecha.

Unos suponen que los hijos del óptico de Middelburgo, Zacarías Jansen, jugando con lentes de las que construía su padre, vinieron á colocar casualmente dos de estas lentes á cierta distancia entre sí y en dirección hacia el extremo superior de una torre. Como quiera que entonces vieran esta torre mucho más grande y próxima á ellos, este resultado les llamó la atención, llegó después á conocimiento del padre, que repitió el experimento, y utilizado por éste discretamente lo observado, vino á inventarse así el anteojo.

Según otros, el óptico Hans Lipperstein, Lipersheim ó Laprey (de cuyas tres maneras se le ha nombrado), recibió de un desconocido el encargo de construirle algunas lentes cóncavas y convexas, según ciertas medidas. Una vez que éstas estuvieron ya construídas, el forastero las tomó en la mano y observó la gente que pasaba por la calle á través de una lente cóncava y una convexa, que acercaba ó separaba entre sí. El óptico observaba esta operación, y cuando se marchó el desconocido, la repitió de una manera semejante. Sorprendido por el resultado, concibió la idea de fijar de un modo permanente las lentes á la distancia apropiada una de otra, y construyó así un anteojo, que ofreció al Príncipe Mauricio de Nassau. Algunos pretenden que fué el hijo del matemático Adrián Metius el que vino á dar con el descubrimiento, por un azar semejante al indicado de los hijos de Zacarías Jansen.

Pero todavía hay otros, según menciona Ben-Akibas, que fijan su atención en una época mucho más remota, y fundándose en la noticia de un retrato de Ptolemeo Claudio, del siglo XIII, en el cual afirman que éste estaba representado como si mirara á las estrellas á través de un tubo compuesto de varias porciones movibles unas dentro de otras, deducen de ellas que el descubrimiento debía estar hecho hace lo menos seis siglos. Y si hubiera que tomar al pie de la letra algunas indicaciones de Rogerio Bacón, esta hipótesis podría adquirir una gran verosimilitud. Sin embargo, este notable sabio se muestra poco explícito en este asunto, como en otros muchos, á pesar de que es de suponer que cuestión tan importante como ésta debía haberle parecido digna de una consideración más extensa y detallada. Y como, por otra parte, en los escritos de sus contemporáneos, y aun en los de épocas posteriores, nada se encuentra consignado acerca de lo que debía haberse visto aumentado con el anteojo en estos tres siglos ó más de vida, mientras que en cambio, á comienzos del siglo XVII, era considerado este nuevo descubrimiento como cosa muy admirable, casi puede afirmarse con seguridad que la fecha de su nacimiento debe hallarse en esta última época citada.

Acerca de los primeros pasos de este invento, recientemente el profesor Harting ha tratado, mediante cuidadosas comprobaciones, de establecer lo que hay de cierto en medio de las referencias aisladas, y á menudo inexactas, bien por ignorancia ó por mala fe. Por esto nos proponemos seguir aquí los datos proporcionados por dicho profesor, que son, sin duda, los más dignos de confianza. La primera referencia auténtica á un anteojo es una resolución de las Cámaras de Holanda, fechada en 2 de Octubre de 1608. Durante la campaña de España en Holanda, un óptico, Hans Lippershey, establecido en Middelburgo, presentó ante aquéllas un «instrumento para ver á distancia,» aduciendo que, con ayuda de él, se debían alcanzar en el campo de batalla grandes ventajas sobre el enemigo, y solicitó, en recompensa de su invención, un privilegio de treinta años, ó una pensión, prometiendo, en cambio, guardar el secreto y no

construir tales instrumentos para ningún príncipe ó potencia extranjera, sino sólo para utilidad de su nación. La resolución mencionada determinó la designación de una comisión comprobante, y que el descubridor construyera como modelo un instrumento de esta clase con lentes de cristal de roca, y también alguno para ambos ojos. Lippershey parece que realizó el encargo, á pesar de lo cual no recibió el privilegio deseado, pues en el ínterin Jacobo Adriaanzoon Metius se presentó el 17 de Octubre de 1608 con la misma pretensión respecto al invento mencionado, como hecho por él. Siendo ya dos los conocedores del secreto, no podía quedar garantizada la posesión exclusiva, y se dejó libre el camino á la competencia. Ahora bien: queda por averiguar si Metius vino á pensar en el anteojo con ocasión del invento de Lippershey, si tuvo conocimiento de él por alguna revelación indiscreta, ó si ya lo había hecho espontáneamente con anterioridad, y de carácter reservado como era, no había dado conocimiento á nadie de él hasta que el óptico adquirió fama por su revelación. Basta tener en cuenta que llegó después que dicho óptico de Middelburgo, y, por tanto, la historia cita á Hans Lippershey como el primer inventor. (Fig. 259.)

FIG. 259.—Hans Lippershey.

Subsisten, á más de ésta, las pretensiones que se han hecho por otros lados á la gloria de la prioridad; pero avalorando las circunstancias de cada una de ellas, se reducen á un pequeño número. Así, por ejemplo, encontramos un cierto Crepi, de Sedán, el cual tiene la honra de ser considerado por muchos como el inventor del anteojo; pero parece seguro que indirectamente se había proporcionado la posesión de estos conocimientos. En efecto, el 28 de Diciembre de 1608 el embajador francés á la sazón en la corte holandesa, Joannin, escribió al rey Enrique IV y á Sully sobre el nuevo invento, que se prometía fuera de grandes utilidades para la guerra. Dice también que se había dirigido á Lippershey para obtener de él un anteojo, pero inútilmente. Sólo por mediación del Gobierno, cuando éste renunció á comprar la posesión del invento, consiguió dos anteojos para el Rey, los cuales envió entonces á Francia, junto con su carta, por medio de un soldado francés. Pero este soldado había sido elegido para la conducción precisamente, porque Joannin había observado que tenía gran dis-

posición en las artes mecánicas, y podría robar al inventor el secreto de la construcción del anteojo y hacer una imitación de éste.

Es muy verosímil que no sólo este soldado y Crepi fueran una misma persona, sino que todavía coincidiera también con aquel francés que en Mayo del año 1609 fué á Milán y regaló al conde de Fuentes un anteojo que, visto casualmente por Sirturus, decidió á éste á marchar inmediatamente á Venecia, comprar allí vidrios á propósito y construir un instrumento semejante.

En Junio de 1609 fué Galileo á Venecia y oyó hablar del anteojo. Por entonces poseía ya el cardenal Borghese uno que le habían enviado de Flandes, y, por tanto, Galileo tuvo ocasión para convencerse por sus propios ojos de la disposición y modo de obrar del instrumento. No se sabe si lo hizo ó no; pero esto no es esencial para el caso, pues ni la gloria de sabio adquirida por el gran pisano se elevaría porque hubiera construído efectivamente un anteojo partiendo simplemente de una referencia acerca de la acción de lentes combinadas, como mencionan los biógrafos apologistas, ni se quitaría una sola hoja á su corona de laurel si hubiese construído su primer anteojo (que presentó el 23 de Agosto de 1609 al Dux de Venecia), después de conocer exactamente la disposición del instrumento holandés, y, por tanto, si no le hubiera inventado, sino sólo copiado.

Por lo demás, en esta época los anteojos eran ya un objeto comercial en Holanda, Inglaterra y Alemania. En la feria de otoño en Francfort, en 1608, los presentó en venta un holandés, y en Londres eran tan numerosos al año siguiente, que los compradores tenían donde elegir. Pronto debieron ser fabricados en gran escala también en Nurenberg, y en Italia la elevada suma que recibió Galileo por su instrumento (1.000 florines) estimuló igualmente á los ópticos para dedicarse á su construcción. Hasta los aficionados á cultivar las ciencias, de posición elevada, y hombres que trabajaban entonces más que hoy en la confección de instrumentos y aparatos de experimentación científica, se tallaban también sus lentes con este objeto. No había aún transcurrido mucho tiempo después que Galileo dió á luz su primer anteojo, cuando el príncipe Cesi, fundador de la Academia de los Lincei, en Roma, construyó otro instrumento de este género, al cual, por indicación del notable helenista Joannes Demiscianus, dió el nombre griego de *telescopio*.

Y con el hallazgo del nombre damos fin á esta reseña histórica. Pero algunos tal vez preguntarán: ¿En qué lugar queda Zacarías Jansen, también óptico de Middelburgo, que hasta hace poco ha pasado generalmente por ser el inventor del anteojo, y cuya causa tomó con tanto empeño su compatriota Boreel, médico de cámara en la corte de Luis XIV? De investigaciones escrupulosas verificadas en la primera mitad del siglo XVII en Middelburgo, por iniciativa del propio Boreel, y recopiladas en una Memoria por Borel (que no hay que confundir con el médico antes citado), resulta que Jansen no tuvo probablemen-

te ninguna participación en el invento del anteojo, pero que no por esto es menos digno de la estimación de la posteridad que su colega Lippershey, que allí se nombra Laprey, pues debemos á aquél un hecho tan relevante como el de éste, la invención del microscopio, del cual nos ocuparemos en el capítulo siguiente. En este lugar no hemos de investigar hasta qué punto las ideas de ambos instrumentos hayan partido de una misma raíz, y hasta qué punto Lippershey, cuyo invento fué posterior al de Jansen (que tal vez arranque ya de 1590), se hubiera apoyado en el de éste. Hemos tomado en consideración el anteojo primeramente, porque su disposición es más sencilla que la del microscopio, y, por consiguiente, su conocimiento nos facilitará el de otros aparatos más complicados del mismo género.

CONSTRUCCIÓN DEL ANTEOJO

El anteojo, como el microscopio, es una combinación de dos lentes ó sistemas de lentes, cuyos ejes ópticos están exactamente en una misma línea recta. Una de estas lentes ó sistemas de lentes, el llamado *objetivo*, está situado más cerca que el otro del objeto que se observa: recibe los rayos de luz que parten del mismo y los concentra en cierto punto del eje, en el cual se forma una pequeña imagen real. El otro, el *ocular*, sirve para observar esta imagen estando colocado entre ella y el ojo del observador. En los telescopios especulares, que pertenecen también á este mismo grupo de instrumentos ópticos, el objetivo está sustituído por un espejo cóncavo, el cual, como ya sabemos, en nada altera la naturaleza de la imagen; después nos ocuparemos más detalladamente de esta disposición especial. Los vidrios están colocados en un tubo de paredes interiores ennegrecidas, y que consta de varias partes, que pueden introducirse unas en otras. De este modo se puede aproximar la imagen al ocular, á voluntad, según las condiciones de cada vista.

EL ANTEOJO HOLANDÉS, Ó DE GALILEO

Este instrumento, que se construyó primitivamente, está representado en la fig. 260. Los rayos procedentes del objeto *A B* atraviesan el objetivo *b*, y llegarían á reunirse formando una imagen real y reducida; pero esto no sucede, pues antes del punto donde debería formarse dicha imagen, se halla el ocular *a*, una lente bicóncava que dispersa de nuevo os rayos. Estando colocado dicho ocular á la distancia conveniente, pueden salir los rayos de él divergentes, cual si procedieran de puntos luminosos situados á cierta distancia de la visión distinta. El ojo ve, pues, la imagen en este sitio, y esta imagen aparece derecha y más ó

menos aumentada según la distancia focal de la lente. Esta sencilla disposición ofrece la gran ventaja de que permite emplear tubos muy cortos, y efectivamente, se ha conservado en uso, en especial para instrumentos cuyo manejo se quiere que sea cómodo. Pero con tubos muy cortos no pueden alcanzarse grandes aumentos sin perjudicar á la claridad de la imagen, y por esto tales anteojos sólo dan de ordinario un aumento de dos y medio á tres. Por lo demás, Galileo construyó ya en 1618 un instrumento de esta clase para los dos ojos, como nuestros gemelos de teatro, y puede considerarse como inventor de esta variedad.

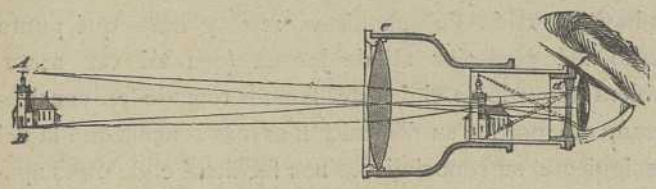


FIG. 260.—Anteojo holandés.

EL ANTEOJO ASTRONÓMICO, Ó DE KEPLER

Kepler fué el primero que dió una explicación científica del principio sobre que descansa la acción del anteojo, é invento también, por consecuencia de sus investigaciones, el instrumento que lleva su nombre, y que se diferencia del anteojo holandés en que los rayos que atraviesan la lente biconvexa C (fig. 261) se reunen efectivamente en una imagen real A' B', la cual es observada, agrandada A'' B'' por el ocular C'. El ocular no es, pues, aquí una lente bicóncava, como en el espejo holandés, sino biconvexa, como en el objetivo.

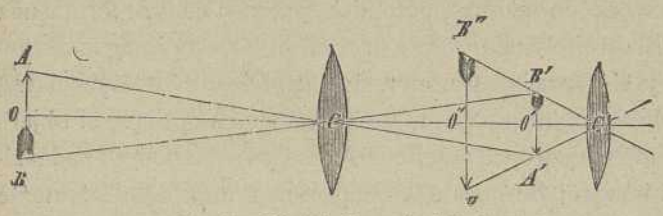


FIG. 261 —Principio del anteojo de Kepler.

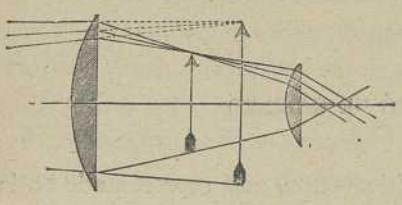


FIG. 262.—Ocular de Campani.

Pero la imagen real é invertida formada por el objetivo no se invierte al observarla á través del ocular, por lo cual los objetos aparecen invertidos con el anteojo sencillo de Kepler, y este sólo es, por tanto, apropiado para la observación de las estrellas, respecto á las cuales no tiene influencia alguna la posición de la imagen. Los mejores instrumentos de esta clase llevan en el punto donde se forma la imagen real, un *retículo*, ó sean dos hilos de tela de araña que se cruzan perpendicularmente en el eje del anteojo, para poder percibir pequeños cambios de situación en las estrellas observadas. Además, se intercala entre el ocular y el objetivo una tercera lente, *la colectiva*, que en rigor

forma parte del sistema objetivo, pues tiene por objeto hacer más convergentes los rayos antes de que se forme la imagen, y se halla, por consiguiente, entre ésta y el objetivo. Pero por estar reunida de ordinario en un solo tubo con el ocular, á esta combinación se le ha dado el nombre de *ocular de Campani*, del de su inventor (véase la fig. 262).

ANTEOJO TERRESTRE

Para hacer aplicable el anteojo de Kepler á las observaciones de objetos terrestres, era preciso, según ya observó su inventor, colocar todavía otra lente delante del ocular. Sin embargo, esta disposición no fué usual; Rheita ordenaba más bien las lentes del anteojo terrestre, en la forma que muestra la fig. 263. *A B* es el objeto observado, *b a* la imagen real del mismo producida por la lente objetiva, las lentes *s* y *t* producían la reinversión de la imagen, siendo *t* la lente colectiva; por último, *u* es el ocular á través del cual se observa la imagen *A' B'* aumentada. En nuestros instrumentos actuales se ha sustituído todavía la lente *s* por dos, de las cuales una obra como débilmente convergente.

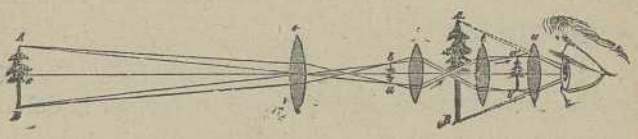


FIG. 263.—Anteojo terrestre.

La disposición exterior está destinada al objeto inmediato de poder hacer cambiar la distancia entre las lentes fijas en sus correspondientes armaduras, y puede ser la misma evidentemente para las tres clases de anteojos. Dentro del tubo, allí donde los rayos cruzan el eje, hay diafragmas para interceptar la luz lanzada por reflexión hacia el tubo, y que podría perjudicar á la claridad de la imagen. En los anteojos astronómicos esto no es necesario, porque en este caso ninguna luz puede penetrar que no sea la que procede del objeto observado.

El aumento de los anteojos depende de la distancia focal del ocular, siendo, tanto en el anteojo astronómico como en el terrestre, igual al cociente entre ambas. De aquí que la construcción de lentes de gran distancia focal es el problema cardinal de la óptica práctica, y que los anteojos holandeses de corto tubo, como los gemelos de teatro y de campo, á más de tener un pequeño campo visual (por efecto de la divergencia de los rayos), permiten sólo un pequeño aumento. Pero por esta misma causa los instrumentos astronómicos adquieren un volumen considerable, que hace indispensables instalaciones completamente especiales y mecanismos accesorios para conservar siempre las lentes en un mismo eje y hacer su posición segura, al mismo tiempo que fácilmente movible, con objeto de que el tubo pueda seguir sin conmociones el movimiento de las

estrellas. Además, hay que adaptarles mecanismos especiales para poder corregir la posición del eje del tubo respecto á planos horizontales y verticales bien determinados, medir distancias angulares, etc., etc.; de suerte que un aparato de este género, con todos sus accesorios, es un mecanismo sumamente complicado y que exige, para que sea obra perfecta, los mayores esfuerzos del arte y de la ciencia.

En atención á la importancia del objeto á que se destinó desde su origen el telescopio, el estudio del cielo y de la tierra, la determinación de la magnitud, superficie, masa, origen y movimientos de las estrellas, así como de los planetas que brillan más próximos al que habitamos; y también, por otra parte, la circunstancia de que en el transcurso del tiempo se ha venido introduciendo el uso de los anteojos como un excelente medio auxiliar en todos los métodos de observación y medidas físicas, han impelido á la ciencias naturales y prácticas á considerar como uno de sus problemas más importantes el perfeccionamiento sucesivo de este aparato.

Para hacer mayor el aumento de las imágenes, hay dos caminos: ó aumentar la distancia focal del objetivo, ó disminuir la del ocular. Este último estaba muy limitado antes del descubrimiento de las leyes del acromatismo, ó sea del arte de impedir por medio de la combinación de lentes la dispersión de los colores del espectro, y, por tanto, no quedaba otro camino, para conseguir grandes aumentos, que emplear en los objetivos lentes de gran distancia focal. El empleo de éstas se dificultaba, sin embargo, en proporción de su aumento, pues los tubos en cuyo interior se colocaban estos vidrios adquirían un peso demasiado considerable para poderse manejar con la facilidad necesaria, y además con el crecimiento de su longitud estaban expuestos al peligro de encorvarse, lo que era peor que todo. Es verdad que se propuso el remedio de suprimir la parte central del tubo, que realmente no servía más que como diafragma, y adoptar el objetivo á un tubo corto fijo en un punto, de suerte que pudiera dirigirse fácilmente hacia el objeto observado, y en tal caso se podría colocar el ocular á una gran distancia de aquél. Esta especie de anteojos aéreos fué empleada, según parece, la primera vez por Huyghens el año 1684. En el Observatorio astronómico de Delhi (fig. 264), cuya construcción especial era adecuada precisamente para esta forma de instalación, tenían en uso los brahmanes observadores anteojos de esta clase en la primera decena de años de este siglo. Un muro de unos treinta metros de alto servía para apoyar el objetivo, mientras que el ocular, según el sitio en que se encontraba el astro que se quería observar, se colocaba más hacia la derecha ó hacia la izquierda, y más ó menos alto, sobre una especie de escalera construída en la pendiente del muro. Esta escalera no está representada en nuestro grabado. Los edificios de observación de los indios, de los cuales se ven dos en nuestra figura y todavía se conserva uno en Benarés, servían principalmente como gnómonos. Durante el día se utilizaban

como relojes de sol, pues la sombra proyectada por la arista del muro central paralela al eje terrestre sobre el muro cilíndrico que puede reconocerse fácilmente en la figura, dividido en horas y minutos, indicaba el tiempo solar. Durante la noche se observaba desde los puntos señalados en el cilindro antedicho, el paso de los astros sobre la arista del muro. Los dos instrumentos gigantescos edificados en Delhi y cerca el uno del otro (erigidos por Dschai Singh en 1730), hacían posible la ejecución de medidas independientes y que recíprocamente se

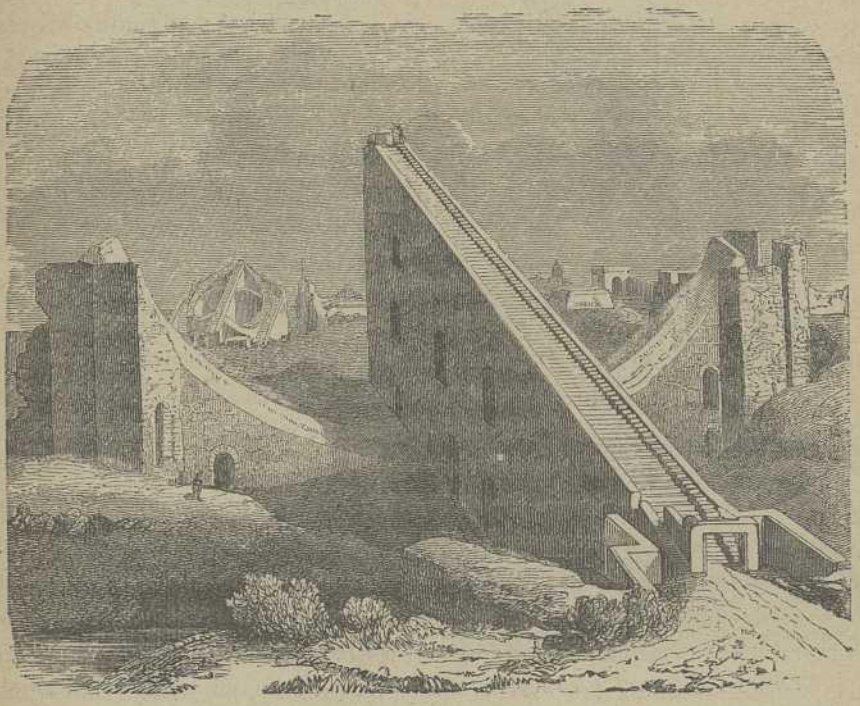


FIG. 264.—Observatorio astronómico de los indios, en Delhi.

comprobaban entre sí. La arista del muro central del gnomon representado en primer término, no tenía menos de 118 pies ingleses de larga. La división en grados sobre el cilindro era tan grande, que la longitud de un grado era próximamente de un pie; los grados estaban divididos en seis partes iguales.

Los anteojos aéreos eran muy incómodos, pero llenaron su objeto, aunque sólo hasta que se conoció otra cosa mejor. Cuando fueron estudiados exactamente los fenómenos de la refracción de la luz; cuando Descartes y Huyghens desarrollaron completamente la teoría del anteojo; cuando Euler demostró la posibilidad de combinar lentes acromáticas, y después que Klingenstierna disipó todas las dudas sobre el particular, Dollond (padre) hubo ya construído el primer anteojo acromático, desaparecieron y se abandonaron los antiguos métodos, y comenzaron á ponerse en práctica los descubrimientos hechos por la ciencia y comprobados satisfactoriamente por la industria técnica.

De este tiempo data una revolución en la óptica práctica, que, auxiliada por la química con la producción de clases de vidrio apropiadas á sus fines, y por la mecánica del mismo modo que ésta lo fué por aquélla, alcanzó su apogeo por la intervención de hombres como Fraunhofer, Steinheil y Merz. En 1812 los anteojos con lentes acromáticas, que hasta entonces habían tenido todavía un poderoso competidor en los telescopios especulares, triunfaron de éstos por completo.

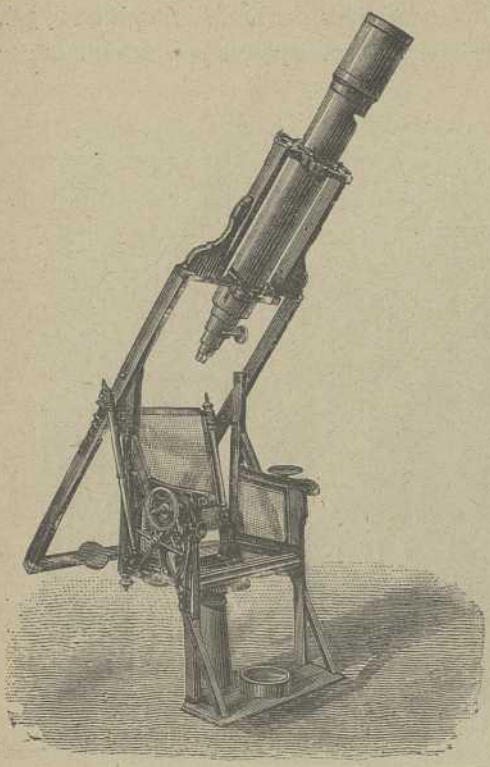


FIG. 265.—Explorador de cometas, de Merz.

Nuestra fig. 265 muestra un explorador de cometas, de Merz, que se halla en Dresde, y pertenece al barón de Engelhardt. Este instrumento está montado sobre un sillón, clase de apoyo muy nueva y poco conocida. El ocular se halla en el punto de intersección de los ejes vertical y horizontal del aparato, y por consecuencia de esto el cuerpo y la cabeza del observador permanecen en una posición invariable, cualquiera que sea el azimut y la altura á que se halle el astro; comodidad extraordinariamente grande. Mediante el sistema de ruedas situado á la izquierda, se produce el movimiento suave del marco y del anteojo. El sillón también gira alrededor de su eje mediante otro sistema de ruedas que está situado á la derecha, y en la figura es visible solo en parte.

No podemos entrar aquí en una descripción detallada de los instrumentos, tales como se hallan funcionando en los Observatorios astronómicos; sin embargo, vamos á dar una idea sobre el contenido de la fig. 266, que muestra uno junto á otro el gran refractor de Fraunhofer, del Observatorio astronómico de Dorpat, y el círculo meridiano de Repsold, del de Pulkowa. El objetivo del primero tiene un diámetro de nueve pulgadas parisienses, una distancia focal de 160 pulgadas, y realiza un aumento de 1.420 veces; el tubo *B* tiene 13 pies parisienses de largo. *E E'* son dos contrapesos que sirven para evitar que se doble el tubo, para establecer el equilibrio en las diferentes direcciones, y, por último, también para hacer suficientemente movible al anteojo, de suerte que estos movimientos puedan producirse mediante esfuerzos sumamente pequeños. Como quiera que este largo tubo tiene un campo de vista relativamente reducido, lle-

va junto á sí otro anteojo pequeño, cuyo eje es paralelo al de aquél, y que se llama el explorador *D D'*. Con éste se puede observar una parte mucho mayor del cielo, y se le utiliza para colocar el astro que se quiere observar en el campo del anteojo mayor. El todo descansa sobre el soporte *A*, que se sujeta mediante tornillos. En este soporte hay un eje, *F*, que está colocado en dirección paralela al eje terrestre. Este lleva un aparato de relojería, *e*, *f*, *g*, que tiene por objeto hacer girar al anteojo de tal suerte, que el objetivo siga el curso del astro, y por consiguiente, que éste permanezca siempre en el campo del anteojo. En el instrumento de Dorpat este mecanismo es tan perfecto, que el astro parece que está fijo en el centro del retículo; el otro instrumento colocado á la izquierda, y que es completamente independiente del refractor, es un llamado anteojo meridiano, ó instrumento de los pasos, y sirve para observar todos los astros y su distancia al polo en el momento en que pasan por el meridiano del Observatorio. El anteojo meridiano se apoya sobre las dos columnas de granito *A A*, y mediante un mecanismo especial puede invertirse de modo que el objetivo quede situado hacia el lado opuesto y se pueda así observar la bóveda celeste en dirección Norte ó en dirección Sur. Como el objeto es determinar el momento preciso en que un astro pasa por nuestro meridiano, es preciso que coincida exactamente con éste el plano en que el anteojo está instalado y dentro del cual puede girar. También aquí el punto del eje, ó sea la traza del meridiano, está dada por un retículo. El reloj astronómico que indica entonces el tiempo en que tiene lugar este paso por el meridiano del astro en cuestión, se gradúa por el paso del sol sobre el mismo meridiano. Los dos grandes círculos situados los lados del anteojo sirven para medir exactamente la altura del astro sobre el horizonte; están divididos con gran precisión en grados, minutos y segundos, y se mueven ante una aguja fija. Cuando el instrumento ha ad-

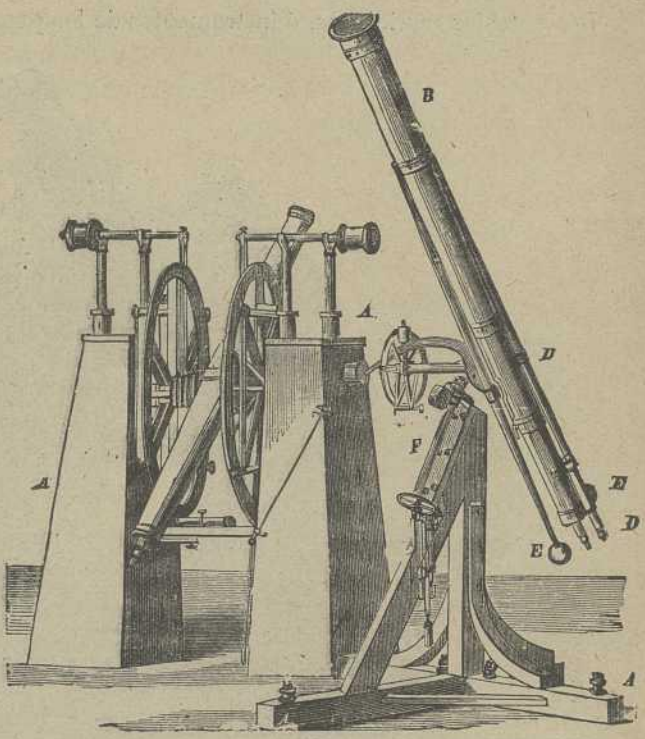


FIG. 266.—Círculo meridiano de Repsold y refractor de Fraunhofer, en Dorpat.

quirido la posición adecuada y el astro se halla en su campo, se puede medir exactamente sobre el círculo el ángulo que expresa la altura, hasta las más pequeñas fracciones, mediante una lente que facilita la lectura. Para asegurarse de que el instrumento tiene la posición debida, lleva varios niveles. Los aumentos no son aquí tan grandes, pues esto no influye en la exactitud de los resultados y alcanzan, á lo sumo, 245 veces.

Los anteojos meridianos, ó instrumentos de los pasos, recibieron la posición

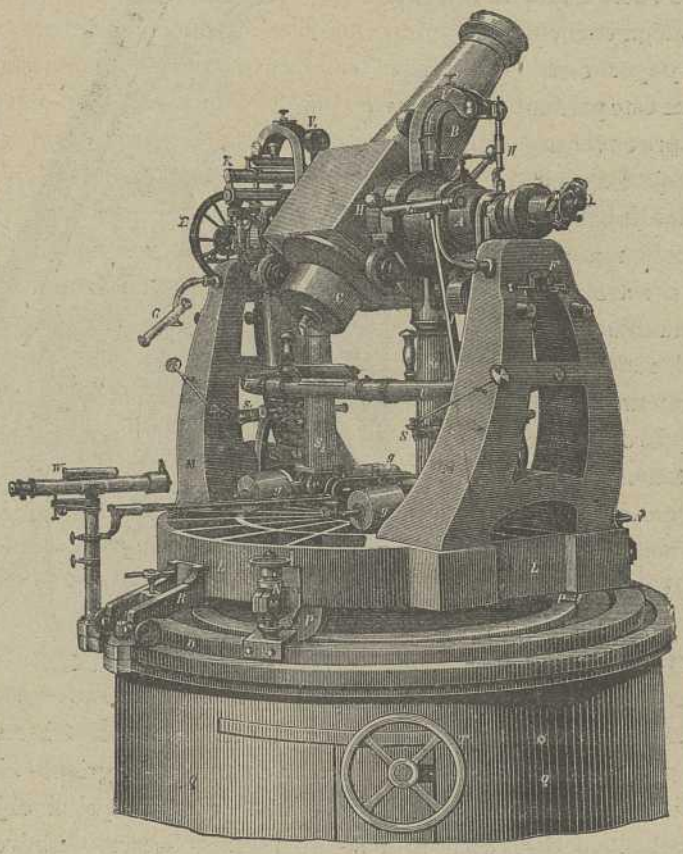


FIG. 267.—Instrumento de los pasos de Bamberg.

indicada por el primero de sus nombres, porque la orientación en el meridiano ha sido durante mucho tiempo la única segura. Con el progresivo perfeccionamiento de los métodos y aparatos de precisión se ha hecho posible, sin embargo, fijar con seguridad la posición que ofrecen naturalmente otros planos verticales mediante exactas medidas angulares, y de aquí la construcción de instrumentos que permiten para cualquier azimut horizontal las mismas observaciones que antes estaban reducidas exclusivamente al círculo meridiano, mediante los nstrumentos de los pasos antes indicados. Uno de estos nuevos instrumentos es el instrumento universal de tránsitos de Bamberg, representado en la fig. 267,

cuyo cuerpo total puede girar alrededor de su eje en un plano horizontal y junto con el apoyo *L*, *L*, *M M*, sobre un círculo dividido; mientras que el anteojo propiamente dicho *B*, *C*, *D* realiza su movimiento vertical como cualquier otro instrumento de pasos, pero en un plano perfectamente determinado con respecto al meridiano. Este instrumento tiene todavía la disposición especial de que el anteojo está doblado por mitad. El ocular se halla en *D*, adonde son conducidos los rayos mediante un aparato de reflexión articulado en el interior del tubo, cuya disposición resulta muy cómoda para el observador. En Inglaterra se han construído en estos últimos tiempos colosales instrumentos de este género, y en particular ha dado que hablar por el suyo, cuyas partes compuestas le fueron proporcionadas por Slatter, el vicario Crai de Wansworth. Sin embargo, el tamaño del instrumento no significa nada, y á pesar de todo las lentes producidas por el Instituto óptico de Fraunhofer, en Munich, antes mencionado, siguen siendo las mejores.

Littrow ha tenido una idea cuya realización ha resultado muy ventajosa para el poder amplificador de los objetivos. En efecto, hay mucha diferencia en la dificultad que ofrece obtener grandes trozos de flintglás de una constitución homogénea en sentido transversal, á la que ofrece esto mismo tratándose del crownglás. Ahora bien: en lugar de colocar inmediatamente una tras otra las dos lentes de que suele estar constituído el objetivo, en cuyo caso ambas deben tener el mismo diámetro, si no se quiere perder una parte de los rayos, Litrow propuso colocar la lente de flintglás á cierta distancia, detrás de la de crownglás, haciendo al mismo tiempo aquélla tanto más pequeña, cuanto permitiera la concentración de los rayos que la última les había ya comunicado previamente. Tales anteojos han sido construídos por Plössl en Viena, á partir de 1832, y su uso se ha generalizado rápidamente bajo el nombre de anteojos dialíticos.

En estos últimos tiempos han adquirido fama los trabajos de los norteamericanos, y Albán Clark ha excedido en su establecimiento al Instituto de Merz, de Munich, en cuanto al poder de sus gigantescos telescopios, cuya boca mide hasta 75 centímetros y más de diámetro. Las excelentes cualidades de estos anteojos de Clark han dado ocasión á que el Observatorio astronómico central ruso de Pulkowa, que ya poseía un magnífico refractor, haya encargado á dicho Clark un instrumento colosal de 75 centímetros de diámetro interior en la boca y 26 ½ metros de distancia focal. Para formarse una idea de las proporciones extraordinarias de tal anteojo, basta consignar que el peso del objetivo, con su armadura, alcanza próximamente cinco toneladas. Todavía se ha comprometido Clark á construir un refractor mayor, cuyo objetivo debe tener 95 centímetros de diámetro, para el Observatorio sobre el Monte Hamilton, en California.

NONIUS Y MICRÓMETRO

Como quiera que los anteojos son, por último, partes integrantes esenciales de otros muchos instrumentos, como teodolitos, círculos multiplicadores, heliotropos, sextantes, brújulas, instrumentos de nivelar, etc., y sirven siempre para dar gran exactitud á las mediciones por medio de visuales hacia puntos lejanos, ó bien para fijar una referencia absoluta de su posición con respecto á los astros, la estrella polar, etc., nos creemos en el caso de hacer mención también de los medios auxiliares que se emplean para las determinaciones exactas, principalmente de magnitudes angulares. En efecto: todas las medidas astronómicas y geodésicas descansan sobre la medición de ángulos, y por consiguiente, sólo es posible adquirir confianza en la certeza de los resultados de aquéllas, por el conocimiento de los métodos para éstas.

Recordamos haber escrito por primera vez el nombre *nonius* al describir el sextante. El nonius (mejor vernier, pues su descubrimiento debe atribuirse con más derecho al francés Vernier que al portugués P. Núñez), es un aparato particular para apreciar con exactitud pequeñas magnitudes angulares ó lineales, como si estuvieran directamente contenidas en la escala. Un círculo dividido, sobre el cual debe medirse el movimiento angular de un anteojo, muestra, por ejemplo, divisiones que representan sextas partes de grado, y se quiere, sin embargo, aproximar la medida hasta el medio minuto. Para conseguir esto, sirve el nonius, que esencialmente no consiste más que en una especie de indicador, el cual va unido fijamente al anteojo, y se mueve con éste sobre la escala ó el círculo graduado. Ahora bien: este indicador no tiene sólo una señal, sino que él mismo es una escala, como muestra la fig. 268, en la que las divisiones *L* pertenecen al círculo graduado, y las divisiones *a b* al nonius colocado sobre la alidada movible *A*. Las divisiones de este último están en determinada relación con las del círculo exterior. Por ejemplo, supongamos que el mismo espacio que sobre *L* está dividido en 29 partes, contenga sobre el nonius 30 divisiones; de modo que si los ceros de *L* y *A* coinciden, los trazos sucesivos diferirán entre sí en $^1/_{30}$ por cada división que consideremos á partir desde aquél. Estas divergencias son muy fáciles de percibir, y en todo caso, si no son los ceros los que coinciden, sino cualesquiera otras divisiones, se puede reconocer fácilmente la fracción angular deseada por el número de las divisiones, desde la coincidencia hasta el cero. Supongamos que el cero del nonius se halle entre dos divisiones del círculo, por ejemplo, entre 30° 20′ y 30° 30′, y que hasta la división 13 del nonius no haya coincidencia con una división del círculo exterior dividido en sextos de grado: se tendrá, pues, que contar $^{13}/_{30}$ de 10′ ó sea 4′20, á más

de los 30° 20′ de la división exterior, y por consiguiente el ángulo buscado valdrá 30° 24′ 20″.

Al lado del nonius se coloca, por su importancia para mediciones delicadas, el *micrómetro*. Supongamos que junto á la alidada *A* vaya unido, en lugar del nonius, un pequeño anteojo que se dirija hacia la escala y lleve un retículo en el punto en que se forma la imagen, de suerte que la división de aquella escala se nos represente próximamente como indica la fig. 269. El centro del retículo es el punto sobre el cual debe leerse la división; pero muchas veces este centro no coincide exactamente con uno de sus trazos. Ahora se puede conseguir esto haciendo mover el retículo mediante un tornillo micrométrico, y el número de vueltas, más la fracción de vuelta de éste necesarias para ello, dan el valor de la magnitud que debe añadirse ó restarse de la cantidad leída, sobre esta división de la escala. Admitamos que el círculo exterior esté dividido en sextos de grado y que se exijan 30 vueltas del tornillo micrométrico para hacer mover el centro del retículo desde una á otra división; cada vuelta del tornillo corresponderá á una magnitud angular de 20″; y como es fácil apreciar la vigésima parte de una vuelta, podremos medir por este medio, con comodidad, magnitudes angulares de 1″. En las observaciones astronómicas tales magnitudes no son despreciables en modo alguno, pues el disco de Júpiter, por ejemplo, sólo tiene un diámetro aparente de unos 38″ en total.

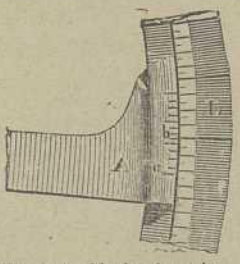


FIG. 268.—Nonius ó vernier.

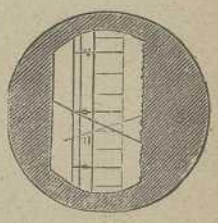


FIG 269 —Micrómetro.

Para estas mediciones exactas sólo se emplean *refractores*, es decir, anteojos que actúan por refracción de la luz á través de lentes; pero según ya hemos mencionado oportunamente, existen, á más de éstos, otros aparatos, que fueron adoptados principalmente en tiempo de Newton, cuando todavía no se había conseguido evitar la coloración de las imágenes lenticulares en sus bordes, pues en estos aparatos no se hace la dispersión cromática, y son los llamados

REFLECTORES Ó TELESCOPIOS ESPECULARES

Fueron descubiertos poco después que los anteojos refractores, y, según parece, fué un tal Zucchi, padre jesuíta, el primero que concibió la idea de tomar espejos cóncavos en lugar de las lentes objetivas y observar la imagen real así obtenida, con una lente ocular. Esta idea debió ser puesta en práctica en 1616, lo cual es tanto más de notar, cuanto que Kepler no empleó en su anteojo astronómico la lente divergente, como ocular, hasta algunos años más tarde. El descubrimiento de Zucchi no fué conocido fuera de Italia. En Francia, Mersenne

se ocupaba por el año 1639 en introducir los espejos cóncavos en la telescopía; pero ni aquí ni en Inglaterra, donde Grégory también se ocupó de su perfeccionamiento, se concedió en un principio mucha atención á los telescopios de espejos, y aun Newton, en cuyo concepto (que, aunque equivocado, era lógico) no podía obtenerse ningún refractor acromático, y, por consiguiente, quedaban limitadas las esperanzas de los ópticos y astrónomos á los estrechos límites de los reflectores, no se sirvió de ellos, aun después de construir por sus propias manos dos instrumentos de este género, uno de los cuales se conserva todavía en el Museo de la Real Academia de Londres, con la siguiente inscripción: *Invented by sir Isaac Newton and made with his own hands. In the year 1671.* (Inventado por el señor Isaac Newton, y hecho con sus propias manos. En el año 1671). Los telescopios de espejos no se hicieron más usuales hasta que en Francia Hadley, Hawksbee y Cassegray enseñaron á construir instrumentos más delicados y perfectos; pero el perfeccionamiento simultáneo de las lentes restringió mucho su uso. Entre los más célebres reflectores está en Inglaterra el de James Short; pero, sobre todos, figuran los telescopios gigantescos, célebres por su excelente construcción, así como por el uso atinadísimo que hizo de ellos Herschel, el óptico más célebre y el astrónomo más notable de su tiempo. Construyó por sus propias manos un gran número de espejos tan perfectos, que podían adaptarse á reflectores de seis metros de distancia focal y hasta 2.000 veces de aumento sin que perdieran las imágenes su claridad. El mayor de sus telescopios, de cuya instalación nos da una idea la fig. 270, lo terminó en el año 1789; la longitud del tubo era de 12 metros, el diámetro 1,5 m y el peso total de 2.500 kilogramos. El espejo sólo pesaba más de 1.000 kilogramos; pero en cambio daba también un aumento de 6.400 veces. El coste de todo el aparato llegó á unas 52.500 pesetas; pero los resultados soñados no respondieron ni al desembolso ni al trabajo puesto en su construcción, pues poco después de ins-

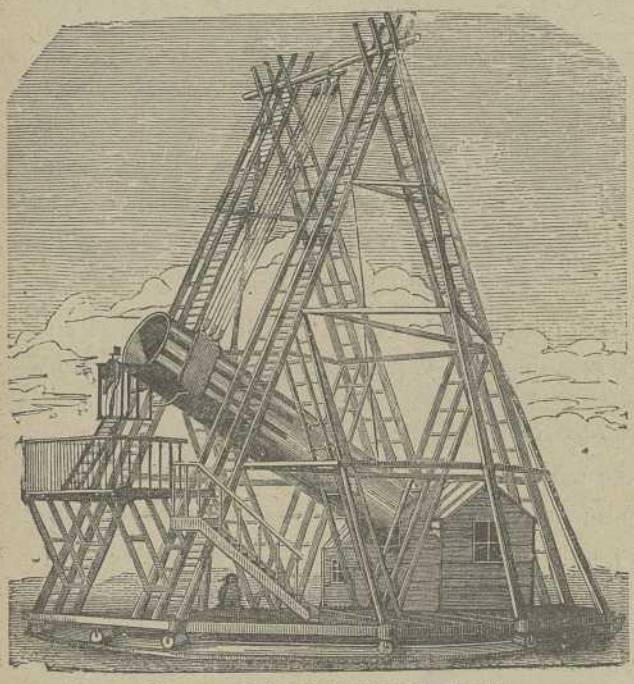


FIG. 270.—Reflector gigantesco de Herschel.

talado perdió el espejo su hermoso pulimento, por la influencia de una noche húmeda simplemente. Lord Rosse ha aventajado todavía á este instrumento de Herschel con otro cuyo tubo tiene 16 metros de largo, cuyo espejo mide próximamente dos metros de diámetro, y pesa 3.800 kilogramos. Fué instalado en Irlanda entre muros de 20 metros de longitud y 13 metros de altura, y su contrucción debió costar 300.000 pesetas. La fig. 271 representa otro reflector construído por Lassel y montado cerca de Liverpool.

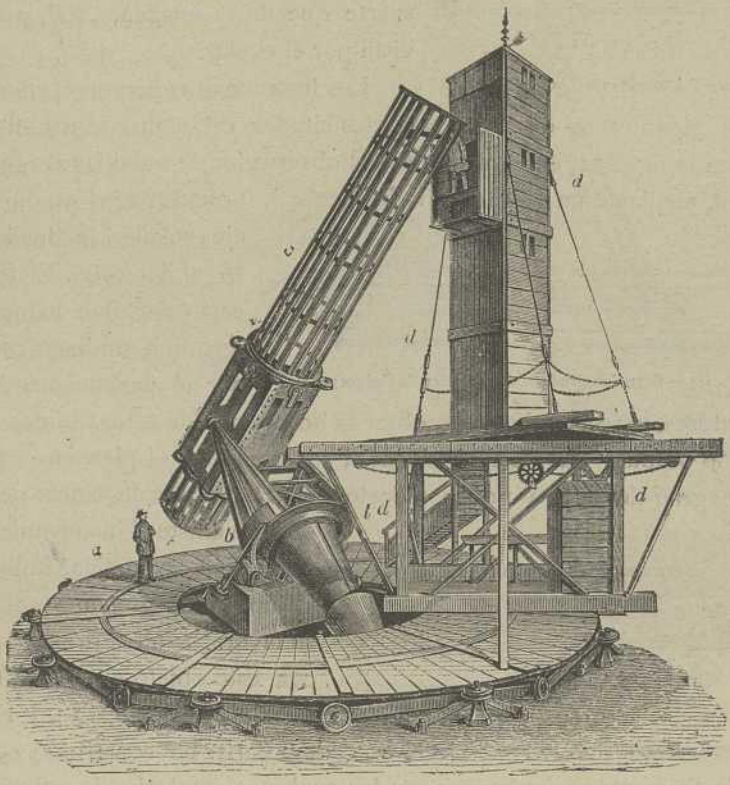


FIG. 271.—Telescopio reflector de Lassel.

La disposición interior de un reflector es sencilla, y se comprende fácilmente por las figuras 272 á 274. La primera (fig. 272) nos da en corte longitudinal un reflector de Newton. Consiste éste en un gran tubo de madera, en cuyo fondo se halla el espejo metálico y de curvatura parabólica, *C D*. Éste recibe los rayos luminosos procedentes del objeto que se observa, *A B*, los cuales se reflejan, viniendo luego á encontrar al pequeño espejo plano *F F*, inclinado bajo un ángulo de 45° con el eje del aparato. Dicho espejo plano se halla á la distancia conveniente del espejo cóncavo para que la imagen real debida á éste se pueda formar debajo de aquél y pueda ser observada entonces por medio de una lente de aumento, *G H*. En lugar del pequeño espejo plano se

emplea también, para cambiar la posición de la imagen, la reflexión total sobre un prisma.

Los más antiguos reflectores de Grégory (fig. 273) tenían otra disposición. En ellos se hallaba enfrente del espejo cóncavo mayor, *M P*, otro más pequeño en su mismo eje y con menor distancia focal, *N*, el cual reflejaba de nuevo los rayos, enviando la imagen real delante de una lente ocular situada tras un orificio practicado en el centro del espejo objetivo, de suerte que dicha imagen, *A B*, pudiera ser vista por el ocular.

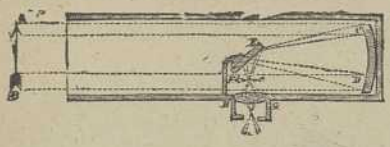


FIG. 272.—Telescopio especular de Newton.

Los instrumentos mayores, como los telescopios gigantescos de Herschel antes citados, están dispuestos en la forma que indica la fig. 274; en ellos se sitúa el observador de espaldas al objeto *C C*, y observa, mediante un ocular, *O*, la imagen *a b*, formada por el espejo *M*, cuyo eje está algo inclinado respecto al del tubo. El telescopio especular, que había sido relegado á un lugar secundario por el perfeccionamiento de los refractores, parecía volver á recobrar la aceptación de estos últimos tiempos, sobre todo después que Liebig enseñó á construir por el plateado espejos de vidrio de gran duración y poder reflector (1856). La circunstancia de que en ellos no existe el inconveniente de la dispersión cromática, hubiera sido siempre un argumento poderoso en su favor. Steinheil propuso también con este objeto el empleo de espejos cóncavos plateados, y Foucault, en París, ha construído con éstos algunos instrumentos muy buenos, en los cuales se empleaba la reflexión total sobre un prisma para desviar la imagen hacia el ocular, en lugar del espejo plano *E F* (fig. 273). Sin embargo, no han podido adquirir ninguna ventaja sobre los refractores, que á su vez se han perfeccionado también; y según resulta, los anteojos con lentes siguen siendo superiores á los telescopios para observaciones delicadas.

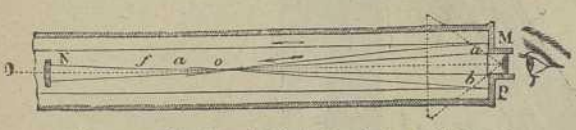


FIG. 273.—Corte longitudinal del reflector de Grégory.

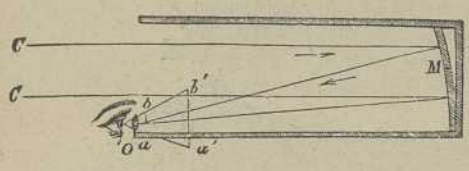


FIG. 274.—Disposición del telescopio de Herschel.

Si comparamos bajo el punto de vista de su teoría los refractores con los reflectores, podríamos decir que los telescopios con los anteojos de Kepler, así como los terrestres originados por la adición á estos últimos de un sistema ocular inversor de la imagen, corresponden á una clase de instrumentos, en los cuales se engendra efectivamente una imagen real, la cual es observada á través de otra lente de aumento; mientras que en el anteojo holandés no sucede esto con

su lente divergente. En todos los anteojos pueden emplearse lentes plano-convexas, del mismo modo que las biconvexas; pero en el primer caso se pone siempre la cara plana hacia fuera. La aproximación ó separación del ocular á la imagen, que varía para las diferentes vistas, se obtiene en los instrumentos ordinarios metiendo ó sacando las partes del tubo que encajan entre sí; pero en los instrumentos de gran aumento y vidrios muy delicados se produce este efecto mediante un tornillo micrométrico, pues cuando el ocular tiene una distancia

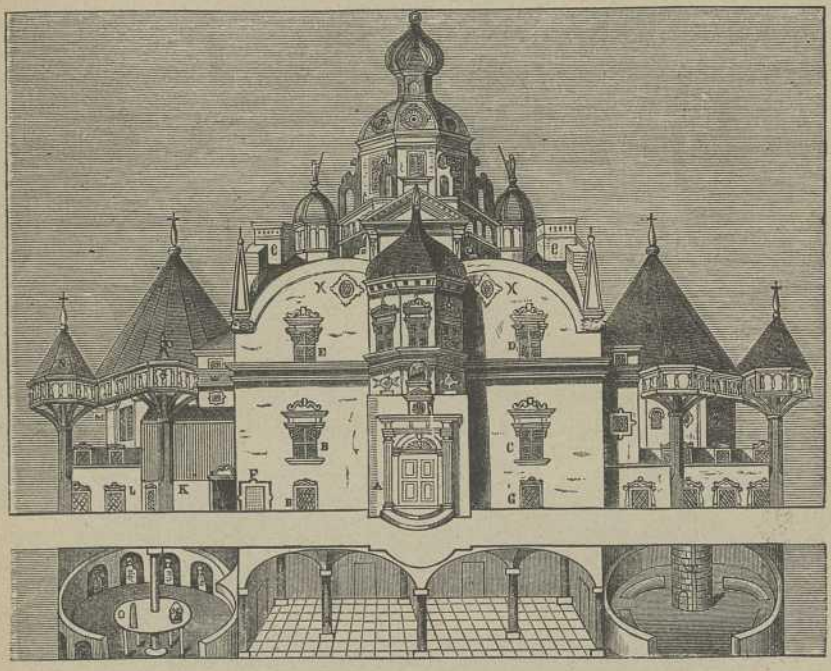


FIG. 275.—Observatorio de Tycho-Brahe sobre la isla Hveen, situada entre Dinamarca y Suecia, en el año 1576. Parte inferior. Corte transversal de la planta baja.

focal corta, un pequeño movimiento puede determinar un cambio muy considerable en la dirección de los rayos.

Con este motivo, séanos permitido hacer todavía algunas indicaciones acerca de los edificios que sirven para la instalación y abrigo de los anteojos, ó sea acerca de los observatorios astronómicos. Existe una diferencia muy considerable entre los locales de observación sencillos de otros tiempos, particularmente en los pueblos antiguos, y los locales y edificios actuales. Hasta la elección del punto para el observatorio astronómico es hoy distinta. Mientras que antes se consideraba como especialmente adecuada la situación elevada de un terreno, hoy se concede importancia en primera línea á la solidez del suelo, para que la instalación de los instrumentos sea verdaderamente firme, así como también se atiende particularmente á la oscuridad de los alrededores. Antes se daba á los observatorios astronómicos la forma de torres para que tuvieran mejor vista,

como nos muestra la fig. 275 y como se hizo todavía en Leipzig en 1790 (el observatorio astronómico se situó sobre la torre del castillo de Reissenburg); hoy se edifican poco elevados y sobre un sitio retirado y tranquilo. De este modo están dispuestos todos los edificios de los Observatorios modernos de Viena, Pulkowa, Strasburgo, Postdam, etc. El Observatorio del último punto citado sirve de preferencia para investigaciones de astronomía física, y con este objeto, á más de los instrumentos capitales (refractor, anteojo meridiano, instrumento

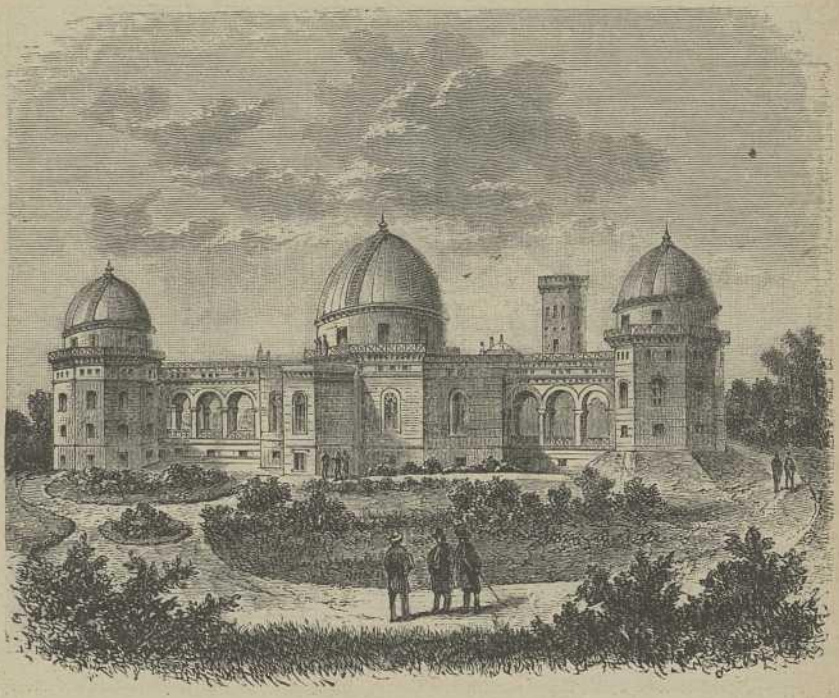
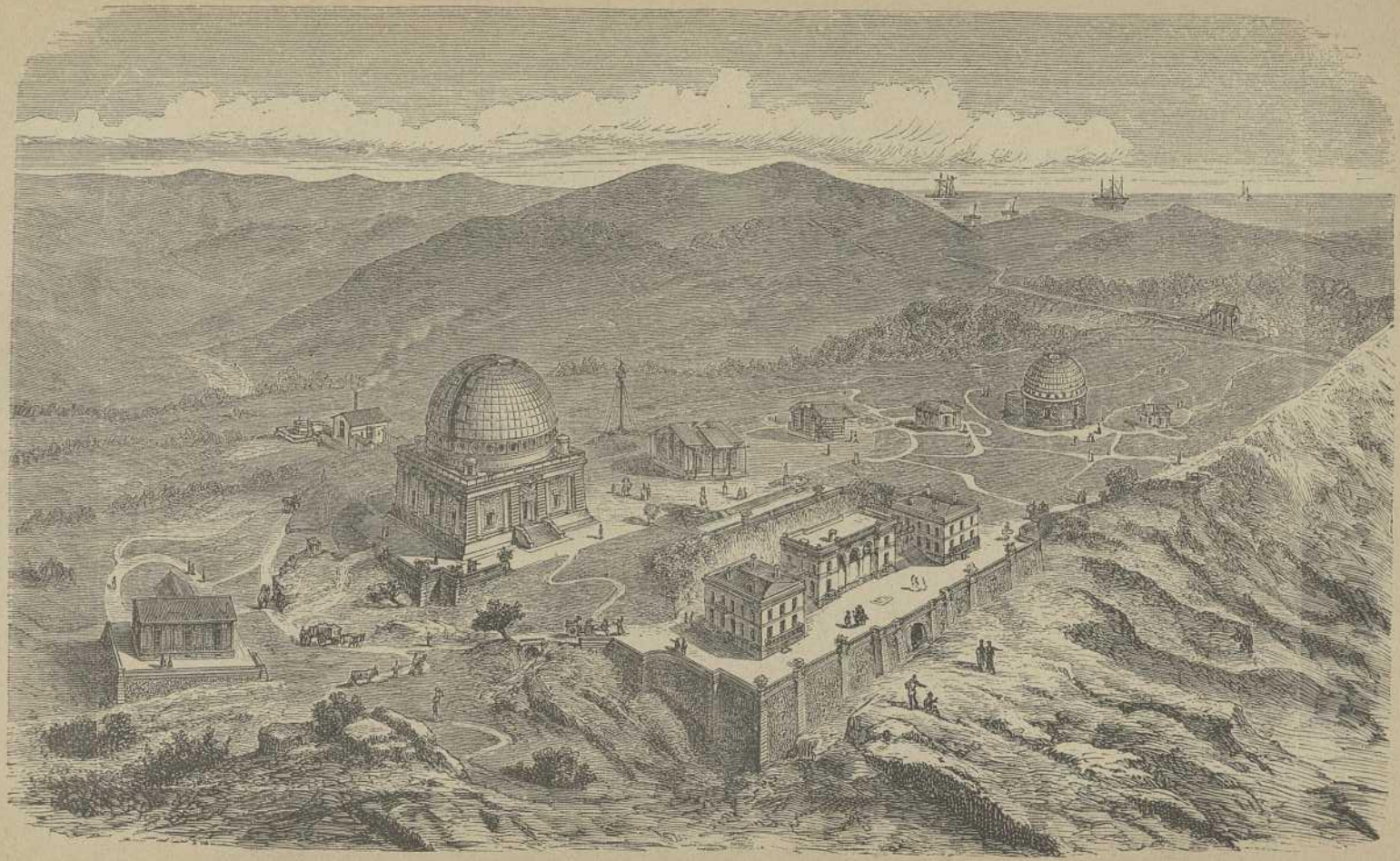


FIG. 276.—Observatorio de astronomía física en Potsdam.

de pasos, cronómetro, etc.), está provisto especialmente y con abundancia de aparatos espectrales y material fotográfico, fotométrico, etc., etc. En época muy reciente, R. Bischoffsheim ha gastado en París, de un modo altamente honroso, la suma de millon y medio de francos para edificar en Niza un magnífico observatorio astronómico. La edificación ya está terminada, y la representa nuestra lámina; abarca un área de 350 000 metros cuadrados, y este espacio inmenso permite poner en práctica la aspiración más ardiente de la astronomía actual: esto es, destinar un edificio especial para cada uno de los grandes instrumentos. Entre estos edificios aislados salta á la vista inmediatamente una soberbia cúpula que se apoya sobre un cuerpo de edificio cuadrado de 26 metros de lado. Está destinada para un refractor cuyo objetivo tiene 70 centímetros de diámetro y 16 metros de distancia focal, y cuyas lentes construyeron en París los hermanos Henry.



Observatorio astronómico de Niza.

IMPORTANCIA DE LOS ANTEOJOS

Parece completamente superfluo todo lo que se diga sobre la utilidad de un instrumento que, como éste, es manejado hoy por tantas personas. No sólo es este instrumento irreemplazable para los viajeros cuando quieren formarse idea previa del carácter de las comarcas que tratan de atravesar, sino que, lo mismo que al aire libre, su uso se ha extendido también á los espacios limitados, como teatros, museos, galerías, etc. Y así como sirve en estos casos para proporcionar al hombre impresiones agradables, sirve en otros para fines mucho más elevados, que no están limitados á la investigación astronómica de los cuerpos celestes y de las órbitas que describen en el espacio infinito, pues también, por ejemplo, permite al físico observar en las profundidades de un angosto foso las oscilaciones del péndulo para calcular con ellas la masa y densidad de la Tierra. Esas pequeñas desviaciones de la aguja magnética que originan la alternativa diaria del magnetismo terrestre, sólo pueden ser observadas y medidas exactamente, en su extraordinaria pequeñez, gracias al anteojo. En sus lentes se revela la aurora boreal que en cierto instante brilla en el cielo polar á miles de leguas de distancia, é igualmente se puede determinar el tiempo que invierte la luz para pasar desde el objetivo al ocular; y de hecho Bradley ha medido en este corto trecho la velocidad de la luz. La mayor parte y los más sublimes métodos de medida de los físicos se apoyan en la cooperación del anteojo, sin cuyo descubrimiento puede suponerse fundadamente que no hubiera sido posible alcanzar nuestro estado actual de cultura. Ciertamente que á fines del siglo XVI emprendieron ya los sabios el camino único y verdadero de la investigación experimental para el conocimiento de la Naturaleza; pero la observación y el experimento sólo darían por resultados hipótesis, nunca leyes propiamente dichas, de no poderles aplicar la medida, la determinación cuantitativa que conduce á abarcar en una síntesis común los fenómenos todos y sus causas. La idea fecunda que se halla en el fondo de todo fenómeno natural sólo es posible hacerla surgir de entre las sombras que la ocultan, por la aplicación del peso y la medida, y para este objeto el anteojo ha sido uno de los medios auxiliares más poderosos.

Como es natural, los resultados de este moderno invento fueron beneficiosos en primer término á la astronomía y geografía; para ello el anteojo servía como medio de observación en su forma más sencilla. Sólo después de mucho tiempo se vino á combinarle con otros aparatos, obteniendo así el más alto grado de la exactitud. Y si bien toda la influencia que en esta forma de su aplicación ha ejercido sólo puede ser comprendida en todo su valor por los que están familiarizados con la física y sus métodos, en cambio el impulso que el anteojo ha

comunicado á todas las ramas de la astronomía salta á la vista de los menos versados en las ciencias. Sólo hay que fijar la atención sobre la extensión que abarcaban los conocimientos astronómicos en la época de Ptolomeo: ¿qué progresos había realizado la cosmografía desde entonces hasta fines del siglo XVI, y á qué altura se encuentra hoy después de un lapso de tiempo mucho más corto que el anterior? Prescindiendo de que la astronomía teórica sólo se ha apoyado en el uso del anteojo en parte (si bien una parte esencialísima), durante los progresos que le comunicaron los Kepler, Galileo, Newton, Huyghens, Laplace, Olbers, Gauss y muchos otros, los datos recogidos en estos últimos tres siglos y medio por la astronomía de observación, forman una riqueza de conocimientos antes no sospechada siquiera; los adelantos en los siglos anteriores al descubrimiento del anteojo se limitan casi exclusivamente á completar el catálogo de estrellas de Ptolomeo.

Se conocían siete planetas; algunos cometas importantes aterraban á las gentes sencillas con sus raras é inesperadas apariciones; la Vía Láctea era una nube de naturaleza desconocida. A pesar de esto, la aplicación y el ingenio sacaban todo el partido posible de los escasos medios de que se disponía, y en las leyes de Kepler y el sistema de Copérnico estaban armonizados, del mejor modo posible, los conocimientos de aquella época. Pero también era esto lo mejor, y aun estas reformas importantes exigían en gran parte la comprobación por medio de la observación directa y la medida exacta.

Con el descubrimiento de las fases de Júpiter, Mercurio y Venus, uno de los primeros hechos que Galileo conquistó al cielo con su anteojo, adquirió la teoría de la inmovilidad del sol una base sólida. El anteojo fué haciendo retroceder hasta distancias inmensas los límites del espacio accesible á la investigación, pues su rápido perfeccionamiento parecía poder arrancar el secreto de sus leyes hasta lo invisible. La Vía Láctea se resolvió en estrellas aisladas; las nebulosas se manifestaron cual grandes ejércitos de estrellas. (Véanse figs. 279 á 281).

Hasta aquí se habían admitido seis magnitudes de estrellas; entonces Galileo vió nuevos é innumerables mundos en puntos de la bóveda celeste considerados antes como completamente vacíos. Las clasificó como de séptima magnitud, llamándolas «las primeras cosas invisibles.» En Orión descubrió sobre 500 estrellas nuevas y más de 36 en las Pleyades, en donde antes de él sólo se conocían siete. Y retrocediendo desde los espacios más remotos á nuestro sistema solar, observó por primera vez las manchas solares, de cuyos cambios dedujo que el Sol debía girar alrededor de su propio eje. «¡El número de los cometas en el cielo es mayor que el de los peces en el mar!» exclamó Kepler, que reconoció sorprendido la multitud de estos astros, con su anteojo recién descubierto. De la diferente clase de iluminación en la Luna se dedujo pronto la existencia en ella de montañas, valles y senos de mares. Para los antiguos, esta compañera de nuestra Tierra no era otra cosa que una esfera luminosa con algunas

manchas oscuras, á que la sencillez del pueblo daba importancia en la fábula del hombre de la Luna; hoy tenemos mapas tan exactos de la parte de su superficie vuelta hacia nosotros, como los de un hemisferio terrestre. En lugar de los once cometas que hace treinta años aún se enseñaban en las escuelas, se conocen hoy cerca de trescientos; de tal suerte, que no bastan para designarlos los nombres mitológicos, y se tiene que acudir á las cifras para señalarles. Un verdadero ejército de estrellas errantes flota entre las órbitas de Marte y Júpiter, y á pesar de que muchas de ellas distan del Sol tres veces más que la Tierra, y que el diámetro de las menores apenas alcanza diez millas, continuamente se descubren en mayor número con el crecimiento incesante de la fuerza de aumento de los anteojos, se miden más exactamente los elementos de su movimiento y sus velocidades, y se calculan sus densidades y masas.

Excederíamos, con mucho, el espacio que nos ofrece esta obra, si tratáramos de perdernos en los detalles de observaciones astronómicas; pero nos ha de ser permitido mostrar, por medio de algunas figuras, cómo aparecen al ojo, armado de un telescopio, algunas porciones del macrocosmos, y cuán distinto concepto hemos adquirido del Universo, respecto al que se tenía en los tiempos pasados.

Si observamos con un buen anteojo la zona iluminada de la Luna menguante ó creciente, quedamos admirados del esplendor del espectáculo que se nos ofrece. El borde exterior de iluminación más intensa se prolonga hacia el interior en estrías cada vez más pálidamente iluminadas; advertimos que no se trata de un disco plano y liso, sino que tenemos ante nuestra vista un cuerpo esférico que recibe su luz por un lado, pero que permanece, en su mayor parte, en sombra para nosotros. La porción iluminada no nos produce tampoco la impresión de una superficie homogénea; vemos en ellas partes brillantes y partes oscuras, grandes manchas planas de un brillo menos intenso, al lado de las cuales resaltan, por su luz particularmente intensa, señales en forma de anillos, cuyo interior se halla oscurecido como en la sombra y hacia el centro de esta fracción de Luna; estos anillos y puntos aislados luminosos se manifiestan con un contraste más intenso. No es, pues, obra de fantasía el interpretar este maravilloso panorama en el sentido de que tenemos ante nosotros un mundo corpóreo de superficie variadamente accidentada. Esta impresión hace acudir inmediatamente á nuestra memoria el recuerdo de aquella otra que nos produce la salida del sol en presencia de altas montañas. Vemos en este caso surgir las cúspides de los montes radiantes de luz, sobre las bases todavía oscuras y ocultas entre las brumas de la noche, de modo que parece que aquellos picos están como aislados, y los puntos particularmente oscuros en la parte expuesta al Sol, detrás de los anillos luminosos de la Luna, encuentran también aquí sus representantes en las sombras oscuras que las masas salientes en alto proyectan sobre los valles del fondo. Algo así como si dentro de una gran caldera se agitaran en la superficie de un líquido, ondas elevadas, y al romperse las

burbujas se solidificara su masa, formando un círculo de paredes escarpadas. Distinguimos las elevaciones mayores de las menores por la longitud de la sombra que proyectan, y sobre el disco situado ya en plena sombra, vemos todavía surgir, cual puntos aislados y brillantes, los picos más altos. Galileo tomó ya la longitud de las sombras como medida de la altura de diferentes montañas (pues montañas volcánicas de cráter apagado son las señales en forma de anillo) y hasta calculó el valor de su elevación. Actualmente se ha venido á determinar, por repetidas medidas, la altura de algunas montañas de la Luna, como el monte Calipso (5.050 metros), ó el Huyghens (4.760), probablemente con una aproximación mucho mayor que la alcanzada en la altura del Chimborazo, sobre nuestra propia Tierra. La fig. 277 nos da la vista de un paisaje lunar, con la montaña llamada de «Copérnico» tomado con ayuda de un anteojo de mayor aumento. En la fig. 278 damos también el aspecto que ofrece Júpiter, mirado con un anteojo de gran potencia. Este planeta, que á simple vista nos aparece simplemente como un punto brillante en el cielo, se nos presenta recubierto de nubes extendidas en forma de zonas circulares, cuya disposición especial se reproduce al cabo de cierto tiempo, demostrándonos una rotación del astro alrededor de su eje. Según observaciones exactas, esta rotación, que determina un día de Júpiter, invierte 9 horas 55′ y 26″ de nuestro tiempo. Podemos reconocer y medir el aplanamiento de la esfera de

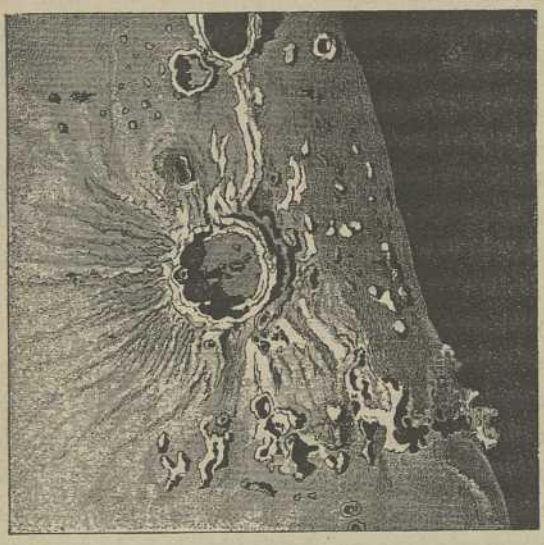


Fig. 277.—Paisaje lunar: Copérnico.

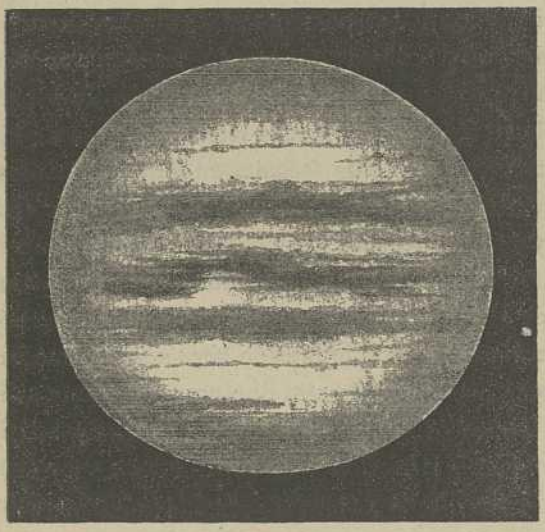


Fig. 278.—Disco de Júpiter en el telescopio.

Júpiter, que le da una forma semejante á la de nuestra Tierra, aplastada por los polos. Vemos girar á los satélites alrededor de su planeta, también observamos la sombra circular proyectada por el satélite, situado al lado izquierdo de Júpiter, sobre su disco iluminado por el Sol. El hecho de que esta

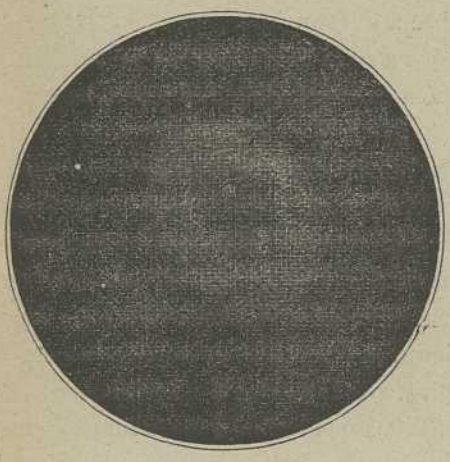


FIG. 279.—Nebulosa anular en la «Lira».

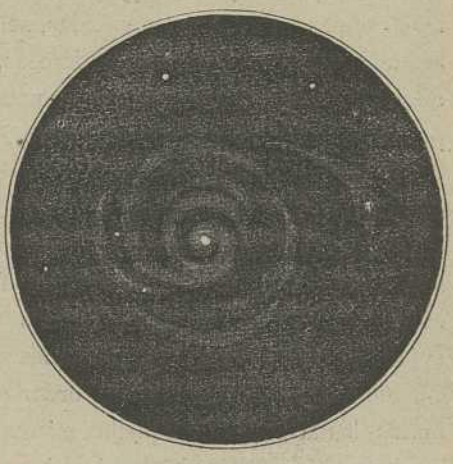


FIG. 280.—Nebulosa espiral en los «Perros de Caza».

sombra es profundamente oscura, nos permite deducir que Júpiter mismo no tiene ninguna luz propia, mientras que la circunstancia de que estos mismos satélites se señalan sobre el disco de su planeta, ora cual puntos brillantes, ora como sombras, así como de que muchas veces su sombra parece mayor que el satélite mismo, hace verosímil la suposición de una envoltura atmosférica de Júpiter. Y si quisiéramos llevar más adelante nuestro paralelo entre las investigaciones de los astrónomos sólo con relación á este planeta, á cuya observación dedicó Galileo el anteojo recién inventado, recibiendo en recompensa, el primer día, el descubrimiento del más hermoso de los satélites de Jupiter, nos quedaríamos maravillados por las soluciones que aquellos estudios nos dan á problemas muchos de los cuales en vano serían planteados con la misma precisión refiriéndonos al planeta que habitamos.

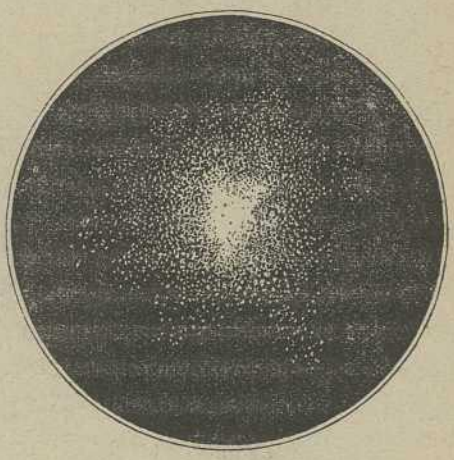
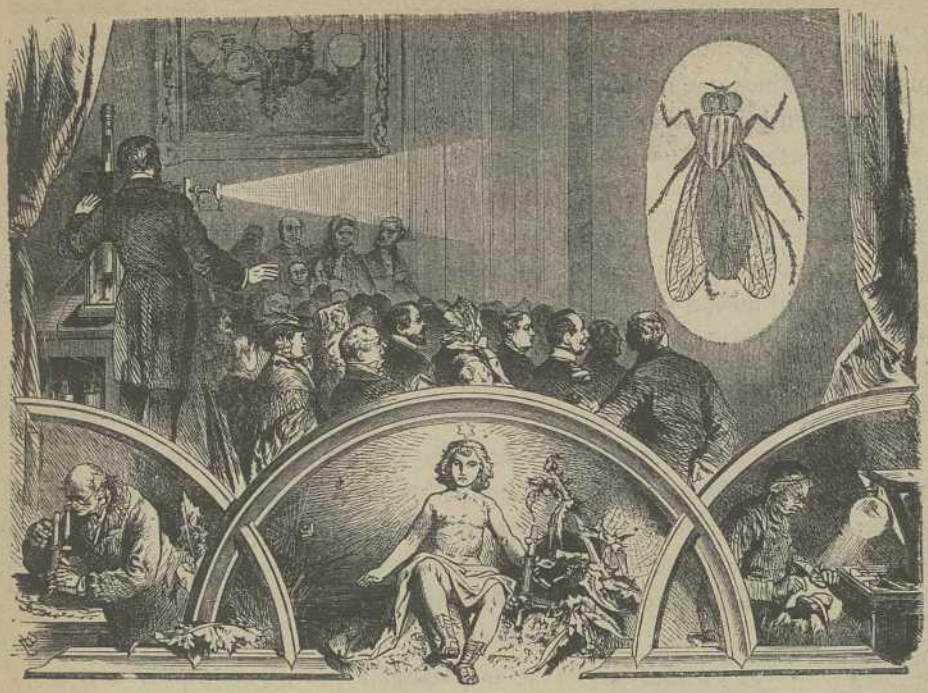


FIG. 281.—Grupo de estrellas en «Hércules».

Podemos reconocer la condición corpórea de todos los astros de nuestro sistema solar. Pero ni los anteojos que aumentan muchos miles de diámetros pueden hacernos reconocer á las estrellas de otro modo que cual puntos lumi-

nosos, sin diámetro aparente. Y al observar una de esas opalinas nubes de luz dirigiendo hacia ellas aparatos de aumentos cada vez mayores, podemos, sin embargo, distinguir en su seno más y más puntos luminosos aislados, cada uno de los cuales es un nuevo sol, un mundo diferente. Si nos fijamos en la forma de su agrupación y si comparamos en nuestra imaginación la causa de ésta con las acciones mecánicas conocidas, se abre á nuestra inteligencia un campo de acciones tan inmensamente poderosas, que sólo la conciencia de la armonía y estricta regularidad de las leyes naturales es capaz de darnos una base que permita sujetar nuestro pensamiento.

Dirijamos nuestra atención á las diferentes nebulosas representadas en las figuras 279 á 281. ¡Cuántas ideas acuden á nuestra mente, de mundos en formación, atracciones de masas, acciones rotatorias y otros fenómenos fundamentales semejantes! ¿Debemos comparar estas formas con las de Saturno, ó más bien será el sistema solar á que pertenecemos una partícula en comparación con aquel enjambre de mundos?... ¿Y osaremos admitir, á través de estos espacios de inconcebible inmensidad como ordenadoras, sustentadoras é impulsoras de las masas, las acciones de aquellas mismas fuerzas que retienen unos junto á otros los átomos cuya magnitud ínfima les coloca en los límites de la nada?



EL MICROSCOPIO

Un mundo nuevo.—El microscopio simple.—Vidrios de aumento.—Leeuwenhoeck.—El microscopio solar, inventado por Lieberkuhn.—El microscopio compuesto y su construcción.—Microscopio de Chevalier y el microscopio para varios observadores.—Reseña histórica sobre el descubrimiento y perfeccionamiento del microscopio.—Zacarías Jansen y Galileo.—Usos del microscopio.—Lo que se ve con él.

Los vidrios tallados en forma de lentes nos abren las puertas de la naturaleza en dos direcciones diametralmente opuestas. El telescopio conduce nuestra mirada por el espacio infinito, siempre más y más lejos. El microscopio descorre ante nuestros ojos el velo de las mismas leyes aplicadas á lo más reducido, á lo infinitamente pequeño; nos muestra formas admirables del imperio de aquellas mismas fuerzas que enlazan todo el Universo, las cuales parece que permiten desarrollar, hasta llegar á los átomos mismos, el secreto de la armonía, así como al inspirado Kepler se revelaba en la marcha de las esferas.

A nuestro alrededor existen dos mundos, uno el de lo infinitamente grande, otro el de lo infinitamente pequeño, estando nosotros en el límite entre ambos. Pero afanoso el espíritu, intenta investigar lo que hay más allá de este límite, y tiende puentes en el aire, sobre los cuales se eleva para contemplar de cerca

lo esperado y lo inesperado. El telescopio y el microscopio son dos de estos puentes; caminos que conducen al dichoso viajero á comarcas inapreciablemente lejanas, en las cuales ningún obstáculo se cruza ante su paso, á través de regiones portentosas y de sensaciones completamente nuevas y siempre variadas.

Allí donde se cierra hoy un horizonte, mañana es franqueado su paso por el hombre, acompañado de Minerva, la diosa de la ciencia bienhechora. Ella enseña la ley, al mismo tiempo que sus útiles aplicaciones, y la misma mano que muestra al naturalista la ruta, funde en las fraguas de Vulcano el arma protectora é ingeniosa. No es posible decir si tenemos más que agradecer á las artes mecánicas ó á los conocimientos científicos en la manera de estar constituídos los importantísimos instrumentos, telescopio y microscopio. Aquí la técnica es ciencia, y la sabiduría se acrecienta con el arte.

En principio, el descubrimiento del microscopio es mucho más antiguo que el del anteojo; pero el fenómeno del aumento de las imágenes, conocido hace mucho tiempo, sólo ha conducido á fines de alta importancia científica desde hace tres siglos y medio; y si consideramos los descubrimientos modernos en el terreno de la naturaleza orgánica, en parangón con los conceptos empíricos que antes se tenían sobre la misma, puede decirse ciertamente que el microscopio tiene para nosotros mayor importancia que el anteojo, pues mientras que éste sólo nos ha proporcionado la comprobación de las leyes ya conocidas, ó que pueden deducirse del conocimiento de la Tierra misma, aquél conduce al hombre á un mundo completamente nuevo, al propio taller de la Naturaleza, al terreno de las transformaciones orgánicas, y, por consiguiente, no sólo al estudio del ser, sino también al de su desenvolvimiento y de su vida.

MICROSCOPIO SIMPLE

La lente convergente ordinaria constituye ya por sí sola un microscopio, puesto que la imagen de un objeto observado á través de ella es mayor que el objeto mismo. Los primitivos recursos de aumento estaban reducidos exclusivamente á este sencillo instrumento, tallado en vidrio, el cual se colocaba en una armadura de cuerno ó de latón, y se llamaba ordinariamente una *lente*. Cuanto mayor es su curvatura, tanto más considerable es su fuerza de aumento, y en las llamadas lágrimas ó gotas de vidrio se utilizaban precisamente pequeñas esferas de esta sustancia para aumentar el tamaño aparente de los objetos.

Por más que Séneca cita ya la observación de que los objetos se ven mayores y más claros mirando á través de vasijas esféricas huecas, de paredes de vidrio llenas de agua, y á pesar de que existen otra porción de pruebas de que en la antigüedad se había observado ya muchas veces la fuerza amplificadora de

masas esféricas de vidrio, no parece que se haya hecho una aplicación consciente de este fenómeno hasta una época relativamente cercana. Los trabajos, de una delicadeza y elegancia notables, de los antiguos lapidarios griegos podrían dar ocasión á admitir que se hubieran llevado á cabo con ayuda de lentes de aumento; pero no se encuentra ningún testimonio de esta hipótesis en los documentos ó referencias de aquellas épocas, pues las lentes halladas en excavaciones podían muy bien haber servido exclusivamente como focos de calor, toda vez que las vírgenes vestales sólo podían encender de nuevo el fuego sagrado, cuando éste se extinguía, por medio de la luz solar. El árabe Alhazen fué realmente el primero que usó hacia mediados del siglo XI lentes propiamente dichas, de forma de segmentos esféricos, como cristales de aumento. Y sin embargo, tampoco este adelanto reportó consecuencias prácticas. Este hecho notable depende principalmente de que Alhazen y aun sus sucesores colocaban todavía sus vidrios directamente sobre las letras del escrito que querían ver aumentado, siéndoles completamente desconocido, al parecer, que se podía obtener un resultado mucho más favorable colocando la lente algo separada del objeto que se quiere observar, y más próxima al ojo.

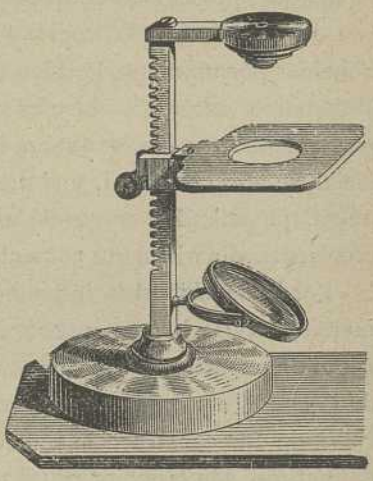


FIG. 282.—Microscopio simple.

Pero con el descubrimiento de los anteojos en el siglo XIII el arte de tallar las lentes se convirtió en una industria que rápidamente se extendió por todos los países; y como no podía menos de suceder, con estos cristales, convertidos en objeto usual, se fueron haciendo observaciones, bien intencionadas, bien casuales, que determinaban perfeccionamientos sucesivos de las lentes. Se dieron á éstas mayores curvaturas y se utilizaron también dos ó tres lentes superpuestas, colocándolas tan próximas entre sí, que todas obraban cual una sola, haciendo cada vez más convergentes los rayos. Esta combinación de lentes se llama *microscopio simple* (fig. 282.) Dichas lentes están provistas generalmente de una armadura de latón, y unidas á un pie, de modo que sean movibles y pueda utilizarse á voluntad su acción, aislada y combinadamente. El aumento de un instrumento de este género puede alcanzar un valor bastante considerable. Se han tallado lentes que daban un aumento de 300 diámetros, y con las lágrimas de vidrio obtenidas para este fin se podía elevar el aumento hasta 800 diámetros. Pero á esto iba unido el inconveniente de que, en la misma proporción que crecía la fuerza de aumento, disminuía el campo de visión. Sin embargo, se consiguió mejorar cuanto era posible este pequeño instrumento, y pronto se obtuvo

con un grado de perfección que permitía aplicarle á fines científicos. Los primeros de estos aparatos fueron todavía meras curiosidades, llamándoseles cristales para ver las pulgas y las moscas, y se refiere que el naturalista Scheiner, muy célebre en su época, al morir en una aldea del Tirol yendo de viaje, dió ocasión á un gran conflicto entre los aldeanos y el clero. Se encontró, efectivamente, en su equipaje un cristal maravilloso; al echar sobre él una mirada por curiosidad uno de los presentes, vió ante sus ojos un monstruo tan grande y horrible, que, persuadido de que había visto al mismo diablo, lo arrojó de sus manos lleno de terror. Lo cogió otro, y vió lo mismo. Naturalmente se tomó á Scheiner por un mago, hechicero, brujo, ó cosa así, puesto que llevaba consigo al demonio encerrado entre cristales, y se le quiso negar cristiana sepultura; pero mientras se discutía sobre la forma de librarse de aquel cadáver tan perjudicial, se abrió el cristal, y el pretendido diablo se reconoció ser una verdadera pulga, que, mirada á través de las lentes que la cubrían, aparecía ante los aldeanos extraordinariamente aumentada.

Por lo demás, estos instrumentos, que todavía hoy se encuentran en el comercio, servían la mayor parte de las veces sólo como un objeto de recreo; en cambio encontramos ya á Leeuwenhoeck, quien cultivó asiduamente el estudio de la estructura interna de los vegetales y animales con aparatos de esta misma clase, de una construcción sólida y esmerada, y sus excelentes dibujos, tomados del natural, son la mejor prueba de la perfección que había sabido comunicar á su instrumento. Adaptó las lentes á un pie vertical, colocando bajo ellas una pequeña tabla porta-objetos, la cual situaba á la distancia correspondiente en el foco del sistema de lentes, mediante un pequeño tornillo. Además agregó un aparato de iluminación, formado de un espejo cóncavo que daba, por la luz que enviaba sobre ellos, una gran claridad á los pequeños objetos observados. Estos accesorios han sido conservados y perfeccionados, modificándose de mil modos por sus sucesores (Muschenbroeck, Hooke, etc).

EL MICROSCOPIO SOLAR

Se halla por su estructura entre el microscopio simple y el compuesto. Mientras que en el primero de estos dos no se hace otra cosa que conducir al ojo los rayos procedentes del objeto que se observa bajo una convergencia mayor que la que poseían, en el microscopio solar se origina una imagen real, la cual, recibida á la distancia conveniente sobre un lienzo, reproduce al objeto invertido, pero también considerablemente aumentado; en el microscopio compuesto se observa, como en los anteojos de larga vista, mediante un ocular especial, la imagen real producida en el interior del tubo.

El microscopio solar está dispuesto exactamente según el mismo princi-

pio de la linterna mágica; sólo que en lugar de la pintura sobre vidrio, se coloca el objeto que se quiere observar encerrado entre dos láminas de vidrio. La iluminación se obtiene, como ya indica el nombre, por medio de luz solar directa, que es proyectada y concentrada sobre el objeto mediante la lente convergente de un helióstato. Cuando falta la luz solar, se ilumina también con lámparas de Argand, ó bien de luz Drummond, etc. (microscopio de lámpara ó gas oxhídrico). Las imágenes de este aparato no pueden tener contornos bien definidos y precisos, y esta circunstancia, inherente á la naturaleza del mismo, le hace inaplicable á investigaciones científicas; de aquí que el microscopio solar sólo sirva para espectáculos públicos, cuyo objeto es presentar aumentados de un modo sorprendente, y en su conjunto, ciertos objetos invisibles á simple vista, como el polen de las flores, el polvillo de las alas de las mariposas, las corazas silíceas de diminutos rizópodos, formación de cristales, etc., más bien que proporcionar á los espectadores una vista clara de los más pequeños detalles de su constitución.

En rigor, no se debería hablar de inventos á propósito del microscopio solar, puesto que su estructura estaba ya dada por la de la antigua linterna mágica, y la aplicación de los rayos solares en lugar de la llama de una lámpara para la iluminación no puede considerarse como una innovación esencial. Sin embargo, se atribuye generalmente el invento al amsterdanés Lieberkuhn, el cual mostró públicamente las imágenes producidas con uno de estos aparatos, cuyo conocimiento le había sido transmitido por Fahrenheit, muerto en 1736, y sus sorprendentes efectos, que excitan en alto grado la fantasía, conquistaron muchos aficionados á las investigaciones microscópicas.

EL MICROSCOPIO COMPUESTO

Ofrece la particularidad notable de que, á pesar de que su descubrimiento es tan antiguo como el del microscopio simple, quedó tan retrasado respecto á éste en su perfeccionamiento, que hasta comienzos del siglo actual puede decirse que todas las investigaciones microscópicas han sido hechas con dicho microscopio simple. La causa por la cual se dió esta preferencia al citado microscopio simple, llevado hasta un grado tan alto de perfección, reside en la dispersión cromática, en los bordes coloreados que hacían confusas las imágenes del microscopio compuesto, cuya causa desapareció cuando se aprendió á construir buenos sistemas de lentes acromáticos. Pero cuando se adquirió en esto alguna facilidad, la posibilidad de obtener aumentos más considerables, así como un mayor campo de visión, y de impedir la aberración de esfericidad que se hace tan perceptible en las lentes simples que casi no pueden utilizarse más que los rayos que vienen inmediatamente próxi-

mos al eje, fué motivo suficiente para que todos los afanes se dirigieran hacia el perfeccionamiento del microscopio compuesto. Este último se diferencia del simple, según ya hemos mencionado, en que reune dos sistemas de lentes, un objetivo y un ocular, de modo que el primero engendra una imagen real del objeto observado, que se forma efectivamente en el interior de un tubo, y esta imagen real es observada por el sistema ocular que aumenta su tamaño. No tenemos más que recordar la disposición del anteojo de larga vista, para que inmediatamente comprendamos con toda claridad lo que sucede en el aparato representado por la adjunta fig. 283. *A B* es el objeto observado, cuya imagen se formará en *A' B'* por la acción del objetivo *C D*, si la lente colectora colocada antes de este punto no hiciera más convergentes los rayos, obligándoles á formar antes la imagen *A'' B''*. Los rayos que parten de esta última se refractan á través del ocular *G H*, y por la acción convergente de éste parecen proceder de *A''' B'''* situada á la distancia de la visión distinta.

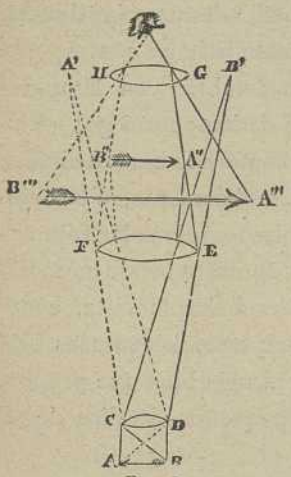


FIG. 283.
Principio del microscopio compuesto.

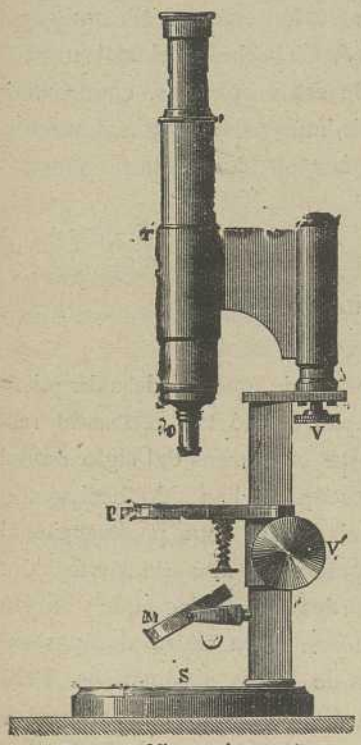


FIG. 284.—Microscopio compuesto.

Este es el principio fundamental de todo microscopio compuesto. Cuantas modificaciones puedan introducir los ópticos en la disposición exterior de sus instrumentos, no alteran en lo más mínimo la colocación respectiva de las lentes. El número de cristales es en la inmensa mayoría de los casos mucho mayor que en nuestro dibujo; pero esto depende, en primer término, de que en lugar de una lente biconvexa, se adaptan de preferencia dos plano-convexas; como ocular se emplea de ordinario el de Campani (fig. 262); como objetivo se ponen varias lentes unas tras otras, y por combinaciones diferentes de éstas se obtienen distintos grados de aumento; todavía, además, se duplica actualmente el número de lentes en los instrumentos, por el uso exclusivo de lentes acromáticas.

La fig. 284 representa una de las formas usuales que se dan al microscopio compuesto. El tubo *T* lleva sus principales partes componentes, ó sean las lentes, el ocular *O'* y el objetivo *O*. Este tubo

está ennegrecido interiormente como el de un telescopio, y provisto de diafragmas en los puntos convenientes. Está unido al pie vertical, y puede adquirir un movimiento suave de ascenso ó descenso mediante el tornillo micrométrico *V*, lo cual permite darle una posición exactamente apropiada sobre el objeto.

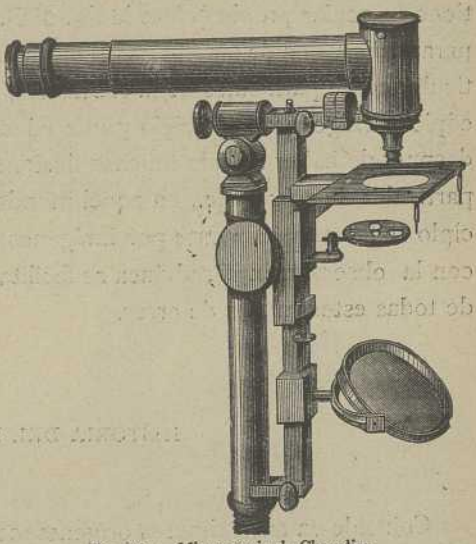


FIG. 285.—Microscopio de Chevalier.

Previamente se obtiene la posición aproximada haciendo correr el tubo en la armadura que le sujeta en *T*. El objeto que se quiere observar se halla sobre el portaobjetos *P*, que se adapta á la columna ó pie del aparato, á lo largo del cual puede también correr mediante un piñón que engrana con una varilla dentada. El portaobjetos mismo, *P*, es una mesita agujereada en su centro para que la luz reflejada por el espejo cóncavo *M*, convenientemente colocado, pueda iluminar al cuerpo objeto de la observación. Con objeto de graduar según los casos la cantidad de luz, se emplea un diafragma con orificios de diferente diámetro, los cuales pueden colocarse haciendo girar el diafragma sobre el orificio del portaobjetos. Los cuerpos opacos se iluminan por arriba mediante lentes convergentes.

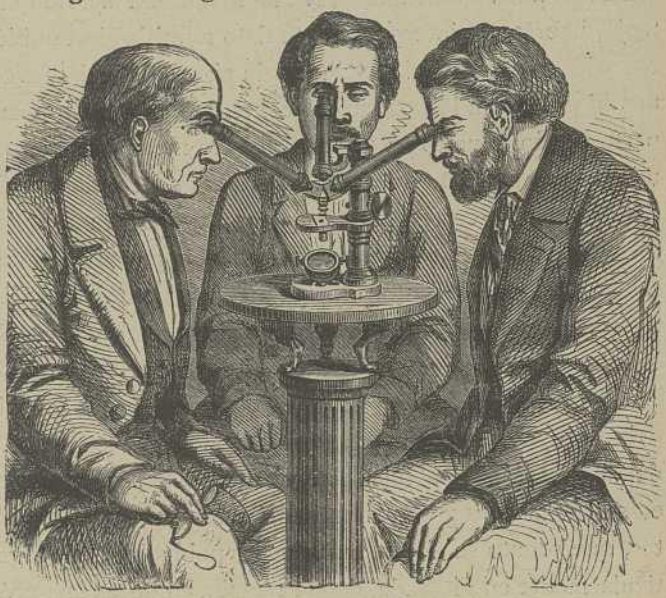


FIG. 286.—Microscopio para tres observadores.

Chevalier ha dado una construcción, mediante la cual los rayos reflejados totalmente á través de un prisma de cristal colocado en el tubo *a* (fig. 285) llegan en dirección horizontal al ocular, de modo que el observador no tiene que mirar de arriba abajo, sino en dirección natural. Por la interposición de un prisma tallado en forma especial se ha conseguido también construir instrumentos por los cuales varias personas pueden observar

á un mismo tiempo determinado objeto. Este prisma está colocado sobre el sistema objetivo de lentes como en el microscopio de Chevalier; cada observador tiene su ocular propio (véase la fig. 286). Esta disposición tiene ciertas ventajas para la discusión de las observaciones cuando se trabaja en colaboración, y particularmente para fines de la enseñanza, pues la observación de objetos microscópicos exige gran ejercicio y una educación de la vista que sólo se adquiere después de haber sufrido muchas ilusiones por la presencia de burbujas de aire, partículas de polvo, etc., en aquel mundo desconocido, y las cuales en un principio se toman fácilmente por imágenes completamente distintas. Ahora bien; con la observación simultánea se facilita mucho el reconocimiento y distinción de todas estas causas de error.

HISTORIA DEL MICROSCOPIO

Coincide en sus primeros orígenes con la historia de las lentes y el descubrimiento de los anteojos, según ya hemos mencionado. También hemos visto ya que estos últimos pertenecen á una antigüedad muy remota, y si admitimos que la llamada esmeralda de Nerón le hubiera servido efectivamente como anteojo, habría que interpretar este dato admitiendo también que ya entonces era conocida la construcción y modo de obrar de las lentes cóncavas; pues á Nerón nos lo presentan los escritores contemporáneos como corto de vista. Por otra parte Bacón (muerto en 1392) sólo hace mención de lentes convexas, que recomienda á los ancianos, los cuales suelen padecer de presbicia. El descubrimiento de los anteojos corresponde todavía á una época anterior á Bacón; probablemente fué verificado á fines del siglo XIII por Armati de Florencia, siendo difundido su conocimiento principalmente por Alejandro de Spina. La primera noticia auténtica sobre ellos procede del año 1299, y consiste en las palabras siguientes: «los vidrios recién descubiertos, llamados anteojos, son una verdadera bendición para los pobres ancianos de vista cansada.» Un invento tan beneficioso debió propagarse rápidamente á todos los países, y efectivamente, á principios del siglo XIV los anteojos eran conocidísimos en Harlem, según cita Humboldt en su *Cosmos*. Su gran consumo dió ocasión á una nueva industria, la talla de lentes, que pronto se ejerció en todas las poblaciones de alguna importancia, y particularmente en Holanda, donde reinaba entonces una próspera actividad, se cultivó mucho este arte, y la pequeña ciudad de Middelburgo ha adquirido, por consecuencia de él, un nombre de orden en la historia de los descubrimientos científicos, puesto que en los talleres de sus artistas fué descubierto, no sólo el anteojo de larga vista, sino también el microscopio. Se han confundido con frecuencia los dos sucesos de ambos descubrimientos modernos, y de aquí que

encontremos á propósito del microscopio los mismos pretendientes que se atribuían respectivamente la idea primogénita del telescopio.

Particularmente se atribuye derecho á este invento á Cornelius Drebbel, y Galileo por los holandeses é italianos respectivamente, pero según resulta de las últimas indagaciones, ni unos ni otros tienen razón, pues ha quedado establecido que el primer microscopio salió á fines del siglo XVI (probablemente ya en 1590) del taller de Jansen, el óptico de Middelburgo, cuyo nombre se cita siempre, es verdad, junto con los dos anteriores, pero sólo en sentido de adlátere. Las investigaciones rigurosas ya citadas á propósito del anteojo de larga vista, que hizo practicar Guillermo Boreel, quien se llama compañero de la infancia de Zacarías Jansen, hijo de Hans Jansen, con objeto de salvar el honor de su ciudad natal, Middelburgo, en el proceso iniciado con motivo de aquel descubrimiento, dan por resultado que mucho antes del descubrimiento de Lippershey se había inventado en la familia de los Jansen un aparato óptico complejo, que, lo mismo que el anteojo de larga vista, se llamaba entonces por brevedad simplemente anteojo, pero cuya descripción revela que no era otra cosa que un microscopio compuesto. Lo indeterminado de esta denominación fué, pues, causa de que se haya considerado á los Jansen como inventores del anteojo de larga vista, y á Lippershey como primer constructor del microscopio.

FIG. 287.—Zacarias Jansen.

Jansen regaló uno de éstos, tal vez el primero, al príncipe Mauricio de Nassau, recibiendo por ello una recompensa. Cuando Boreel fué en 1619 á Inglaterra de embajador, vió en manos del gran matemático Cornelius Drebbel, un instrumento de este género que, según decía él mismo, había recibido como regalo del archiduque Alberto. Este microscopio constaba de un tubo de cobre dorado de un centímetro de diámetro, sostenido por tres delfines de latón que se apoyaban sobre un disco de ébano, en el cual estaba situado también el mecanismo para sujetar el objeto que se quería observar. Pero es probable también que Jansen hubiera regalado un microscopio al príncipe austriaco, y que dicho microscopio fuera el instrumento poseído por Drebbel. Ahora bien; los que conocen las tendencias del vulgo, propicio siempre á atribuir grandes cuali-

dades á quienes brillan por su posición social ó su fama, mientras que á los desconocidos difícilmente les reconoce grandes méritos, no se admirarán de que la opinión pública haya preconizado como inventor del microscopio al citado sabio, cuyo nombre gozaba de aquel esplendor, y que construyó su aparato según el modelo de Jansen, mostrándolo á sus numerosos amigos y relacionados. Nadie pensó en el modesto óptico de Middelburgo. Un pariente de Drebbel, Jacobo Kuppler, de Colonia, fué á Roma el año 1622 y quiso ser presentado en la corte pontificia, bajo pretexto del nuevo y maravilloso instrumento; pero murió, sin embargo, antes de haber encontrado ocasión para dar á conocer el microscopio. Desde París se enviaron también entonces otros microscopios á Roma; pero era tan desconocido allí el nuevo invento, que hasta la llegada de Galileo no se consiguió ver claramente los objetos con él. Muy probablemente fueron éstos los instrumentos que copió Galileo, y según los cuales construyó el microscopio que envió en 1624 á Bartolomé Imperiali, de Génova. Ciertamente que en 1612 ya parece que Galileo había regalado un microscopio al rey Segismundo de Polonia; pero no se ha encontrado ninguna indicación acerca de la construcción, ni modo de obrar de este aparato, y además, hasta 1624 no se volvió á decir una palabra de ningún instrumento de esta clase, debido á Galileo. En los últimos años se dice que perfeccionó considerablemente el microscopio y construyó gran número de ellos. Se desprende, pues, de lo dicho, con suficiente claridad, que tanto en este descubrimiento como en el anteojo de larga vista, no cabe á Galileo otra gloria que la de haber adquirido desde un principio el conocimiento profundo de ambos aparatos, así como haber contribuído á su perfeccionamiento y difusión.

Pero en cambio esta gloria fué merecida por Italia en alto grado, pues en este país la ciencia empleó con entusiasmo en sus investigaciones el nuevo instrumento; de suerte que su uso diario dió ocasión á multitud de perfeccionamientos. Francisco Stelluti había investigado ya en 1625, microscópicamente, la anatomía de la abeja; Marcelo Malpighi, de Bolonia, demostró la circulación de la sangre en los vasos capilares de la membrana interdigital de las ranas; el óptico Divini puso en el ocular, en lugar de una lente biconvexa, dos planoconvexas que se tocaban por el centro de sus superficies curvas. De este modo se corrigió considerablemente la aberración de esfericidad; Campani inventó el ocular que lleva su nombre.

En Inglaterra, Roberto Hooke dió al público en 1665 su micrografía, ó sean observaciones sobre la estructura de algunas partes del organismo vegetal y animal, las cuales había hecho con instrumentos fabricados por sí mismo. Su microscopio constaba de un tubo dividido en cuatro partes, que podían enchufar unas en otras, y en el cual se hallaban el ocular, el objetivo y el colector. Mediante un tornillo, podía aproximarse gradual y suavemente este tubo al objeto observado. Por otra parte, Galileo había dado ya á su instru-

mento la disposición de tubos movibles. Después de Hooke, merecen citarse en la historia de las investigaciones microscópicas los ingleses Henschaw y Nehemías Grew. En Alemania adquirió fama, en lo que se refiere al perfeccionamiento del microscopio, Sturm de Nurenberg, principalmente porque, con objeto de evitar la aberración de esfericidad y la cromática y conseguir, por consiguiente, en lo posible, imágenes bien limpias y sin coloración, formó el objetivo, por vez primera, con dos lentes combinadas, bien biconvexas las dos, ó bien una plano-convexa y una biconvexa. Pero como quiera que no consiguió el objeto que se proponía y que los citados defectos sólo en parte se evitaban también con las lentes propuestas por Huyghens, de gran distancia focal, subsistió la predilección hacia el microscopio simple, mientras que el microscopio compuesto sólo se usaba por algunos, y á modo de prueba.

Los perfeccionamientos en la disposición mecánica del microscopio compuesto se refieren principalmente al portaobjetos y al aparato de iluminación. El primero se proveyó bien pronto de un tornillo fino, según la idea de Hooke; para el segundo se emplearon lentes y aparatos de espejos, bien separados, bien combinados entre sí. La construcción empleada primeramente por el alemán Hertel sirvió de norma para las disposiciones posteriores. Adaptó á su microscopio un espejo que era movible en todas direcciones y podía, por consiguiente, adquirir cualquiera posición respecto al objeto; el portaobjetos llevaba un orificio circular para los cuerpos transparentes, y para los opacos una lámina blanca ó negra, según los casos. El tubo era movible sobre un gozne y podía recibir un tornillo micrométrico ó un micrómetro para las mediciones microscópicas. Los instrumentos de Hertel, por su excelente manejo, sirvieron muchas veces como tipo á otros ópticos posteriores, como Martí, Adams, Reinthaler de Leipzig, Brander de Ausburgo, etc., y su disposición se conserva todavía, en lo más esencial, en los microscopios actuales.

Por esta época se introdujeron ya en el comercio colecciones de objetos microscópicos, para los aficionados á estudios científico-naturales.

Pero el alma propiamente dicha del microscopio, las lentes, recibieron su más perfecta confección después de Euler. Como quiera que la dispersión cromática de las imágenes, que todavía no se había podido evitar, era muy perjudicial, Roberto Barker y otros pretendieron introducir microscopios reflectores, en los cuales, como en los telescopios reflectores, el objetivo estaba sustituído por un espejo cóncavo; pero la extrema debilidad luminosa de las imágenes hizo inútil esta tentativa. Dellabare, por el contrario, trató de disminuir la aberración de esfericidad por una combinación particular de su ocular, y de aumentar el campo por la interposición de una lente colectiva. Del mismo modo que Sturm, empleó también diferentes objetivos para obtener distintos aumentos, y con el mismo fin dispuso su tubo de modo que pudiera prolongarse. El mismo Dellabare no empleó todavía, sin embargo, lentes dobles

acromáticas, á pesar de que usaba las dos clases de vidrio; crown y flintglás que sirven para formar aquéllas; más bien fué Aepinus el que hizo esto por primera vez, después de lo cual los holandeses Beeldsnider, Jan y Herman van Deyl construyeron excelentes microscopios. Los instrumentos de Aepinus tenían todavía el defecto de llevar lentes de distancia focal demasiado grande, por lo cual, eran excesivamente largos y de un manejo muy incómodo. Los objetivos de van Deyl, de los cuales cada microscopio llevaba ordinariamente dos, tenían en cambio una distancia focal de unos 30 milímetros, y aun á veces de quince, y constaban de una lente biconvexa de crownglás, y una casi plano-convexa de flintglás; y según Harting, debieron ser tan excelentes que aventajaran con mucho á las mismas lentes posteriormente fabricadas.

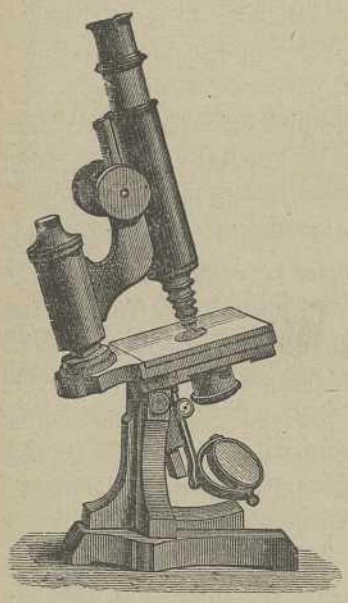


FIG. 288.—Microscopio con eje movible.

En realidad pasó aún mucho tiempo antes de que los ópticos pudieran satisfacer las exigencias siempre crecientes de los adelantos de la ciencia; así que el microscopio de Fraunhofer todavía no podía considerarse realmente como la última palabra, si bien las ideas de este genio fueron las que hicieron aproximarse á otros hacia la perfección. Apoyándose en las determinaciones de Fraunhofer, el físico francés Ernesto Selligue dió al óptico Chevalier instrucciones para la construcción de un microscopio que aventajó en su acción á todos los existentes. Tenía éste cuatro lentes dobles acromáticas de 37 milímetros de distancia focal, las cuales podían reunirse entre sí, cuya disposición se ha manifestado de resultados magníficos en todas las construcciones posteriores. Pero aparte de esto, las imágenes perdían en claridad, porque Chevalier había puesto en su objetivo la superficie curva de la lente hacia el lado del objeto. Amici, estimulado por el éxito de este aparato, abandonó su microscopio reflector sobre el que había comenzado á trabajar, y se dedicó también de nuevo á la construcción de lentes objetivos. Pero ordenó sus lentes de tal suerte, que tanto en el objetivo como en el ocular las caras planas quedaban hacia fuera, y de este modo evitó, casi por completo, la aberración de esfericidad (lentes aplanáticas). El año 1827, en el cual Amici terminó su primer microscopio de este género, deberá ser, por tanto, considerado siempre como formando época en la historia de la óptica práctica.

El microscopio compuesto triunfó con esto del simple, y este triunfo se fué consolidando cada vez más en los años sucesivos. Los nombres J. y S. Merz é hijos, en Munich; Robert, en Greifswald; Plössl y compañía, en Viena; Schieck,

en Berlin; Ross, Powells, Smith y Beck, en Londres; Siebert y Kraff y Ernesto Seitz, en Wetzlar; Doctor E. Hartnack y G. A. Prazmowski, en París y Potsdam, Benêche y Wasserlein y Wappenhaus en Berlín, Zeiss en Jena, etc., etc., van gloriosamente enlazados á los importantes descubrimientos que estos últimos treinta años han aportado en tan gran abundancia sobre la vida orgánica; pues estos descubrimientos, en su inmensa mayoría, sólo ha sido posible obtenerles con el auxilio de microscopios como los fabricados en los talleres de aquellos artistas.

EL USO DEL MICROSCOPIO

La generalización que ha encontrado en estos últimos tiempos el instrumento en cuestión como consecuencia de lo módico de su precio, y la afición á los trabajos microscópicos aneja á esta generalización, nos mueven á decir todavía algunas palabras á propósito del manejo del microscopio.

En primer término, no se limita nuestra aspiración á la observación de las preparaciones microscópicas como las que circulan en el comercio por todas partes, sino que si se quiere hacer por sí mismo dichas preparaciones, es importante proveerse de un estuche, en el cual se encuentren, según el profesor Willkomm, los objetos siguientes: cierto número de portaobjetos, pequeñas láminas rectangulares de vidrio de espejos, perfectamente puro, y de dos milímetros de grueso, además de pequeños discos de cristal sumamente finos para proteger las preparaciones, ó sea los llamados cubreobjetos, algunos cuchillos de corte bien afilado y agujas, unas tijeras, unas pinzas, una piedra de afilar, un trozo de cuero para el mismo objeto, algunos pinceles de cabello, vidrios de reloj, varillas de cristal, capsulitas de porcelana, una lámpara de alcohol, una pequeña lente y cierto número de reactivos químicos, como ácido acético, solución de cloruro de calcio, glicerina, tintura de yodo, alcohol absoluto, ácido sulfúrico diluído, ácido nítrico, barniz copal, bálsamo de Canadá y solución azucarada. Como cuchillo para las preparaciones, se puede utilizar una navaja de afeitar fina, inglesa, que tenga, en lo posible, una hoja lo más delgada y perfectamente plana (no hueca), la cual se deberá pasar con frecuencia por la lámina de cuero para suavizar el corte; para cortar objetos duros como cuerno, madera, etc., se necesitarán cuchillos de hoja más fuerte, pero también plana; los objetos blandos, como las secciones de partes vegetales ó de cuerpos muy pequeños, como pelos y otros, se preparan entre corcho, colocando el objeto entre las dos mitades de un tapón de corcho fino, apretando éstas entre sí, y cortando en sentido perpendicular al eje del tapón discos de corcho bien delgados. En este caso es conveniente agregar, por medio de un líquido gomoso, varios de estos objetos menudos, y hacer cortes de la manera indicada, del haz así

obtenido. Las agujas para estas preparaciones consisten simplemente en hilos de acero duro, sumamente delgado, y deben tener una punta completamente libre de óxido, con cuyo objeto se pasan frecuentemente por una piedra fina de afilar. A más de las agujas rectas, se emplean también otras dobladas en la punta en forma de gancho, para preparar directamente los objetos sobre el microscopio.

Pero también se estudian microscópicamente los minerales y las rocas, y este estudio ha proporcionado en los últimos treinta años resultados eminentes, por consecuencia del impulso que le han comunicado sabios como Sorby, Zirkel, Vogelsang, Fischer, Rosedbusch, Miguel Lévy y otros. Ahora bien; para este caso es diferente la obtención de las preparaciones. En otros tiempos se limitaba la aspiración de los observadores á examinar bajo el microscopio el polvo fino ó fragmentos del mineral suficientemente delgados, para que dejaran paso á la luz á través de su masa; procedimiento imperfecto que no permitía realizar ninguna determinación analítica precisa; pero después se ha aprendido á obtener de los materiales mineralógicos más duros, laminitas tan delgadas, que aparecen completamente transparentes, y mediante las cuales únicamente es posible someter estos cuerpos á investigaciones sistemáticas y eficaces. Estas secciones ó cortes delgados, como se llaman, fueron ya obtenidos por William Nicol, y el célebre físico inglés sir David Brewster hizo ya con ellas particularmente observaciones importantes sobre la estructura cristalina, el contenido y la formación mineralógica de las rocas (1813 á 1845).

Sin embargo, sólo cuando Sorby dió á luz sus notabilísimos trabajos «Sobre la estructura microscópica de los cristales como carácter para descubrir la constitución de los minerales y rocas,» se llegó á reconocer todo lo provechoso de este método, siendo aceptado por todos los naturalistas, y considerado, por último, desde entonces el microscopio cual un medio auxiliar irreemplazable para los estudios mineralógicos y geológicos. Después Fernando Zirkel, con sus prolijas investigaciones y su excelente descripción de las observaciones, contribuyó como el que más á popularizar esta clase de estudios; de tal suerte, que su cultivo vino á adquirir un carácter como de diversión.

La obtención de las secciones delgadas se verifica á partir de laminitas lisas que se consiguen, bien en forma de astillas, golpeando con un martillo, bien cortándolas de la masa mineral mediante una pequeña sierra circular. Estas laminitas se hacen completamente planas y lisas por una cara, frotándolas cogidas al principio con la mano, sobre una lámina plana de hierro recubierta de polvo de esmeril cada vez más fino, ó bien por presión sobre la cara lisa de una muela fina. Una vez obtenida, lisa y plana una de las caras de la lámina, se pega, mediante bálsamo del Canadá, á un pequeño disco de vidrio de espejos, y entonces se desgasta de igual modo por la otra cara, hasta que se adelgace bastante para poder ver á través de ella lo escrito en un impreso sobre

el cual se halla colocada. Esto sólo sucede en muchos minerales cuando el espesor se reduce á unos 0,02 milímetros escasamente. Llegado este punto, y después de limpiar la superficie del polvillo de esmeril, se cierra la preparación con un cubre-objetos, mediante el bálsamo del Canadá, y se tiene así ya dispuesta para la observación microscópica.

Por medio de ésta se reconocen entonces los elementos mineralógicos de que está compuesta la roca en cuestión, los cuales se muestran unos junto á otros, pero distinguibles entre sí, pudiendo determinarse con gran seguridad la naturaleza de estos elementos por sus caracteres particulares, como color, forma, estructura, particularidades ópticas, contenido, etc.; pero además se pueden descubrir también indicios importantes acerca del modo de formación de la roca misma, bien que haya habido enfriamiento lento ó rápido de un fundente, bien que haya tenido lugar en presencia de vapores ó por sedimentación en el seno del agua, etc.

Al hablar de la luz polarizada hemos tenido ya ocasión de ver cómo su manera de conducirse es distinta al atravesar cuerpos cristalizados ó amorfos, y aun en los primeros también difiere según el sistema cristalino á que pertenezca el cuerpo. Para reconocer caracteres distintivos tan sutiles, basta sólo el corte en láminas delgadas que ofrece á los cuerpos dotados de transparencia, y el microscopio provisto del aparato de polarización. Pero, además de esto último, se usan también otros accesorios, cuya mención nos llevaría aquí demasiado lejos.

Los talleres de Benêche y de Wasserlein, en Berlín, ofrecen microscopios que bastan para la mayor parte de las investigaciones (tres sistemas objetivos que dan de 15 á 400 diámetros de aumento, con caja y accesorios), por el precio de 112 pesetas 50 céntimos; otros mayores, propios para investigaciones fisiológicas, por 187 pesetas 50 céntimos; como instrumentos más delicados son recomendables los de Kellner, en Wetzlar; Plössl y Oberhäuser, y Zeiss. Un aparato algo completo cuesta por sí solo sobre 1.125 pesetas y más; los mayores microscopios ingleses, que contienen una multitud de accesorios, en parte innecesarios, tienen asignado próximamente un precio corriente de 1.875 pesetas á 3.000; los excelentes microscopios de Hartnack (Postdam) así como de Gundlach (Charlotenburgo) están dispuestos de un modo muy conveniente para los estudios geológicos.

Siempre acompañan á estos instrumentos datos acerca del aumento de los diferentes sistemas de objetivos. Sin embargo, cuando no se tiene seguridad sobre éstos, ó bien en el caso en que se quiera comprobar el poder aumentante del instrumento mismo, se hace uso de micrómetros completamente semejantes á los que hemos dado á conocer al hablar de los anteojos de larga vista, ó bien de una disposición parecida á la de la camara lúcida, en la cual se hace coincidir, mediante un espejo, la imagen aumentada de una escala microscópica con otra escala de magnitud conocida. Por la comparación de las magnitudes de

ambas se puede calcular fácilmente la relación correspondiente al aumento. El mayor aumento que puede usarse con los mejores instrumentos es el de 1.500 diámetros próximamente. Este límite, que generalmente no se excede nunca, es también acaso el extremo hasta el cual permite llegar el poder aumentante de los sistemas de lentes; en la actualidad, al menos, no existe ninguna esperanza de hacer realmente utilizable un aumento mayor, pues ya hacia los 900 diámetros de aumento la imágenes se hacen tan débiles y confusas que en muchos casos no pueden utilizarse para fines científicos. En la Exposición de París del año 1867 se encontraba un microscopio de Hartnack que, por el empleo simultáneo del objetivo y ocular más fuertes, daba un aumento lineal de 5.000 diámetros, y con él ofrecía todavía imágenes bien iluminadas; pero, sin embargo, en tales imágenes disminuye mucho la precisión de los contornos y detalles, careciendo ya de estas cualidades en la proporción necesaria para que las observaciones puedan dar resultados seguros. En estos últimos tiempos no se intenta ya, por esta causa, acrecentar el aumento de los microscopios, sino que más bien los progresos de la técnica se dirigen á obtener, dentro de los límites de aumento antes indicados, imágenes cada vez más brillantes, más claras y más detalladas. En los microscopios usuales se puede también dar mayor valor al aumento con los mismos lentes, sacando el tubo y alejando, por consiguiente, el ocular del objetivo; siendo esta circunstancia de tener en cuenta, si al comprobar el aumento de un microscopio, cuando el ocular está en la posición ordinaria, no parece aquél corresponder al valor que se le atribuye.

Según ya queda dicho, un microscopio puede realizar un aumento muy considerable, ofreciendo, sin embargo, imágenes no utilizables. La claridad y fuerza penetrante, así como la magnitud del cuerpo de visión, son, pues, de influencia mucho más esencial que el aumento en la apreciación del mérito de uno de estos instrumentos. Existen ciertas preparaciones con ayuda de las cuales se pueden comparar muy bien los microscopios bajo este punto de vista, como, por ejemplo, las escamitas que constituyen el polvillo de una mariposa llamadas *Hipparchia Janira*, cuya preparación se vende ya en forma apropiada en los comercios de los ópticos. Dichas escamitas muestran, cuando el aumento es suficiente, primero un gran número de costillas lineales paralelas, y después, con aumentos mayores, estas especies de líneas salientes aparecen unidas entre sí por un tejido reticular de líneas transversales extraordinariamente finas. Si estas líneas transversales pueden reconocerse con un aumento de 3 á 400 veces en un microscopio de tamaño medio, puede éste considerarse como bueno.

Porque un principiante no obtenga buenas imágenes con su microscopio no debe, sin embargo, considerarle como inútil. La falta estará en él probablemente. En primer término, depende todo de la obtención de buenas preparaciones. Como quiera que en la mayor parte de los casos es preferible la

iluminación por transparencia á la por reflexión, de aquí que los objetos deban estar preparados en láminas sumamente tenues ó delgadas. Esto no es tan fácil; pero un ensayo previo con la lente permite reconocer ya si se ha conseguido ó no aquel objeto. En caso favorable, la preparación se moja con una gota de agua destilada, se coloca sobre el cristal y se cubre con el portaobjetos de modo que no quede interpuesta ninguna burbuja de aire ni otro cuerpo extraño cualquiera. Sobre todo es necesaria la mayor limpieza, debiendo ser lavados y enjugados cuidadosamente todos los cristales cada vez que se usan, para lo cual es mejor emplear un pañito de hilo viejo y bien limpio. Los reactivos químicos que se emplean para el tratamiento de los objetos durante la observación, no deben ponerse en contacto con las partes metálicas del microscopio, así como tampoco ensuciar las lentes, pues éstas están constituídas por una clase de cristal que contiene plomo y es muy fácilmente atacable.

En las investigaciones microscópicas conviene emplear primeramente débiles aumentos, con un campo de visión más considerable, y sólo cuando se han reconocido en esta forma las partes del objeto más apropiadas, someterlas á una difusión mediante el empleo de vidrios más potentes. Las preparaciones que salen bien se conservan de un modo especial, con objeto de evitar las influencias de los agentes exteriores perjudiciales, sobre todo cuando están formadas por sustancias orgánicas, cerrando los bordes del cubre-objetos con papel, ó también con barniz de asfalto ó goma copal disuelta en espíritu de vino. Se les da transparencia permanente poniendo antes de colocar el cubre-objetos y cerrar la preparación una gota de agua, espíritu de vino, esencia de trementina, bálsamo del Canadá, ó disolución de cloruro cálcico, entre los dos cristales, según la naturaleza de las sustancias contenidas en aquélla. Los cortes de rocas se colocan, como ya se ha dicho, en bálsamo del Canadá.

¿QUÉ ES LO QUE SE VE CON EL MICROSCOPIO?

El pintar, siquiera fuera sólo á grandes rasgos, la influencia que sobre el progreso de todas las ramas de las ciencias naturales ha ejercido el microscopio, sería empresa superior á nuestras fuerzas. Se necesitaría para ello el espacio de una obra voluminosa; pues si ya en el terreno del mundo inorgánico la geología ha adquirido nuevos horizontes por el uso del microscopio, casi toda la historia de las ciencias orgánicas puede decirse que es una paráfrasis de los descubrimientos que van asociados al invento del óptico de Middelburgo. Por esto, si al abandonar el terreno de la óptica penetramos en algunas consideraciones finales, y para hacer resaltar ante nuestra inteligencia los frutos que ha producido la investigación y el reconocimiento de los admirables fenómenos observásemos desde lejos, y á vista de pájaro, el mundo, recientemente revelado á nuestro es-

píritu, de lo infinitamente pequeño, sólo alcanzaríamos á percibir lo más superficial, el aspecto exterior de paisajes sembrados de abundante y rica vegetación; pero el velo que cubre á las flores más encantadoras, á las formas más delicadas, sólo se descorrerá ante los ojos del que pueda abismarse en alguna de estas encantadoras profundidades.

El microscopio, así como su hermano el telescopio, al permitirnos penetrar con nuestra mirada en las profundidades y misterios del espacio infinito, ensancha también los límites del tiempo apreciable por nuestro espíritu. Al resolver los objetos en sus partes componentes, nos muestra el modo de ser de éstos, permitiéndonos adquirir ideas sobre las circunstancias bajo las cuales se ha construído lo existente, y sobre las fuerzas que han tenido que agitarse y luchar en laboriosa gestación dentro del inmenso marco de la existencia, antes de recorrer todas las transformaciones, cuyas huellas todavía subsisten á nuestra espalda, aunque sólo á modo de un gran molde ó esqueleto. Tomemos en la mano un trozo de creta, y coloquemos en el microscopio el menudo polvillo que queda adherido á nuestros dedos. ¡Qué tesoro de figuras regulares, cuya causa se debe á la vida orgánica! Todo el trozo de esta masa blanca no consta de otra cosa que de caparazones diminutos silíceos y calcáreos, correspondientes á seres animales que existieron en otro tiempo; valvas politalámicas y esqueletos de tal pequeñez, que en un centímetro cúbico de creta existen agrupados muchas veces más de 298.000 millones. Y sin embargo, en los Alpes hay montañas cuya altura asciende á miles de metros, y que están formadas exclusivamente por estos restos animales; ¡y aun tales formaciones cretáceas se extienden desde los 57° de latitud N. hasta del cabo Horn! Pues bien: estas partecillas, no sólo pueden distinguirse por su origen, sino que los seres á que corresponden han sido clasificados respectivamente, del mismo modo que clasificamos los peces ó las aves.

Ehrenberg, el célebre investigador del mundo microscópico; el que tiene la gloria de haber visto por vez primera más cosas nuevas que ningún otro hombre, y de haber enriquecido las ciencias naturales con el mayor número de nuevos conocimientos, contó en la creta de Gravesend (fig. 289) 51 valvas politalámicas diferentes; en la creta de Antilibanon (fig. 290) encontró 43, pudiendo aprender, el que sea curioso, por la comparación de ambas figuras, cómo es forzoso atribuirlas á formaciones separadas por el tiempo y el espacio, pues hasta la influencia debida á épocas posteriores se manifiesta de modo indudable al ojo armado del poderoso auxiliar á que nos referimos.

Los resultados de la investigación microscópica de las rocas, particularmente el estudio de los terrenos de sedimento estratificados, han sido reunidos y ordenados por Ehremberg, formando una ciencia casi independiente de las demás, llamada microgeología, la cual está llamada á escribir todavía los capítulos más importantes de la historia de la formación de la Tierra.

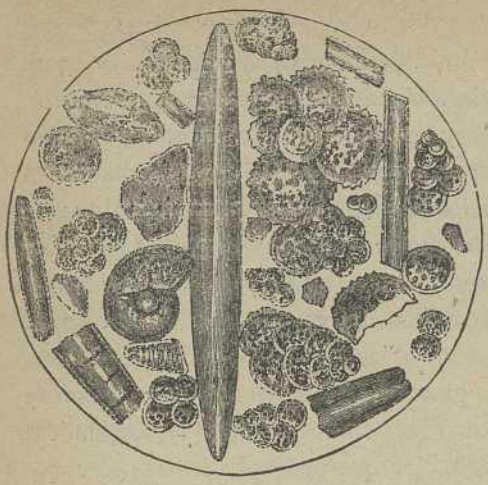


FIG. 289 —Creta de Graveshend.

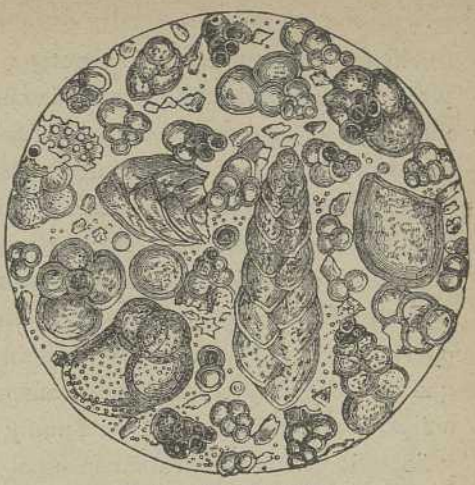


FIG 290.—Creta de Antilibanon.

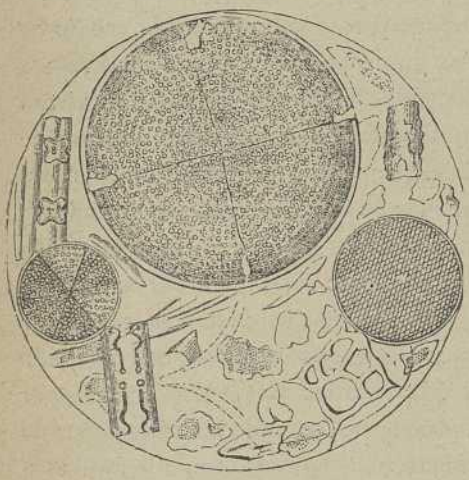


FIG. 291.—Guano.

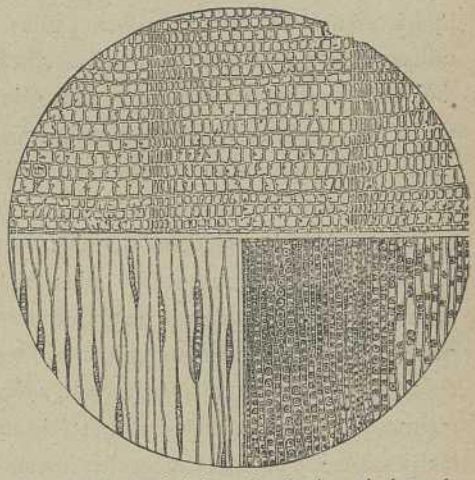


FIG. 292.—Anatomía de la madera de pino: mitad superior. Sección transversal; cuarto inferior derecho. Corte radial; cuarto izquierdo. Corte tangencial.

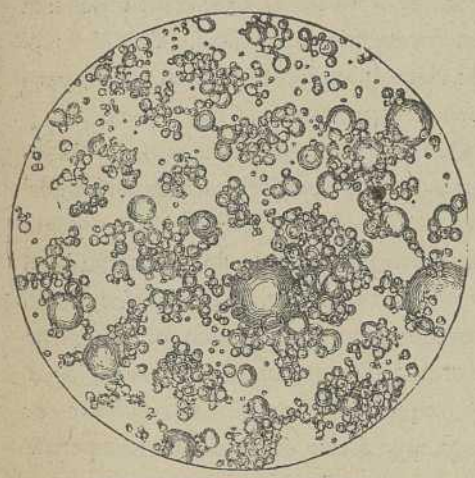


FIG. 293.—Manteca de vacas, pura.

FIG. 294.—Batista de hilo puro.

Penetremos en el mundo vegetal. Se trata de un arroyuelo de limpias aguas y rápida corriente; su fondo se halla cubierto de un césped verdoso que está formado por un alga cuyas ramas se cruzan y entrelazan tupidamente. Tomemos algún trocito de césped al comenzar la primavera, con objeto de someterle á nuestra observación. Si separamos cuidadosamente algunos filamentos y los colocamos en el microscopio, éste nos mostrará que consisten en cavidades utriculares, unas veces simples, otras divididas en células, en cuyo interior se hallan algunas esferitas ó pequeños granos. Éstos, llamados esporos, al llegar la época oportuna, comienzan á ejercer presión contra las paredes de su cárcel, hasta que las rompen, y entonces salen afuera, ya sueltas, ya en tropel, y poseídas de animados movimientos, corren á uno y otro lado sobre el agua, sumergiéndose y flotando alternativamente con una agitación que podría hacernos creer que aquella planta había dado á luz seres animados, pero es otra la causa de esta apariencia. Estos corpúsculos notables, aunque parece que reman por medio de una especie de pelillos ó pestañas vibrátiles y que se mueven con una vivacidad extraordinaria, como por medio de pedículos flotadores, lo hacen en virtud de impulsos completamente involuntarios; su agitación en torbellino depende de miles de circunstancias casuales, haciéndoles tropezar sobre los obstáculos presentes y permanecer muchas veces suspendidos en la pared del vaso girando alrededor de su eje, mientras que las criaturas dotadas de movimiento voluntario retrocederían rápidamente de ellas. Este movimiento ciliar ó vibrátil es un fenómeno natural muy general en el mundo orgánico, y cuya verdadera causa todavía no se halla completamente aclarada. Después que nuestros esporos han divagado de 10 á 20 minutos en su agitación, se hace ésta cada vez más lenta, llegando, por último, á quedar en reposo al cabo de unas dos horas, cesando las vibraciones de las pestañas, y aun desapareciendo estas mismas; los esporos toman la forma esférica, surgen prolongaciones en varios puntos de su superficie, y creciendo éstas, se forma el alga propiamente dicha. Hemos observado el nacimiento de una planta; los esporos son verdaderos gérmenes vegetales ó semillas. ¿Y cuál es el tamaño de uno de estos esporos? A simple vista difícilmente pueden verse; pero con un aumento de 400 diámetros aparecen del grueso de un hueso de cereza y en su forma propia. Ahora bien; del mismo modo que estas primeras agitaciones vitales de una planta, nos muestra el microscopio todos los secretos de su desarrollo completo; nos ilustra sobre la esencia íntima de la fructificación, así como sobre las funciones que verifica cada una de las partes de la flor. Observado á simple vista el polvillo que se suele desprender de las flores, ó sea el *polen*, como dicen los botánicos, le tomamos simplemente por un polvo tenue, en el cual no podemos observar otra cosa que su color ordinariamente amarillo; pero si le ponemos sobre la platina de un microscopio, aquel polvillo farinoso resulta estar constituído por cuerpos de figura regular, y cuya forma determinada nos permite reconocer con toda certeza la planta de que procede. Vemos que cada grano

de este *polen* consta de un núcleo interior, provisto de una película sumamente fina, que está envuelta por otra membrana más externa con diferentes excrecencias, pelos, orificios, etc., por los cuales puede salir aquél, como se ve en *c*, *d* y *e III* en nuestra fig. 295. Y si proseguimos el desarrollo ulterior de estos granitos se nos revelará claramente la utilidad de su curiosa confirmación. Sabemos que además de los *estambres* que contiene el *polen* en las *anteras*, la flor posee el *pistilo*, órgano femenino. Este *pistilo* que la fig. 296 (4) nos muestra aumentado, consta de una porción inferior ensanchada, el *ovario*, en el cual están contenidos los huevecillos *e* fijos á sus paredes por medio de robustos pedúnculos, del *estilo d* y del *estigma*, la parte superior que contiene pequeñas células vesiculares que segregan un líquido azucarado y viscoso. Con ayuda de este líquido el estigma retiene los granos de *polen* que llegan á la superficie, y produce una dilatación de la membrana tenue interior que sobresale en forma de tubos filiformes por los orificios de la membrana exterior. La formación de estas prolongaciones utriculares en los granos de *polen*, constituye su germinación.

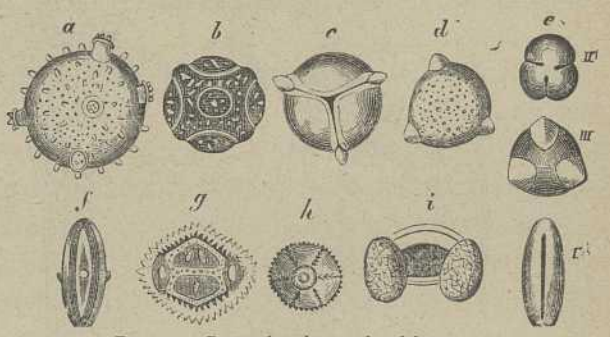


FIG. 295.—Granos de polen: *a*, de calabaza; *b*, de pasionaria; *c*, cuphea procumbens; *d*, de cardo silvestre; *e*, de enredadera; *f*, de sauce; *g*, de botón de oro; *h*, de achicoria; *i*, de pino de Génova.

En la fig. 296, núm. 4 *d*, está representado el grano de *polen* germinado de la flor del lirio (*Convallaria Mayalys*) en dos, el de la rosa silvestre; en tres, el del pepino silvestre. Pero además el número 4 muestra cómo los apéndices polínicos, en los cuales se ha vertido el líquido viscoso contenido en el núcleo, se prolongan por el interior del estilo, que á veces es muy largo, hasta penetrar dentro del ovario, donde alcanzan á los huevecillos á través del pequeño orificio superior, llamado hilo de ombligo (véase los números 5, 6 y 7); y vertiendo en el interior de éstos su contenido, producen la fecundación de dichos huevecillos. En los números 5 y 6 está representado el fenómeno tal como tiene lugar en diferentes fases de su desarrollo en la corona imperial *(fritillaria imperialis)* mientras que el núm. 7 muestra una semilla esférica policelular, *c*, de la *pictia obovata*, planta acuática tropical.

Todavía no se ha alcanzado con estas enseñanzas el límite hasta el cual nos permite penetrar la fuerza resolutiva del microscopio; pero en este sitio no podemos seguir más adelante á propósito de investigaciones más sutiles, cuya comprensión exigiría otros conocimientos previos que hemos podido explanar en el espacio de que hemos dispuesto. Ahora bien; las observaciones citadas hacen ya resaltar que el conjunto de los conocimientos así adquiridos ha tenido

que influir extraordinariamente en la claridad de nuestros conceptos sobre la esencia de las generaciones orgánicas, y que estos conocimientos nos revelan también medios de favorecer de un modo racional el crecimiento y la floración y fructificación, eliminando influencias perjudiciales y acrecentando la utilidad inmensa del reino vegetal para la satisfacción de diversos fines.

Sólo como consecuencia del uso del microscopio nos es conocida la *célula* cual órgano elemental de las plantas, y la botánica se ha convertido en una

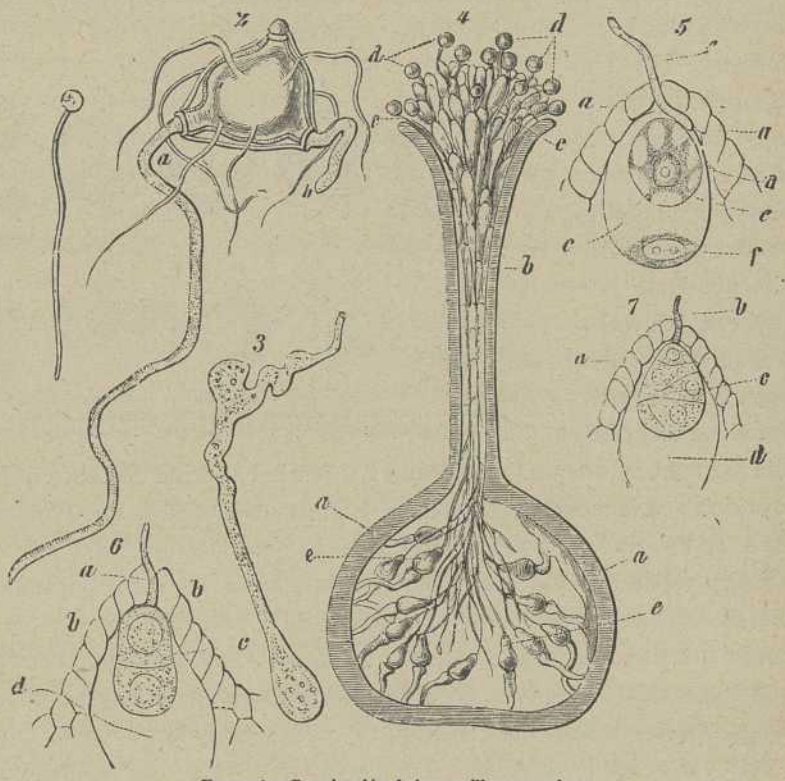


FIG. 296.—Germinación de las semillas vegetales.

ciencia propiamente dicha, mediante la fisiología vegetal, que estudia las metamorfosis de la vida orgánica y el crecimiento, así como sus causas.

Esos mohos que alteran el pan y otros alimentos, se convierten bajo el microscopio en el más frondoso bosque, cuya riqueza en formas es mucho mayor que la de nuestras selvas. El moho de la uva consta de filamentos celulares que se reproducen, bien por división, bien por unos ovarios especiales con innumerables células germinales. De este modo pueden propagarse y crecer con una rapidez extraordinaria.

Y no sólo las enfermedades de la patata, por ejemplo, sino también muchos padecimientos de los animales y del hombre mismo, como las caspicies de las criaturas en la primera edad están caracterizadas por la presencia de cier-

tos vegetales, particularmente de criptógamas, habiéndose revelado como muy probable, en virtud de las investigaciones más modernas, que un gran número de enfermedades, las cuales tienen por carácter principal alteraciones químicas de la sangre ó de otros líquidos del organismo, se hallan en íntima correspondencia con la presencia de animales ó vegetales microscópicos.

Hongos, bacterias, bacilos. ¿Quién no ha oído hablar ya de estas formas inferiores de los organismos vivos, cual causas probables de las enfermedades más terribles, el cólera, la difteria, el carbunclo, etc.? Su descubrimiento sólo se debe al microscopio; su estudio detallado, y, como consecuencia también, el conocimiento de los medios más eficaces para combatirlas, no podemos esperarlo sino de este mismo instrumento.

Los reinos animal y vegetal se tocan por todos sus puntos limítrofes. Vienen á empalmar entre sí, y las distinciones que las clasificaciones superficiales y sistemáticas pretenden haber establecido con tanta precisión, desaparecen tanto más completamente, cuanto más penetramos en sus profundidades. Al llegar al extremo de estos límites, nos encontramos, no ya en las fronteras entre el reino vegetal y el reino animal, sino en el de la existencia orgánica en general, y los conocimientos que habíamos reunido por uno de ambos lados, nos sirven de guía excelente en el terreno del otro.

Las diatomeas, criaturas de microscópica pequeñez que á simple vista sólo llegan á percibirse cuando se hallan reunidas millones de ellas en una masa común, consisten en una envoltura silícea que contiene en su interior alguna cantidad de mucílago, y aparece unas veces como barquichuelos, otras como varillas, escalerillas, cribas, discos, etc., etc. Su multiplicación, fabulosamente rápida, se produce, bien por germinación, bien por división. Viven en el agua ó en la tierra húmeda. Pero ¿cómo viven? Fluctúan y oscilan en el agua; esto es todo. No se descubre ninguna traza de órganos para la prehensión de los alimentos, ni otra señal cualquiera de la vida animal, por más que tampoco corresponden tales criaturas al concepto ordinario de las plantas. Son, por decirlo así, el primer escalón de la vida orgánica. Erhenberg encontró que casi todo Berlín se halla asentado sobre seres de esta clase, que viven todavía en las capas superiores del terreno. Como quiera que sus caparazones silíceos son imperecederos, la multitud de ejemplares muertos es mucho mayor aún que la de los vivos. Sus restos constituyen capas de roca silícea, la llamada tierra de infusorios, etc, que forman, como la creta, verdaderas montañas.

Lo mismo que para la botánica, el microscopio ha venido á constituir el medio de progreso más esencial para todas las ciencias cuyo objeto es el estudio de los organismos animales. El tosco empirismo en el tratamiento de las enfermedades ha tenido que ceder su puesto á métodos racionales, puesto que se ha aprendido á reconocer, por la observación más exacta de sus órganos elementales, las funciones de los nervios, de la piel, de los músculos, y referir á sus ver-

daderas causas las transformaciones que constituyen el curso normal de la vida corpórea. El microscopio distingue con toda exactitud la sangre humana de la de los animales, y con la misma certeza revela un crimen horrible que descubre la falsificación de un tejido ó de un producto de mayor precio.

Se cuenta el número de glóbulos sanguíneos en este líquido tan particular que conserva nuestra vida, enseñándonos á socorrer su pobreza ó á rebajar su abundancia. ¿Qué médico podría pretender curar una enfermedad de la piel si no supiera en qué forma funciona ésta en nuestro organismo? Los órganos mismos de nuestros sentidos, los laboratorios más importantes á quienes somos deudores de todos nuestros conocimientos, no nos han sido conocidos en sus funciones íntimas hasta que hemos podido investigar microscópicamente su estructura interna.

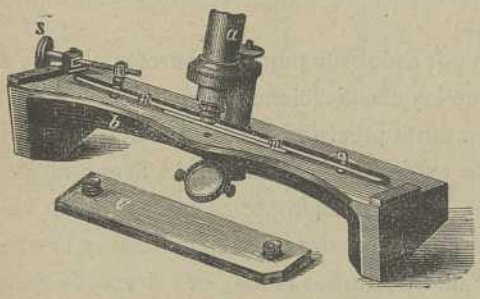


FIG. 297.—Microscopio de los investigadores de la carne.

No tendremos que acudir á épocas muy lejanas para encontrar ejemplos de lo dicho. Hace sólo treinta años, el doctor Zenker, de Dresde, descubrió pequeños animales parásitos, trichinas que existían en mayor ó menor proporción en los músculos de los cadáveres, y parecían hallarse en relación con ciertos fenómenos patológicos. Desde el momento en que se fijó la atención sobre estos importunos huéspedes, el número de los casos observados creció de un modo inesperado; y como quiera que en algunos de estos casos, y no raros, la muerte, ocurrida en medio de grandes sufrimientos, no podía menos de considerarse como consecuencia de ésta á modo de emigración parasitaria, adquirió el asunto una importancia y una urgencia considerables. Ya por las observaciones de los gusanos intestinales, sobre todo por las investigaciones á propósito de la tenia, se sabía que muchos animales verificaban ciertas metamorfosis en el seno de otros animales de diferente tamaño, y no transcurrió mucho tiempo sin que, siguiendo las huellas más significativas, se encontrara que la trichina se introducía en el cuerpo humano preferentemente por la comida de carne de cerdo cruda. Al cerdo probablemente no son molestos estos inquilinos; pero introducidos en el cuerpo del hombre, se multiplican de un modo increíble, y entonces saben encontrar su camino agujereando las paredes del intestino hasta los músculos, donde se rodean de una cápsula calcárea y determinan los síntomas de dolor, á los cuales sigue una muerte inevitable. Seguramente la trichina no es ningún descubrimiento moderno; en otros tiempos habrán existido del mismo modo y habrá producido casos de muerte instantánea lo mismo que hoy; pero siendo desconocida su verdadera causa, se podía atribuir á cualquiera de las muchas que era posible concebir. Sucedió que se sospechó en algunos casos la

existencia de un envenenamiento, y con motivo de estas sospechas se emprendieron investigaciones, cuya falta de fundamento sólo quedó completamente de manifiesto después que recientemente se pudo demostrar en los cadáveres desenterrados la presencia de la trichina.

En la actualidad, mediante el microscopio, los investigadores de las carnes pueden seguir perfectamente las huellas de estos odiosos animalillos. Nuestra fig. 297 muestra el instrumento adecuado al objeto, en la cual sólo se ve una parte del tubo microscópico, cuyo ocular es de Huyghens y los objetivos acro-

FIG. 298.—Trichina macho.

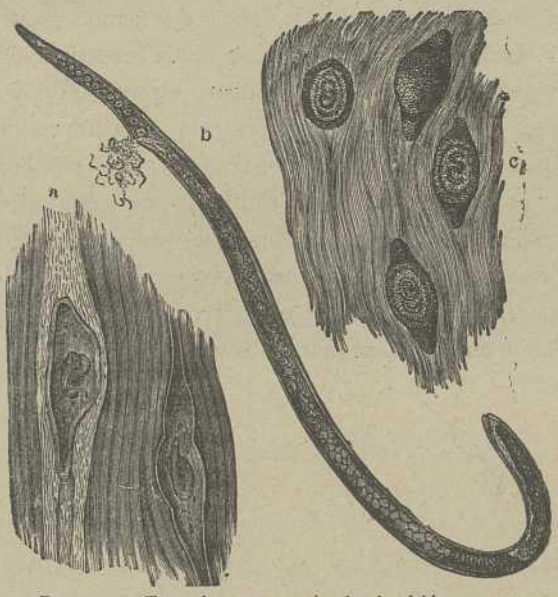


FIG. 299.—*a* Trozo de carne con cápsulas de trichina en corte; *b*. Trichina hembra; *c*. Carne con cápsulas de trichina incrustada.

máticos son tres y permiten un aumento de 50, 100 y 207 diámetros respectivamente. Las figuras 298 y 299 reproducen vistas microscópicas de la trichina en sus diferentes fases.

Al lado de tales resultados, de incalculable valor material, el microscopio nos suministra, cual ningún otro instrumento, una pureza en los conceptos, una claridad en las ideas, con las cuales han recibido las ciencias exactas una significación altamente reformadora. El microscopio ha cortado una por una las raíces de la superstición, esa hierba que crece vigorosa en los campos abonados por la ignorancia y la indolencia.

¿Qué espanto no han producido al vulgo falto de instrucción fenómenos cua lluvias de sangre, de azufre y otros por el estilo? Pues bien; el microscopio ha enseñado á referirlos á sus verdaderas causas. El primero de los citados fenómenos consiste en la aparición de algunos infusorios extraordinariamente tenues, que por la rapidez extraordinaria de su multiplicación se han llamado *mó-*

nadas maravillosas. Erhemberg ha conseguido estudiar con la mayor exactitud estos pequeños infusorios. Descubrió sus analogías, observó su desarrollo y midió su tamaño, que alcanza desde $\frac{1}{1.500}$ hasta $\frac{1}{4.000}$ de línea, de suerte que para llenar un centímetro cúbico se exigen de 2.550.000.000.000 á 50.000.000.000.000. Las mónadas se mueven errantes y veloces mediante una pequeña trompa, y siendo cada uno de estos animalillos casi incoloro y sólo constituído por un par de puntos imperceptibles, apenas se puede concebir la multitud inmensa de tales individuos que deben estar reunidos para comunicar color rojo á campos nevados, que tienen muchas veces millas enteras de extensión. La lluvia de azufre se revela á la investigación microscópica como constituída por granos de polen de alisos, olmos, pinos y otros árboles.

Sobre la madera de sauce podrida y fosforescente se observa un alga microscópica que emite un brillo particular; y el resplandor delicioso de las aguas del mar es consecuencia de miriadas de pequeños animalillos que lucen por cientos de miles en cada gota. Ahora, ¿se podrá abrigar racionalmente el temor de que la investigación de la causa rebaje el encanto de un fenómeno que en su incomparable belleza subyuga poderosamente el espíritu del observador?

¡Y, sin embargo, se hacen á veces á las ciencias naturales tan necios reproches!

LA ELECTRICIDAD

Y LA INVENCIÓN

DE LA MÁQUINA ELÉCTRICA

Conocimientos de los antiguos sobre electricidad.—Ambar amarillo.—Electricidad por rozamiento.—Otto de Guericke.—Atracción y repulsión eléctricas.—Electricidad positiva y negativa.—Neutralización.—Conductores y aisladores. Velocidad de propagación.—Máquina eléctrica llamada de Holtz.—Máquinas eléctricas de disco y de cilindro.—Máquina hidro-eléctrica.—Electroscopo y electrómetro.—Electrización por influencia.—Electricidad disimulada.—Cuadro de Franklin.—Botella de Leyden y baterías.—Experiencias eléctricas.

LAS mujeres griegas de la antigüedad empleaban con preferencia en sus labores femeninas una especie de husos de ambar amarillo, ó adornados con esta sustancia, la cual tenían en gran estima. En efecto; por el rozamiento producido

entre el huso y los hilos de la lana, el ambar adquiría un estado particular tal, que atraía primero y después repelía á los pequeños filamentos que de aquélla se desprendían, y de este modo se ofrecía á aquellas mujeres, al hilar, un juego caprichoso, que las entretenía agradablemente.

Esta propiedad del ambar amarillo, de desarrollar una fuerza atractiva, le había también valido el nombre de *elektron*, de la palabra griega ἕλεκτρον, que significa atraer hacia sí, y sus denominaciones en otros idiomas (los latinos le llamaban *harpax*, raptor, los persas *caruba* «el que atrae á sí las pajuelas ó borras» de donde se formó la palabra *carabe*), significan que esta propiedad suya había sido advertida anteriormente de un modo general. Del nombre *elektron* se formó despues el de la fuerza misma particular á que se refieren estos fenómenos, llamándosela electricidad, y fenómenos eléctricos á los determinados por ella.

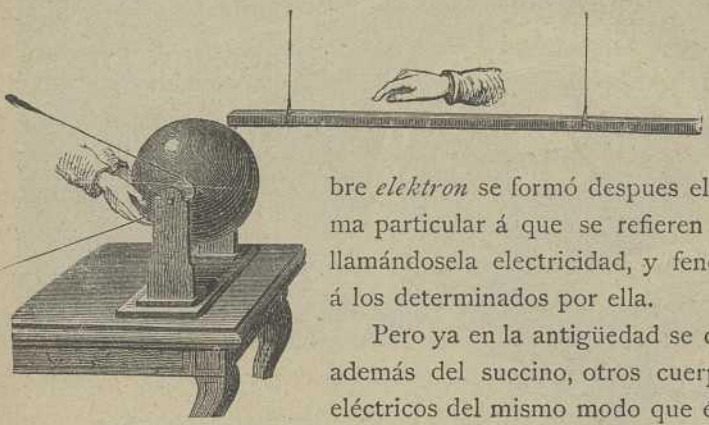


Fig. 300.—Primera máquina eléctrica de Otto de Guericke.

Pero ya en la antigüedad se conocían también, además del succino, otros cuerpos que se hacían eléctricos del mismo modo que él, por ejemplo, el jacinto; y con el transcurso del tiempo se ha reconocido que esta propiedad es tan general y da origen á manifestaciones tan variadas, que hoy día el tratado de la electricidad es uno de los más importantes de la Física, habiéndose revelado con su progreso aplicaciones extraordinariamente útiles y transcendentales para diferentes fines prácticos.

Es difícil dilucidar hasta qué punto llegaron los conocimientos de los antiguos sobre la inmensa serie de los fenómenos eléctricos. Parece que ciertos cultos religiosos, cuyo secreto se transmitían los sacerdotes de generación en generación, pudieron tener muy bien por base una instrucción científica, en general superior á la de la época, y por tanto un conocimiento más exacto que los del vulgo sobre la esencia de los fenómenos eléctricos en particular; pero, sin embargo, aun suponiendo que efectivamente todos estos fenómenos hubieran sido relacionados en una concepción sintética por el conocimiento de sus leyes, el hecho es que éstas habrían sido perdidas para la posteridad, careciendo de influencia en el desarrollo moderno de la ciencia eléctrica.

Esta última más bien parece haber nacido con William Gilbert, gran físico inglés que estudió considerable número de cuerpos bajo el punto de vista de sus propiedades eléctricas y reunió en su obra *De magnete*, que vió la luz en Londres el año 1600, una descripción notable de aquellos estudios.

La causa de que haya escapado durante tan largo tiempo á la mirada penetrante de los filósofos el conocimiento de la electricidad, que en realidad es una fuerza natural cuyos efectos son tan generales como los de la luz ó el calor, reside en que no poseemos un sentido ú órgano especial para percibir sus impresiones, y por tanto sólo nos afectan las acciones más enérgicas de dicha fuerza cuando van acompañada de efectos mecánicos, luminosos, caloríficos ó sonoros, cuyas acciones extraordinarias sólo tienen lugar en casos aislados y bajo circunstancias especiales. Pero después que Gilbert hubo demostrado que por medio del rozamiento podían ponerse en estado eléctrico un gran número de cuerpos, se iniciaron luminosas investigaciones físicas de este género. Se trató de encontrar medios para desarrollar en mayor escala la electricidad (que en un principio sólo se conocía en una de sus formas, aquella que se origina por el frotamiento), y Otto de Guericke construyó la primera máquina eléctrica vertiendo azufre fundido en un globo de vidrio, separando éste por la rotura de sus paredes y colocando la esfera de azufre así obtenida y atravesada por un eje sobre un soporte, en el cual le comunicaba, por medio de una manivela, un movimiento de rotación, mientras que frotaba su superficie con la mano izquierda.

Si el burgomaestre de Magdeburgo no hubiera roto la cubierta exterior de vidrio de la esfera, sino que la hubiera frotado con aquella misma, en lugar de hacerlo con la de azufre, hubiera comunicado un impulso mucho más considerable al invento de la máquina eléctrica; pero así dejó pasar inconscientemente una ventaja para este aparato que la casualidad ponía en sus manos. A pesar de esto, bien puede atribuírsele la gloria de haber producido la primera máquina eléctrica, con la cual, aunque tosca, verificó gran número de experiencias sumamente interesantes.

CONDUCTORES Y AISLADORES

La electricidad se propaga en ciertos cuerpos con extraordinaria facilidad, pudiendo recorrer cualquier distancia á través de éstos, que por lo mismo se llaman *conductores*, ó, mejor, *buenos conductores*. Por el contrario, en el seno de otros cuerpos sólo se mueve difícilmente, si bien del mismo modo que no hay cuerpos completamente conductores, es decir, que no opongan ninguna resistencia á la propagación de la electricidad, tampoco hay ninguno que impida en absoluto su paso ó que merezca el nombre de *aislador*.

Pertenecen, en primer término, al grupo de los buenos conductores los metales, después la tierra (esto es, la masa terrestre) y el agua, así como también el cuerpo humano y los vegetales verdes; en cambio, las resinas de todas clases, el aire atmosférico seco, el azufre, el cautchú, vidrio, seda y otros muchos cuerpos son malos conductores ó aisladores eléctricos.

La velocidad de propagación bajo la menor resistencia posible, ó sea en los mejores conductores, alcanza próximamente á 465.000 kilómetros por segundo; probablemente es diferente en los distintos conductores. Ya hemos dicho que aun los mejores conductores oponen todavía al paso de la electricidad una resistencia que es tanto mayor cuanto menor es su sección; se conducen como un tubo cuyo mayor ó menor diámetro sabemos que facilita ó dificulta la corriente de un líquido por su interior. A través del inmenso globo terráqueo, la propagación de la electricidad es instantánea.

ATRACCIÓN Y REPULSIÓN ELÉCTRICAS

Para hacer las experiencias eléctricas fundamentales no necesitamos indispensablemente ningún aparato complicado. Si frotamos una barra de lacre con un paño de lana y sostenemos aquélla encima de recortaduras de papel, pajillas, esferitas de corcho ó de medula de saúco ú otros cuerpos ligeros, advertiremos que éstos saltan rápidamente y se agrupan alrededor de aquella barra frotada, separándose de ella después de algún tiempo, ó más bien siendo repelidas por la misma.

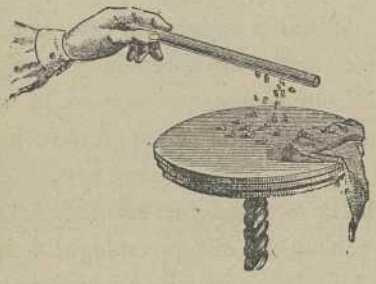


FIG. 301.—Atracción eléctrica.

Si en lugar de lo dicho suspendemos una esferita de medula de saúco por un

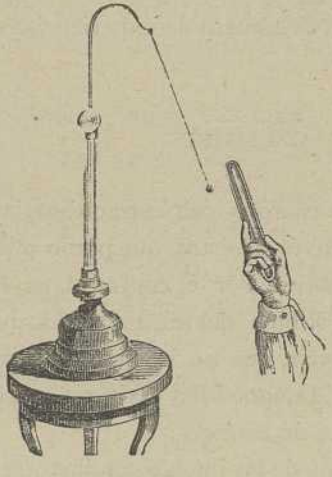


FIG. 302. Péndulo eléctrico.

FIG. 303.

hilo de seda delgado, podremos hacer la misma observación; este *péndulo eléctrico* es atraído por la barra, pero en cuanto la esferita llega á tocar á ésta, es repelida, de suerte que ahora se aleja como antes se aproximaba á ella. Un tubo

de vidrio frotado con una tela de seda atrae y repele á la esferita de medula de saúco al parecer exactamente lo mismo que la barra de lacre (para esta experiencia sirven preferentemente tubos de vidrio blanco y duro, de medio metro de largo y dos centímetros de diámetro). Sin embargo, existe entre la acción del lacre y la del vidrio una diferencia apreciable; pues si tomamos dos péndulos eléctricos como el anteriormente descrito y tocamos una de las esferitas de medula de saúco con la barra de lacre frotada, de suerte que adquiera su electricidad, y hacemos lo mismo con la otra esferita y el tubo de vidrio, la primera será repelida por la barra de lacre después del contacto, mientras que será atraída con mayor fuerza por el tubo de cristal, ó, por el contrario, la segunda, que habrá sido repelida por este último, se lanzará con avidez sobre la barra de lacre. (Figuras 302 y 303.)

ELECTRICIDAD POSITIVA Y ELECTRICIDAD NEGATIVA

La electricidad del vidrio es diferente de la electricidad de la resina. En el lenguaje científico, la primera se llama electricidad *positiva*, y la segunda electricidad *negativa*. Para mayor sencillez se suelen designar por $+E$ y $-E$. El primero que reconoció esta diferencia fué Du Fay (1773), y este descubrimiento fué uno de los más transcendentales que registra la historia de la Física.

Todos los cuerpos que se electrizan por frotamiento son electro-positivos, ó negativos, es decir, que en igualdad de circunstancias desarrollan siempre la una ó la otra clase de electricidad. Mediante el péndulo eléctrico podemos averiguar cuál es esta especie. En efecto, la esferita de medula de saúco adquiere electricidad positiva por el contacto por un tubo de vidrio frotado de suerte que es atraída por la barra de lacre, y lo mismo lo será por cualquier otro cuerpo electrizado negativamente. Esta acción recíproca entre ambas electricidades puede expresarse por el siguiente principio: *Electricidades del mismo nombre se repelen, y electricidades de nombre contrario se atraen.* En esta acción se funda el electróscopo que describimos al hablar de las máquinas eléctricas, así como el electrómede cuya disposición,tal cual lo presentó su inventor Bennet, da una idea la figura 304. Este aparatito consta esencialmente de dos pajitas ó de dos pedacitos de pan de oro, ó en general de dos cuerpecillos ligeros que están suspendidos mediante una varilla conductora de una esferita metálica. Dicha varilla atraviesa el tapón mal conductor de un frasco, de suerte que el sistema de la esferita metálica y de los cuerpecillos ligeros en comunicación con la misma está aislado eléctricamente. Si se comunica cierta electricidad á aquella esferita, de suerte que las pajuelas se electricen ambas de un mismo modo, se repelerán éstas entre sí, y la magnitud del ángulo que lleguen á formar permite deducir la intensidad relativa de la acción eléctrica. En general, este aparato no se utiliza

más que como electroscopio para demostrar la presencia de electricidad libre y su naturaleza positiva ó negativa.

Cuando dos cuerpos cargados de electricidad de un mismo nombre se ponen en contacto entre sí, la electricidad se distribuye entre ambos, de suerte que por toda su superficie reina una carga homogénea. Por el contrario, cantidades iguales de electricidad positiva y negativa se neutralizan en su acción al reunirse; se origina un estado semejante al que disfruta aquel que debiendo 100 pesetas y poseyendo otras 100, paga y queda en paz, aunque sin una peseta. Si queda un exceso de una de ambas electricidades, obra, como es natural, en el sentido correspondiente. La tendencia á reunirse de las dos electricidades opuestas es muy grande, y constituye la causa de la atracción que ejerce todo cuerpo electrizado sobre otro.

Fig. 304.—Electrómetro de Bennet.

Por más que las ideas sobre la esencia íntima de la electricidad (es decir, la forma de movimiento que la constituye á la manera como la luz y el calor consisten en ondulaciones etéreas), no son todavía muy claras y precisas, los fenómenos eléctricos conocidos pueden explicarse fácilmente mediante sencillas hipótesis. Una de estas suposiciones es, por ejemplo, la de que en todos los cuerpos existe una mezcla formada por cantidades iguales de electricidades positiva y negativa, que se considera como un fluido sumamente sutil, sin que con esto se quiera, sin embargo, significar una propiedad decisiva. Como es natural, en el estado ordinario de los cuerpos, aquel fluido no se hace perceptible en modo alguno, pues las acciones correspondientes á ambas electricidades se han de neutralizar entre sí por completo, según ya queda dicho. Mas por el rozamiento el fluido eléctrico queda desequilibrado tanto en el uno como en el otro de los cuerpos que rozan entre sí; en la superficie de contacto se restablece de nuevo el equilibrio, pero no así en las partes restantes de ambos cuerpos que quedan electrizados. Si, por ejemplo, se frota un trozo de lacre con un paño de lana, la mezcla eléctrica ó fluido neutro queda descompuesta en ambos cuerpos en sus partes positiva ó negativa; y de aquí que permanezcan, por último, en el lacre electricidad negativa, en el paño electricidad positiva, cuya presencia podría demostrarse en este último si no la quitáramos con nuestra propia mano y nuestro cuerpo mismo, que le pone en comunicación conductora con la tierra, en cuya inmensa masa se difunde. No debemos, sin embargo, dejar de llamar la atención muy particularmente sobre la circunstancia de que el concepto de fluido eléctrico es sólo una expresión figurada convencional, que permite concebir los fenómenos en comparación con lo

sensible; pero en modo alguno debe entenderse literalmente que la electricidad sea un verdadero fluido material.

En rigor, todos los cuerpos se electrizan por frotamiento; pero como los conductores, cuando no están sometidos á precauciones especiales, ceden de nuevo la electricidad á medida que la reciben, ha transcurrido largo tiempo antes de que se reconociera la posibilidad de electrizar dichos conductores. Sin embargo, cuando un conductor está rodeado de malos conductores, es decir, cuando se le aisla de modo que la electricidad no pueda transmitirse á la tierra, entonces puede comunicárseles y aun condensar en ella la electricidad. Parece que, conservando la hipótesis del fluido, dicha electricidad se extienda por la superficie de dichos conductores como una capa, la cual tiene en todos sus puntos el mismo espesor en el caso de una esfera; pero en cuerpos de otra forma cualquiera se distribuye de tal suerte, que la electricidad se acumula propiamente en las partes salientes, y en las partes lisas ó entrantes, por el contrario, existe en mucha menor cantidad. En una esfera hueca, con un orificio en su parte superior, no se encuentra, aun cuando esté fuertemente cargada, la menor traza de electricidad por su superficie interna; sólo en la película más exterior reside la electricidad. Cuando tratemos de los pararrayos, insistiremos especialmente sobre esta condición particular: vamos ahora á ocuparnos de nuestro objeto principal en el presente capítulo.

LA MÁQUINA ELÉCTRICA

Lo esencial de este aparato consiste hoy todavía, lo mismo que en la primitiva disposición de Guericke, en un cuerpo mal conductor, que es frotado, y un frotador por una parte, y por otra en un cuerpo que almacena la electricidad desarrollada, el llamado conductor. El frotador está en comunicación con la tierra mediante cuerpos conductores: el cuerpo frotado está aislado, por el contrario, Guericke se servía de su mano como frotador, según ya queda dicho; treinta años después todavía adoptaba el mismo medio Hawksbee, el cual, sin embargo, frotaba, en lugar de la esfera de azufre, una de vidrio que hacía girar también mediante un manubrio. La imperfección de estas máquinas primitivas se opuso durante largo tiempo á la generalización de su empleo; el mismo Du-Fay usaba todavía en sus experiencias tubos de vidrio ordinarios, por lo cual sólo podían engendrar pequeñas cantidades de electricidad. Más tarde la máquina eléctrica fué perfeccionada de diversas maneras por Hausen, Bose y Winkler, en Leipzig, y encontró rápida acogida. El último de los citados tomó como aparato de frotación un vaso ordinario de los empleados para beber cerveza, y unió su eje, mediante una correa, con una rueda que ponía en movimiento mediante un pedal, á la manera del torno ó banco de tornear; usó también en su

máquina, por vez primera, en el año 1740, los frotadores inventados por el tornero Giessing, de Leipzig, los cuales eran comprimidos contra el cilindro de vidrio rotatorio por medio de muelles.

El conductor de la máquina, que es generalmente un cilindro de metal hueco y cerrado que tiene por objeto recoger la electricidad desarrollada, había sido puesto antes en uso. El abate Nollet le aislaba, suspendiéndole de hilos de seda, pero no fué unido directamente á la máquina en la forma actual hasta Wilson, que introdujo también sus apéndices en forma de peines, cuyas púas se hallan enfrente de la lámina de vidrio frotada, y por las cuales se carga de electricidad.

Sería completamente superfluo consignar las diferentes y numerosas formas que los mecánicos han dado sucesivamente á la máquina eléctrica, pues de todas las innovaciones, pocas afectan á lo esencial hasta llegar á la máquina eléctrica por influencia, de Holtz, la cual descansa sobre un principio completamente distinto al de la de disco, y describiremos más adelante. En el fondo, el que la masa del vidrio frotada tenga forma de cilindro ó de disco, es exactamente lo mismo; y las modificaciones en la disposición de las partes elementales, correspondiente á uno ú otro caso, se desprende como consecuencia natural de aquella forma, de modo que prescindimos desde luego de hacer la descripción detallada de dichas disposiciones, y entramos sin más á considerar el modelo representado en la fig. 305, para estudiar en sus partes esenciales el principio general y la manera de funcionar de uno de estos aparatos.

Según que el cuerpo frotado sea un cilindro ó un disco de vidrio, se habla de máquinas de cilindro ó máquinas de disco. Nuestra figura representa una de las segundas. Sobre una mesita sólidamente apoyada se elevan dos pies unidos entre sí por la parte superior, y entre los cuales se halla el disco de cristal unido á un eje rotatorio, mediante la manivela *M*. El disco pasa á rozamiento por entre los cojinetes *k*, *k'*, situados en los extremos superior é inferior del pie vertical, y constituídos por láminas de madera revestidas de paño ú otras materias, otras veces por almohadillas de cuero rellenas de crin y espolvoreadas en la superficie frotante, con el llamado oro musivo (bisulfuro de estaño), ó bien con algunas amalgamas como la llamada de Kienmayer (formada de una parte de cinc, una de estaño y dos de mercurio), las cuales, después de pulverizadas, se convierten en una pasta adherente, mezclándolas con sebo. A partir de los frotadores, se extienden todavía unos sectores de tafetán engomado, *G G*, que recubren el disco durante su rotación, y no sólo impiden la pérdida de su electricidad por el contacto del aire, sino que todavía aumentan su carga por el frotamiento del disco sobre su propia superficie. Como quiera que los discos son frotados por ambas caras, esta clase de máquinas producen más electricidad que las de cilindro, y por consiguiente en los casos en que el alto precio de las láminas de vidrio duro de gran tamaño no significa un obstáculo insupe-

rable, su empleo es preferible al de las segundas. Delante del disco, por sus dos caras, se hallan en los extremos del diámetro horizontal dos arcos metálicos *F F'* provistos de puntas por el lado que mira al disco, ó sean los llamados peines; éstos recogen la electricidad y la llevan á los conductores, que en el caso de la figura son dos cilindros metálicos, *C C'*, apoyados sobre cuatro pies aisladores de vidrios, *v*, *v*, por intermedio de piezas redondeadas, y los cuales

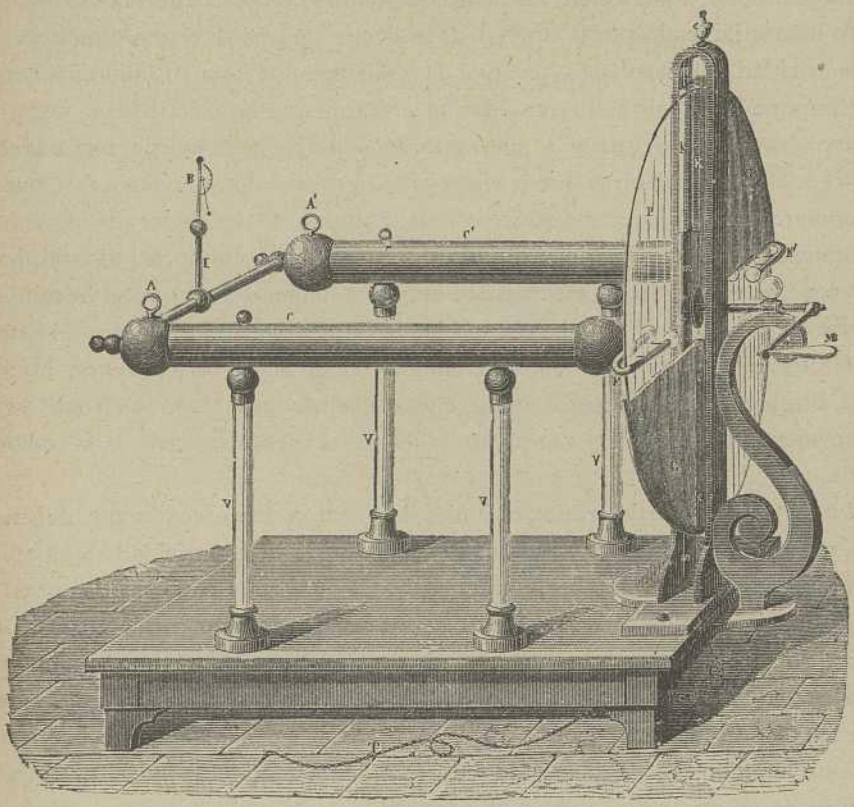


Fig. 305.—Máquina eléctrica de disco.

están unidos entre sí por un conductor metálico entre *A* y *A'*. Sobre esta pieza que forma parte integrante del conductor de la máquina, se halla un electroscopio (indicador de la electricidad), que consiste en un pendulito, *B*, movible sobre un cuadrante graduado, cuyo pendulito permanece suspendido en posición vertical, cuando su pie no recibe del conductor electricidad alguna; pero una vez cargado este último, comunica su electricidad al péndulo, y éste, repelido por la columnita con la cual estaba en contacto, se levanta sobre el arco, formando con la vertical un ángulo tanto mayor cuanto más fuerte es la carga de la máquina. Los frotadores se hallan en comunicación con la tierra por medio de una cadenita conductora.

Ahora bien: en cuanto el disco es puesto en rotación, comienza la descom-

posición de la electricidad neutra en el disco y en el frotador por consecuencia del rozamiento, según ya hemos indicado, adquiriendo el vidrio un estado eléctrico positivo, y el frotador, negativo. La electricidad negativa engendrada en el frotador desaparece á medida que se origina á través de la cadenita que le pone en comunicación con el suelo, y este proceso tiene lugar sin interrupción, en tanto que dura el frotamiento.

El conductor, ó más bien los peines, actúan realmente en forma distinta de como hemos indicado por la brevedad; es decir, que no recogen directamente la electricidad del disco, sino que por la influencia de ésta su fluido neutro se descompone de igual modo que por el frotamiento; la electricidad negativa sale por las puntas del peine y neutraliza la positiva que existía sobre la superficie del disco, mientras que la electricidad positiva de los peines, que queda libre, marcha hacia los conductores de la máquina. Si en lugar de poner en comunicación con el suelo los frotadores, se unen á un conductor aislado, puede recogerse sobre éste la electricidad negativa engendrada por el rozamiento, que es exactamente igual en cantidad á la positiva adquirida por el disco. La electricidad acumulada en un conductor salta hacia otro próximo al primero, originando el fenómeno de la chispa eléctrica, así como un ruido seco más ó menos fuerte. En el vacío este tránsito se verifica suave y silenciosamente.

La capacidad que determina el límite de la carga de un conductor, depende de la magnitud de su superficie. Llegado este límite, la electricidad desaparece en el aire, que nunca está absolutamente seco, ó bien salta en forma de chispa y acompañada del ruido correspondiente sobre cuerpos buenos conductores situados á distancias á veces bastante considerables. El que haya visto operar con grandes máquinas eléctricas, sabe que las chispas de gran longitud que se desprenden de sus conductores, pueden ejercer acciones considerables sobre el organismo humano. Por lo demás, la descarga de un conductor puede producirse también de un modo completamente insensible, sin chispa ni ruido, cuando se le pone en presencia otro conductor que termine en una ó varias puntas delgadas. En el aire húmedo la máquina eléctrica produce ninguno ó poco efecto, de suerte que la presencia de varias personas en un recinto cerrado es inconveniente para estas experiencias por efecto de la humedad que la respiración comunica al aire. El conductor de la máquina, como todos los cuerpos buenos conductores, pierde de una sola vez casi toda electricidad libre, mientras que el disco de vidrio, como todos los malos conductores, no pierde la electricidad sino gradualmente, por chispas sucesivas y débiles, como las que se sacan aproximándole los nudillos de los dedos. Por esta razón hay que cuidar de no acercarse al conductor de la máquina cuando está cargado, y precaverse de su descarga. Otra cosa es cuando desde el comienzo del funcionamiento de la máquina se está en contacto con el conductor, bien directamente, bien por intermedio de un

alambre ó varilla metálica al mismo tiempo que se apoya el observador sobre una base aisladora, como el *banquillo* aislador que se usa con este objeto. En este caso, el cuerpo humano se carga del mismo modo que el conductor, dando chispas donde quiera que se le toca; la cabeza muestra en la oscuridad un débil resplandor, los cabellos se erizan, pues cargados todos con la misma electricidad, se repelen entre sí como los panes de oro en el electrómetro de Bennet.

MÁQUINA HIDRO-ELÉCTRICA

En tiempos modernos se ha utilizado el rozamiento del vapor de agua al salir por orificios estrechos para desarrollar cantidades considerables de electrici-

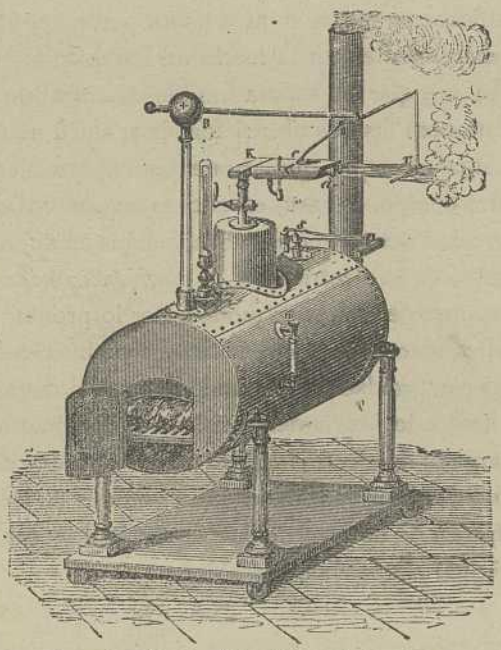


FIG. 306.—Máquina hidro-eléctrica de Armstrong.

dad, habiendo construído Armstrong el año 1840 en Inglaterra una verdadera máquina eléctrica de vapor, de la cual nos ofrece una imagen la fig. 306. El vapor á alta presión choca al salir contra las paredes de tubitos de boj diferentes veces encorvados, los cuales se hallan colocados en la pieza *c*. La electricidad originada en el vapor por el rozamiento, es recogida mediante un conductor en forma de gancho, *v*, que termina en un peine y se halla en comunicación con la esfera *B*, donde se acumula dicha electricidad. El vapor se produce en una caldera especial, cuya válvula *s* permanece cerrada hasta que aquél ha adquirido la tensión necesaria.

INFLUENCIA Ó INDUCCIÓN ELÉCTRICA

La electricidad de cualquier género tiene siempre tendencia á neutralizarse con la de naturaleza contraria. Esta tendencia actúa á distancia, de modo que cuando se aproxima á un conductor cargado otro cuerpo conductor, por la atracción de la electricidad del primero sobre la de naturaleza contraria á la suya, el fluido neutro del segundo es descompuesto; la electricidad del mismo nombre que la de aquél se aleja á las partes de éste más distantes, y por ellas puede ser transmitido á otros cuerpos que pudieran ofrecerle camino fácil, mientras que la electricidad de nombre contrario á la del conductor primitivamente cargado, es atraída por ésta á los puntos, del segundo conductor más próximo al primero, acumulándose en dichos puntos donde permanece latente ó disimulada, como se dice generalmente, por la fuerza atractiva de la electricidad del indicado conductor. El aire que los separa impide la neutralización; pero si la distancia disminuye, entonces las dos electricidades se unen mediante una chispa. Este proceso tiene lugar siempre que desde un cuerpo electrizado salta una chispa eléctrica á otro cuerpo, y hasta en el caso en que los dos cuerpos están cargados con electricidad del mismo nombre, aunque en diferente cantidad.

Esta acción notable de la electricidad, la *influencia ó inducción*, puede ser utilizada experimentalmente de varios modos. Por lo pronto, se puede aproximar simplemente el conductor cargado á otro cuerpo buen conductor, en el cual se separarán las dos electricidades, y dejando escapar la del mismo nombre que la del conductor, y teniendo previamente aislado el cuerpo que recibe la influencia, quedará éste cargado de electricidad de nombre contrario; pero también se pueden acumular ó condensar cantidades muy grandes de electricidad, mediante la influencia recíproca de las electricidades en aparatos construídos *ad hoc*, y por su descarga originar efectos considerables.

EL CUADRO DE FRANKLIN

Es una lámina de vidrio cubierta por ambos lados con dos hojas de papel de estaño que ocupan el centro hasta unos tres centímetros de los bordes. Si se carga una de las hojas con electricidad positiva mediante el contacto con el conductor de una máquina eléctrica, sobre la cara que se aplica á la lámina de vidrio de la otra hoja se habrá acumulado por la influencia de la primera una cantidad próximamente igual de electricidad negativa, mientras que la positiva correspondiente estará sobre la misma hoja electrizada por influencia en la superficie opuesta, y puede separarse de allí tocando con el dedo. Las hojas de

estaño están ahora cargadas ambas, la una por comunicación directa del conductor, la otra por influencia; pero estas cantidades de electricidad no pueden ejercer acción ninguna, pues se hallan recíprocamente retenidas y como latentes, impidiéndose su neutralización por la mala conductibilidad de la lámina de vidrio. Cuando llegan á cierto grado de intensidad, su fuerza atractiva puede ser suficiente para vencer esta resistencia, y en tal caso dicha lámina de vidrio es atravesada y las hojas de estaño se descargan á través de ella, abriéndose paso la electricidad por su masa; cuando la tensión es más débil, la descarga sólo puede producirse poniendo dos tiras de estaño que vayan desde las hojas hasta los bordes del cuadro. Pero aun con débiles cargas, la chispa es bastante enérgica, y si la hacemos pasar por nuestro cuerpo, sentimos una impresión más fuerte, que nos revela la diferencia entre la descarga del cuadro de Franklin y la de un conductor simple cualquiera.

LA BOTELLA DE LEYDEN

Es un aparato completamente análogo al anterior, del cual nos servimos para experiencias eléctricas más en grande. Es propiamente el cuadro de Franklin en otra forma, pues consiste en un cilindro de vidrio abierto por un extremo, ó bien en un frasco cuyas paredes interiores y exteriores están revestidas próximamente, hasta los dos tercios de su altura, con papel de estaño. Con la llamada armadura interior se halla en contacto una varilla metálica, que termina en una esferita. En lugar de la armadura interior de papel de estaño puede tambien llenarse la botella con limaduras de hierro, perdigones ó cosa así. Estas botellas se cargan poniendo el botón en que termina la armadura interna en comunicación conductora con la máquina eléctrica, teniendo cogida la armadura exterior con la mano ó bien poniéndola en comunicación con el suelo. La fuerza condensadora, y por consiguiente también la intensidad de la descarga, depende de la superficie de ambas armaduras.

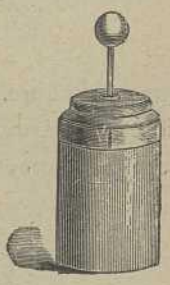


FIG. 307.
Botella de Leyden.

El conjunto de varias botellas de esta clase combinadas entre sí, de suerte que sus armaduras interiores se hallen en comunicación eléctrica y se carguen con la misma electricidad, constituye lo que se llama una batería eléctrica. Las botellas se colocan sobre un pie común en comunicación conductora con la tierra; las armaduras interiores se comunican mediante varillas metálicas que unen los botones correspondientes á cada frasco, pudiendo así cargarlos ó descargarlos simultáneamente. La fig. 307 nos muestra una sola botella de Leyden; la fig. 308, una combinación de varias de éstas formando una batería eléc-

trica. En esta última, *b b'* es el conductor de una máquina eléctrica que se pone, por medio de la varilla metálica *T*, en comunicación con las armaduras interiores reunidas en *B*. De las armaduras exteriores, unidas entre sí por el fondo, parte en *P* una cadenita que durante la carga conduce á tierra la electricidad

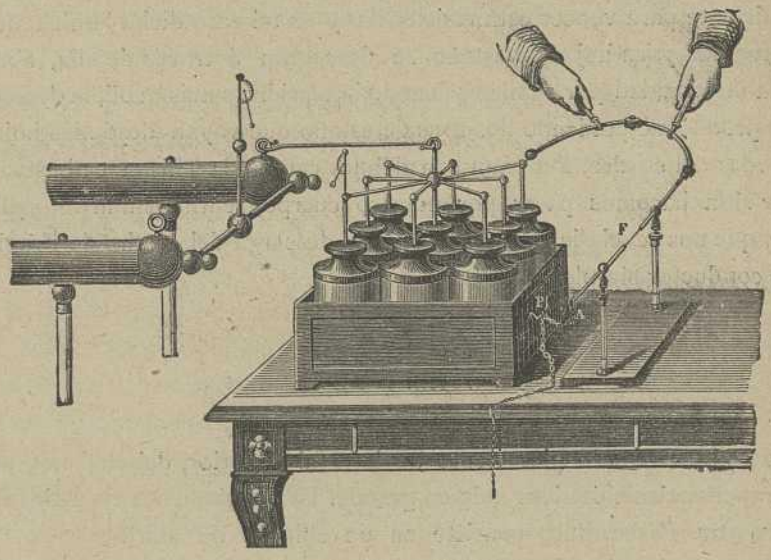


FIG. 308.—Batería eléctrica.

que queda libre. Para poner en comunicación las armaduras interiores y exteriores y descargar la botella, se emplea, cuando no se quiere introducir en el arco para someterlos la descarga, el llamado excitador de Henley. Éste se halla

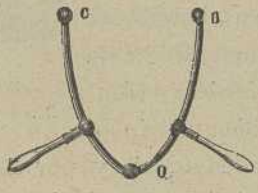


FIG. 309.—Excitador de Henley.

FIG. 310.—Descarga de una botella de Leyden.

representado en la fig. 309, y consiste en un arco metálico, cuyas dos mitades, *C* y *D*, son movibles mediante una charnela, y cuyas esferitas de los extremos pueden así colocarse en cualquiera posición, para lo cual se coge el aparato por dos mangos de cristal. La figura siguiente, 310, muestra otra forma del excitador y su uso; del mismo modo, en la fig. 310, cuando *A* está unido en *P* á las armaduras exteriores, la chispa saltará en *F* en el momento en que se establezca, mediante el excitador, la comunicación entre *A'* y las armaduras interiores.

EL ELECTRÓFORO

Este aparato, del cual podemos servirnos en sustitución á la máquina eléctrica cuando se trata de producir sólo pequeñas cantidades de electricidad, se funda también en la inducción eléctrica. Consiste en una torta de resina, ó bien de goma laca y trementina de Venecia, que se procura tenga, en lo posible, una superficie lisa y plana. Esta torta, que puede tener un grueso de uno á dos centímetros, para un diámetro de 25 á 50, se electriza negativamente; es decir, con la electricidad resinosa, golpeándola con una piel de gato bien seca. Si ahora se coloca encima de esta torta un disco, que puede ser una lámina metálica de bordes redondeados ó de cartón, recubierta de papel de estaño y estar provista de un mango aislador, ó bien suspendida por cordones de seda, la electricidad negativa de la torta descompone por influencia la electricidad neutra de este disco, acumulándose $+ E$ sobre la cara inferior, y $- E$ sobre la cara superior, pudiendo entonces eliminar esta última que está libre, pues si se aproximan los nudillos de los dedos á la cara superior del citado disco, salta una chispa de electricidad negativa. Mientras el disco se halla sobre la torta, la electricidad positiva de aquél está condensada y disimulada en la superficie inferior; pero en cuanto se levanta, queda libre y puede también extraerse en forma de chispas. Este juego puede repetirse cuantas veces se quiera, sin más que tocar la superficie superior del disco cuando éste se coloca sobre la torta de resina. La electricidad comunicada á dicha torta por el frote de la piel no se pierde por ella, sino que solamente queda en estado latente, del cual vuelve al de electricidad libre en cuanto se levanta el disco conductor (fig. 311).

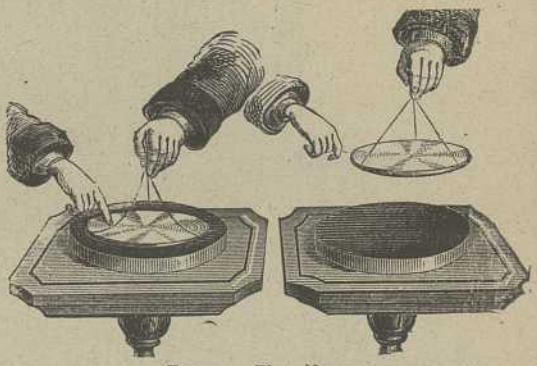


FIG. 311.—Electróforo.

MÁQUINA ELÉCTRICA DE INFLUENCIA

Si pudiera hacerse continua la acción del electróforo, se tendría con esto una nueva forma de máquina eléctrica. Este pensamiento nació simultáneamente en la mente de dos físicos alemanes, Töpler, en Dorpat, y Holtz, en Berlín, permitiendo á ambos llegar independientemente al descubrimiento de la

máquina eléctrica por influencia, en virtud de la cual este aparato, que desde la época de Otto de Guericke había sido perfeccionado, pero no había recibido ningún cambio esencial en su primitiva forma, recibió una disposición fundada sobre bases completamente nuevas. En las figuras 312 y 313 damos dos dibujos complementarios de esta máquina, que la representan en la forma que da Holtz ordinariamente á los aparatos de este género que llevan su nombre.

Consiste en dos discos de vidrio, *A* y *B*, próximos y paralelos entre sí, de los cuales el primero, algo mayor, es fijo, mientras que el segundo puede po-

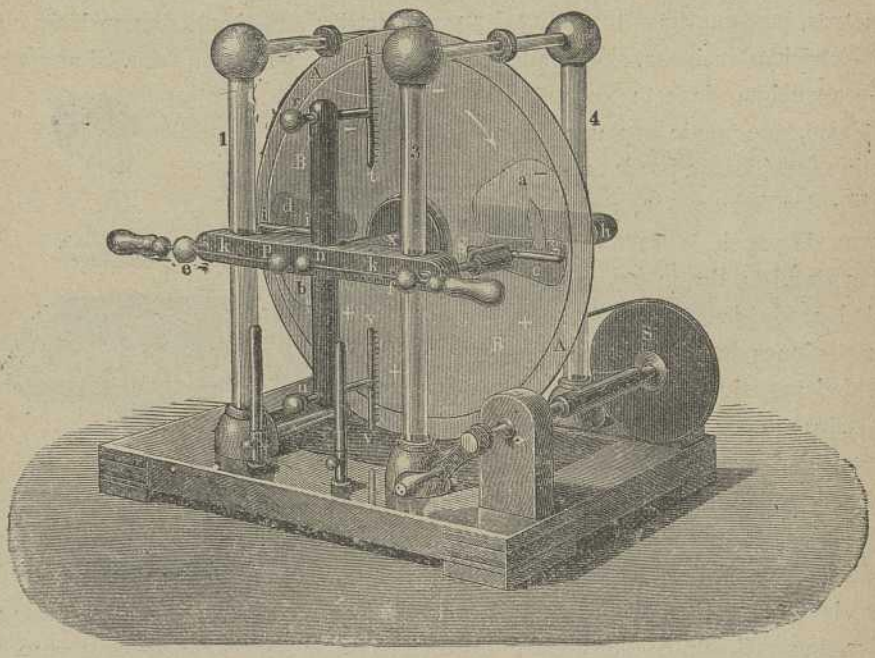


FIG. 312.—Maquina eléctrica de influencia, de Holtz (vista anterior).

nerse en rápida rotación con ayuda del sistema transmisor de poleas *S S'* (figura 313). El disco de vidrio, *A*, está fuertemente sujeto, mediante anillos de goma dura, los cuales se hallan sobre varillas horizontales de vidrio transversales por la parte superior y por la parte inferior entre las columnas verticales de vidrio 1, 2, 3, 4. Dicho disco lleva un agujero circular en su centro para dejar paso al árbol á que va unido el disco *B*. Este árbol se apoya en sus extremos, formados por puntas de acero sobre las barras transversales *k* y *h*, colocadas entre las columnas 1 y 3 por un lado y las 2 y 4 por el otro. Sobre la primera de estas barras transversales se apoyan también los conductores *g* é *i*, que terminan en una especie de peines por el lado que mira al disco *B*, y en las esferas *n* y *p* por el otro extremo; estas esferas pueden aproximarse ó alejarse entre sí, haciendo correr las varillas á que van unidas á través de los orificios correspondientes en *f* y *e*. Además existen otros dos conductores, *t* y *v*, adaptados á una

barra vertical de cuerno (que es un excelente aislador), sostenida también por la barra transversal *k*.

Después de haber indicado las partes componentes de que consta la máquina en cuestión, podemos entrar ya en el estudio de su modo de funcionar. Pero todavía tenemos que considerar para ello la disposición característica del disco de vidrio fijo, *A*, el cual, como se observa en la fig. 313, no es continuo, sino que lleva dos entalladuras, *a* y *b*, situadas en los extremos de un diámetro. Estas entalladuras corresponden á los puntos en presencia de los cuales se hallan las puntas de los conductores *g* é *i*, y á su lado están pegados al disco dos trozos

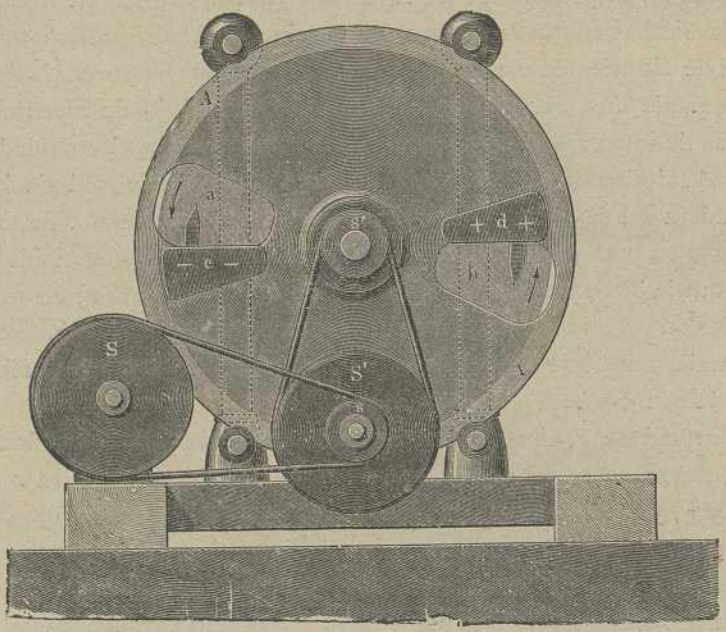


FIG. 313 —Máquina eléctrica de influencia, de Holtz (vista posterior).

de cartulina, de los cuales sobresalen unas tiritas terminadas en punta que se prolongan en el hueco de la entalladura correspondiente. Todo este conjunto del disco, las armaduras de cartón y sus tiras salientes, está recubierto de una capa de barniz de goma laca.

Ahora bien: para poner en juego la máquina, se comunica á la armadura *c* una pequeña cantidad de electricidad. Supongamos que para conseguir esto se haya tocado dicha armadura con una lámina de resina ó de cuerno, previamente frotada con una piel de gato; en tal caso *c* adquirirá electricidad negativa. Esta electricidad negativa, retenida en la armadura *c*, actúa por influencia á través del disco de vidrio *B* sobre el conductor *g*, de suerte que la electricidad positiva engendrada en este último es atraída hacia las puntas del peine, escapándose por ellas y quedando condensada sobre la superficie del disco de vidrio *B;* la electricidad negativa desarrollada en el conductor, repelida por la de la arma-

dura, se dirige hacia la esfera *n*, que en un principio supondremos en contacto con la otra esfera *p*. Por conducto de esta esfera *p* y del conductor *i* llega dicha electricidad negativa á las púas de este último conductor, fluyendo por ellas sobre la porción del disco *B* que se halla en presencia de la armadura *d* del disco *A*.

Este proceso sería muy poco perceptible si el disco *B* permaneciera en su posición primitiva, y en todo caso la carga eléctrica recibida por él, de electricidad positiva en *g*, y de electricidad negativa en *i*, no podría originar ninguna acción ulterior, porque estaría siempre disimulada con la de nombre contrario de la armadura en presencia. Pero si se hace girar al disco *B* en el sentido que indican las flechas en nuestra figura, las porciones de dicho disco todavía no cargadas de electricidad van poniéndose sucesivamente en presencia de los conductores, pudiéndose observar en la oscuridad que el flujo de electricidad que las puntas de éstos vierten sobre el disco, es continuo. La electricidad positiva comunicada al disco *B* en *g g*, es conservada por éste en virtud de la acción condensadora del disco fijo *A*, hasta que la porción considerada de *B* llega á encontrarse en presencia de la entalladura *b*. En este punto el fluido $+E$ del disco *B* queda libre y actúa por influencia sobre la armadura *d*, de suerte que la electricidad negativa engendrada en ésta fluye por la punta de la tirita de cartón, neutralizando el fluido positivo de *B*, mientras que la armadura misma queda cargada con $+E$.

Esta armadura, *d*, electrizada positivamente, actúa entonces sobre el conductor *i*, exactamente del mismo modo que la armadura negativa *e* sobre el conductor *g*, y precisamente esta influencia, no sólo favorece el flujo de electricidad negativa sobre el disco *B*, sino que al mismo tiempo acrecienta en la misma proporción la corriente de electricidad positiva en sentido contrario á través del conductor *i*. De esta suerte aumenta la carga de las armaduras, y por consecuencia el disco *B*, al llegar por segunda vez á la mitad superior de su carrera, se halla provisto, en virtud de la influencia ejercida en *d*, de una carga negativa más fuerte que la adquirida en *c* de electricidad positiva. A cada media rotación se eleva del mismo modo la tensión eléctrica, y bien pronto adquiere un valor suficientemente grande para que las esferitas *n* y *p* de los conductores puedan ser alejadas una de otra, y que la chispa que salta entre ambas pueda dilatarse gradualmente hasta alcanzar longitudes mucho mayores que las que producen las máquinas eléctricas del género antiguo. Para cargar con esta máquina una botella de Leyden, basta poner cada una de sus armaduras en contacto con uno de los conductores de la misma.

EXPERIENCIAS ELÉCTRICAS

Por medio de las máquinas eléctricas y de las botellas de Leyden estamos ya en condiciones para efectuar un gran número de experimentos muy interesantes. En primer lugar se utilizaban en otro tiempo las atracciones y repulsiones eléctricas para producir varios juegos caprichosos: se tenía, por ejemplo, el campanario eléctrico, la danza eléctrica y otras variaciones del mismo tema que consistían simplemente en dos láminas cargadas de diferente electricidad, suspendidas horizontalmente, y entre las cuales eran atraídos y repelidos cuerpecillos ligeros que solían ser trocitos de medula de saúco, á los cuales se daban diferentes formas.

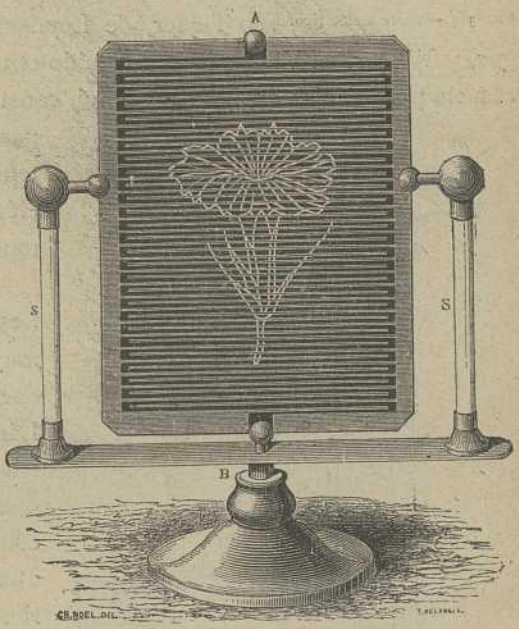


FIG. 314.—Cuadro mágico.

También se construían otros aparatos fundados en los fenómenos luminosos y caloríficos de la chispa eléctrica, entre los cuales citaremos como los más conocidos los *cuadros mágicos* (fig. 314) los y tubos centellantes. Los primeros son láminas de vidrio cubiertas de trocitos de papel de estaño en forma de mosaico; los intersticios entre dichas laminitas metálicas brillan al ser recorridos por la descarga, y de esta suerte se puede obtener, á voluntad, figuras radiantes de cualquiera forma.

Los tubos centellantes son tubos de vidrio, en cuyo interior se ha hecho el vacío después de introducir un par de gotas de mercurio, y á los cuales se da forma de estrellas y se adaptan á su eje de rotación. Puesto en movimiento por medio de éste, las gotitas de mercurio, al frotar contra las paredes del tubo, desarrollan electricidad, la cual produce de pronto un resplandor mágico en el interior del espacio vacío.

Si se llena un tubo con una mezcla de hidrógeno y oxígeno y se hace saltar en su interior una chispa eléctrica entre los extremos de dos alambres que atraviesan las paredes del tubo, la explosión producida por la combinación de ambos gases es tan poderosa, que puede lanzar con gran fuerza un tapón que cierre el tubo, ajustando entre sus paredes. Éste, llamado pistolete de Volta, ha

sido imitado en gran escala en el motor de gas de Lenoir. La pólvora ordinaria puede también ser inflamada por el mismo medio, y en la práctica se hace aplicación de ello para disparar los barrenos; y aun por sólo el calor desarrollado con la chispa eléctrica puede dilatarse una masa de aire limitada, de modo que, como en el mortero eléctrico (fig. 315), llegue á lanzar á distancia una bala, *B*.

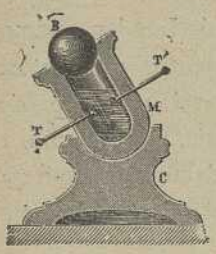


FIG. 315.—Mortero eléctrico.

Las acciones de la botella de Leyden y de las baterías eléctricas son también en alto grado interesantes. Sin embargo, con ayuda de estos aparatos, no se consiguen chispas tan extensas como con los conductores de las máquinas eléctricas. Van Marun obtuvo con la gran máquina del museo Teyler, de Leyden, chispas de 80 centímetros de largas, y Winter, en Viena, ha conseguido obtener con la máquina eléctrica de la escuela polictécnica de aquella capital, construída según sus instrucciones, chispas de un metro de longitud, cuya extensión no se obtiene con las baterías eléctricas. En cambio con éstas son mucho más intensas.

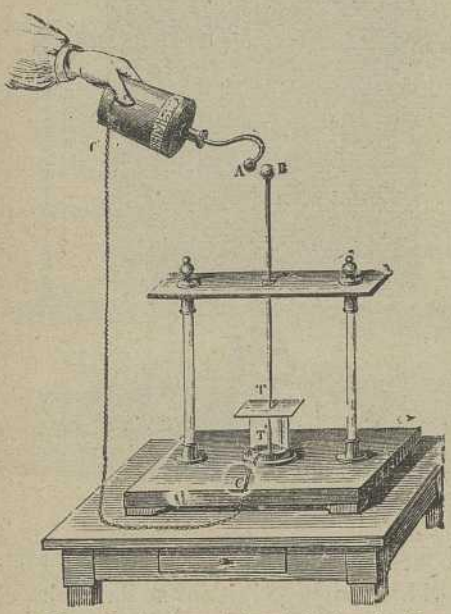
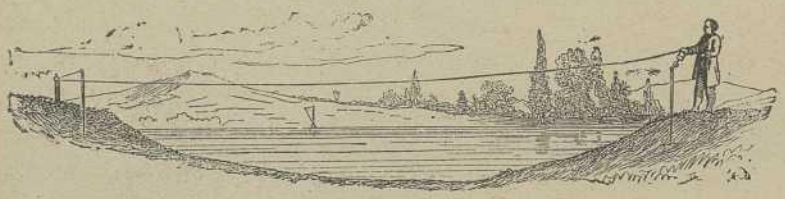


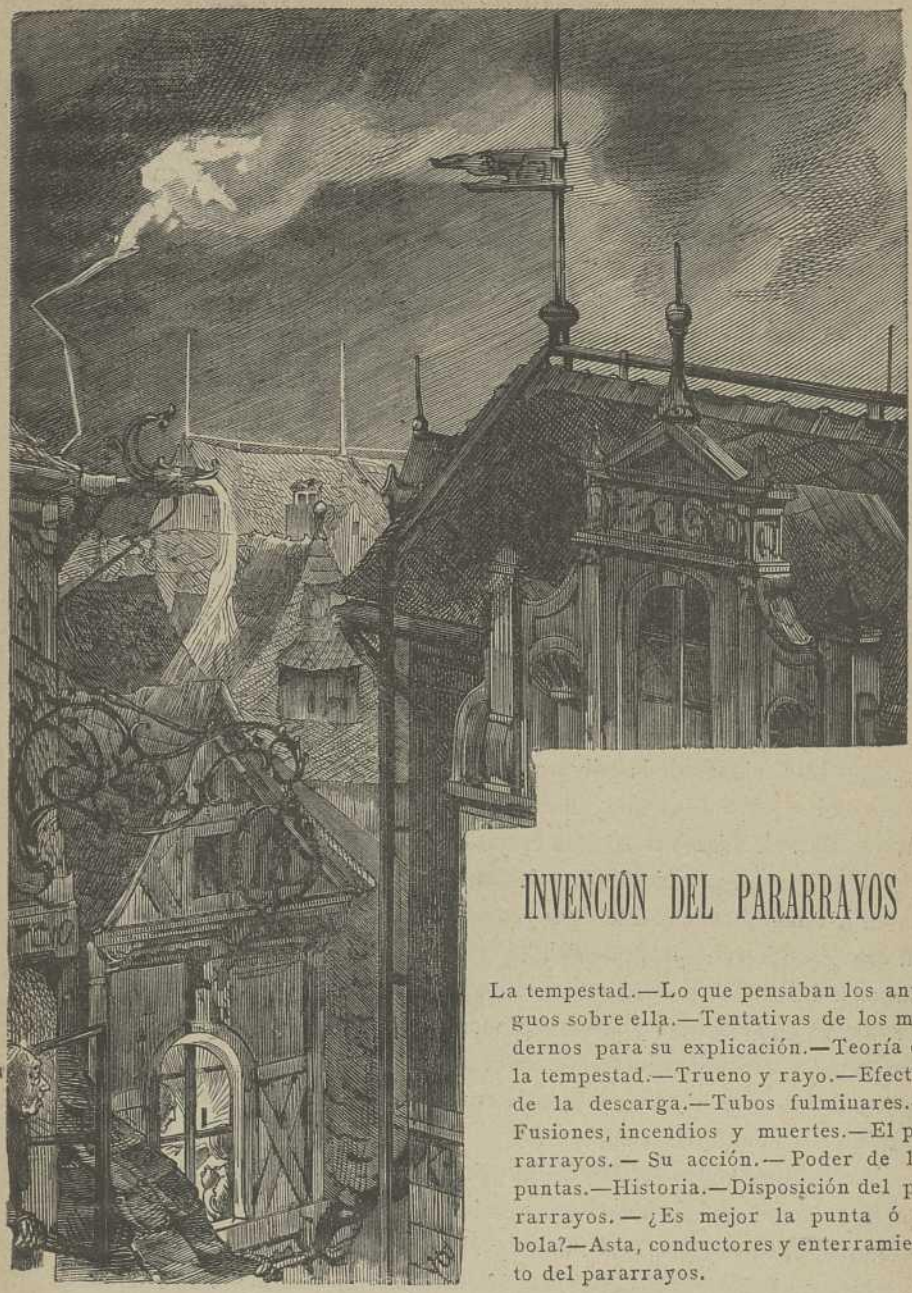
FIG. 316.—Agujereamiento del cristal por la chispa de una botella de Leyden.

Las descargas de las botellas de Leyden se producen en un volumen muy reducido, pero por esto mismo su energía es también sumamente grande. Láminas gruesas de cartón son agujereadas por estas chispas, y aun también discos de vidrio, cuando se pone en comunicación por medio de una cadenita *C C'* (fig. 316) la armadura exterior con una punta metálica *T* y frente de ésta, por la otra cara, se pone otra punta *T'* que á su vez puede ponerse en contacto en *B* y *A* con la armadura interior. El disco de vidrio que se quiere agujerear se coloca entre las dos puntas *T T'*, que deben estar lo más próximas posible; en cuanto se aproxima *A* á *B* para que pueda comunicarse la descarga, la electricidad de ambas armaduras queda sólo separada por la distancia entre *T* y *T'* y si esta distancia no es demasiado grande, la tensión puede hacerse bastante fuerte para que la chispa salte directamente á través de la lámina de vidrio. Los alambres metálicos se ponen incandescentes á su paso, y los más delgados se funden hasta tal extremo, que hilos muy finos de platino ó plata llegan á volatilizarse, emitiendo primero una luz vivísima y desapareciendo en el aire en forma de humo. No hay que

decir que los efectos de estas descargas son también muy sensibles para nuestros nervios. Mientras la chispa sacada de un conductor no produce más que una sensación como de cosquilleo, la descarga de una batería eléctrica puede aturdir instantáneamente á un hombre, y aun producir efectos más peligrosos.

Al manejar estos aparatos es necesario, pues, usar las mayores precauciones para evitar una descarga imprevista, siempre en extremo perjudicial; debe, por consiguiente, cuidarse de que el cuerpo no forme parte del circuito entre la armadura interna y la externa.





INVENCIÓN DEL PARARRAYOS

La tempestad.—Lo que pensaban los antiguos sobre ella.—Tentativas de los modernos para su explicación.—Teoría de la tempestad.—Trueno y rayo.—Efectos de la descarga.—Tubos fulminares.—Fusiones, incendios y muertes.—El pararrayos.—Su acción.—Poder de las puntas.—Historia.—Disposición del pararrayos.—¿Es mejor la punta ó la bola?—Asta, conductores y enterramiento del pararrayos.

El color gris sombrío de que se cubre el cielo tempestuoso; el siniestro reposo que suele preceder á la tormenta; el huracán y torbellino que agitan por encima de nuestras cabezas á la funesta nube, la cual parece abrirse mostrando á nuestra atónita mirada un mar de fuego; el estampido horrísono con que sucede el trueno al rumor que le precede, y que luego, repetido por el eco

en las diferentes capas de aire, va apagándose suavemente hasta extinguirse por último á lo lejos; y, sobre todo, la exhalación que cual guadaña refulgente surca los aires y cae sobre la tierra, sembrando, donde penetra, la destrucción y la muerte; todos estos fenómenos majestuosos y conmovedores han ejercido siempre la más poderosa influencia sobre la imaginación, y engendraron en la infancia de los pueblos la idea de que la tempestad era una manifestación brillante de la voluntad divina. Júpiter rige al mundo, y el rayo es el testimonio de su poder. En efecto, todas las religiones primitivas identificaron la causa de la tempestad con una divinidad superior, y en tanto que estas simples religiones naturales se conservaron en toda su pureza, no se intentó siquiera buscar otras causas á este fenómeno. Se tomó á la tempestad, como al sol, al agua y á la naturaleza entera, cual artículos de fe cuya causa era inútil buscar, y se sufrieron sus desastrosos efectos cual decretos de un destino irrevocable. ¿Quién había de torcer el brazo divino que marca al rayo el trayecto que debe recorrer?

Hasta la Reforma no penetró la inteligencia humana por la senda que puede conducir al conocimiento de las causas ocultas de los hechos. Pero con respecto á la tempestad, las ideas que surgieron de esta nueva tendencia fueron generalmente bastante desdichadas; se consideró al rayo como una llama flotante en el aire, producida por la combustión de vapores de aceite y de azufre, á los cuales se acabó por suponer mezclado el salitre, para explicar las apariencias semejantes á las acciones de la pólvora; y de esta opinión participaron Boerhave y Muschenbroeck, que se apoyaban en una hipótesis empírica, formulada ya por Aristóteles. El mismo Descartes creyó que el rayo era un fenómeno luminoso que se originaba por ciertas condensaciones de las partes de las nubes y que debía ir unido forzosamente á un gran desarrollo de calor; pero el trueno tenía su origen en los choques que debía producirse por la caída rápida de grandes masas nubosas sobre otras nubes situadas á menor altura. El descubrimiento de la máquina eléctrica y las experiencias que con ella se practicaron permitieron pronto adquirir puntos de vista desde los cuales debió revelarse claramente la insuficiencia de las tentativas realizadas hasta entonces para la explicación de los fenómenos aludidos.

Wall, físico inglés (1708), fué el primero que atribuyó á la luz y al estallido que se observa en las chispas desprendidas por el succino frotado, cierta semejanza con el rayo y el trueno. Gray y Nollet se expresan en sentido análogo, y Winkler, en Leipzig, consideró esta identidad como completamente fuera de duda, añadiendo que la única diferencia entre la chispa sacada del conductor de una máquina eléctrica y la que salta de las nubes tempestuosas, consiste en la intensidad de ambas. Pero Benjamín Franklin, el gran ciudadano de la América del Norte, fué el primero que ofreció, por medio de experiencias directas, la prueba irrefutable de la realidad de aquella hipótesis. Franklin extrajo la electricidad de una nube tempestuosa mediante una cometa de papel que hizo subir

hasta ella, haciendo conductora la cuerda y experimentando con la electricidad recogida de la nube exactamente lo mismo que con la obtenida por la rotación del disco de cristal de una máquina; y como quiera que los experimentos resultaban mucho más brillantes en virtud de la mayor cantidad de electricidad obtenida por este nuevo medio, las experiencias de Franklin fueron repetidas en todas partes, y durante largo tiempo el mundo sabio, y también el mundo ignorante, estuvieron, puede decirse, anegados en un mar de electricidad. Desgraciadamente la incalculable energía de esta fuerza produjo en aquel tiempo algunas víctimas; entre éstas se encuentra el físico Richmann, de San Petersburgo, experimentador hábil y práctico, que fué muerto por una chispa desprendida del conductor; ¡cuánto menos tendremos que admirarnos del mal fin alcanzado por gentes sin instrucción, impelidas sólo por el afán de conquistar la gloria de extraer una chispa al cielo!

QUÉ ES LA TEMPESTAD

Como ya queda dicho, no es otra cosa que una grandiosa descarga eléctrica, la cual tiene lugar en el aire. El rayo es una chispa eléctrica.

Sobre la tierra tienen lugar por doquiera las acciones más variadas, por consecuencia de las cuales se engendran cantidades considerables de electricidad, que son recogidas por el vapor de agua que se eleva en la atmósfera y pueden condensarse gradualmente en las nubes. Estas gruesas masas de humedad se conducen, por tanto, como un conductor sumamente enérgico, puesto que poseen una gran cantidad de electricidad libre. De aquí que ejerzan influencia sobre los cuerpos conductores situados por debajo, repeliendo el fluido del mismo nombre (supongamos que sea el positivo) y atrayendo el de nombre contrario, ó sea el negativo, el cual se acumula particularmente sobre los puntos elevados más próximos á la nube, tales como las cimas de los árboles, edificios elevados, torres, etc. Existe, por consiguiente, entre la nube y la tierra una tensión producida por las electricidades de nombre contrario, que tienden á reunirse, mientras que el aire situado entre ambas se opone, por su mala conductibilidad, á que dicha reunión tenga lugar. Pero al fin este obstáculo es vencido, bien porque aumente la carga eléctrica de la nube, y por tanto la tensión, bien porque se aproxime ella misma á la tierra, lo que determina el mismo efecto, ó, por último, también porque se ofrezcan objetos salientes, tales como edificios elevados, árboles, etc., al paso de la nube; y entonces la descarga tiene lugar en forma de un rayo dirigido hacia la tierra.

Del mismo modo que sobre la tierra, tiene también lugar la electrización por influencia por la acción de una nube más fuertemente cargada de electricidad sobre otra que lo esté menos, pudiéndose originar de este modo tensiones eléc-

tricas considerables; y como en este caso los dos cuerpos electrizados pueden aproximarse fácilmente el uno al otro, de aquí que las descargas son mucho más débiles y frecuentes entre nube y nube que entre nube y tierra. Cuando dos nubes cargadas de electricidades contrarias llegan á colocarse á muy pequeña distancia, la neutralización se produce de un modo completamente tranquilo, sin más consecuencias que una alteración en la forma y densidad de las nubes, una de las cuales queda deshecha. Por el contrario, si la tensión entre las nubes es más fuerte y el aire interpuesto entre ellas muy seco, las descargas se suceden en forma de una tempestad que se resuelve entre ellas mismas, sin que ninguna chispa se dirija á tierra. Las chispas eléctricas producidas en este caso pueden ser de longitud enorme, habiéndose observado algunas que han atravesado un espacio de 70 y más kilómetros.

Se creía anteriormente que la electricidad de las nubes tempestuosas era positiva; y tal es, con frecuencia, la verdad; pero no puede tomarse como regla general. Tampoco podemos afirmar nada acerca de la causa directa de la electricidad atmosférica en cada caso particular; pues si bien observamos que en muchos fenómenos atmosféricos, como evaporación, condensación, calentamiento, etc., queda libre electricidad, los procesos de este género son tan numerosos y variados, que á pesar de que su conjunto produce efectos tan enérgicos, aislados son generalmente tan débiles y fugaces, que no podemos apreciar y seguir en su desenvolvimiento todas las causas que concurren al efecto total. No tenemos, pues, más remedio que contentarnos con el hecho de que, según los casos, las nubes que se ciernen sobre nosotros pueden estar cargadas de electricidad positiva ó de electricidad negativa, ó tal vez no poseer electricidad ninguna.

Así, pues, si se aproxima á la tierra una nube cargada de electricidad (sea la que quiera), actúa por influencia sobre el fluido neutro esparcido por el suelo terrestre; atrae la electricidad de nombre contrario hacia los puntos de la superficie más próximos á la nube, y repele la electricidad del mismo nombre que se dirige hacia el interior de la tierra. El hecho de que la chispa salte por lo regular de la nube hacia la tierra, puede muy bien tener su causa en la movilidad mayor de aquélla. Sin embargo, no sucede siempre así, pues los llamados choques de retroceso nos muestran casos en los cuales, por el contrario, la electricidad ha saltado de la tierra hacia la nube, al mismo tiempo que éstos son un ejemplo fehaciente de la electrización por la influencia de la nube tempestuosa á que nos hemos referido en las anteriores líneas (fig. 317).

Cuanto sabemos hoy sobre la tempestad, tiene su origen en las experiencias practicadas por Benjamín Franklin (fig. 318) Benjamín Franklin, el décimoquinto vástago de una familia que reunió hasta diecisiete hijos, nació en Boston el 17 de Junio de 1706. Sus conocimientos sobre las ciencias naturales, adquiridos, como todo lo que Franklin supo y aprendió, de un modo personal, por métodos

propios, no dieron á conocer su gran genio hasta los cuarenta años; pero entonces revelaron pronto los resultados más sobresalientes é inesperados.

Por consecuencia de sus observaciones, llegó á adquirir en el año 1748 la firme convicción de que la tempestad no era otra cosa que la neutralización de dos electricidades opuestas; el rayo una potente chispa eléctrica, y que cuando aquél salta, prosigue á través de los cuerpos conductores exactamente lo mismo que ésta, sin que su paso determine acción ninguna violenta; así como que al saltar de uno á otro cuerpo conductor, puede originar efectos destructores, par-

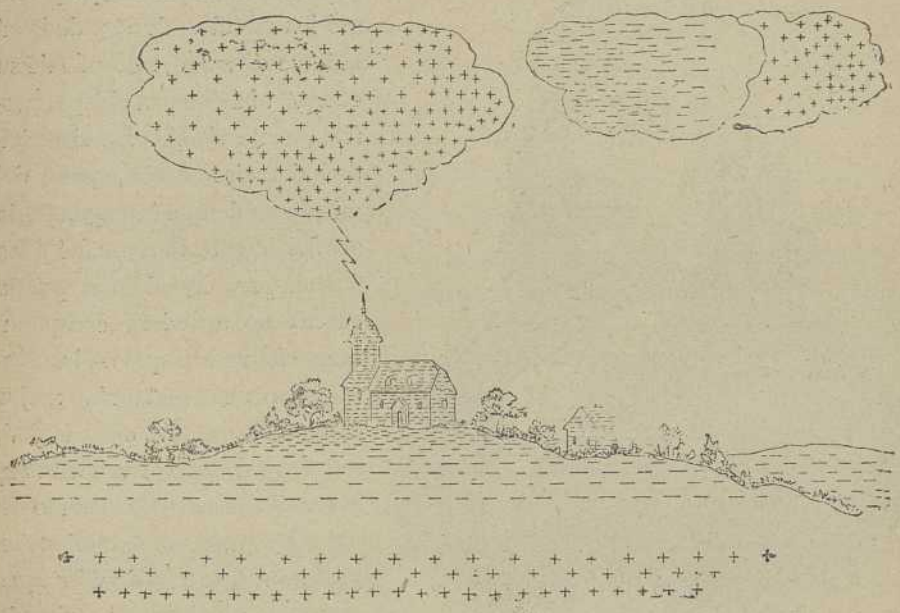


FIG. 317.—Teoría de la tempestad.

ticularmente disgregaciones, fusiones ó inflamaciones. La observación de que el rayo cae con preferencia sobre elevaciones agudas de la superficie de la tierra, como las torres, los mástiles de los buques, los árboles, etc., condujo al espíritu práctico de Franklin hacia el atrevido pensamiento de probar á conducir hasta la tierra la electricidad de una nube tempestuosa, y con este objeto emprendió aquella célebre experiencia cuyo peligro para su vida no pudo sospechar. Construyó una gran cometa de seda, la extendió sobre un marco y fijó en el extremo superior de la varilla central una punta de hierro. La cuerda con la cual elevó la cometa era un torzal ordinario de lino; el extremo inferior una cuerda de seda, á cuyo extremo estaba atada una llave de acero á guisa de mango. Con este instrumento Franklín se dirigió un día que amenazaba tormenta, en el verano de 1752, á un prado de los alrededores de Filadelfia, acompañado sólo de su hijo, á quien había revelado su pensamiento; y una vez llegado, remontó su cometa. Por más que ésta se hallaba ya bastante elevada y la nube tempestuosa

se encontraba casi encima de él, Franklin no percibía el más pequeño indicio de electricidad, y ya comenzaba á temer que sus previsiones acerca de la naturaleza de la tempestad pudieran no ser exactas, cuando después que una lluvia menuda humedeció el hilo, notó de pronto, con gran satisfacción, que las fibras del cordón de seda flotaban sueltas, exactamente lo mismo que si se hubieran suspendido del conductor de una máquina eléctrica. Sumamente emocionado por este indicio de electricidad que necesariamente debía ser atmosférica y procedente de la nube tempestuosa, trató de convencerse más profundamente de la realidad del fenómeno, y aproximó los nudillos de sus dedos á la llave de acero, saltando de su cuerpo una intensa chispa, perfectamente visible. La electricidad del aire obraba, pues, del mismo modo que la engendrada artificialmente. Pero no fué poca fortuna para Franklin el que la cuerda no estuviera completamente húmeda ó que no la constituyera una sustancia mejor conductora de la electricidad, pues en tal caso tal vez esta experiencia le hubiera costado la vida. Después, en experiencias posteriores, se consiguió cargar por este medio una botella de Leyden con electricidad, que mostró todas las propiedades ordinarias y conocidas. Franklin instaló también en su casa una barra de hierro aislada con objeto de repetir cómodamente sus experiencias, y la puso en comunicación por su extremo inferior con dos campanitas que anunciaban cuándo se hallaba el aire poseído de tensión eléctrica considerable.

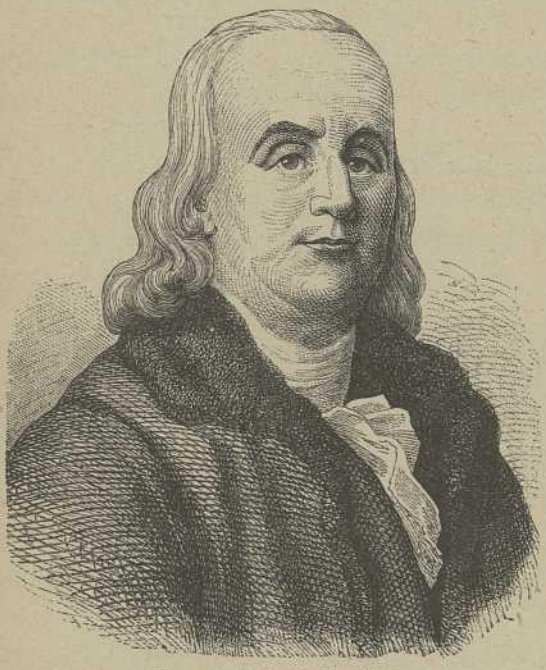


FIG. 318.—Benjamín Franklin.

Las experiencias de Franklin, en virtud de las cuales la Universidad de Oxford confirió al ciudadano americano el grado de doctor el año 1762, fueron repetidas frecuentemente en lo sucesivo, y modificadas de mil modos. El físico francés De Romas, por ejemplo, unió su cometa á una cuerda atravesada en su interior por un alambre metálico, terminándola en su extremo inferior por un trozo de algunos metros de longitud, recubierto de seda pura, con objeto de precaverse de la acción de la descarga. Para no tener que sacar la chispa con los dedos, empleó un conductor metálico, que estaba en comunicación con la tierra mediante una cadenita de hierro, y que era manejado por medio de un

mango aislador. La cometa subió á una altura de 180 metros y atravesó capas de aire que debían estar en alto grado saturadas de electricidad, pues De Romas obtuvo en el transcurso de una hora treinta rayos de fuego, cada uno de los cuales tenía cerca de tres metros de longitud y dejaba oir un ruido semejante á un pistoletazo. Después de resultados tan brillantes, fué forzoso abandonar por completo toda creencia en los antiguas fábulas de vapores oleosos, de azufre ó nitro como causa del rayo.

EL TRUENO

Con el reconocimiento de la causa de la tempestad vinieron á aclararse implícitamente las ideas acerca del trueno, completamente inofensivo, pero que, sin embargo, produce durante las tempestades el mayor estupor á las gentes. El trueno se origina simplemente por las vibraciones del aire, fuertemente conmovido durante la descarga. Cuando el rayo surca la atmósfera, calienta tan fuertemente las partes de ésta próximas á su paso, que se dilatan de pronto á un volumen muchos miles de veces mayor que el que antes tenían, y en la misma proporción estas porciones de aire vuelven á contraerse cuando el calor comunicado por el rayo se difunde en el espacio. Actúa, pues, aquí la misma causa que en el disparo de un arma de fuego, y la reflexión de las ondas sonoras en las diferentes capas de nubes, montañas y valles determina el eco y el apagamiento gradual del estampido. Como quiera que el sonido se propaga mucho más lentamente que la luz, vemos antes al rayo, percibiéndole simultáneamente en toda su longitud, mientras que el trueno no impresiona nuestro oído hasta más tarde y de un modo sucesivo, pues las ondas originadas en los diferentes puntos de la chispa, que á veces tiene muchos kilómetros de longitud, recorren el espacio que las separa de nosotros en un tiempo proporcionado á dicha distancia. Supongamos, por ejemplo, que un rayo atraviese en cierto momento el espacio de diez kilómetros; la explosión tendrá lugar á un mismo tiempo (sensiblemente) en todos los puntos de esta línea. Pero en cualquier sitio que nos coloquemos no será posible que recibamos simultáneamente todas estas ondas sonoras engendradas; llegarán sólo sucesiva y gradualmente, y por esta causa el observador percibe el trueno en forma de un ruido prolongado. Sin necesidad de mirar hacia la tempestad, reconoceremos su aproximación por el aumento de intensidad del trueno. En la proximidad del sitio donde estalla, se percibe á un tiempo la chispa y un ruido seco instantáneo; pero cuando la tempestad está lejos, entre el rayo y el trueno transcurre un intervalo mayor ó menor, según la distancia. De aquí que el trueno nos proporciona un medio cómodo para apreciar la distancia á que la tempestad se halla de nosotros. En efecto, siendo simultánea la producción del rayo y del trueno, y pudiendo considerarse como instantánea la propagación de la luz sobre la tierra, mientras que el sonido sólo recorre en

un segundo 340 metros, basta que contemos el número de segundos que transcurren entre la percepción del rayo y del trueno, y que multipliquemos este número por 340, para obtener en metros la distancia buscada.

La tradición de piedras que se suponía que eran lanzadas con el rayo sobre la tierra, y que sólo puede haber tomado origen del hecho de haberse encontrado después de una lluvia tormentosa sobre las faldas de los montes ó en la profundidad de los valles, ciertas piedras de forma regular alargadas y redondeadas por un extremo y puntiagudas por el otro, no ha podido ser completamente explicada. Sin embargo, se han encontrado en los terrenos de sedimento estos mismos cuerpos, sabiéndose que son petrificaciones de restos animales antediluvianos; y la Geología, lejos de buscar sobre nuestras cabezas el origen de estas belemnitas, ha reconocido que su yacimiento está más bien en el fondo limoso de los mares. Del mismo modo es un error, que ha alucinado largo tiempo á las gentes, la creencia de que el incendio iniciado por el rayo es de una naturaleza tan especial, que no podía ser apagado por ningún medio.

EFECTOS DEL RAYO

El rayo no quema por sí mismo, y sólo engendra calor cuando encuentra resistencia á su propagación. En las regiones superiores de la atmósfera, en donde el aire está tan enrarecido que no pone obstáculo ninguno á la neutralización de las electricidades, la descarga se produce en forma de relámpago silencioso, mientras que en las capas inferiores de la atmósfera sólo violentamente puede la electricidad vencer el escollo que la mala conductibilidad del aire opone en su camino. Cuando la chispa encuentra un cuerpo buen conductor y de gran sección, se propaga en su interior sin dejar ninguna huella. Pero cuando se ve obligada á pasar á través de alambres delgados y maderas resinosas, etc., este trabajo molecular eleva de un modo enorme la temperatura de dichas sustancias.

Un cilindro de hierro conduce la electricidad 10.000 veces más que otro cilindro del mismo diámetro formado de agua del mar, la cual contiene disueltas ciertas sales; á su vez esta última es 1.000 veces mejor conductora que el agua pura, y esta misma es todavía mucho más conductora que la madera seca ó el azufre, la resina y otras sustancias. Ahora bien; neutralizándose por medio del rayo cantidades tan considerables de electricidad que aun barras gruesas de hierro quedarían fundidas por su paso, no es de extrañar que otros cuerpos menos conductores que éste sean completamente destrozados por él. Los enormes efectos mecánicos que el rayo produce dependen directamente de la gran cantidad de calor desarrollada. Cuando el rayo alcanza á un árbol, trata de seguir su camino preferentemente por entre la corteza y el leño donde residen las ca-

pas más tiernas y húmedas. El calor transforma súbitamente al agua en vapor, y por su tensión se explican las roturas que ofrecen á nuestra observación dichos árboles.

El mismo rayo, que apenas calienta la barra gruesa de un pararrayos, funde completamente el dorado de los marcos de cuadros heridos por él. Humboldt refiere en su *Cosmos* que durante su viaje á la América del Sur, donde las tempestades estallan con una energía desconocida para nosotros, vió vitrificarse varias rocas en la superficie por la acción del rayo. Los llamados *fulguritos* ó *tubos fulminares* que no es raro encontrar en terrenos arenosos y que, bien en una dirección constante, bien ramificados, llegan con frecuencia á profundizar hasta doce ó más metros bajo la superficie del suelo, son trozos de arena y de la costra terrestre fundidos por el rayo y solidificados en forma de tubos.

En tiempos pasados, en que la imaginación humana iba siempre á caza de prodigios, se pretendió descubrir multitud de figuras admirables que se suponía trazadas por el rayo, y hasta muchos sabios no pudieron sustraerse á la tentación de reseñar algunos de estos fenómenos, atribuyéndolos á causas extraordinarias. Así, por ejemplo, se ha hablado de quedar dibujada por el fuego de un relámpago, sobre el cristal de una ventana, la imagen de una torre situada enfrente; otras veces se ha pretendido haber encontrado señalado sobre el pecho ó los brazos de las personas heridas por el rayo, signos gráficos, cruces ó figuras de objetos situados en la proximidad, y aun hubo quien vió en esto una especie de fotografía que obedece á leyes fijas, aunque todavía no conocidas. Sin embargo, todos estos fenómenos y otros análogos son simplemente efectos de la casualidad, exagerados por la fantasía. En cambio, los efectos mecánicos de rayo son sumamente poderosos.

En los alrededores de Manchester cayó un rayo el 2 de Agosto de 1809. Una de sus ramificaciones penetró en el suelo entre un sótano y una cisterna y dislocó un muro de un metro de grueso y cuatro metros de alto, de suerte que la parte derribada medía en un lado más de un metro y por el otro tres metros, siendo naturalmente destrozadas todas las piezas de unión de madera. En el trozo de muro movido había 7.000 piedras, con un peso total de 26.000 kilogramos.

Ha sucedido á veces saltar el rayo sobre el mástil de un buque é invertir la aguja de la brújula, de suerte que el timonel vino, sin saberlo, á emprender de nuevo el camino hacia el punto de donde había salido, no llegando á descubrir su error sino por la observación de las estrellas, ó por el aviso de otros buques encontrados en el camino. En el tratado del magnetismo estudiaremos la causa de este notable fenómeno que por sí solo nos permite ya sospechar la conexión íntima que existe entre ambas fuerzas.

PARARRAYOS

Es muy natural que el hombre trate de defenderse contra los efectos desastrosos del rayo, y la observación de que los objetos que sobresalen en alto le atraen de preferencia, puede haber dado origen en la antigüedad á ciertas tentativas (lo cual parecen comprobar algunos hechos) que en esencia tienen semejanza con nuestro pararrayo actual. Numa y Tulo Hostilio debieron tener conocimiento de cómo se pueden evitar los efectos dañosos del rayo. No se ha dicho en lo que consistiera su procedimiento, pero tal vez debe relacionarse éste con la costumbre, á que se tenía afición en tiempos antiguos, de colocar estatuas de bronce para extraer de ellas chispas meteóricas. Ktesias cita, refiriéndose á los antiguos indios, que se sirvieron de *cierto hierro* que se disponía para desviar los incendiarios rayos. Los templos, y en particular los de Apolo, se rodeaban de una especie de bosques de laurel, porque con esto debían quedar inmunes, y en tiempo de Carlo Magno era usual plantar en la tierra altos palos para evitar el granizo, lo cual, sin embargo, fué prohibido por el gran emperador como una superstición. Se podría añadir todavía muchas otras citas y referencias en el mismo sentido; sin embargo, preferimos dirigir nuestra atención hacia el invento moderno del pararrayos, fundado en el conocimiento de las leyes de los fenómenos naturales, y uno de los más beneficiosos de todos los tiempos.

Las nubes tempestuosas son conductores cargados de electricidad; es característico de la esencia de la electricidad que ésta se acumule, según ya hemos indicado, en la superficie de los conductores, hallándose en ella en estado de tensión. Tiende continuamente hacia la neutralización, y sólo puede impedir ésta el aire que les rodea ú otros cuerpos malos conductores. Pero el valor de la tensión eléctrica es diferente en los distintos puntos, como ya hemos dicho, según la forma del cuerpo. Una superficie esférica de igual curvatura en todas sus partes está también rodeada en todas ellas de la misma resistencia, y de aquí que la electricidad forme sobre ella una capa del mismo espesor en todos los puntos. Si en cambio colocamos sobre la esfera una punta saliente, se concentra en ésta la electricidad y una acción semejante ejerce toda desigualdad en la superficie de los cuerpos, vértices, aristas, etc. La electricidad se acumula en mayores masas y con mayor tensión en los vértices, y cuando éstos llegan á ser bastante finos, se escapa finalmente por dichas puntas, fenómeno que podemos observar en la oscuridad, en forma de un haz luminoso.

Este llamado poder de las puntas, del cual hemos hecho ya aplicación práctica en los colectores de la máquina eléctrica, se ejerce á veces en la Naturaleza y es causa de fenómenos, entre ellos uno muy notable, y cuya explicación en-

contró durante largo tiempo grandes dificultades: el llamado fuego de San Telmo. Sucedió á veces que á la caída de la tarde, en ciertos días tempestuosos, se han presentado sobre las puntas de los pararrayos, ó sobre las cúpulas de una torre, ó sobre los picos de las canales metálicas, etc., etc., pequeñas llamas azules que no se dejaban apagar, y que, por último, desaparecían espontáneamente conforme se habían originado. Este fenómeno se presenta sobre todo con frecuencia sobre los extremos de los mástiles de los buques, y era tomado por los antiguos griegos y romanos como una señal de la pronta cesación de la tormenta. Dos llamitas, Cástor y Pólux, eran de buen augurio; una sola, Helena, anunciaba catástrofe. De este último nombre se formó el de *San Elías*, *Telmo* y fuego de San Telmo. Por lo demás, no se exige que las puntas sobresalgan mucho de la tierra; se han observado llamitas de éstas sobre las cabezas de estatuas, sobre las lanzas de los soldados y hasta sobre los sombreros de los transeuntes, y aun se refieren casos en que han mostrado esta radiación eléctrica luminosa las orejas de los caballos.

En nuestro concepto, el fenómeno no tiene nada de misterioso; es simplemente la salida de la electricidad, bien que esta pérdida sea determinada por un exceso de tensión en el suelo, bien porque no siendo muy grande la resistencia del aire, se equilibre de este modo silencioso y continuo con la electricidad de nombre contrario de la atmósfera. En todo caso este proceso rebaja la tensión y conduce gradual é inofensivamente al restablecimiento del equilibrio eléctrico, el cual, mediante el rayo ó la descarga instantánea, hubiera ido acompañado de acciones violentas y destructoras.

El pararrayos tiene el mismo objeto, y su ingenioso inventor se fundó, al concebirlo, en un conocimiento exacto de aquellos fenómenos naturales relacionados con el poder de las puntas.

Difícil sería encontrar un descubrimiento que, cual el de Franklin, hubiera producido al nacer una excitación tan general en el mundo, lo mismo entre los profanos que entre los doctos. Se apreció su importancia extraordinaria; pero la fe, esta hija predilecta de la costumbre, se puso en conflicto con la ciencia; la lucha empeñada se prolongó largo tiempo, é impidió por lo pronto su benéfica adopción. Muchos se resistían á concebir el que se pudiese arrancar de las manos del Dios Omnipotente un instrumento de castigo tan cómodo como el rayo. Por otra parte, también entró en juego el orgullo nacional, en virtud del cual los pueblos europeos se resistían á ser deudores á un extranjero de un pensamiento tan grandioso. Mientras el Gobierno de los Estados Unidos de América se complacía en difundir por todas partes la idea de Franklin, en Francia se le oponían mil inconvenientes y se revelaba una repugnancia manifiesta hacia ella, porque no había salido de un cerebro francés.

En el año 1760 instaló Franklin el primer pararrayos, que no se diferenciaba en nada esencialmente del actual, en la casa del comerciante West, de Fila-

delfia; se colocó una barra de hierro de tres metros de longitud y 27 milímetros de diámetro, aislada del edificio mediante cuerpos malos conductores y en comunicación con la tierra por medio de un conductor metálico. Tan sencillo como era entonces este aparato en su construcción, ha seguido siéndolo, pues todas las adiciones de puntas de platino, construcción especial del aislador y demás, no han suministrado nada nuevo en esencia; pero en esta sencillez reside también su mayor importancia, pues parece que su acción no puede ser aumentada.

Si en Francia era el orgullo, en Inglaterra era el odio nacional, con motivo de la guerra de la Independencia, lo que se oponía á la adopción del nuevo invento, por medio del cual se hubieran evitado incendios y desgracias que en ambos Estados originó por entonces el rayo. Esta adopción se inició hacia el año 1788, y sólo el cariño á los buques pudo determinar á los hijos de Albión á instalar pararrayos en los mástiles de aquéllos. Todavía transcurrió largo tiempo antes de que el pararrayos encontrara aplicación en los edificios.

Ejerció gran influencia sobre Europa el autorizado testimonio del célebre físico suizo Saussure, el cual había instalado en su casa de Ginebra un pararrayos, con el cual intentaba tranquilizar las conciencias timoratas de los que eran opuestos á aquél por temor á la cólera divina. En el año 1782, sobre las 1300 casas de Filadelfia, existían ya unos 400 pararrayos; todos los edificios públicos estaban provistos de él, excepto el palacio de la embajada francesa, y precisamente en este edificio cayó un rayo el 27 de Marzo de 1782 matando á un oficial. Entonces el embajador francés hizo proveer á su palacio del aparato protector.

Los físicos franceses De Romas y el abate Nollet levantaron también su voz en defensa del pararrayos, y entonces, una vez que ya iba unida á la experiencia de Franklin la gloria de dos de sus propios hijos, la *grande nation* se resolvió á pensar seriamente sobre el particular. Así como Inglaterra había protegido sus buques, también Francia había cuidado de antemano de la salvaguardia de los depósitos de pólvora. Pero el público, prevenido y atemorizado, se mostró entonces aquí, como en otros pueblos, muy desconfiado, y durante largo tiempo permaneció el pararrayos como un distintivo de los edificios públicos. Los Gobiernos tuvieron que decretar su establecimiento, y aun luchar para esto contra resistencias pasivas y tenaces.

En el año 1778 la república de Venecia proveyó á su marina de la nueva defensa contra las tempestades. Federico Guillermo II de Prusia ordenó el establecimiento de pararrayos en toda la extensión de sus Estados; pero ¡cosa notable! prohibió expresamente su instalación sobre el castillo Sanssouci.

DISPOSICIÓN DEL PARARRAYOS

Por su misma naturaleza debe estar constituído todo él de metal, y sería preferible el metal que fuera mejor conductor. Sin embargo, por razón del precio, se elige generalmente el hierro, por más que el cobre podría verificar la misma acción con una sección siete veces menor; pero en cambio se tiene también con el hierro la ventaja no despreciable de que los pararrayos tienen más solidez, en virtud de la mayor tenacidad de este metal.

En el pararrayos se distinguen tres partes principales: el asta con la punta, el conductor que le pone en comunicación con la tierra, y el enterramiento de este último. Mientras que la primera parte tiene siempre la forma de una barra, para la segunda se ha empleado también la forma de cintas, de cadenas de hierro ó de tubos huecos. En algunos puntos se ha pretendido sustituir la punta del pararrayos con esferas, creyendo que éstas tenían sobre las puntas la ventaja de poder recibir mayor cantidad de electricidad que aquéllas, de no ser tan fácilmente fusibles, y de ofrecer, por último, un refugio más seguro á la chispa, en virtud de su mayor superficie; pero tales argumentos no demuestran otra cosa que falta de conocimiento de la esencia del asunto y de la manera de obrar de las puntas. El pararrayos nò está sólo destinado á atraer el rayo, sino que más bien debe neutralizar la electricidad existente en la atmósfera por medio de una radiación continua de electricidad de nombre contrario, de modo que no protege por una descarga única, sino que restablece el equilibrio de las fuerzas naturales por una acción permanente. Cuando una nube tempestuosa es atraída sobre bosques poblados de árboles elevados y provistos de ramas puntiagudas y sobresalientes, pierde generalmente su fuerza, sin llegar á estallar. Ahora bien: el pararrayos debe obrar como obra en este caso cada uno de los árboles, y en mayor escala. La esfera impide una acción semejante; sólo sirve para recibir el rayo producido por la descarga instantánea, y todavía bajo este concepto tampoco presenta superioridad sobre la punta, pues ésta electriza toda la masa de aire que la rodea, y ofrece con esto al rayo una atracción tan segura como aquélla. Prescindiendo, pues, de toda consideración arquitectónica, en virtud de la cual pudiera ser preferible la esfera á la punta, ésta es incondicionalmente superior para el objeto. En ocasiones se ha multiplicado su número y se han adaptado á una misma barra 3, 4, 5 ó más puntas. Cuando el asta del pararrayos es de hierro, se hace la punta de cobre dorado ó platinado, con objeto de que sea más duradera. El asta $\mathcal{F}$ P (fig. 319), es la parte del pararrayos que se eleva en el aire desde el techo del edificio. Para darle mayor fijeza y estabilidad, la forma más conveniente es de una pirámide cuadrangular, débilmente apuntada, que es la que se le da generalmente. Su altura es variable de 3 á 6

metros, y en relación con ella está su sección, así como después también la sección del conductor.

Cuando se emplea para éste el alambre de cobre, se doblan entrelazados los hilos en espiral, formando como una cuerda. Los conductores de hierro constan de varias piezas, las cuales se unen entre sí á tornillo. En la parte inferior, *I*, donde el asta se inserta en el vértice del edificio, lleva un pequeño toldo, con objeto de mantener seco el punto de inserción. Según se admite generalmente, cada asta protege un perímetro de 12 á 16 metros de diámetro, y, por consiguiente, un edificio que tenga más superficie, deberá llevar dos á lo menos. En general, conviene prodigar el número de estas barras poniéndolas en todos los puntos sobresalientes.

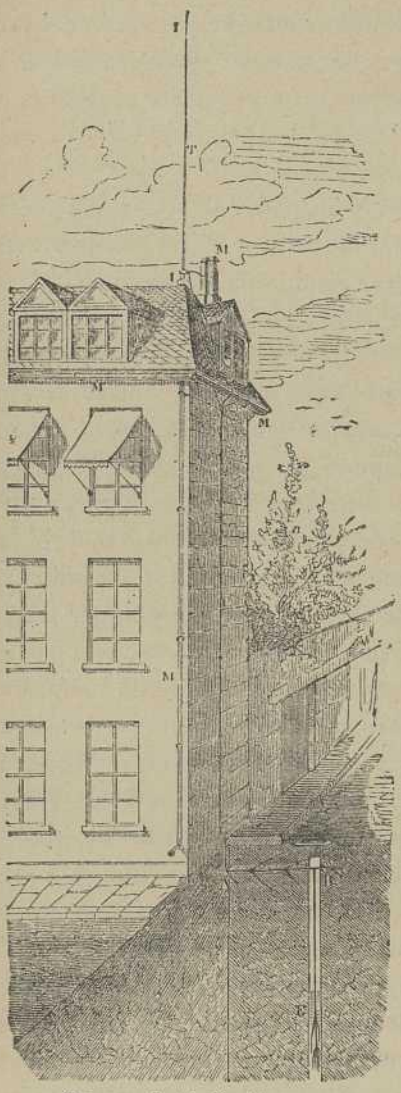


Fig. 319.—Instalación del pararrayos.

El conductor *I C* pone en comunicación eléctrica el asta del pararrayos con el suelo terrestre. Cuando sobre un mismo edificio hay varias astas, se puede ponerlas todas en comunicación con el suelo por medio de un solo conductor, así como recíprocamente puede también tener una sola asta dos conductores. Sólo que en ambos casos debe existir una cierta relación entre el grueso de las astas y el de los conductores para que la electricidad no encuentre ningún obstáculo en su camino. El conductor llegado á tierra, penetra algunos pies por debajo de la superficie del suelo en *A*, y lo mejor es que termine en un pozo *B E;* pero cuando esto no es posible, debe á lo menos profundizar bastante en el terreno para que alcance la capa de él que está húmeda permanentemente. Cuando dicho conductor es de hierro, debe ser protegido en lo posible de la oxidación por medio de una capa de barniz. Cualquiera que sea la disposición particular que se le dé, la condición principal es siempre que ofrezca una vía metálica completamente ininterrumpida y de conductibilidad homogénea, por la cual el fluido eléctrico pueda penetrar finalmente en el seno de la tierra.

Cualquier sitio donde se interrumpiera el conductor ó se cubriera fuertemente de óxido, ofrecería el peligro de que saltara la chispa, adoptando otro camino más fácil hacia la tierra, sobre el cual podría entonces ser causa de perjuicios, produciendo quemaduras ó destrucciones mecánicas. De aquí la necesidad de someter en todas sus partes á una inspección minuciosa al conductor, como la parte más importante del pararrayos, y con objeto de evitar los daños que su alteración pudiera ocasionar.

Antes se pensaba que distribuyéndose la electricidad en la superficie de los cuerpos, sería conveniente hacer ésta todo lo mayor posible. Sin embargo, esto es un error, pues en su propagación la resistencia que experimenta la electricidad depende de la sección del conductor. De aquí que cuando se reduce dicha sección al valor mínimo, se comete una gran torpeza, pues nunca sería más peligrosa y perjudicial semejante mezquindad que en este caso, tratándose de la instalación del pararrayos. El límite inferior de la sección del asta y del conductor, supuestos de hierro, de cuyo límite no se debe descender nunca, es de 200 milímetros cuadrados; y cuando se unen varias astas con un mismo conductor, la sección de éste debe tomarse, si es posible, igual á la suma de las de todas las astas. El conductor consiste generalmente en varillas de hierro ó en gruesas láminas de hoja de lata. Como quiera que pueden ofrecerse dificultades para construirse todo de una sola pieza, se le puede formar con varias piezas unidas entre sí, como indica la fig. 320; las superficies de unión deben tocarse por todos sus puntos y hallarse completamente limpias. Para dirigirlas sobre el techo ó contra las paredes del edificio, se sujetan mediante pies aisladores, á los cuales se puede dar la forma representada en la fig. 321. Sin embargo, cuando el conductor no ha de pasar por muy cerca de grandes masas metálicas situadas en el interior del edificio, no es tan necesario un aislamiento tan completo como el que proporciona el cristal ó la porcelana, según pretenden algunos, demasiado escrupulosos. Cuando el conductor tiene en todas sus partes una sección suficientemente grande hasta llegar al suelo terrestre húmedo, en donde la electricidad se difunde instantáneamente, el fluido eléctrico prefiere siempre este camino, más corto y expedito, y no intenta siquiera producir ninguna chispa. De suerte que, en lugar de pensar en sistemas aisladores costosos, es preferible fijar la atención en dar al conductor un diámetro tan grande como sea posible. Con el conductor propio del pararrayos se debe poner también en comunicación conductora todas aquellas partes del edificio que por su naturaleza metálica, como las canales, etc., ó por su forma saliente, co-

FIG. 320.

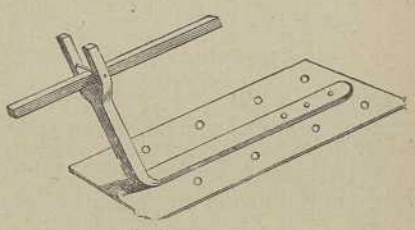


FIG. 321.
Sostén y aislamiento del conductor.

mo cúpulas, frontones, etc., pudieran atraer también en ocasiones al rayo. Las porciones del edificio con las cuales se puede hacer comunicar el conductor del pararrayos, están señaladas, por ejemplo, en la fig. 319, con la letra *M*.

La tercera parte importante del pararrayos es el enterramiento del conductor. Según la teoría desarrollada en las anteriores líneas, se desprende por sí mismo que la eficacia de todo el aparato depende de la rapidez con la cual la electricidad del suelo puede fluir á través del conductor y del asta por la punta de éste, diluyéndose en el aire en que flota la nube tempestuosa; así como, en el caso de la descarga, recorrer este mismo camino en sentido opuesto. Para satisfacer ambos casos, el extremo del conductor debe hallarse en terreno húmedo, pues las infinitas arterias capilares del terreno llenas de agua que atraviesan sus capas, son otras tantas ramas conductoras, en las cuales se distribuye el rayo, ó que proporcionan la electricidad que ha de neutralizar á la de la nube. Si se interrumpiera bruscamente el conductor del pararrayos en el seno de un terreno arenoso y seco, dicho aparato pondría al edificio en mayor peligro que la falta de él; aun en un suelo húmedo debe prolongarse el conductor algún trecho con objeto de aumentar en lo posible los puntos de contacto. Lo mejor es ramificar al conductor como indica la fig. 319 en *E*, ó bien prolongarlo con una lámina metálica, pues la resistencia de la tierra es mucho mayor que la del mismo conductor, y sólo puede compensarse esta variación con un aumento correspondiente en el diámetro de la capa del terreno en que desemboca.

Al restaurar la catedral de Freiburgo, que había sido provista en el año 1844 con pararrayos bajo la dirección de Frick, se encontraron gran número de señales de descargas eléctricas, pero todas se habían producido entre partes metálicas, y por este motivo produjeron perjuicios de poca consideración. El nuevo pararrayos parte de una estrella metálica que sirve de veleta, y consiste en un cable formado por seis alambres de cobre de unos dos milímetros de grueso, el cual penetra en la tierra y está en comunicación con todas la masas metálicas del edificio, mediante alambres de cobre de 5 milímetros de grueso.

La doble acción del pararrayos, ya produce un flujo continuo de electricidad terrestre en el aire y neutraliza así gradualmente á la nube tempestuosa, ya, en otros casos, recibe la descarga, para lo cual ofrece un camino más cómodo á la chispa que el que pudiera presentársele en la proximidad; esta doble acción sólo se alcanza cuando todos los detalles de la instalación han sido atendidos con el mayor esmero, y todas sus partes componentes trabajadas y unidas entre sí con la más escrupulosa exactitud. A pesar de todo, nunca podemos considerarnos dueños de la situación en medio de los fenómenos eléctricos atmosféricos. Se han producido y producen todavía casos dignos de atención, en los cuales el rayo ha despreciado el conductor excelente que le ofrecía un pararrayos, y ha estallado en su proximidad. En los almacenes de Purfleet cayó

el rayo sobre un arpón de hierro que se hallaba colocado en una de las esquinas superiores del edificio, y sólo á unos 15 metros del asta del pararrayos. El taller de Heckingham, en Inglaterra, fué herido por el rayo el 17 de Junio de 1783 en una esquina del techo situada á 13 metros de distancia de la más próxima de las astas (el edificio tenía ocho pararrayos) y 2,5 metros más baja que la misma. Con todo, estos casos no pueden menos de considerarse como excepciones. En general, la acción del pararrayos es tan extraordinaria, que sería una necedad ponerla en duda.

El Gobierno francés designó una Comisión para que estudiara las cuestiones relacionadas con el pararrayos, en la cual figuraban hombres como Arago, Biot, Poisson, Girard, Fresnel, Gay-Lussac y otros no menos célebres. Los resultados admitidos por estos sabios como consecuencia de sus trabajos merecen ser considerados como una ley indiscutible. Explicó la Comisión que un pararrayos con una asta terminada en punta tiene poder para proteger eficazmente un espacio circular á su alrededor cuyo radio es igual al doble de la altura de la barra; y fundada en esto propuso, para asegurar los edificios, ciertas relaciones de longitud y anchura que coinciden con las que se desprenden de las instrucciones contenidas en las líneas anteriores. Cuando consideraciones arquitectónicas hagan imposible establecer astas de pararrayos en los puntos determinados por estas reglas, se pueden unir entre sí y con un conductor principal, mediante láminas de plomo ó de cobre, todas las partes sobresalientes del techo, ó á lo menos poner en comunicación conductora con el suelo las chimeneas y las esquinas superiores. Las veletas, las barras que llevan estrellas ó botones metálicos colocadas sobre las torres, pueden utilizarse sin más como astas de pararrayos cuando no penetran mucho en el armazón del edificio y no están demasiado próximas á las campanas, pudiendo emplearse como un excelente conductor los tubos de la cañería de gas ó de agua, los cuales, además de tener una sección relativamente grande, ofrecen la ventaja inestimable de prolongarse por medio de grandes masas metálicas en el seno de la tierra. Además, en cada caso particular se pueden presentar combinaciones oportunas, que no es posible prevenir de un modo general. Cuando un edificio se halla situado sobre una elevación del terreno y aislado á cierta distancia de cualquiera otro punto, que pudiera atraer de preferencia al rayo, es evidente que se impone una protección más enérgica que cuando se halla en un valle profundo y frondoso. Pero en todo caso la instalación del pararrayos debe confiarse á técnicos prácticos y completamente familiarizados con las leyes físicas de los fenómenos que tienen relación con el particular.

Los beneficios reportados por la invención del pararrayos no podrían ser expresados por números, pues si consideramos que en nuestros tiempos va reduciéndose cada día más el número de los bosques, diques naturales sobre los cuales se estrella la furia de las tempestades, y, por consiguiente, que los peli-

gros con motivo de éstas van en aumento, al observar la disminución real de los daños ocasionados por el rayo, tendremos que atribuirla necesariamente á los efectos de este descubrimiento de que somos deudores al gran norteamericano, prodigándole, por tanto, la gloria más hermosa que puede caber á los mortales.

Eripuit cœlo fulmen, cetrumque tyrannis (1).

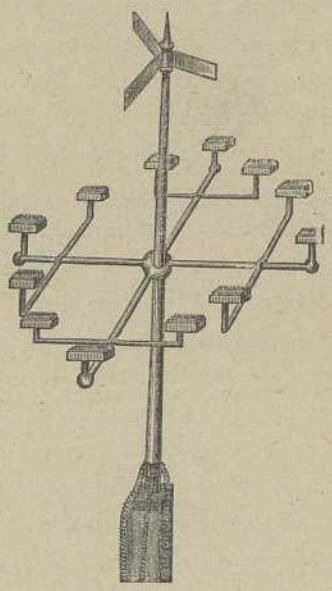


FIG 322.—Pararrayos cuya invención se atribuye al cura Procop Diwjsch de Moradia (1754) y que se funda en la idea de neutralizar en lo posible las electricidades contrarias.

(1) Arrancó el rayo al cielo, y el cetro á los tiranos.

GALVANISMO

LUZ ELÉCTRICA Y GALVANOPLASTIA

Galvani y las ranas.—Desarrollo de la electricidad por contacto.—La corriente galvánica.—Volta.—Elemento y pila.—Diferentes formas de ésta.—Pila de Zamboni.—Pila de artesa y pila de corona.—Pilas constantes.—Acumuladores y pilas secundarias.—Pila de Bunsen.—Acción de la corriente galvánica.—Resistencia.—Efectos caloríficos y su aplicación.—La luz eléctrica.—Arco voltaico é incandescencia.—Reguladores.—Lámpara de Duboscq.—Bujías de Jablochkoff.—Lámpara de Clerc.—Ramificaciones de la corriente.—Regulador diferencial de Siemens.—Lámparas de incandescencia de Edison, Swan. etc.—Efectos químicos de la corriente.—Electrolisis.—Descomposición del agua, descubierta por Humphrey Davy.—La galvanoplastia y las metalizaciones galvanoplásticas.—Cobreado, acerado, niquelado, plateado y dorado.

Si las ranas hubieran tenido cronología, seguramente habrían señalado al año 1790 como una fecha culminante de su historia, y no hubiera sido extraño, dado el destino á que desde aquel año quedaron sometidas, que hubieran contado, á partir de entonces, una era triste y aciaga. En efecto; este batracio había recorrido antes el círculo vital que le trazó la madre Naturaleza, desarrollándose á través de sus metamorfosis, creciendo y reproduciéndose, sin que nada se interpusiera en su camino, á no ser el capricho de un gastrónomo, al cual se pudieran sacrificar algunos individuos de la numerosísima especie. Pero con la Revolución francesa, y aunque no por consecuencia de ella, cayó sobre las ra-

nas una maldición á la cual difícilmente habrán de poder sustraerse en lo sucesivo. Eran perseguidas, cogidas, martirizadas, desolladas, decapitadas, matadas; y si sólo fuera esto, aún podrían darse por contentas, pues lo mismo les sucede á todos los animales cuya carne puede servir para confeccionar un asado, cuya piel puede proporcionar cuero, badana, etc., cuyas plumas dan algún adorno, ó cuyos propios jugos tienen alguna utilidad, pues con la muerte acaban todos los suplicios. Cuando el topo cogido en el artero lazo tendido por el constructor se agita en el aire, y la dificultad en la respiración le advierte el gran peligro que corre su vida, es, sin embargo, bien torpe al envidiar á la rana que canta en el estanque inmediato, gozando de la plenitud de la existencia. En cuanto aquél haya expirado, habrán terminado sus sufrimientos. Para la rana comenzarán de nuevo con la muerte.

FIG. 323.—Luigi Aloisio Galvani.

La rana es un aparato físico desde el año 1790. Su vida no pertenece ya á la Naturaleza; ha caído bajo el dominio de la ciencia, y en presencia de este nuevo dueño, la muerte misma ha perdido sus derechos. La rana no debe alcanzar todavía el reposo después que se le haya cortado la cabeza, arrancado la piel, separado los músculos unos de otros y tronchado la espina dorsal, etc.; al mandato del físico deben todavía excitarse sus nervios, contraerse sus músculos, hasta que desaparezca la última gota de humedad vital en los órganos. Como el payaso de las comedias, debe fingir alegría y dar saltos y piruetas aunque tenga partido el corazón. ¡Pobre animal!

Pues todo esto pesa sobre la conciencia de Galvani. Éste nació en Bolonia el 9 de Septiembre de 1737 y desde 1775 fué profesor de Anatomía en la Universidad de su ciudad natal, á la cual rara vez abandonó durante su vida. Removido de su cátedra en 1797 por su significación política, fué muy pronto repuesto en ella y murió en Bolonia el 4 de Diciembre de 1798. Sus estudios no se limitaban exclusivamente á los asuntos anatómicos, sino que se referían también á cuestiones fisiológicas, como la excitabilidad de los nervios, y con este motivo fué con el que el anatómico hizo un descubrimiento físico, del cual no habían encontrado hasta entonces los físicos la menor huella. El hecho fué como sigue.

La esposa del naturalista boloñés estuvo enferma, y para fortalecerla le prescribieron caldo de patas de ranas. Un día, según se cuenta, el 6 de Noviembre de 1780, había casualmente un cierto número de ranas preparadas con dicho objeto en el cuarto del profesor, el cual se ocupaba, junto con varios compañeros, en experiencias eléctricas; pues, según él creía, había que atribuir á la electricidad una participación esencial en las funciones musculares y nerviosas del cuerpo humano.

Durante estas experiencias, se observó que las ranas muertas entraban en sacudimientos particulares cuando se sacaba una chispa del conductor de la máquina eléctrica. Galvani sospechó una acción de la electricidad contenida en el aire sobre los nervios, y para estudiarla, colgó de los hierros de su balcón, mediante un alambre de cobre doblado, las patas de rana preparadas, y trató de ponerlas en contacto con la mayor masa posible de aire, agitándolas en todos sentidos. Sin embargo, dichas patas de rana permanecieron tranquilas, hasta que vinieron á chocar casualmente con la balaustrada de hierro, en cuyo momento se contrajeron enérgicamente cuantas veces se producía dicho contacto.

FIG. 324.—Alejandro Volta.

Este hecho, y una porción de otros fenómenos no menos notables, observados bajo distintas modificaciones de la experiencia, los cuales publicó Galvani describiendo lo más exactamente las circunstancias en que se habían producido, determinaron en el mundo científico una grande y merecida expectación. Galvani se imaginó que á través del conductor metálico se transmitía de los nervios á los músculos un fluido especial, semejante á la electricidad, al cual se llamó después fluido galvánico, y que el cuerpo que según esta teoría se conduciría como una botella de Leyden cargada, sufriría la conmoción por efecto de la descarga. Muchos sabios permanecieron durante largo tiempo aferrados á esta explicación, por más que á poco de ser publicada, y como resultado de las célebres experiencias de Alejandro Volta, fué rebatida y sustituída por una teoría nueva, mucho más satisfactoria.

Volta nació en Como el 19 de Febrero de 1745. Hasta fines del año 70 de

siglo pasado, fué profesor de Física en el Gimnasio de su ciudad natal; después adquirió la cátedra de Física en la Universidad de Pavía, que desempeñó hasta el año 1804, en que fué separado de ella. Napoleón I honró al célebre físico con el título de conde y senador de Italia; el emperador Francisco le nombró, el año 1815, Rector de la Universidad de Padua. Los últimos años de su vida permaneció el gran sabio en Como, muriendo allí en Marzo de 1827. Junto á la casa donde nació se ha erigido en su memoria una estatua de mármol.

LA CORRIENTE ELÉCTRICA: GALVANISMO

Volta reconoció, como condición esencial en la experiencia de Galvani, que el conductor metálico debía constar de dos metales *diferentes*, puestos en contacto, y nuestros lectores pueden convencerse por sí mismos de esta experiencia fundamental de Galvani, soldando uno con otro un hilo de cobre, *c*, y un hilo de cinc, *z*, ó simplemente arrollándolos para ponerlos en íntimo contacto, según indica la fig. 325, y tocando con uno de estos alambres el nervio lumbar, puesto al descubierto por la separación de la parte inferior de la columna vertebral, y con el otro el músculo crural de una rana. A cada contacto, así como á cada interrupción del contacto, el músculo entra en convulsión, y esta sensibilidad se conserva durante bastante tiempo después de la muerte del animal. Volta mostró que al ponerse en contacto dos conductores de diferente naturaleza, se desarrollaba electricidad de un modo permanente, y admitió que el fluido neutro existente en todos los cuerpos se descomponía en la superficie de contacto, dirigiéndose la electricidad positiva hacia el uno y la negativa hacia el otro de ambos conductores. Como que esta generación y este flujo de electricidad se proseguía sin interrupción mientras duraba el contacto, y los dos conductores comunicaban entre sí mediante un tercero, se llamó á este fenómeno *corriente eléctrica* ó *voltaica*.

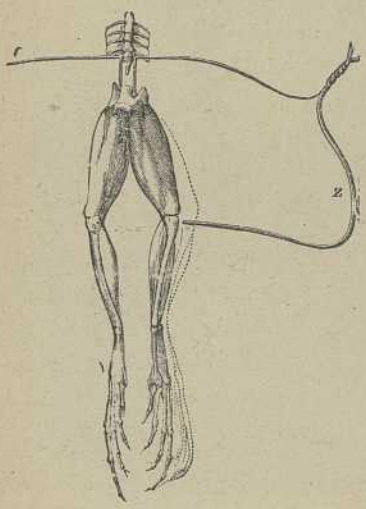


FIG. 325.—Experiencia de Volta.

Esta electricidad sólo se diferencia en la forma de su producción, de la engendrada por rozamiento, correspondiendo, por lo demás, con ésta en todas sus propiedades. En honor de sus descubridores, se llama electricidad galvánica ó voltaica. Pero según ya hemos indicado, para que se origine la corriente eléctrica es necesario, además de los dos metales diferentes, un conductor empapado en agua ú otros líquidos, el cual ponga á los metales en comunicación, y probablemente

el sitio donde se produce la separación de las electricidades no es en el contacto entre ambos metales, como creía Volta, sino en la superficie de contacto de éstos, y principalmente uno de ellos, con el líquido que los pone en comunicación.

FUERZA ELECTROMOTRIZ

Se llama así á la fuerza que separa las electricidades en uno de estos contactos, sin que tengamos un concepto preciso sobre su naturaleza. Es de suponer, sin embargo, como lo más racional, que así como en la máquina eléctrica se invierte en este trabajo el esfuerzo mecánico ejercido para poner el disco en rotación, aquí se transforma en electricidad el calor que queda libre en virtud de las reacciones químicas. Y así dichos fenómenos químicos juegan un papel tan importante en la generación de la electricidad por contacto, que podemos considerarles como una condición general é indispensable, y en aquellos casos en que no nos es permitido observar directamente uno de aquellos fenómenos ó reacciones, deberemos únicamente buscar la causa de esta deficiencia en la sutilidad de dichos fenómenos y en la imperfección de los métodos de investigación de que disponemos en la actualidad.

El concepto de la corriente eléctrica lleva consigo la necesidad de que los cuerpos en cuyo contacto se origine, sean buenos conductores. Por esto los metales se manifiestan particularmente apropiados como excitadores de la corriente, por más que la fuerza electromotriz no sea igualmente grande en todos ellos, sino que se observen relaciones muy notables en lo que se refiere á la cualidad y á la cantidad de la electricidad engendrada en cada caso. Por ejemplo, mientras que el cobre puesto en contacto con el cinc, y ambos con el agua acidulada con ácido sulfúrico, adquiere electricidad negativa y el cinc electricidad positiva, cuando el cobre se pone en contacto con el oro en iguales condiciones que en el caso anterior, se electriza positivamente, siendo el oro el que adquiere la electricidad negativa; y esta relación cualitativa y cuantitativa entre dos metales es constante para unos mismos, pero diferente para cada dos cuerpos distintos. Bajo la base de este hecho, se han ordenado los conductores en una serie, de tal suerte, que cada uno de ellos se electriza negativamente cuando se pone en contacto con uno de los que le preceden, y positivamente cuando se une á cualquiera de los que le siguen. Esta es la serie de tensión eléctrica, que para los elementos principales guarda el orden siguiente: cinc, plomo, estaño, hierro, cobre, plata, oro, platino, carbón. Cuanto más distante se hallan entre sí dos cuerpos en dicha serie, tanto más intensa es la fuerza electromotriz desarrollada entre ambos.

ELEMENTO GALVÁNICO

Podemos observar el proceso de la corriente eléctrica en su forma más sencilla y más pura con uno de los llamados elementos ó pares. Consisten éstos simplemente en dos trozos de metales diferentes que se tocan por uno de sus extremos, mientras que están unidos en los otros extremos por medio de un líquido conductor en el que se sumergen. En la fig. 326, por ejemplo, están soldadas en la arista superior una lámina de cinc con una lámina de cobre, que se introducen en un vaso con agua salada. La fuerza electromotriz descompone el fluido neutro en las superficies de contacto de los metales con el líquido, acumulándose la electricidad positiva sobre el cobre, la negativa sobre el cinc, y combinándose ambas de nuevo en la soldadura. Pero á medida que tiene lugar esta recombinación, se separan en las superficies de contacto con el líquido nuevas cantidades de electricidad, que siempre en la misma forma y sin interrupción fluyen hacia el vértice del ángulo. Se ha convenido en designar la dirección de esta corriente eléctrica en el sentido en que camina la electricidad positiva; y así se dice en este caso que la corriente marcha en el interior del líquido del cinc al cobre, y viceversa en el exterior.

FIG. 326. Generación de la electricidad por contacto.

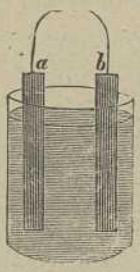


FIG. 327. Elemento galvánico.

Es evidente que la corriente eléctrica debe producirse del mismo modo, aun cuando el cinc y el cobre no estén directamente en contacto, como en la figura 326, sino que se interponga entre ambos otro conductor como el alambre que une las dos láminas metálicas *a* y *b* en la fig. 327. La circunstancia de que los efectos de la corriente galvánica son proporcionales á la magnitud de las superficies sumergidas, favorece de un modo muy especial la teoría química sobre el origen de la corriente, á la cual se inclinaban los físicos cada vez de un modo más definitivo, abandonando la antigua teoría del contacto, según la cual la electricidad se engendraría realmente de la nada. Sin embargo, en estos últimos tiempos ha adquirido nueva preponderancia la idea de que el simple contacto de dos cuerpos heterogéneos conductores pueda ser causa, aunque indirecta, de un movimiento eléctrico, si bien siempre hay que recurrir á la energía desprendida durante las reacciones químicas para explicar la producción continua de electricidad en una pila cuyo circuito está cerrado.

LA PILA VOLTAICA

Así como en la batería eléctrica se suma la acción de las botellas de Leyden reuniendo varias de éstas, así también se puede acrecentar los efectos de la corriente galvánica por la agrupación en serie de un número mayor ó menor de elementos, y esto es lo que se practica en todos los casos en que se quiere producir electricidad galvánica con cualquier objeto. Volta, el creador de esta nueva ciencia, llevó á cabo este pensamiento suyo, inventando en 1800 la pila que lleva su nombre.

Consiste ésta, conforme muestra la fig. 328, en discos de cobre y cinc puestos en capas alternativas y separados entre sí por pares, mediante discos de fieltro impregnados de agua salada y del mismo diámetro que los de metal entre los cuales están colocados. Estos discos de fieltro húmedos, que pueden ser sustituídos por un trozo de paño ó por papel absorbente acidulado, reemplazan al líquido de las figuras 326 y 327. En nuestro dibujo están indicados por las líneas punteadas, mientras que las líneas negras representan láminas de cobre, y las rayadas claras, láminas de cinc. Si la pila comienza por debajo en un disco de cobre, termina por arriba en uno de cinc. El nombre de *pila* se explica por la forma que Volta dió á su aparato; pero, por lo demás, esta forma no es nada esencial, y veremos en lo sucesivo que puede darse á la pila una multitud de formas, las cuales generalmente producen mejores resultados.

La pila de Volta debe estar aislada, esto es, debe estar privada de comunicación conductora con el suelo terrestre. Se consigue esto colocándola sobre un pie de vidrio y haciendo también de vidrio, ó al menos de madera bien barnizada, las columnitas entre las cuales se colocan apilados los discos.

Si ahora investigamos el estado eléctrico de la pila, encontraremos que se conserva completamente neutral en el centro, pero que la tensión eléctrica crece hacia los dos extremos, y adquiere su grado máximo en los últimos pares metálicos de la pila. En aquel extremo en que la lámina de cinc se halla hacia el interior de ésta, encontramos el máximum de electricidad positiva, en el otro el de electricidad negativa, y por esta razón se llaman los dos *polos* positivo y negativo. La tensión de la electricidad crece con el número de pares de discos ó electrodos, la cantidad de la electricidad desarrollada con la magnitud de la superficie de éstos en contacto.

Mientras los polos de la pila no son puestos en comunicación recíproca, ninguna acción se manifiesta en ella. Pero en cuanto se intercala entre ellos un hilo metálico, ó en general un conductor, percibimos los efectos de la corriente, cuyas manifestaciones pueden ser fenómenos físicos, químicos ó fisiológicos.

Pero antes de entrar en su estudio, preferimos fijar nuestra atención sobre

las diferentes modificaciones que ha recibido la pila de Volta, tanto más cuanto que este asunto ha adquirido una gran importancia en la telegrafía, galvanoplastia, etc.

En primer término, encontramos la pila de Zamboni, que corresponde completamente en su disposición á la de Volta, con la diferencia de que, en lugar de los discos metálicos macizos, contiene papel de oro ó de plata, cada dos de cuyas hojas se colocan una junto á otra por el lado metálico, y estos pares se apilan en serie sucesiva. El papel, que siempre absorbe algo de agua de la atmósfera, sustituye aquí al conductor mojado. Como es natural, una pila de este género no puede dar efectos muy enérgicos; pero como quiera que pueden reunirse muy bien varios millares de hojas de papel, y que el desarrollo de electricidad, aunque lento por la imperfecta conductibilidad del aparato, se prolonga durante largo tiempo, esta pila de Zamboni puede tener aplicación oportuna en ciertos casos (como el aparatito llamado del movimiento continuo, electrómetros, etc.), si bien esta pila, llamada también pila seca, nunca ha tenido una gran importancia práctica.

El defecto principal de la pila voltaica es que su acción no es duradera y constante, sino que, muy enérgica al principio, cede en intensidad al poco tiempo, y muestra una fuerza electromotriz cada vez menor. La causa de esto está en la acción química de la corriente. Esta produce, en efecto, una descomposición del agua que impregna al conductor humedecido; el oxígeno se dirige al cinc, uniéndose con él para formar óxido de cinc, el cual se disuelve en el líquido ácido; el hidrógeno, por el contrario, se dirige hacia el cobre, adhiriéndose á su superficie en forma de pequeñas burbujas que impiden el contacto directo del cobre con el líquido en todos sus puntos, y perjudican, por tanto, al desarrollo de electricidad; la pila está *polarizada*, como se dice comúnmente. Tratándose de una pila como la que representa la fig. 328, es difícil remediar este inconveniente, á no ser que se desmonte por completo. Por esto, y también porque con el peso de los pares de discos que gravitan sobre la parte inferior del aparato, el líquido que impregna á las capas de fieltro situadas allí, es exprimido, y con ello disminuye la conductibilidad interior de la pila, se han colocado los elementos unos al lado de los otros en una caja rectangular alargada, llenando de líquido los huecos que dejan entre sí los pares de láminas metálicas. Esta es la llamada pila de artesa (fig. 329), la cual ha recibido todavía una modificación, en virtud de la cual cada par metálico se sumerge en un vaso propio, y los elementos comunican entre sí como indica la fig. 330 (pila de tazas ó de corona). En esta figura se señala por las pequeñas flechas la dirección en que marcha la corriente. Tal disposición ofrece la ventaja de que puede desmontarse fácilmente cada elemento en particular. Estas combinaciones de varios elementos ó pares se llaman también baterías galvánicas, y su esencia no cambia, porque, en lugar de cobre y cinc, se combinen otros metales, como cinc y plata, plata y

platino, etc., para constituir el par electromotor. Una de las baterías de este género más poderosas, fué la construída por orden de Napoleón I para la Escuela politécnica de París. Los ingleses, excitados en su amor propio, quisieron tener un aparato semejante, y se abrió entre ellos una suscrición para dotar al laboratorio del célebre químico Davy de una gran pila de Wollaston, cuyos pares estaban formados por cinc y cobre. La fig. 331 representa dicha pila, que, como se ve en el dibujo, es una pila de artesa de 200 elementos.

Pero ninguna de estas pilas ordinarias permite obtener una acción permanente; la corriente, muy enérgica al principio, se debilita rápidamente, por con-

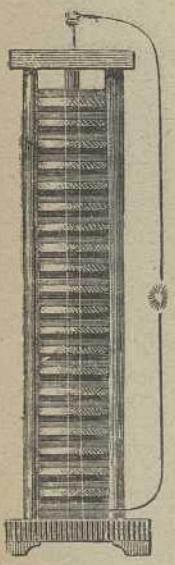


FIG. 328.—Pila de Volta.

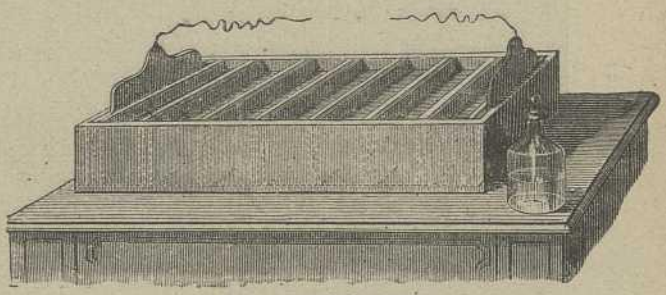


FIG. 329.—Pila de artesa.

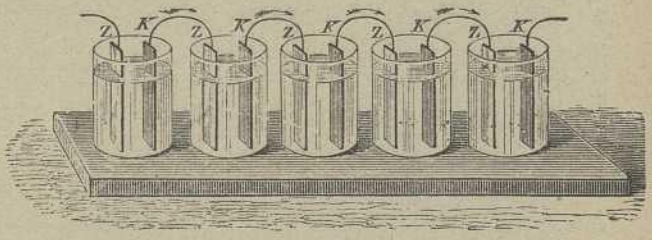


FIG. 330.—Pila de tazas.

secuencia del depósito de las burbujas de hidrógeno sobre la lámina de cobre.

Las pilas de corriente constante tratan de evitar este inconveniente dirigiendo la descomposición química de tal suerte, que no se desprenda ningún gas que perjudique á la intensidad de la corriente, sino que todos los productos de la descomposición permanezcan disueltos en el líquido, el cual conserva en lo posible siempre la misma composición y concentración. Se consigue este objeto, si no completamente (pues esto no es posible, toda vez que para dar origen á la electricidad siempre tiene que producirse una reacción química, por consecuencia de la cual uno de los elementos se desgasta gradualmente y disuelve en el líquido), de un modo aproximado, y durante un tiempo bastante largo, cuando no se hace consumo muy grande de electricidad, sumergiendo el metal negativo en un líquido diferente del positivo, y separando estos dos líquidos por medio de un tabique poroso, de suerte que permanezcan siempre en contacto y no sufra interrupción ninguna la conductibilidad interior de la pila. Como metal

positivo se emplea casi siempre el cinc sumergido en ácido sulfúrico diluído; como electrodo negativo se usa en la pila de Daniell el cobre sumergido en una disolución concentrada de sulfato cúprico; en la de Grove, el platino en ácido nítrico concentrado, y, por último, en la pila de Bunsen el carbón de retortas,

FIG. 331.—Gran pila de artesa, según Wollaston, construída por Davy.

también sumergido en ácido nítrico concentrado. En todas ellas, y para impedir la acción directa del ácido sulfúrico sobre el cinc, se cubre éste superficialmente con mercurio, que forma amalgama de cinc.

Ciertamente que en estas pilas se desprende también hidrógeno sobre el electrodo negativo; pero en virtud de la naturaleza del líquido en el seno del cual tiene esto lugar, dicho gas es absorbido, combinándose químicamente á medida que se produce, y por consiguiente no puede llegar á ejercer su acción

perjudicial sobre la superficie del conductor. En la disolución de sulfato cúprico reduce al cobre, que se deposita sobre la lámina del mismo metal, y forma ácido sulfúrico, que se mezcla con el que rodea al cinc del electrodo positivo, á través de las paredes del vaso poroso; en el ácido nítrico el hidrógeno forma agua con parte de su oxígeno, reduciéndole á ácido nitroso, óxido nítrico, etc.

Como ejemplo describiremos sólo la disposición de la pila de Bunsen que reune las mayores ventajas para fines prácticos en gran escala.

Cada elemento de esta pila consta de cuatro piezas: 1.ª Un vaso, *A*, de porcelana ó de vidrio (fig. 332), que sirve para recibir en su interior todas las partes restantes. 2.ª Un cilindro hueco, abierto por un lado, *B*, formado por una lámina gruesa de cinc encorvada, y á la cual se ha soldado una laminita de cobre. 3.ª Un vaso poroso de arcilla, *C*, completamente cerrado por el fondo y paredes laterales; y 4.ª, un cilindro macizo de carbón, *D*, provisto en su parte superior de un tornillo mediante el cual puede ponerse en comunicación conductora con la cinta de cobre procedente del cinc de otro par. Todas estas partes aisladas van disminuyendo de diámetro por el orden en que se las ha citado, puesto que, como indica la figura, para montar la pila se han de introducir las unas dentro de las otras. Primero se coloca el cilindro de cinc en el vaso exterior; dentro de aquél el vaso poroso, y en el interior de éste el cilindro de carbón. En el espacio hueco que rodea al cinc se vierte ácido sulfúrico diluído, y el interior del vaso poroso se llena con ácido nítrico concentrado.

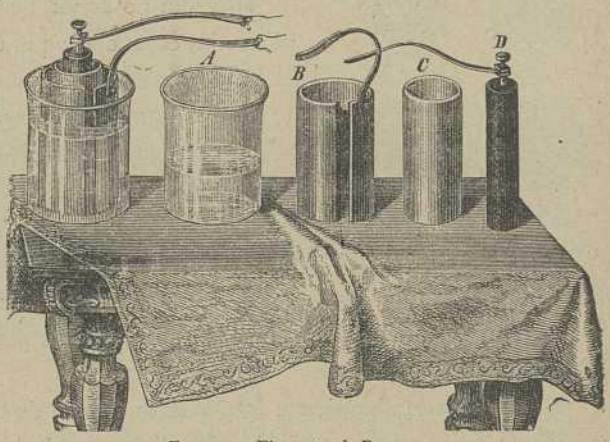


FIG. 332.—Elemento de Bunsen.

Para los cilindros de carbón de estas pilas no puede emplearse el carbón vegetal ordinario, pues no es bastante denso y conduce muy poco la electricidad; se usa el cok, más compacto, que queda adherido á las paredes superiores de las retortas de gas del alumbrado, pulverizado y formando una pasta consistente con un poco de carbón de piedra y una disolución saturada de azúcar; á esta masa se le da la forma de cilindros, y se la somete á una temperatura muy elevada, de suerte que adquiera sonoridad. A veces se hace también hueco el cilindro de carbón, y se llena con trozos de cok ó con arena, cuyas sustancias se impregnan de ácido nítrico, y también se obtienen pilas muy cómodas llenando el cilindro poroso, *C*, con trozos y polvo de cok, y llenando con ácido nítrico los intersticios.

El vaso poroso suele llevar unas piezas salientes de vidrio con objeto de evitar su contacto con el cinc, cuyas piezas están representadas en la proyección vertical de la pila (fig. 333). Se desprende por sí misma, de las nociones anteriores, la manera cómo se combinan varios elementos para formar una pila. Basta sujetar la lámina de cobre que sale del cinc del primer par en el tornillo del carbón del segundo par, la que parte del cinc de este segundo par con el carbón del tercero, y así sucesivamente, de modo que el carbón del primer elemento quede unido finalmente con el cinc del último elemento, para que quede cerrado el circuito.

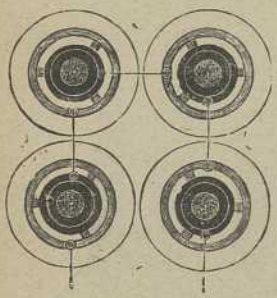


FIG. 333.—Pila de Bunsen.

Hoy día no es ya necesario montar pilas galvánicas de esta clase para las aplicaciones prácticas de la corriente en gran escala; sus poderosos efectos, de los cuales empezaremos á ocuparnos en este capítulo, se obtienen por medios completamente diferentes de los que ofrecen aquéllas. Ya veremos más adelante la manera cómo pueden engendrarse mucho más cómodamente enérgicas corrientes eléctricas máquinas dinamo-eléctricas); ahora vamos á entrar á considerar los diferentes modos de obrar del galvanismo, sin atender más por lo pronto á la producción de la corriente.

Pero antes de abandonar este asunto hemos de tratar de un aparato que se menciona frecuentemente en las descripciones de los inventos electro-técnicos, y que parece destinado á jugar un papel muy importante en la industria del porvenir; nos referimos á las

PILAS SECUNDARIAS Ó ACUMULADORES

Su esencia se nos presentará claramente inteligible después que hayamos abarcado en conjunto la manera de obrar de la corriente bajo el punto de vista químico.

De entre las diversas clases de efectos de la corriente, sobre los cuales trataremos detalladamente en lo sucesivo, necesitamos aquí suponer conocido sólo una de ellas, los efectos químicos, por los cuales la corriente eléctrica es capaz de descomponer en sus partes elementales los compuestos ó combinaciones químicas. Si sumergimos los dos polos ó láminas extremas de una pila en un líquido, por ejemplo, en agua acidulada, ésta se resuelve por el paso de la corriente en sus elementos constituyentes, oxígeno é hidrógeno. La corriente se emplea en esto con una parte mayor ó menor de su energía total, y precisamente la parte que desaparece corresponde exactamente á la cantidad de agua descompuesta, ó, lo que es igual, á la cantidad de la mezcla gaseosa separada de ella. La

frase que hemos empleado al decir «la parte de la corriente que desaparece,» es falsa, pues según la ley de la conservación de la energía, jamás se pierde realmente ni la más pequeña parte de fuerza, y en los casos en que parece tener otro lugar, sólo adquiere aquélla una forma distinta. Aquí también los gases oxígeno é hidrógeno desprendidos han recibido y contienen en su masa la fuerza eléctrica de la corriente. Esta fuerza se revela en la poderosa atracción química que ambos gases ejercen entre sí, y queda de nuevo libre en forma física cuando el oxígeno y el hidrógeno se combinan otra vez, ó arde la mezcla: sólo que la fuerza en este caso era eléctrica en un principio, y aparece ahora en forma de calor de combustión. Pero podemos transformar al calor en trabajo mecánico, y si medimos éste, encontraremos que una cierta porción de corriente que al atravesar un líquido se ha invertido en descomposición química, corresponde siempre á determinada cantidad de trabajo mecánico, y también á una cantidad constante de afinidad química ó tensión, que se halla condensada en los productos de la descomposición separados por la corriente.

En este caso se ha convertido á la corriente eléctrica en tensión química, á la tensión química en calor, á éste en fuerza mecánica, con la cual se puede desarrollar de nuevo una corriente eléctrica; podríamos ahora preguntarnos si no sería posible originar, mediante la corriente eléctrica, una tensión química semejante, la cual, al abandonar este estado, no desarrollara ya calor, como lo desarrollan el oxígeno y el hidrógeno cuando se combinan, sino que esta cantidad de fuerza acumulada en forma de tensión química, diera directamente su equivalencia en forma de electricidad, de corriente eléctrica.

Pues bien; esto es posible, y los aparatos en cuyo interior puede llevarse á cabo este proceso, contituyen las pilas secundarias. En su forma prácticamente utilizable fueron construídas primeramente por Planté. En ellas la electricidad se convierte en afinidad química, y entonces la pila secundaria queda *cargada;* después se *descarga*, cuando la afinidad química se convierte otra vez en corriente eléctrica, con lo cual retrocede la pila á su estado primitivo. El nombre de acumuladores, que hoy se les da generalmente, responde á la idea de que en estas pilas secundarias puede acumularse en cierto modo la electricidad.

Su construcción se funda principalmente en la propiedad que muestra el plomo, tomado como electrodo en un voltámetro y bajo ciertas circunstancias, de absorber en gran cantidad el oxígeno puesto en libertad por la descomposición del agua, formando con él un bióxido de plomo. Este bióxido actúa como electro negativo en presencia del plomo metálico, y ambos son, por consiguiente, á propósito para formar un elemento galvánico con el ácido sulfúrico diluído, en cuyo elemento el bióxido constituye el polo negativo, y la lámina de plomo metálico el polo positivo. Con estos elementos se forman las pilas secundarias, cuya disposición usual se funda siempre esencialmente en la forma dada á la misma por Planté. (Fig. 334.)

Dos laminitas de plomo (de un milímetro de gruesas) y separadas entre sí por una capa de gutapercha de seis milímetros de espesor, están arrolladas en espiral, de modo que el todo forme un cilindro, el cual se sumerge en un vaso lleno de ácido sulfúrico diluído. Cada una de las láminas de plomo está provista de una prolongación que sobresale por la tapadera del vaso y puede ponerse en comunicación con la pila principal, cuya corriente sirve para cargar este elemento secundario.

En efecto, haciendo pasar la corriente eléctrica por las láminas de plomo, y teniendo que pasar aquélla de la una á la otra á través del líquido, el agua es descompuesta por la corriente y el oxígeno desprendido oxida la lámina del electrodo positivo, la cual se cubre, por tanto, superficialmente, de una capa de bióxido de plomo, mientras que el hidrógeno se desprende libremente sobre el electrodo negativo. De este modo queda formado un elemento eléctrico, constituído por el bióxido de plomo, el plomo metálico y el ácido sulfúrico diluído, el cual puede entrar en actividad suprimiendo la comunicación con la pila principal y uniendo entre sí, mediante un hilo conductor, los dos extremos ó polos de la pila secundaria. La corriente desarrollada en ésta tiene dirección contraria á la que procedía de la pila principal; esto es, marcha de suerte que la lámina de bióxido de plomo constituye el electrodo negativo, al cual se dirige el hidrógeno del agua descompuesta por su acción. Ahora bien; este hidrógeno reduce á dicho óxido de plomo, devolviendo á la lámina su estado primitivo metálico. El elemento secundario desarrolla una cantidad de electricidad tanto mayor, cuanto mayor es la cantidad de bióxido de plomo formada por la corriente principal, ó, lo que es lo mismo, cuanto mayor es la cantidad de electricidad empleada en su carga. En cuanto todo el bióxido de plomo ha sido reducido á plomo metálico, cesa la corriente secundaria, puesto que en tal caso quedan unidas entre sí dos láminas idénticas de plomo, entre las cuales no existe ninguna fuerza electromotriz.

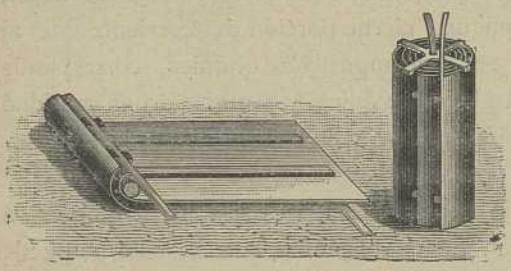


FIG. 334.—Acumulador.

No necesitamos penetrar en el estudio de las diferentes modificaciones experimentadas por las pilas secundarias; en su mayor parte se refieren sólo á la forma de las láminas de plomo, que unas veces están enrolladas, otras agujereadas, etc., etc. Las tentativas para emplear, en sustitución del plomo, otros metales (como, por ejemplo, la plata propuesta por d'Arsonval), no han tenido hasta hoy éxito satisfactorio; sin embargo, se ofrece á propósito de esta cuestión un extenso y provechoso campo de investigación.

La principal aspiración á que se quiere que respondan los acumuladores, es

la de conservar ó transportar á distancia, para los fines de la industria, una corriente eléctrica que no sea utilizable en el momento mismo de su producción ó en el sitio donde se produce; y como quiera que, según ya hemos visto, puede transformarse la fuerza mecánica en corriente eléctrica, y viceversa ésta en trabajo mecánico, resultaría también de este modo que podríamos condensar y transportar la fuerza mecánica, para reproducirla, mediante las pilas secundarias, en el momento y sitio oportunos, bien como electricidad, bien como fuerza mecánica. Esto representa, al parecer, una gran conquista, sobre todo para el aprovechamiento de los manantiales permanentes de fuerza, como los saltos de agua naturales; pues si la industria no los utiliza en aquel punto sino de un modo intermitente, como sucede en general en los talleres mecánicos, el exceso de fuerza no sólo podría transportarse á otros puntos mediante acumuladores cargados, sino también, como queda dicho, aprovecharle allí mismo en el momento oportuno. Pero desgraciadamente esto es sólo en apariencia, pues en la práctica suceden las cosas de un modo algo distinto de lo que supone la teoría anteriormente desarrollada.

En efecto; las pilas secundarias, tales como están constituídas en la actualidad, luchan con el gran inconveniente de que no pueden conservar su carga entera; pierden poco á poco su energía, y estas pérdidas. que obedecen á diferentes causas, limitan esencialmente su utilidad. Además, su peso considerable es también un obstáculo que se opone á la transportabilidad de grandes cantidades de fuerza. Hoy no es posible prever todavía hasta qué punto llegará este invento á ser perfeccionado y adquirirá pública aceptación. A pesar de todo, hoy mismo pueden encontrar los acumuladores aplicación práctica en condiciones favorables para ciertos usos especiales en particular, como, por ejemplo, el alumbrado eléctrico.

Los *efectos de la corriente eléctrica* son muy diferentes bajo varios conceptos de los de la chispa eléctrica ordinaria, á lo menos en lo que se refiere á la cantidad. Entre los que se traducen por fenómenos físicos, se hallan en primer término los efectos luminosos y caloríficos, mientras que las atracciones y repulsiones son muy poco perceptibles en las pilas galvánicas, por efecto del valor relativamente más pequeño de la tensión de la electricidad en ellas.

En los escaparates de los mecánicos se ve á veces un juguete llamado *móvil perpetuo eléctrico*. El movimiento largo tiempo duradero de este móvil, se funda en las atracciones y repulsiones que un péndulo oscilatorio alrededor de su centro de gravedad, recibe de los dos polos de nombre contrario de dos pilas de Zamboni: éstas están colocadas una enfrente de la otra, y de suerte que queden hacia arriba el polo positivo en la una, y en la otra el polo negativo. El péndulo está suspendido en medio en ambas, y es impelido en un principio de modo que la esfera en que termina venga precisamente á tocar uno de estos polos. Una vez en contacto, se carga con electricidad del mismo nombre que

este polo, y entonces es repelida por él, al mismo tiempo que atraída por el de nombre contrario de la otra pila, situado en presencia; al ponerse en contacto con este segundo, pierde la electricidad que llevaba, saturándose de la que posee este mismo, siendo entonces repelido por él y atraído de nuevo por el que está enfrente, y así sucesivamente.

Es fácil combinar otras disposiciones del mismo fenómeno mecánico, y nuestra fig. 335 nos muestra un péndulo unido á un hilo metálico, cuyo movimiento hace oscilar á uno y otro lado á la figura, que representa un funámbulo haciendo equilibrios sobre la cuerda.

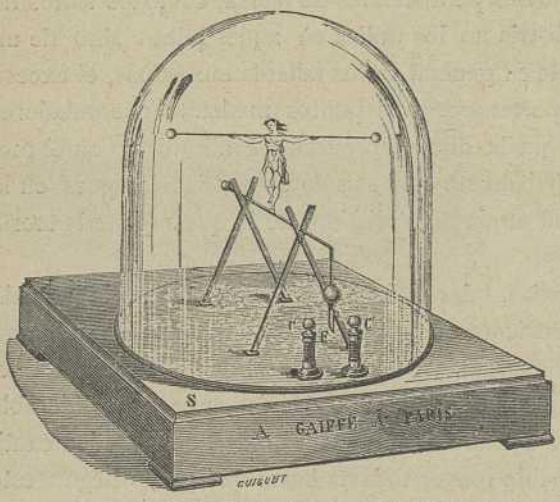


FIG. 335.—Móvil perpetuo con una pila de Zamboni.

Los coeficientes de conductibilidad ó de resistencia para la corriente galvánica corresponden á los manifestados por los cuerpos para la chispa eléctrica; los hilos delgados pueden calentarse considerablemente, ponerse incandescentes y hasta fundirse y volatilizarse por el paso de una enérgica corriente, del mismo modo que por la descarga de una batería de botellas de Leyden. En los trabajos de barreno se hace aplicación frecuente de este fenómeno empleando para inflamar la carga explosiva, una pila galvánica, y haciendo pasar el alambre que conduce la corriente por todos los orificios del terreno en los cuales se quiere producir un barreno. En estos puntos el alambre conductor está formado por un trozo sumamente fino, que se pone en incandescencia al paso de la corriente; y como esta acción calorífica resulta instantáneamente en todos los puntos del circuito cuando se cierra éste, la explosión tiene lugar simultáneamente en todos los orificios.

En la cirugía se utiliza también el calentamiento de alambres finos de platino por la corriente eléctrica, para cauterizar algunos puntos del cuerpo humano. El alambre se coloca alrededor de la parte operada cuando todavía no pasa ninguna corriente, dándole la disposición más adecuada, y después se cierra el circuito, y bien se oprime apretando un lazo formado con el alambre, ó bien se corta con el hilo enrojecido, del mismo modo que el jabonero corta el jabón con el alambre.

Para poner rápidamente en comunicación los dos polos de una pila á través de un circuito exterior, ó interrumpir con la misma rapidez el paso de la corriente, se han construído aparatos llamados interruptores, que permiten conseguir este

objeto de la manera más cómoda. Los más sencillos son aquéllos en que los dos polos de la pila comunican con unas capsulitas que contienen mercurio, en el cual pueden introducirse también los conductores que forman el circuito, mediante arcos metálicos que pueden ser sacados é introducidos en el líquido instantáneamente.

LA LUZ ELÉCTRICA

Mientras que la chispa es una explosión luminosa instantánea, ó bien un resplandor oscilatorio que desaparece rápidamente, como en las botellas de Leyden, el fenómeno luminoso producido por la corriente galvánica está caracterizado por su radiación permanente, y de aquí que se preste á la aplicación práctica. Pero para obtener una luz viva es necesario emplear una pila bastante enérgica y poner muy próximos entre sí, por lo menos al principio, los alambres procedentes de los polos, pues sólo cuando por efecto de las chispas que van saltando entre ellos se forma una especie de puente conductor, puede producirse con suficiente facilidad de capa en capa la radiación, aunque se aumente la distancia de los polos entre sí. Influye también mucho la sustancia de los electrodos entre cuyos extremos ó polos tiene que saltar la corriente eléctrica.

Sir Humphry Davy obtuvo por primera vez efectos luminosos intensos con su poderosa pila de 200 pares de cinc y cobre, empleando como polos dos puntas de carbón. Al acercar éstos, se cerró la corriente y apareció la luz, que después, separando suavemente las puntas de carbón entre sí, adquirió la forma de un arco de círculo, el cual no se extinguió hasta que dichas puntas estuvieron á una distancia de 47,5 centímetros; en la fig. 336 damos la representación de un aparato tal como suele emplearse para mostrar la producción del arco voltaico. Las barritas de carbón *a* y *b* se ponen en comunicación mediante las armaduras metálicas *A* y *B* con los hilos conductores procedentes de los polos —*Z* y + *C* de la pila, y en cuanto se cierra el circuito, estando las puntas *a* y *b* muy próximas entre sí, salta la chispa y se forma el arco de luz, pudiendo después separar aquéllas y aumentar así la amplitud de éste. El color de la luz es un blanco deslumbrador, con un ligero tinte azulado.

Posteriormente se ha confirmado que el carbón es la sustancia más apropiada para los extremos ó polos del arco voltaico; hoy se prepara de un modo especial. Esta luz de *arco* se distingue de la luz de *incandescencia*, que se introdujo en uso mucho después, en que aquélla se origina en un espacio lleno de aire por la interrupción del circuito entre uno y otro polo, mientras que en la luz de incandescencia los dos polos están en comunicación conductora entre sí, mediante un hilo de carbón preparado de una manera especial, el cual se pone incandescente por el paso de la corriente, y por consecuencia radía luz. Para que este hilo de carbón no arda, no se queme, está encerrado, juntamente con los extremos

de los hilos conductores, en un vasito en cuyo interior se ha hecho el vacío.

La luz de arco voltaico es muy rica en rayos químicos; por su comparación con la de las bujías se ha encontrado que 48 pares ordinarios de cinc y carbón desarrollan una potencia luminosa equivalente á la de 572 de aquéllas. Este brillo tan extraordinario hizo pensar pronto en la idea de su aplicación práctica.

La historia de la luz eléctrica ha atravesado fases notables; recibido en un principio con entusiasmo, este nuevo género de alumbrado cayó pronto en el descrédito, por consecuencia de los numerosos inconvenientes que llevaba anejo, los cuales no fué posible evitar hasta que en época muy reciente se hicieron sobre este asunto descubrimientos completamente inesperados, estableciéndose sobre fundamentos sólidos la utilización y progreso del alumbrado eléctrico.

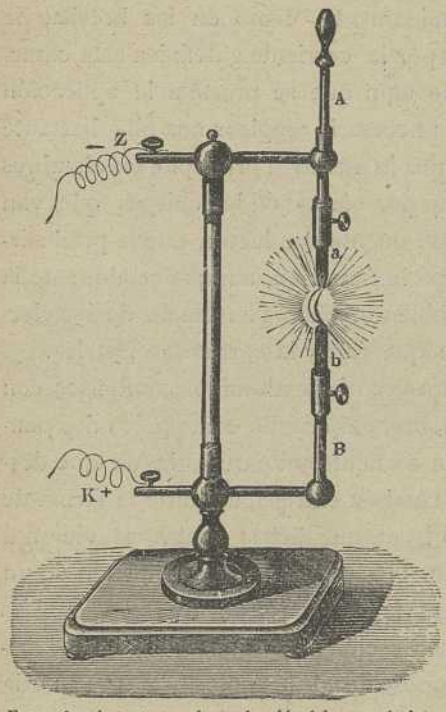


FIG. 336.—Aparato para la producción del arco voltaico

A principios del año 1840 practicó ya Deleuil, en París, experiencias sobre el uso de la luz eléctrica para el alumbrado público; mediante 98 elementos de cinc y de carbón, iluminó el pabellón de una casa junto al Pont-Neuf. La experiencia llamó extraordinariamente la atención. Se trató de fundar una «Compañía de alumbrado eléctrico,» y después este sistema conquistó de nuevo las simpatías del pueblo parisién con motivo de la iluminación eléctrica de la plaza de la Concordia, establecida en 1844 por Archereau.

También en San Petersburgo Jacobi y Archereau hicieron una tentativa de iluminación eléctrica en 1849, con una pila de 185 pares de cinc y carbón de 1.200 centímetros cuadrados de superficie cada uno. La pila se colocó en el parterre, y desde ella subían hilos conductores hasta el aparato donde se producía la luz, situado en lo alto de la torre del Almirantazgo, desde donde se iluminaron en una noche de admirable transparencia (el 8 de Diciembre) las tres grandes vías tiradas á cordel que concurren á dicha torre, la Avenida de Newsky, calle de Ersem, y Avenida de Wosnesensky, tan intensamente, que á distancia de cien pasos la claridad era veinticinco veces mayor que con el alumbrado ordinario de gas, y á distancia de tres á cuatrocientos pasos era todavía doble. Este brillo deslumbrador cuando se está próximo al aparato, pero que, como toda clase de radiación luminosa, disminuye rápidamente con la distancia, según la conocida ley física, no era, sin embargo, lo más ventajoso. Cuanto

Alumbrado eléctrico.

más se destacaban los puntos iluminados, más oscuras é impenetrables eran las sombras que proyectaban los cuerpos á su alrededor, pero esto era inevitable; no se podía dividir la corriente eléctrica, y si se quería combatir dicho inconveniente del excesivo contraste, aumentando el número de puntos entre los cuales se distribuyera la intensidad luminosa, haciéndola menor para cada uno, era preciso colocar una pila especial para cada lámpara. Ahora bien: esto hubiera ocasionado enormes gastos; aparte de que en un principio el atractivo principal de la luz eléctrica consistía en este extraordinario poder luminoso. Por consecuencia de estas observaciones, y la circunstancia de que por esta época precisamente el alumbrado de gas había adquirido su mayor grado de perfección, esta nueva especie de alumbrado, que tantas esperanzas había despertado en su origen, perdió el interés general, y durante largo tiempo apenas se volvió á pensar en ella.

Pero por más que el proyecto de emplear la luz eléctrica para el alumbrado público estaba muy desacreditado, y que aun para el alumbrado de espacios cerrados no había manifestado utilidad especial en la prueba verificada en 1852 de iluminar eléctricamente la Cámara de los Diputados de Bruselas, todavía restaba cierto número de fines especiales, para los cuales seguían haciéndose algunos ensayos con la luz eléctrica. Los barrios más aristocráticos de París fueron construídos por Napoleón III con una pasmosa rapidez, surgiendo como por encanto de entre las ruinas abandonadas de antiguas covachas. La labor se ejecutaba sin interrupción. El día representaba veinticuatro horas de trabajo, brillando durante la mitad el sol y durante la otra mitad la luz eléctrica. El puente de Westminster, en Londres; el puente sobre el Rhin, en Kehl; el Palacio de la Industria de 1862, y otras grandes construcciones, han sido edificadas, en parte, á los rayos de la luz eléctrica, así como también los gigantescos trabajos preparatorios para la Exposición de París de 1867. Se usaba también en focos para señales desde ciertas torres, como en la de South-Foreland, cerca de Dover: y como quiera que para brillar no exige consumo alguno de oxígeno, se ofrecía como un medio excelente para el alumbrado de los buzos en el fondo de los mares, ó para atraer á los peces. Se la puede utilizar muy bien para iluminar las operaciones quirúrgicas en el cuerpo humano, como, por ejemplo, en el interior de la laringe, etc., y además la luz eléctrica tiene un círculo de acción indisputable en los teatros, en donde Meyerbeer le había ya vaticinado un éxito sumamente lisonjero.

Todos estos alumbrados eléctricos se practicaban con lámparas de arco voltaico, y la corriente necesaria se obtenía con una de las pilas descritas, ó de sus modificaciones. La última de estas dos circunstancias hacía la luz sumamente cara; la primera la hacía sobremanera dificultosa, antes de haber conseguido alimentar con una misma corriente varios focos de luz; pues por más que desde su aparición se consideró tan fácil la producción del arco voltaico, entraña éste

dificultades que todavía hoy no han sido dominadas por completo en su base. Se obtiene la luz más bella cuando se hacen llegar los extremos de los hilos conductores de la corriente á pequeños cilindros de carbón, según ya hemos mencionado, pero carbón fuerte como el que se emplea en las pilas de Bunsen. La preparación de estos carbones, que deben poseer la mayor homogeneidad, no es del todo fácil; pero, de todos modos, se consumen en las puntas por la combustión que determina la elevada temperatura que adquieren; y por este motivo crece sucesivamente el espacio que las separa, hasta que, haciéndose demasiado grande esta distancia, queda interrumpida la corriente, y entonces se apaga la luz.

REGULADORES

Para remediar este último inconveniente se han inventado varios aparatos que actúan como reguladores y mantienen las puntas de carbón siempre á la misma distancia: aún más, si la corriente variara de intensidad por otra causa, harían variar proporcionalmente la distancia de dichas puntas de carbón, para devolver al arco su primitiva potencia luminosa. Archereau, Duboscq, Foucault, Serrín, Suisse, Hefner-Alteneck (en la lámpara de Siemens y Halscke), Crompton, Jaspar, Dornfeld (lámpara de Krupp), Bürgin y otros, han construído aparatos de este género.

En la fig. 337 damos una imagen del regulador de Foucault y Duboscq, el primero que tuvo condiciones para un empleo práctico; pero para su descripción tenemos que adelantar algunas ideas sobre fenómenos electro-magnéticos que juegan el papel principal en su mecanismo, y de los cuales nos ocuparemos en el capítulo próximo. Un electro-imán *e* es, en efecto, la pieza principal del aparato; sobre él se halla un áncora, *f*, que gira alrededor de un punto fijo, siendo solicitada por un resorte, *r*, que separa al extremo *f* del electro-imán cuando éste no está atravesado por la corriente. La corriente eléctrica viene por *c*, recorre la espiral del electro-imán *e*, de éste pasa á la caja metálica *b b*, que contiene los sistemas de ruedas dentadas, y por último á la varilla dentada *d*, que lleva el carbón ó polo positivo. La otra punta de carbón está en comunicación directa con el electrodo negativo de la pila, y debe quedar aislada por medio de su soporte, *h*, de la caja *b*. El áncora *f* va unida á una varilla, *t*, que oscila con ella á derecha é izquierda, según que por la interrupción de la corriente obedezca á la acción del resorte *r*, ó, por el contrario, sea atraído el extremo *f* por el electro-imán cuando pasa la corriente; pero estos movimientos no se producen de un modo brusco, sino gradualmente, por efecto de cierto enlace con el trozo metálico giratorio alrededor de *x*, de modo que los cambios ocasionados por este motivo en el arco voltaico se producen también de un

modo lento. La varilla *t* termina por arriba en una palanca, *T*, que lleva dos sectores dentados, los cuales engranan en las ruedas *O* y *O'* respectivamente, según que la varilla *t* oscile hacia la derecha ó hacia la izquierda. Estas ruedas, *O* y *O'*, pertenecen á dos distintos aparatos de relojería, cuyos muelles reales son *C'* y *C*, con los cuales están en comunicación los portacarbones, mediante dos ruedas situadas en un mismo eje en *C*, y las varillas dentadas que se ven en la figura. Cuando este par de ruedas gira en un sentido, se separan entre sí los portacarbones; cuando gira en sentido contrario, se aproximan.

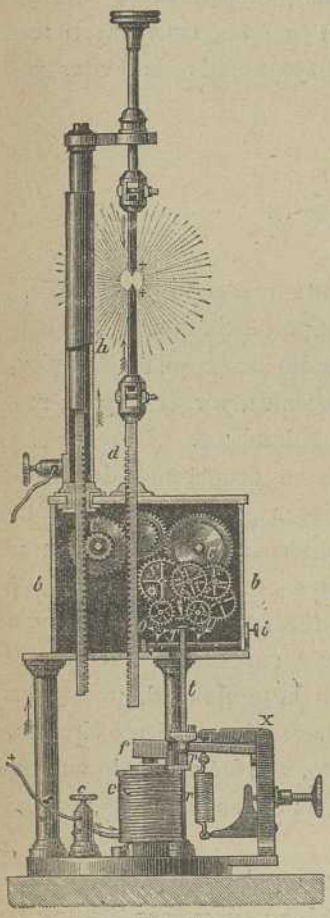


FIG. 337.
Regulador de Foucault y Duboscq.

El juego del aparato resulta, pues, de la manera siguiente: Si suponemos que la corriente se debilite, por ejemplo, efecto del desgaste de los carbones, el electro-imán *e* pierde su fuerza, con la cual retenía su contacto con el extremo *f* del áncora; entonces el resorte *r* hace girar á ésta, aunque gradualmente, según ya hemos dicho, y con ella á la varilla *t* hacia la derecha. La palanca *T* deja libre á la rueda de escape *O'*, y retiene en cambio á la *O*. Con esto entra en movimiento el sistema de ruedas *C*, se aproximan entre sí las puntas de los dos carbones, disminuye la resistencia en el circuito, y aumenta la intensidad de la corriente. Pero entonces el electro-imán atrae de nuevo al áncora *f*, la varilla *t* gira con ésta hacia la izquierda, y cuando la intensidad de la corriente excede de un cierto valor, la palanca *T* deja libre la rueda *O* y retiene la *O'*, entrando en movimiento el sistema de ruedas correspondiente á la primera, y separándose entre sí los dos carbones. Cuando la fuerza atractiva del imán está equilibrada con la del resorte, lo cual puede conseguirse fácilmente en un momento dado, actuando sobre dicho resorte por medio del tornillo correspondiente, la varilla *t* adquiere, pues, una posición vertical, y están retenidas las dos ruedas de escape, *O* y *O'*. La distancia á que se hallan entonces los dos carbones determinará la longitud normal del arco voltaico.

Para prevenir el caso de que se apague la luz de este arco, lo cual podría producirse por efecto de una mala colocación de los carbones ú otras causas, se suelen reunir á estos reguladores lámparas secundarias especiales, por las cuales tiene que pasar la corriente cuando se interrumpe en dicho regulador, y que entran, por tanto, en acción en este caso, comenzando á brillar cuando

aquél se apaga. Pero por favorable que pueda ser la solución del problema de regular la distancia entre las puntas del carbón, resulta siempre imposible, con los medios de que venimos hablando, alimentar en un mismo circuito más que una sola lámpara de este género. Ciertamente que con ésta puede obtenerse la mayor intensidad luminosa; pero para muchos fines, y particularmente para las necesidades de la vida ordinaria, esta gran intensidad, así como la profunda oscuridad de las sombras originadas en su seno, constituyen más bien un defecto que una ventaja, y de aquí que se haya tratado de evitar por otros caminos este inconveniente.

RAMIFICACIÓN DE LA CORRIENTE

El problema de la ramificación de la corriente preocupó á los físicos desde un principio, adquiriendo sobre todo gran importancia cuando se consiguió desarrollar corrientes eléctricas, no ya por medio de las pilas galvánicas de sostenimiento costoso, sino mediante la fuerza mecánica, por el empleo, mucho más cómodo, de máquinas de vapor ó motores hidráulicos.

Con las máquinas dinamo-eléctricas, de las cuales nos ocuparemos detalladamente en el capítulo inmediato, se estuvo en condiciones para producir directamente cualquiera cantidad de electricidad, y por consecuencia su aplicación al alumbrado experimentó nuevos y poderosos adelantos.

Pero antes de conseguir con suficiente perfección la ramificación de las corrientes, el oficial de ingenieros ruso Jablochkoff dió á conocer un invento mediante el cual demostraba de un modo ingeniosísimo la posibilidad, puesta en duda hasta entonces, de introducir varios arcos voltaicos de un mismo circuito, sin dividir entre ellos la corriente única. Este invento, que fué saludado por los técnicos eléctricos con gran entusiasmo, era el de las bujías llamadas, por su inventor, de Jablochkoff.

En éstas no se tenía necesidad de ningún aparato regulador especial, puesto que la distancia entre las dos puntas de carbón debía permanecer siempre la misma. En efecto; dichos carbones no se hallaban uno á continuación del otro, sino paralelos, separados sólo por una capa de una sustancia intermediaria que aislaba entre sí á estos dos polos, pero que en virtud del calor que acompaña al arco voltaico, entraba en fusión, de suerte que los extremos de los carbones quedaban siempre libres, ofreciendo un paso adecuado á la descarga. Para facilitar la inflamación de estas bujías, se ponían en contacto al principio las puntas de carbón mediante una laminita conductora de grafito, que se sujetaba sobre los carbones con una cinta de papel.

Como capa intermedia aisladora se emplea generalmente una de yeso, cuyos vapores, cuando circula la corriente, producen un aumento considerable en la

fuerza luminosa del arco voltaico. En la fig. 338 está representada una de estas bujías Jablochkoff. Pronto se intentó hacer imitaciones, como las bujías de Wilde, Jamín, Debrun, sin aventajar al original en condiciones. Sin embargo, con las bujías de Jablochkoff no podía tampoco considerarse como definitivamente satisfechas las aspiraciones de la electro-técnica, que crecían rápidamente. Los carbones ardían demasiado de prisa, y como quiera que el extremo positivo se acortaba mucho más que el negativo, se manifestó en esto ya un inconveniente que sólo podía evitarse por el empleo de máquinas que ofrecieran corrientes de dirección alternada. Pero entonces se cayó en la cuenta de la circunstancia de que, al apagarse una bujía, se apagaban también todas las demás situadas en el mismo circuito, y que el encenderlas de nuevo á pesar de todas las disposiciones inventadas con este objeto, no resultaba nunca completamente seguro.

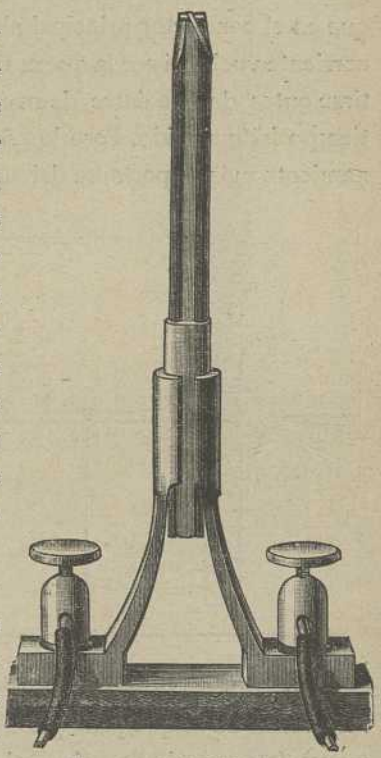


FIG 338.—Bujía Jablochkoff.

Inventos como el de la llamada lámpara solar de Clerc, en la cual las barritas de carbón se apoyan en dirección inclinada, y por su propio peso, sobre unas correderas macizas, de modo que la chispa salta entre sus extremos inferiores, y por consiguiente, la longitud del arco permanece siempre constante, puesto que está determinada por el hueco entre los extremos inferiores abiertos de estas correderas, y en la que además el calor del arco voltaico ponía incandescente un trozo de mármol, no pudieron tampoco aventajar en nada al sistema de las bujías, por más que en el caso citado podía encenderse de nuevo la lámpara con más facilidad que en la bujía de Jablochkoff, por efecto de la buena conductibilidad de la cal incandescente. Entretanto obtuvo tal perfeccionamiento la ramificación de las corrientes, que no podía ponerse en duda el triunfo de las lámparas fundadas en ella.

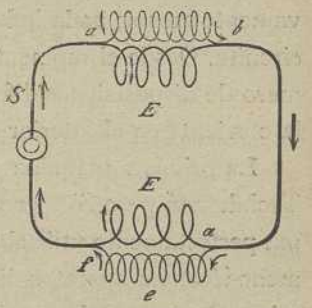


FIG. 339.—Esquema de la ramificación de las corrientes.

Vamos á decir algunas palabras sobre el principio de la ramificación de las corrientes. Supongamos que en un circuito cerrado, la corriente tenga que atravesar entre *a b* (fig. 339) por dos hilos, *E*, *e*, de diferente longitud y grueso; dichos dos conductores *E* y *e* se distribuyen la corriente de tal modo, que

las intensidades de las corrientes parciales están en razón inversa de la resistencia opuesta por cada uno de ellos. Estas resistencias disminuyen con el grueso y aumentan con la longitud de los trozos de alambre introducidos. En *b* se reunen de nuevo las dos derivaciones de la corriente, y podemos admitir que en el conductor principal alcanzado de nuevo por ella, la intensidad de la corriente vuelve á ser la que era antes de ramificarse. Esta división puede repetirse antes de que éntre de nuevo la corriente en la pila, y éste es un hecho tiempo há conocido. Pero lo esencial para el alumbrado eléctrico y el perfeccionamiento más importante del aparato, consiste en que el regulador no se pone ya en aquella misma derivación *E*, por ejemplo, en que la corriente pasa entre las puntas de los carbones, sino en la otra derivación *e*. De este modo pueden en *E* producirse oscilaciones en la corriente, por efecto de una combustión irregular, impurezas del carbón, etc., lo cual siempre sucede; pero estas oscilaciones influyen sobre la intensidad de la corriente en *e*, de suerte que no puede tener lugar nunca una interrupción completa de la corriente, pues que cuanto menor es la intensidad de la que pasa por *E*, mayor es la de *e*, y siempre en *b* adquiere de nuevo ésta, en el hilo principal, la intensidad total que poseía en *S*. De modo que, repetimos, cuando aumenta la resistencia en *E*, más electricidad pasa por *e*; cuando disminuye dicha resistencia de *E*, corresponde á *e* una intensidad relativamente menor; nada influyen en esto la presencia de otras derivaciones en el circuito. Desde el momento en que se mostró este camino, se iniciaron gran número de disposiciones diferentes para llevar á la práctica esta ramificación de la corriente en el interior de una lámpara.

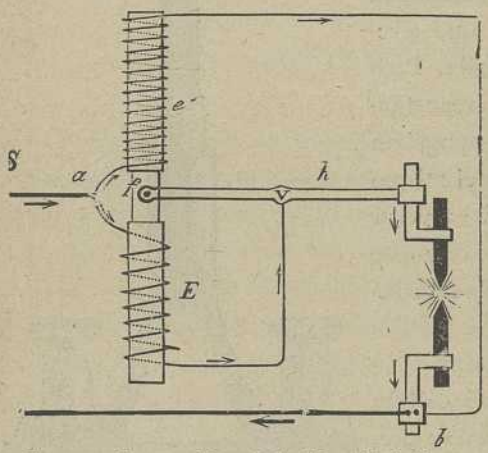


FIG. 340.—Esquema del regulador diferencial de Siemens.

La primera máquina para la división de la luz eléctrica fué ejecutada por Tschikoleff; pero Siemens fué el que consiguió resolver el problema en una forma perfectamente utilizable prácticamente. A continuación idearon con más ó menos fortuna aparatos dirigidos al mismo fin, Lontín, Crompton, Bürgin, Fontaine, Gramme, Weston, Brush y otros varios. Pero la lámpara más generalizada hoy día, de Siemens-Halske, descansa sobre un principio descubierto por Hefner-Alteneck. La fig. 340 da una representación esquemática de ella. Se distinguen aquí también los dos hilos derivados *E* y *e*, de diferente longitud y grueso, de los cuales el primero, como indica el grueso de la flecha correspondiente, recibe la mayor parte de la corriente que pasa por entre las puntas de carbón;

la otra derivación *e* se reune con ésta en *b*, detrás de la lámpara. El regulador consiste en una barra de hierro dulce que, por el paso de la corriente sobre las espirales que le rodean, *E* y *e*, queda convertido en un electro-imán, y con esto tiende á oscilar en uno ú otro sentido, según que aumente la intensidad en la porción superior *e* ó en la inferior *E*. En su movimiento arrastra á la palanca *h*, que lleva uno de los portacarbones, originándose así una aproximación ó una separación de las dos puntas, con lo cual se restablece en cada caso la normalidad del arco de luz. Esta es la llamada lámpara diferencial, cuya constitución en la práctica no puede ser naturalmente tan sencilla como aparece por lo dicho. La fig. 341 representa en corte vertical una de estas lámparas diferenciales, tales como se construyen para la industria. *G* y *H* son los extremos de carbón de los hilos conductores de la corriente; el superior de éstos pende, mediante la varilla dentada *Z*, de la palanca *C C'*, que está unida por su extremo con el imán *S S*; *t t* y *r r* son las dos espirales imantadoras correspondientes á *e* y *E* en la fig. 340. Las demás partes del aparato sirven para dirigir los movimientos, para detenerlos en momento oportuno, etc., etc.; los hilos conductores penetran en el aparato por *i i*, y la marcha de la corriente en el interior está señalada por las líneas —.—.—. Son dignas de mención, entre otras, las lámparas de Gülcher, Schuckert, Zipernowsky y otras que aplican el mismo principio de un imán oscilatorio; sin embargo, los resultados parecen ser más ventajosos con la lámpara de Siemens.

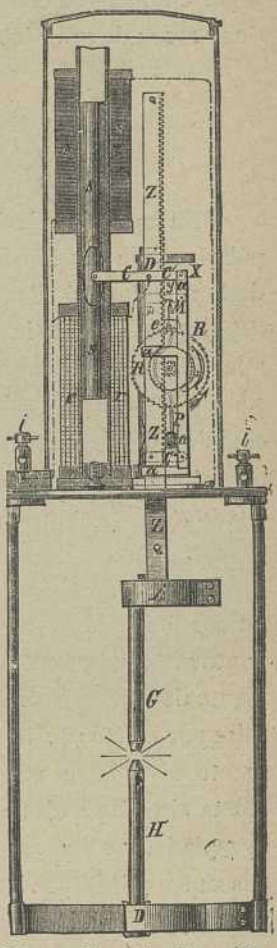


FIG. 341.—Regulador diferencial de Siemens-Halske, en corte vertical.

No es éste sitio oportuno para tratar de todas las lámparas eléctricas que han obtenido patentes; debiendo contentarnos con dar noticia de aquellos sistemas en los cuales se hayan reconocido ya resultados positivos, sin que en modo alguno quiera esto significar que la industria haya producido soluciones de un género completamente diferente al de las conocidas hace tiempo, y que pudieran dejar á éstas en la sombra.

En la actualidad están ya provistos de lámparas diferenciales de Siemens y Halske gran número de establecimientos, y en particular alumbran á muchas estaciones de ferrocarriles, como, por ejemplo, la estación central de Berlín, que está alumbrada con 20 grandes lámparas de este género; la del Este, la de circunvalación, las estaciones de Dusseldorf, Elberfel, Viena, Hannover, Munich, por último, el Palacio del Reichstag, la calle de Leipzig hasta la calle de Gui-

llermo, donde brillan 36 lámparas diferenciales con una potencia luminosa de 900 mecheros de gas, iluminando un espacio que antes lo estaba sólo por 65 de gas. Estas lámparas de Siemens han encontrado también aceptación fuera de Alemania; en Londres, en París, por más que en esta ciudad fué donde celebró su primer gran triunfo la bujía Jablochkoff (alumbrado de la *Avenue de l'Opera)*, y por entonces se consideraban como los aparatos más convenientes para producir arcos de gran intensidad luminosa.

LA LUZ DE INCANDESCENCIA

Otra cuestión relacionada con la aplicación de la electricidad al alumbrado público, es la de si ha de reinar exclusivamente el arco voltaico de blancura deslumbradora, ó si más bien se debería introducir la luz de incandescencia, débilmente coloreada en amarillo rojizo, y, por consiguiente, más semejante á la del gas del alumbrado, á que nos hallamos habituados. Es de esperar que suceda esto último, sobre todo para fines determinados en el interior de los edificios, donde constituye la principal aspiración obtener una luz difundida por igual todo lo que sea posible, por lo cual vamos á hacer algunas consideraciones acerca de los inventos y modificaciones prácticas verificadas sobre este particular.

Es muy sencillo utilizar para la iluminación la incandescencia que adquiere un conductor de poca sección colocado entre los polos de un circuito, cuando le atraviesa una fuerte corriente eléctrica; sólo que se tropieza con el inconveniente de que este conductor se inflama rápidamente en el aire libre ó se volatiliza por efecto de la elevadísima temperatura que se desarrolla simultáneamente en toda su masa y, por consiguiente, queda interrumpido el circuito. Hasta el platino, el metal más resistente en este sentido, no es completamente apropiado, y sólo cuando se colocó á los cuerpos que habían de ponerse incandescentes por la corriente eléctrica, en un espacio vacío, se hizo posible obtener mayor duración. Las primeras tentativas sobre este particular son muy antiguas, pues ya en 1838 propuso Jobart poner incandescente en esta forma el carbón mediante la corriente eléctrica. Otros (por ejemplo, Moleyns en Inglaterra, 1841) se expresaron en el mismo sentido, pero con poca energía, efecto de que la luz del gas, que entonces vino á aceptarse, satisfacía todas las aspiraciones; sólo en el año 70, cuando el renacimiento de la luz eléctrica, se llegaron á inventar lámparas de incandescencia utilizables prácticamente, habiéndose hecho notables, como los más perfectos, los sistemas de Swan, Maxin, Edison y Lanefox.

En general, consisten todas en un vasito de vidrio en cuyo interior se ha hecho el vacío, y que contienen un arco de carbón tenue que se pone incan-

descente, existiendo algunas diferencias en la forma, y, sobre todo, en la clase de preparación de este hilo de carbón; las demás modificaciones carecen de importancia.

Edison (fig. 342) utiliza para sus hilos de incandescencia fibras de bambú, que extrae de las cañas mediante máquinas especiales, y les da la curvatura en forma de *U*, que ha de tener definitivamente el cuerpo luminoso (fig. 344). En tal forma son colocadas por millares sobre unas planchas de hierro, y elevadas en un horno á determinada temperatura, que la experiencia ha señalado como la más conveniente. Después de carbonizados tienen un grueso próximamente de un milímetro y una longitud de unos 12 milímetros, constituyendo una masa muy homogénea, dura y tenaz, que conserva la forma que se le ha dado. Los extremos de este arco de carbón se ponen en contacto con alambres de platino, situados con ellos en el interior de unos vasitos piriformes de vidrio, cuyas paredes atraviesan los alambres de platino, que sobresalen un poco al exterior para poderse poner en comunicación con los hilos conductores de la corriente. Estas bombitas llevan también un orificio en la parte superior, á través del cual se extrae, por medio de la máquina neumática, el aire que contienen, después de preparadas, y cuando se ha hecho ya el vacío en su interior, se funden por un golpe de soplete las paredes del tubito de comunicación con la máquina, quedando entonces la bomba herméticamente cerrada. Durante la extracción del aire con la máquina neumática, se hace pasar una corriente eléctrica por el hilo de carbón, con objeto de ponerle incandescente y de alejar así por completo el gas que pudiera estar adherido al carbón. La parte inferior de la bomba piriforme se adapta entonces á un pie de latón que lleva un tornillo, de modo que pueda fijarse este foco luminoso, por ejemplo, sobre un mechero de gas, ó sobre un soporte cualquiera. Para establecer ó interrumpir la comunicación con los hilos conductores, y por consiguiente introducir ó separar la lámpara en el circuito, se utiliza un instrumento que puede girar como las llaves de gas; y para evitar que el carbón se

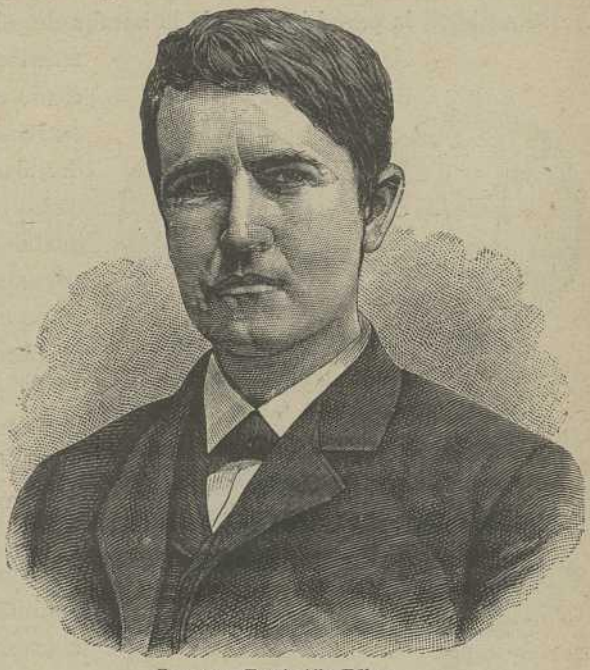


FIG. 342.—Tomás Alba Edison.

rompa por la acción de una corriente demasiado fuerte, se coloca en el extremo inferior, generalmente en la armadura metálica, un trozo de conductor constituído por un hilo de plomo de un diámetro tal, que venga á fundirse precisamente cuando la corriente alcance un grado límite de intensidad, y de esta suerte, interrumpiéndose entonces el circuito, queda garantido el carbón de sufrir una temperatura superior á la que corresponde á dicho límite.

En la lámpara de Swan (fig. 343) los hilos de platino que sostienen el arco de carbón están soldados á un tubito de cristal que los aisla entre sí, y que á su vez se suelda á la pared inferior de la bomba de cristal. Dichos hilos de platino terminan inferiormente en unos lacitos, en los cuales se cuelgan los extremos en forma de gancho de dos alambres de platino procedentes de los tornillos de presión, donde se introducen los conductores de la corriente. El arco de carbón se construye en forma de lazo, carbonizando fibras de algodón.

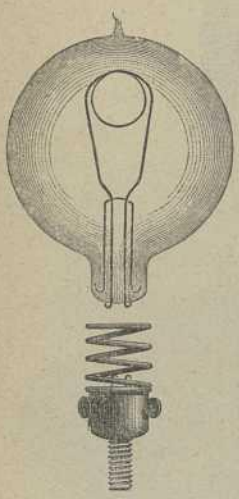


FIG. 343.

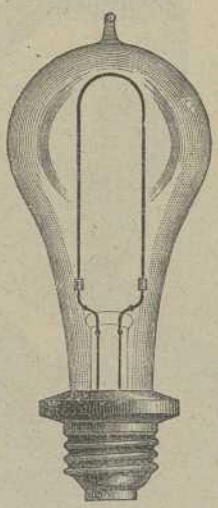


FIG. 344.

Lámparas de incandescencia de Swan y de Edison.

Maxin, en cambio, emplea para la obtención de sus hilos de carbón, papel de Bristol, al cual da la forma de una *M* redondilla, cuyos dos palos terminan inferiormente en unas capsulitas que facilitan la unión con los hilos de platino. La carbonización la obtiene como Edison, sólo que después Maxin utiliza, al hacer el vacío en la bomba, los vapores de gasolina, con los cuales se llena completamente su capacidad, y que cuando el carbón se pone incandescente por el paso de la corriente, se descomponen, depositándose las partículas de carbón dividido químicamente sobre la superficie del carbón de papel y rellenando sus poros, con lo cual adquiere mayor tenacidad y solidez. En cuanto á la interposición de estas lámparas de incandescencia en el circuito de una corriente, se realiza en la forma llamada de intercalamiento paralelo, ramificando el conductor principal de la corriente en tantos hilos derivados como lámparas se quiere hacer funcionar, reuniéndose estas derivaciones de nuevo detrás de las lámparas, ó bien de suerte que los hilos derivados se intercalen entre las dos mitades del conductor de la corriente, como las traviesas de los caminos de hierro. En ambos casos la ramificación y la confluencia de estas partes del circuito tiene lugar en la misma fase de la corriente, mientras que en la interposición de las lámparas, una tras otra, la corriente no atraviesa simultáneamente los puntos de división del circuito y los de confluencia de las derivaciones. Como

que cada una de las luces de incandescencia sólo es capaz de desarrollar un poder luminoso mucho menor que las luces de arco voltaico, se hace todavía más preciso en aquéllas utilizar las leyes de las corrientes derivadas, con lo cual al mismo tiempo se reduce considerablemente la resistencia que ofrecen al paso de la corriente. Las luces de incandescencia han adquirido ya, en los pocos años de que data su perfeccionamiento práctico, una generalización increíble, sobre todo para el alumbrado del interior de los edificios. En Nueva York está ya provista de lámparas Edison la cuarta parte de la población; en Europa el sistema de Swan alterna en concurrencia con el de Edison. Los teatros y locales de otros espectáculos, los salones de sociedad, restaurants, buques de vapor, etc., hacen aplicación de cientos de miles de estas lámparas, cuyo número crece de día en día.

Con esto damos fin á este estudio de la luz eléctrica; en el quinto tomo de esta obra, en el capítulo de los procedimientos del alumbrado, tendremos ocasión oportuna para tratar de su empleo, puesto que aquí sólo correspondía hacerlo desde el punto de vista de su generación.

EFECTOS QUÍMICOS DE LA CORRIENTE

Las acciones particulares que la corriente eléctrica ejerce en el cuerpo humano sobre los sistemas nervioso y muscular, se hacen perceptibles especialmente al iniciarse ó al cesar, es decir, por las interrupciones en ella, mientras que cuando corre permanentemente son mucho menos notables; además, para su producción se hacen necesarios aparatos completamente especiales. Por esto dejaremos para más adelante su estudio, y dirigiremos ahora una ojeada sobre los efectos químicos de la corriente eléctrica.

ELECTROLISIS

En todo compuesto químico los elementos constituyentes son de distinta naturaleza eléctrica, y por consiguiente tienen que ocupar diferente lugar en la serie de tensiones eléctricas. El agua, por ejemplo, consta de hidrógeno y oxígeno, de los cuales el primero es positivo con respecto al segundo; y el segundo, por el contrario, se conduce como negativo con respecto al primero. Así, pues, si suponemos que penetren los dos polos (*electrodos*), de una pila galvánica suficientemente poderosa, en el agua acidulada, de suerte que pueda la corriente pasar á través de ella del uno al otro, se verifica, según ya hemos visto al hablar de la pila de Volta, una descomposición de aquella de tal suerte, que el electrodo positivo (*anodo*) atrae al oxígeno negativo, y el electrodo negativo

(catodo) al hidrógeno positivo. Ambos gases se desprenden en los extremos de los conductores correspondientes en forma de pequeñas burbujas, que pueden ser recogidas en campanitas llenas de agua é invertidas (fig. 345). Como quiera que en el agua están contenidos estos dos gases en la proporción de dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno, en esta misma proporción se les obtiene siempre por este medio.

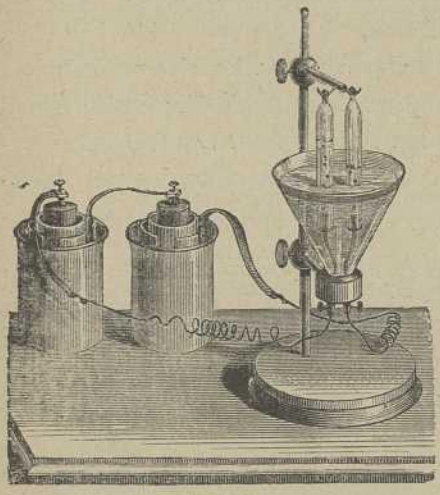


FIG. 345.
Descomposición del agua por la corriente eléctrica.

La descomposición del agua fué conocida ya en el año 1800; en 1807 descubrió Humphry Davy el fenómeno análogo de la descomposición por la corriente de los álcalis y tierras que hasta entonces se habían tenido por cuerpos simples, y mostró que aquéllos eran cuerpos de los llamados óxidos; esto es, combinaciones de un metal con el oxígeno; en la potasa encontró el potasio: en la sosa, el sodio y el calcio, magnesio, aluminio y silicio fueron reconocidos como elementos constituyentes de la cal, magnesia, alúmina y sílice, adquiriendo la química con estos hechos uno de sus más firmes apoyos, y desarrollándose, á partir desde entonces, con extraordinaria rapidez.

Los cuerpos citados son metales ó metaloides que se hallan colocados hacia el extremo positivo de la serie de tensiones eléctricas. El oxígeno, por el contrario, es uno de los cuerpos más negativos, y por esto se separa siempre en el polo positivo de la corriente, mientras que aquellos metales se acumulan en estado de libertad en el polo negativo de una pila suficientemente enérgica. Este estado de libertad no puede, sin embargo, conservarse para el potasio, sodio, etc., en contacto con el aire atmosférico. Su afinidad con el oxígeno es tan grande, que inmediatamente lo absorben de nuevo, ardiendo en el aire atmosférico, con cuyo oxígeno se combinan con desprendimiento de calor y luz. Por esto mismo no se encuentran tampoco tales elementos en estado libre sobre la superficie de la tierra, y ha sido preciso que transcurra mucho tiempo y la ciencia haya adquirido poderosos medios de análisis, para obtenerles separándolos de sus combinaciones. Davy lo consiguió, poniendo en comunicación con el polo positivo de una enérgica pila, un trozo de potasa cáustica (fundida), mientras que el polo negativo se introducía en una cavidad practicada en la misma potasa y llena de mercurio (fig. 346). El potasio que se sepa-

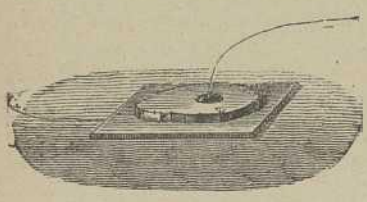


FIG. 346.—Descomposición de los álcalis, practicada primeramente por Davy.

raba en el polo negativo, y que en experiencias anteriores se inflamaba siempre en cuanto se ponía en contacto con el aire, encontró en este caso en el mercurio un cuerpo con el cual pudo combinarse, y que le protegía de la acción oxidante del oxígeno. Se formó la amalgama de potasio, de la cual Davy aisló después á éste, destilándola en el seno de una atmósfera de hidrógeno para separar el mercurio. Las sales son combinaciones químicas algo más complicadas, pues que entran generalmente tres elementos en su constitución; pero por esto no sufren menos la acción descomponente de la corriente, cuando se someten á ella en estado líquido, de suerte que pueda pasar á través de sus moléculas desde el uno al otro electrodo. Por el movimiento comunicado á sus átomos, se destruye el equilibrio molecular, separándose el metal libre en el polo negativo. Si, por ejemplo, se sumergen los electrodos de una pila en una disolución de sulfato cúprico, en el polo positivo se elevan pequeñas burbujas de oxígeno, que es el elemento más electro negativo contenido en dicha sal; en el polo negativo, en cambio, se deposita el cobre metálico como el más electro positivo. Pero además queda también ácido sulfúrico, y si el electrodo positivo es una lámina de cobre, le disuelve en igual cantidad que se deposita de este metal en el polo negativo. En la pila de Daniell hemos visto ya hacer aplicación de estos fenómenos sumergiendo la lámina de cobre que constituye el electrodo negativo en una disolución de sulfato cúprico, con lo cual dicha lámina ofrece siempre, en contacto con el líquido, una superficie de cobre puro, que se renueva en virtud de la electrolisis de dicha sal. Pero, por otra parte, tales fenómenos de electrolisis han dado ocasión á convertir á la Naturaleza en artista extraordinariamente notable, puesto que estos depósitos de cobre (y de otros metales) se pueden originar en capas tan unidas, adherentes y sutiles, que vengan á moldear, de la manera más exacta, todo accidente de elevación ó depresión que exista sobre la superficie de la lámina tomada como electrodo negativo. Esta especie de aplicación es lo que se llama

GALVANOPLASTIA

El descubridor de sus fenómenos fundamentales fué Wach, que al construir en 1830 una pila de corriente constante, observó la formación del depósito de cobre. Hay quien quiere atribuir ya á los antiguos egipcios la práctica de este arte, porque en las sepulturas egipcias se han encontrado grandes figuras, vasos, etc., construídos con hojas muy finas de cobre, y otras de madera recubierta de una capa tenue del mismo metal, imaginando que estos objetos hubieran sido ejecutados con ayuda de la corriente galvánica. Pero las pruebas son tan poco seguras, que no podemos menos de considerar este invento como originario del siglo actual, en el cual se ha realizado de un modo consciente, y llevado

á la mayor perfección por el conocimiento exacto y minucioso de los procesos electrolíticos.

Es lo más probable que la Naturaleza realice en gran escala, y desde hace millares de años, fenómenos galvanoplásticos; al menos no existe alguna teoría que explique más naturalmente la generación de los criaderos de metales nativos esparcidos por todas partes, por ejemplo, en el Lago Superior del Norte de América, así como la presencia del cobre nativo entre las capas de los terrenos de sedimento, que admitir que así como en los laboratorios de los químicos la corriente eléctrica puede separar al cobre de sus disoluciones, así también en el gran laboratorio de la Naturaleza aquella fuerza ha ejercido constantemente su actividad.

FIG. 347.—H. Jakobi, inventor de la galvanoplastia.

Para nosotros son dos hombres en particular, H. Jakobi, en San Petersburgo, y Spencer en Liverpool, los que, según parece, simultáneamente y sin tener noticia el uno del otro, pusieron en práctica la idea de hacer crecer sobre ciertos moldes el depósito de cobre que se produce en el polo negativo de una corriente. Jakobi debió ser el primero que obtuvo un resultado satisfactorio (1838); por lo menos está considerado generalmente como inventor del método práctico, habiendo obtenido como recompensa del Gobierno ruso por la construcción de su primer producto galvanoplástico, un premio de 25.000 rublos (90.000 pesetas próximamente.)

Los aparatos galvanoplásticos no consisten más que en pilas voltaicas, generalmente de cinc y cobre, cuyo polo negativo está sumergido en una disolución de sulfato cúprico, mientras que el polo positivo lo está en ácido sulfúrico diluído. Ambos líquidos están separados por un tabique poroso, bien sea una membrana animal, bien las paredes de un vaso de arcilla, como puede observarse en la fig. 348.

Se puede preparar por sí mismo un aparato simple de este género sin más dispendio que el de algunos céntimos. En un vaso cilíndrico como una compotera ó azucarera ancha, se coloca un cilindro de madera abierto por ambos extremos, como, por ejemplo, una caja sin fondo, de modo que quede entre ambas

un espacio anular de centímetro y medio por lo menos; entonces se toma un trozo de vejiga fresca de cerdo ó de ternera, y con él se hace un fondo para la caja, atándole bien fijamente por medio de un hilo que se arrolla varias veces sobre sus paredes. El vaso exterior recibe el polo negativo, y la cavidad porosa interior el polo positivo; la primera se llenará, por consiguiente, de sulfato de cobre; la segunda con ácido sulfúrico diluído (de 30 á 40 partes de agua por una de ácido comercial); el vaso interior se suspende de modo que en ambos llegue el líquido próximamente á la misma altura. En la disolución de sulfato de cobre se coloca una lámina de este metal, á la cual se suelda, para que conduzca la corriente, una cinta de latón, ó simplemente se rodea de modo que la toque en varios puntos un alambre de cobre; por último, se suspende en el interior del agua acidulada una lámina de cinc, á la que va unida también un conductor como el descrito anteriormente y se reunen ambos conductores mediante un tornillo de presión, con lo cual se tiene cerrado el circuito. Pronto comienza á formarse sobre la superficie del electrodo inferior negativo un depósito fino de cobre, completamente puro, efecto de la descomposición del sulfato, el cual se va haciendo cada vez más espeso y más sólido, se adapta á todas las depresiones y accidentes de la superficie, y da, por consiguiente, una reproducción completamente exacta é invertida de dicha lámina. La fig. 348 nos muestra esta misma disposición en forma algo perfeccionada. Vemos en ella el vaso exterior, que contiene la disolución de sulfato cúprico; en el interior de éste un segundo vaso cerrado por su parte inferior por una membrana con el ácido sulfúrico diluído. La tapadera de madera tiene por objeto solamente impedir que caiga polvo en el líquido cúprico, y al mismo tiempo sostener el vaso interior. La lámina de cinc está en comunicación conductora con la de cobre mediante alambres metálicos que se reunen en una armadura con dos tornillos de presión. El objeto del cual queremos sacar un molde, se sitúa sobre la lámina de cobre. Su forma no influye en nada; el cobre se deposita sobre todos los puntos de la superficie que estén en comunicación conductora con el circuito. Las monedas y medallas dan un molde en bajo-relieve, como el sello lo da de su molde. Una lámina de

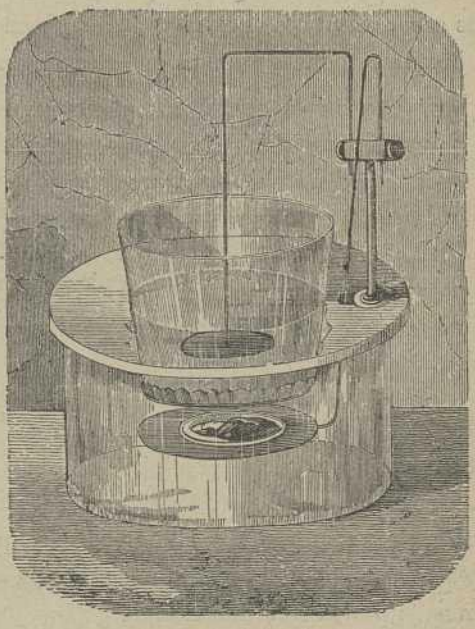


FIG. 348 —Aparato simple de galvanoplastia.

cobre grabada, como se emplea, por ejemplo, para impresión de grabados, reproduce en relieve por este medio las líneas más sutiles tan exactamente, que si se toma la capa depositada otra vez como electrodo en el aparato, se puede obtener un nuevo depósito que muestra de nuevo en bajo-relieve todos aquellos perfiles salientes, y que resulta una copia tan exacta del primer grabado, que pueden obtenerse con ella pruebas que no se distinguen de las que da el grabado original. En la práctica se emplea muchas veces este procedimiento, y para no tener que grabar repetidamente nuevas planchas, cada una de las cuales únicamente puede dar por sí sola unas 800 estampaciones buenas, lo que se hace es sacar un molde negativo por el procedimiento indicado, con el cual pueden obtenerse todas las copias que se quieran del grabado original, las cuales coinciden con éste en los más finos detalles. En los establecimientos de confección de papeles estampados se hace mucho uso de este medio para conservar la belleza á los moldes grabados con el buril, que tienen un precio considerable, pero también se utiliza el mismo procedimiento para multiplicar galvanoplásticamente, y de un modo más perfecto, grabados en madera, etc., en lugar de grabar nuevas planchas. Las copias galvanoplásticas reciben el nombre de *gálvanos*, no debiendo confundirse con los *clichés*, como ya explicamos en el tomo primero de esta obra.

La mejor prueba de la fidelidad con que corresponden las reproducciones galvanoplásticas á los originales, de la tenuidad microscópica de las partículas de cobre que se precipitan en el seno del líquido y se adaptan al molde, está en que, conduciendo con lentitud y en condiciones apropiadas la operación, se consigue obtener imágenes completamente idénticas y detalladas de las placas daguerreotípicas, en las cuales la impresión de la imagen ha sido determinada por la condensación de gotitas de mercurio sumamente pequeñas, cuyo grueso es diferente en cada punto.

Para ciertos fines conviene separar la pila donde se engèndra la corriente, del vaso donde se produce la electrolisis, introduciendo solamente en éste los hilos conductores que terminan en los electrodos correspondientes. Este es el caso representado en las figuras 349, 350 y 351. En estos últimos años, desde 1878, han entrado en decadencia, que aumenta de día en día, las pilas galvánicas para la producción de la corriente, siendo sustituídas por las máquinas dinamo-eléctricas.

No es indispensable en modo alguno que el molde que se coloca en el polo negativo para que se produzca sobre él el depósito de cobre, sea de metal; basta que se haga conductora su superficie. De aquí que puede emplearse para la preparación de dichos moldes la madera, el yeso, el azufre, la estearina, en una palabra, cualquiera sustancia que sea suficientemente plástica para que se le pueda dar una forma cualquiera, y que conserve la forma que se le ha dado en el interior de la disolución de cobre, lo cual no sucede, por ejemplo, con los

moldes de yeso, si no se les impregna previamente de cera fundida ú otra sustancia adecuada. Murray fué el primero que reconoció en 1840 la posibilidad de emplear moldes no metálicos para obtener los depósitos galvanoplásticos. La gutapercha se ha manifestado un medio excelente para moldear los objetos en la mayor parte de los casos. Calentada en agua se ablanda, y si entonces se comprime contra el objeto que se quiere moldear, adquiere la impresión de los detalles más finos, con mayor delicadeza que ninguna otra sustancia. Para hacer conductoras las superficies de los moldes, se conocen diferentes medios: se puede frotarlas con grafito finamente pulverizado y tamizado, ó bien con purpurinas ó pinturas metálicas; cuando se emplea la estearina para moldear, puede mezclarse previamente con el polvo de grafito por fusión, y por último, pueden también impregnarse con una disolución de plata las superficies que se quiere hacer conductoras, y exponerlas después á los vapores de éter sulfúrico, en el cual se ha disuelto una pequeña cantidad de fósforo; se forma con esto una película de fosfuro de plata que conduce muy bien la electricidad, etc.

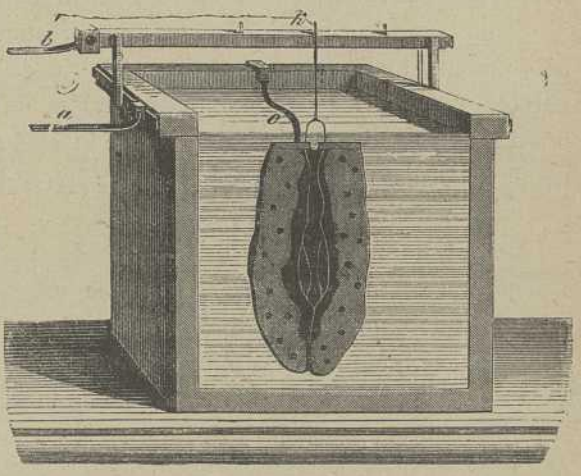


FIG. 349.
Obtención galvanoplástica de objetos por medio de moldes huecos.

Como quiera que todos los puntos del electrodo negativo sumergidos en la disolución de cobre se recubren de metal, cuyo depósito es difícil después quitar, se impregnan, para evitar esto, de una capa de barniz ó cera aquellas porciones del electrodo en las cuales no se quiere obtener precipitación de cobre, y se deja sólo conductora la porción moldeada del mismo.

Cuando se quieren obtener piezas huecas redondeadas, hay que hacer que se deposite el cobre en las paredes interiores de moldes huecos, que se disponen próximamente como muestra la fig. 349. El polo negativo se halla en comunicación con el molde hueco mediante el conductor *c*, mientras que el negativo penetra en el interior del molde por el conducto *k*. Con esto se convierte en electrodo negativo toda la cara interna del molde de un modo seguro y homogéneo, evitándose el peligro de que el depósito de cobre tenga un espesor desigual, formándose de preferencia en los puntos por donde penetra la corriente, ó bien que estuvieran en comunicación conductora más directa con la pila. En el célebre establecimiento de Christoffle se emplea como electrodo positivo, con el mismo fin indicado, una pieza de plomo agujereada, que naturalmente es

más pequeña que el objeto que se quiere formar, pero que corresponde próximamente á su forma, y que se suspende en el interior del molde hueco.

Para que el éxito sea satisfactorio, es necesario también que el líquido electrolítico conserve siempre la misma composición en todas sus partes, de modo que pueda circular libremente en todos sentidos y equilibrarse su estado de saturación; con este objeto deben agujerearse los moldes huecos, para que se mezcle el líquido interior con el exterior.

De este modo se han multiplicado sinnúmero de obras esculturales, las cuales en muchos casos el artista ha vaciado directamente del modelo en moldes huecos, en lugar de construirlas en piedra ó fundición de hierro. Pueden obtenerse reproducciones, de una fidelidad propiamente natural, de pequeños animales como lagartijas, escarabajos, etc., por medio del depósito galvanoplástico sobre moldes huecos, que se obtienen cubriendo al animal después de muerto, pero bien conservado, con una masa plástica de arcilla, que se deseca en hornos á muy alta temperatura, después de lo cual se limpian las paredes interiores de las cenizas que contenga la cavidad, y se hacen conductoras por uno de los medios indicados.

Del mismo modo que para los grabados en cobre, en madera, etc., la galvanoplastia es un auxiliar de inestimable valor para la multiplicación de los caracteres de imprenta, pues proporciona el medio de obtener directamente una matriz en cobre de aquéllas fundidas, y así fundir de nuevo un número cualquiera de ellas, economizando el trabajo de la talla del acero por el buril. Hasta la producción de placas lisas de un pulimento sumamente delicado, por ejemplo, para los usos del daguerreotipo, para clichés ó para las piezas que resbalan á frotamiento en los instrumentos físicos, es preferible el procedimiento galvanoplástico á los métodos mecánicos. Se originan placas magníficas de esta clase, casi por sí mismas, sin más que platear químicamente (como diremos pronto á propósito de la fabricación de los espejos) láminas de cristal pulimentado, y dejar crecer un depósito de cobre por galvanoplastia sobre la capa de plata. En cuanto á la fabricación de monedas y medallas, salta á la vista la gran importancia de los métodos galvanoplásticos.

Una aplicación interesante de los fenómenos objeto de este capítulo es la que ofrece la galvanografía con sus ramas de arte derivadas, glifografía, estilografía, etc., de que ya nos hemos ocupado en el primer tomo de esta obra. Las aplicaciones de la acción química de la corriente galvánica se han hecho tan extraordinariamente numerosas en el corto tiempo de que data su conocimiento, que se nos haría difícil recordarlas todas.

En el terreno de la industria, el descubrimiento de la galvanoplastia ha abierto un campo de trabajo que pone en útil movimiento multitud de fuerzas. Se han creado establecimientos exclusivamente para estos objetos, unos, en los cuales se practican todos los trabajos galvanoplásticos; otros, en los cuales sólo

se explotan ciertas ramas aisladas, como la obtención de placas de cobre para grabar, grabados en madera, etc.

París, en particular, muestra talleres de este género muy importantes, y sin duda una de las empresas galvanoplásticas más grandiosas han sido la reproducción con fidelidad completa de la columna de Trajano en Roma, que ha sido abordada en el establecimiento de Audry, en Auteuil, París.

Es sabido que el Senado romano, en agradecimiento al mejor de los Emperadores por la victoria y sumisión de los piratas dacios, edificó un soberbio *forum*, en el cual erigió aquella célebre columna de Trajano. En un principio se elevaba sobre ella la estatua de Trajano, pero después un Papa colocó en su lugar la del apóstol Pablo. La superficie de la columna está cubierta hasta arriba de esculturas que tienen por objeto los principales acontecimientos de las guerras de Trajano, y que constituyen uno de los materiales más preciosos para el estudio del desarrollo de la civilización, no sólo por su mérito artístico, sino muy particularmente también por las referencias históricas que nos ofrecen sobre los tipos, costumbres, vestidos, armas, etc., tanto de los romanos y sus aliados, como de los bárbaros por ellos subyugados.

La columna tiene la altura de 40 metros próximamente, y está constituída por 33 piezas de mármol, de las cuales ocho forman el zócalo, 23 el fuste, una el capitel y otra la base ó pie de la estatua. Cada una de estas piezas está agujereada por el centro, como las piedras de molino; á través del hueco vertical formado por estos orificios, hay una escalera de caracol que conduce á la plataforma. La pared exterior lleva los trabajos de escultura á que antes nos hemos referido, los cuales forman una espiral de 20 vueltas, que sube hasta la parte superior del fuste. La altura de las figuras es de 0,6 metros en lo bajo, y en la parte más alta, que se halla más lejana del observador, del doble. La figura del Emperador se repite unas 50 veces, y el número total de figuras llega á dos mil y pico. Esta obra colosal de la escultura antigua fué reproducida en París galvanoplásticamente, á expensas de Napoleón. Se tomaron moldes en yeso del original, y estos moldes se pusieron como matrices en los aparatos galvanoplásticos de los talleres de Audry.

En los procedimientos puramente galvanoplásticos, el fin es principalmente, según ya hemos visto, formar sobre los moldes una masa de cobre tal, que, aislada luego, constituya un objeto útil. Por consiguiente, debe cuidarse de que, aunque el molde sea metálico también, la masa depositada no adhiera á la superficie sobre la cual se deposita. Esto se consigue fácilmente, cubriendo la superficie del molde de una tenue capa de aceite común, ó espolvoreándola con grafito, etc. Pero si se limpia un trozo metálico con ácido nítrico, por ejemplo, de modo que quede su superficie bien homogénea y se introduce así en el aparato galvanoplástico, el precipitado metálico adhiere con mucha fuerza, sobre todo cuando forma una capa sumamente tenue. De aquí la posibilidad de recu-

brir un objeto metálico con otro metal, ó también revestir de una superficie metálica, cuerpos de otra naturaleza cualquiera.

El plateado y el dorado galvánicos han adquirido particularmente un uso muy extenso, aplicándose á multitud de artículos usuales; la conocida plata Meneses, por ejemplo, consiste en una aleación plateada galvánicamente.

Los aparatos para dorar, platear, etc., no se diferencian esencialmente de los ya descritos; la pila se instala aparte, los conductores penetran en el líquido que contiene en disolución el metal que se quiere depositar, comunicando el negativo con el objeto cuya superficie va á dorarse ó platearse, la cual debe ser perfectamente conductora, como es natural, y estar en comunicación bien conductora con el hilo metálico correspondiente, puesto que debe constituir ella misma el electrodo negativo, de igual manera que en los aparatos anteriormente descritos. El electrodo positivo está constituído por una lámina del metal que se deposita sobre el negativo; es decir, que si el objeto se quiere platear, debe tener en presencia, como polo positivo, una lámina de plata; si dorar, una lámina de oro, y así sucesivamente. Como disolvente para el dorado y plateado, se utiliza una solución de cianuro potásico, que es también ventajoso para las operaciones con el cobre. Se preparan los líquidos, bien añadiendo cianuro potásico á una disolución de sulfato cúprico, cloruro de oro, nitrato de plata, etc., hasta que el precipitado producido se redisuelva, ó bien utilizando una pila enérgica, cuyos hilos conductores se sumergen en una disolución de cianuro potásico, unidos el negativo con una lámina de platino, y el positivo con un trozo del metal que se quiere disolver. Esta disolución es producida, pues, por la misma fuerza que determina el depósito cambiando los polos, recibiendo el procedimiento mismo el nombre de *galvanocáustico*, del cual se hace aplicación también para obtener placas grabadas por corrosión, ó sea al agua fuerte. El líquido estará saturado en cuanto aparezca un depósito metálico sobre la lámina de platino del polo negativo.

En la composición de la pila antes descrita se realiza este mismo proceso de un modo completamente semejante, y precisamente por ello se suspende en el líquido como electrodo positivo (llamado también electrodo soluble) el mismo metal que se deposita en el electrodo negativo, por consecuencia de lo cual la disolución permanece siempre con el mismo grado de saturación.

Así como mediante la corriente eléctrica se separan de algunas de sus combinaciones el cobre, la plata y el oro, y pueden fijarse de un modo duradero sobre una base conductora, pueden también separarse de ciertas disoluciones adecuadas el cinc, estaño, hierro, níquel, etc., en capas delgadas, produciendo sobre los objetos un cinquelado, un estañado, acerado, niquelado galvánico, etc. Todavía se prestan á esta misma operación algunas aleaciones, latón, bronce, etc., que se depositan del seno de líquidos en los cuales están disueltos los metales correspondientes en las proporciones adecuadas. De este modo es

uno árbitro de que el bronce que se deposita tenga, por ejemplo, un color más ó menos oscuro, según que se ponga en el líquido mayor ó menor proporción de sal de cobre. Como electrodo positivo es evidente que también aquí, como en todos los demás casos, ha de emplearse el mismo metal que se deposita sobre el otro electrodo, y por consiguiente, en este caso la misma aleación, bronce, ó lo que sea. En cuanto á la composición de los líquidos disolventes se han manifestado como apropiadas algunas modificaciones según los metales; por ejemplo, mientras que el cobreado sobre plata ú oro se verifica en un baño de sulfato cúprico, esto no es practicable sobre el hierro, y hay que emplear en este caso una disolución de cianuro cúprico en cianuro potásico, así como el plateado resulta también en una disolución de cianuro de plata en cianuro potásico. Para estañar se prepara el baño con una disolución de cloruro estánnico en agua, á la que se añade potasa cáustica hasta que el precipitado se redisuelve por completo. El hierro se deposita en las mejores condiciones en el seno de una mezcla de sulfato ferroso, amoniaco y cloruro ferroso amoniacal, disuelta en agua. En los tiempos modernos ha adquirido multitud de aplicaciones el niquelado, con el cual los objetos, no sólo adquieren un aspecto agradable y brillante, sino también mayor dureza é inalterabilidad; el baño empleado para el niquelado consiste en una disolución de cloruro de níquel en agua, ácido cítrico y un exceso de amoniaco; los objetos de hierro tienen que ser cobreados antes de niquelarse. Se obtiene otro baño para el niquelado, disolviendo en 20 litros de agua un kilogramo de sulfato de níquel amoniacal y

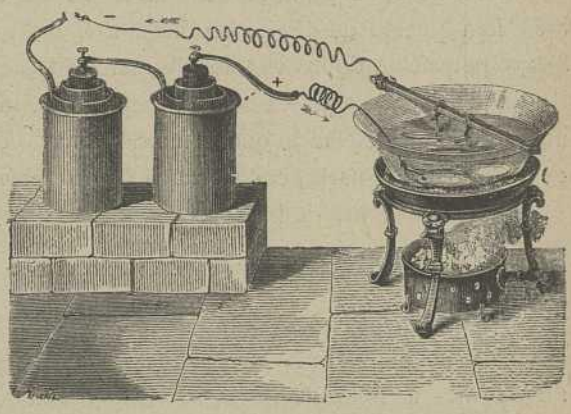


FIG. 350 —Plateado galvánico.

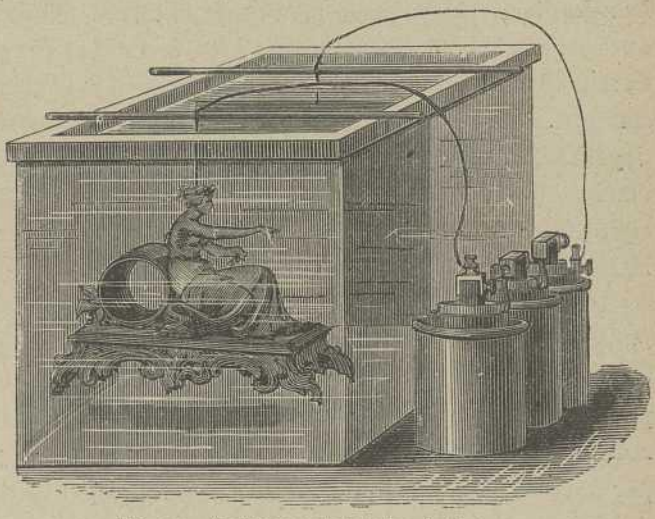


FIG. 351.—Aparato para el plateado galvánico.

50 gramos de ácido bórico cristalizado, hirviendo la disolución y dejándola enfriar.

De todos estos procedimientos galvanoplásticos, el plateado y dorado son los que tienen la mayor importancia práctica, pues no sólo se economizan en virtud de ellos grandes cantidades de los metales nobles, sino que también han puesto un límite bienhechor á los grandes peligros del dorado á fuego, por efecto de los vapores de mercurio que se desprenden durante él. En Ruhla (Turingia) se platea con 3 pesetas 76 céntimos, de 400 á 600 docenas de llaves de flauta, de modo que en una docena no entra más que $^3/_4$ de un céntimo de plata; por otra parte, con 5 granos de oro (próximamente 2 pesetas de valor), se doran 12 docenas de botones de 2 $^1/_2$ centímetros de diámetro; en las clases inferiores el grueso de la capa de oro no excede de $\frac{1}{100\,000}$ de centímetro. Para fines de este género, con objeto de depositar la cantidad precisa de plata ú oro, obteniendo sólo el grado de dorado ó plateado necesario sin prodigar superfluamente estos metales preciosos, se han construído balanzas especiales, que interrumpen automáticamente la marcha de la electrolisis, en cuanto se ha depositado la cantidad de metal presupuesta. Están dispuestas de modo que el objeto que se quiere dorar ó platear queda suspendido en el extremo de un fiel de balanza ordinaria; la corriente pasa desde la pila al fiel de la balanza y al alambre que sostiene los objetos, permaneciendo cerrado el circuito mientras el otro extremo del fiel permanece en la posición inferior bajo la influencia de un peso que corresponde á la cantidad de metal que debe ser depositada. Pero en cuanto el depósito llega á exceder á este peso, cae el fiel del lado donde están suspendidos los objetos, se interrumpe la corriente y cesa en el mismo momento la precipitación de oro ó plata. En el año 1867 se presentó una de estas balanzas en la Exposición universal de París.

Para que el plateado ó dorado cubra toda la superficie de los cuerpos de un modo uniforme, es preciso que dicha superficie esté completamente limpia y desprovista de toda grasa. Se emplean diferentes líquidos, según que se quiera producir un color amarillo claro ó rojizo; el cloruro de oro puro, disuelto en cianuro potásico y agua, da un hermoso color amarillo. El dorado rojizo se obtiene por la adición de sulfato de cobre, y el verdoso por una adición correspondiente de cianuro de plata, etc., etc.

Los dorados galvánicos más espléndidos han sido indiscutiblemente los realizados por el conde Max de Leuchtenberg en el establecimiento ruso galvanoplástico de Revalt. Se trataba de dorar las bases y capiteles, fundidos en bronce, destinados á las columnas de la iglesia de Isaak, en San Petersburgo, los cuales tenían un peso total de 28.000 kilogramos. La altura de los capiteles mayores medía 1,45 metros, y el diámetro de la base más ancha 1,10 metros, exigiéndose cajas, cada una de las cuales contenía 5.700 litros de baño de oro. Estas

cajas se colocaron dos á dos alrededor de una gran grúa, por medio de la cual podían levantarse las piezas de bronce unidas á unas cadenas de cobre, en lo cual se empleaban dos hombres. El baño de oro contenía de 8 á 10 gramos de éste por cuartillo; el cianuro potásico necesario fué preparado por el mismo establecimiento. Así sucedió que frecuentemente se disolvía en un día de 10 á 15 kilogramos de oro, que se convertía en disolución ciánica concentrada, y que en tres años que duraron estos trabajos, el consumo de oro alcanzó á más de 280 kilogramos. Todavía se manejan mayores cantidades en el plateado galvánico en talleres como los de Christoffle y Compañía, en París, Saint-Denis y Carlsruhe ó en los de Elkington en Londres, donde se obtienen cantidades extraordinarias de cubiertos de mesa y otros objetos. En un solo año (1865) la cantidad de plata empleada en el plateado galvánico en los primeros alcanzó el peso de 33.600 kilogramos, los cuales representan un valor de 6.700.000 pesetas, mediante el cual quedaron recubiertas de una capa de plata 5.600.000 piezas.

LOS APARATOS ELECTRO-MAGNÉTICOS

Descubrimeinto de Oersted.—Desviación de la aguja magnética.—Ampère y su ley.—Multiplicador de Schweigger.—Du-Bois-Reymond.—Atracción entre las corrientes paralelas.—Electro-magnetismo y magneto-electricidad.—Faraday.—Aparatos de inducción.—Antiguos aparatos de rotación.—Efectos fisiológicos.—Grandes aparatos de rotación para la pesca de la ballena y para la producción de la luz eléctrica.—Líneas de la fuerza magnética.—Inductor cilíndrico de Siemens.—Máquina anular de Pacinotti.—Máquinas de Gramme y de Hefner-Alteneck.—Principio electro-dinámico de Siemens.—Máquinas dinamo-eléctricas.—El electro-magnetismo como fuerza motriz.

Los notables fenómenos á que dió ocasión la pila voltaica habían excitado gran curiosidad en el mundo científico, particularmente su condición polar, sobre la cual discurrían los filósofos naturalistas de la época, desarrollando gran actividad de imaginación é ingenio para descubrir la causa primera de los mismos, tras de la cual corrían ansiosos, mediante experiencias variadas de mil modos y repetidas diariamente. Por diferentes lados había surgido la idea de identificar la pila de Volta con un imán, haciéndose tentativas con aparatos muy potentes para demostrar la coincidencia entre la electricidad originada por el contacto y el magnetismo. Los esfuerzos practicados en este sentido resultaron inútiles, y, sin embargo, aquellas esperanzas vinieron á reanimarse por el descubrimiento practicado por otros caminos de que el rayo, así como la chispa

de las botellas de Leyden, tiene la propiedad de ejercer una influencia perfectamente demostrada sobre la aguja magnética, bien invirtiendo sus polos, bien debilitando su magnetismo, ó bien convirtiendo en imanes, agujas de acero antes desprovistas de esta cualidad. El presentimiento se había cumplido, pero faltaba todavía la palabra milagrosa para que se abriera la montaña Sésamo.

Así las cosas, Oersted (fig. 352) hizo en una de sus lecciones sobre física en Copenhague, durante el invierno de 1819 á 1820, la notable observación de que un hilo delgado de platino que estaba unido con los polos de una pila voltaica y se había puesto incandescente por el paso de la corriente eléctrica, comunicó oscilaciones particulares á una aguja magnética, sobre la cual precisamente estaba colocado. Por lo demás, mucho antes había observado ya fenómenos análogos el físico Romagnosi, los cuales habían sido publicados por Aldini; pero otros los habían negado. De todos modos, ni Romagnosi ni el mismo Oersted sospecharon de antemano la importancia de su descubrimiento, pues el último citado dejó todavía transcurrir más de la mitad del año 1820 antes de dar noticia á los físicos en una carta sobre su observación, y entonces todavía se tardó relativamente mucho tiempo hasta triunfar de las erróneas interpretaciones sobre el particular y dejar establecido el hecho de experiencia en toda su natural sencillez. Así, por ejemplo, se creyó en un principio equivocadamente que un gran número de pares, y por consiguiente una gran tensión, aumentaba la desviación de la aguja, siendo así que esto no influye en la desviación, sino más bien la magnitud de la superficie de los pares, ó sea de las láminas, entre las cuales se origina la corriente. Pero á medida que se fué fijando con más precisión el descubrimiento de Oersted, se despertó un verdadero delirio, un entusiasmo de que no se encuentra ejemplo en la historia de las ciencias, á no ser en el descubrimiento de los globos aerostáticos. Durante algún tiempo quedaron relegadas al olvido todas las otras ramas de la física; en las revistas científicas sólo se encontraban Memorias y discusiones sobre experiencias basadas en el nuevo principio; y no eran sólo los naturalistas, físicos y médicos los que repetían las experiencias pu-

Fig. 352 —Christian Oersted.

blicadas y ensayaban otras nuevas, sino también aficionados y hasta personas completamente ajenas á este género de trabajos se posesionaron, como dice Paff, con un apasionamiento inaudito, del fenómeno recientemente descubierto. El nombre de Oersted era pronunciado por todo el mundo, y eso que nadie podía sospechar la transcendencia de su concepción ni las consecuencias que había de reportar. Al considerar hoy los frutos dados por aquella semilla y de los cuales el telégrafo electro-magnético es sin duda alguna el más grandioso, apenas alcanzamos á concebir que el origen de toda la ciencia á que pertenecen, se halle sólo separado medio siglo de nuestros días.

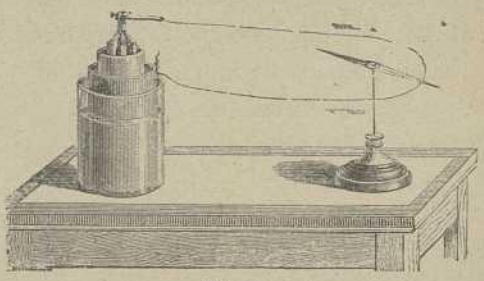


FIG. 353.
Desviación de la aguja magnética por la corriente eléctrica.

Podemos practicar fácilmente la experiencia fundamental de Oersted; sólo necesitamos para ello sostener sobre una aguja magnética, libremente suspendida, el hilo conductor de una corriente galvánica, de suerte que siga la dirección natural de equilibrio de dicha aguja, ó sea de Norte á Sur. Mientras no pasa ninguna corriente por el alambre, la aguja conserva también aquella dirección; pero apenas se cierra el circuito se separa de ella y tiende con más ó menos energía, según la intensidad de la corriente, á colocarse en dirección perpendicular á la del conductor. Pero el hecho varía según que el alambre pase por encima ó por debajo de la aguja, pues si bien en ambos casos tiene lugar la desviación, existe entre ellos la diferencia de que en el uno el polo Norte de la aguja se dirige hacia la izquierda, mientras que el otro se dirige hacia la derecha. El sentido de la desviación depende de la dirección de la corriente, de tal suerte, que si nos imaginamos nadando en la dirección de la corriente, y vuelta siempre la cara hacia la aguja magnética, veremos dirigirse el polo Norte de la aguja siempre hacia la izquierda, el polo Sur hacia la derecha. De aquí que cuando se hace retroceder el alambre por debajo de la aguja después que ha pasado en dirección contraria por arriba (véase la fig. 353), las dos porciones del conductor determinan acciones en el mismo sentido, y, por consiguiente, la desviación se produce con una fuerza doble. En la fig. 354 representamos figuradamente la ley llamada de la *personificación de la corriente*, reconocida por el físico francés Ampère, á quien debemos la organización científica de los fenómenos electro-magnéticos. *C D* y *E F*, representan conductores que son atravesados por la

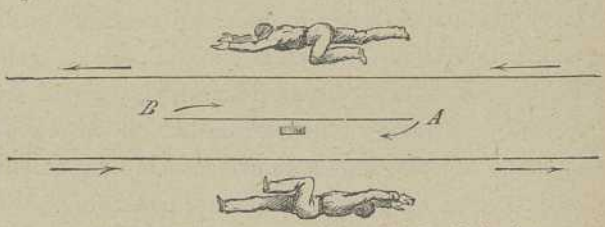


FIG. 354.—Dirección de la desviación, según la ley de Ampère.

corriente en la dirección que indican las flechas; *B A*, es la aguja magnética, en la cual *A* significa el polo Norte, mientras que en la figura anterior, en que la dirección de la corriente es contraria, el polo Norte está situado en la mitad de la aguja dibujada en negro. Ahora bien; si se arrolla el hilo conductor alrededor de la aguja magnética, siempre en el mismo sentido, estando ésta suspendida libremente, es evidente que en cuanto pase una corriente por el hilo, aquélla será desviada con una fuerza tanto mayor, cuanto mayor sea el número de las vueltas, sólo que para ello es preciso que la corriente recorra efectivamente todo el camino representado por la longitud del alambre, ó, lo que es lo mismo, que las diferentes vueltas de éste estén aisladas entre sí, lo cual se consigue recubriéndolas con seda.

EL MULTIPLICADOR

Schweigger ha construído, fundándose en lo anterior, un aparato con el cual es posible demostrar la existencia de corrientes extraordinariamente débiles, una especie de microscopio eléctrico, al cual bautizó muy expresivamente con el nombre de multiplicador, aludiendo á su manera de obrar. El multiplicador de Schweigger es tal vez el instrumento más transcendental de la física moderna; constituye un medio, no ya para auxiliar á uno de nuestros sentidos aumentando la sensibilidad en observaciones delicadas, como hacen las lentes, sino haciendo el papel de un órgano completamente nuevo, puesto que nos permite reconocer manifestaciones de la energía para las cuales no poseemos ningún sentido que nos dé el medio de percibirlas, y cuyas manifestaciones nos transmite con una penetración y una seguridad que ni el oído ni la vista pueden aventajar. En la fig. 355 damos á nuestros lectores una imagen de este importante aparato, cuya disposición es fácilmente inteligible.

La aguja magnética, que es el fiel de esta balanza, pende, mediante un hilo de seda cruda, de la tapadera de un cilindro de vidrio que protege al aparato contra la acción perturbadora de influencias externas, corrientes de aire, humedad, etc. Sobre el fondo de éste se hallan las vueltas del hilo conductor, cuyos extremos atraviesan la pared inferior del cilindro y salen al exterior, pudiéndose poner en comunicación con los cuerpos productores de la corriente. La forma de establecer la unión, así como la dirección de la corriente, se indica en la figura por las flechas; así, cuando la corriente penetra en el multiplicador por la derecha, sale por la izquierda, y viceversa. La aguja magnética no consta de una sola aguja, sino que está formada por la reunión de dos de ellas unidas invariablemente entre sí, de modo que tengan en presencia los polos de nombre contrario. Una de estas dos agujas se mueve en el interior de la espiral (en nuestra figura sólo se ve la punta de ésta); la otra oscila por encima de ella. Supongamos, por ejemplo, que el extremo dirigido hacia nuestro lado de la aguja supe-

rior sea el polo Norte; el extremo correspondiente de la aguja inferior será el polo Sur. Esta combinación de dos agujas invertidas, ó sea el llamado par de agujas astático, ofrece la gran ventaja de que, aunque su magnetismo sea fuerte, la fuerza directriz de la tierra sobre el par para colocarla en la dirección de Norte á Sur es muy pequeña, puesto que se equilibran próximamente las acciones ejercidas sobre cada una de las dos agujas, actuando sólo la diferencia como resultante. En virtud de esta resultante, tiende el par de agujas á tomar la posición de Norte á Sur cuando se ha separado de ella; pero como aquélla resultante es mucho menor que la fuerza magnética de cada una de las agujas por sí misma, resulta también insignificante la resistencia que opone á una influencia cualquiera que tienda á separar el par de su posición de equilibrio. De aquí que se muestren activas sobre tal sistema astático, influencias mucho menores que las que pueden obrar sobre una sola aguja magnética. Las agujas del par serían, pues, fácilmente desviadas por la corriente galvánica, y como además las vueltas del hilo del multiplicador situadas entre ellas, actúan en el mismo sentido sobre ambas agujas por consecuencia de la diferente posición de los polos, esta acción resulta todavía duplicada sobre el sistema. Se concibe, pues, que, con ayuda de un multiplicador de muchos miles de vueltas, se podrá demostrar la existencia de corrientes muy débiles, y efectivamente se ha reconocido por este medio que aun por las más pequeñas diferencias físicas ó químicas, dos cuerpos en contacto desarrollan corrientes eléctricas. Dos láminas de platino, de las cuales la una se ha llevado poco antes á la incandescencia y la otra no, producen una desviación en la aguja del multiplicador. Pero no siempre hacen falta electrodos metálicos; la simultaneidad entre la actividad muscular y la nerviosa por una parte, y la corriente eléctrica por otra, demuestra en muchos casos la dependencia recíproca de ambos fenómenos. La discusión de las interesantes acciones fisiológicas de las corrientes galvánicas ha originado una ciencia enteramente nueva, que particularmente las investigaciones de Bois-Reymond han puesto al nivel de las demás. Se han adquirido puntos de vista completamente nuevos sobre la vida orgánica, y la medicina ha aprovechado estos estu-

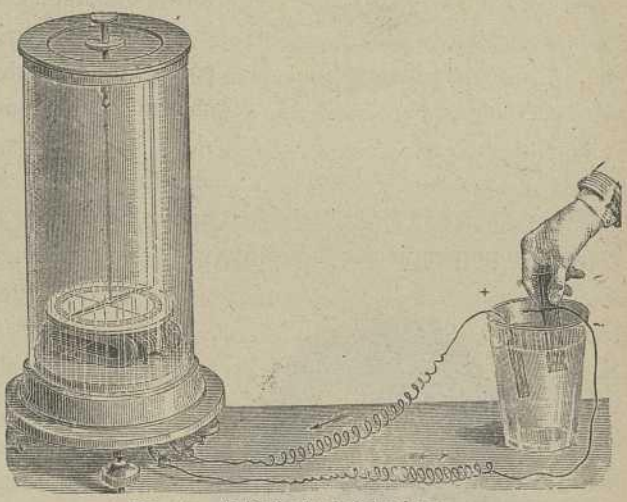


FIG. 355.—Multiplicador de Schweigger.

dios mediante sus procedimientos especiales, sin que queramos referirnos en esto á la explotación que han hecho algunos especuladores y parlanchines, á pretexto de curaciones prodigiosas por la electricidad.

Pero si nos preguntamos ahora cuál es la causa de que la aguja magnética experimente una acción tan notable por parte de la corriente eléctrica, podríamos encontrar la respuesta en otro experimento. Cuando suspendemos un alambre doblado en forma cuadrada ó circular *A A* (fig. 356), de modo que sea fácilmente movible, lo cual se consigue terminándole en puntas que descansan sobre pequeñas capsulitas con mercurio, y hacemos pasar una corriente por este alambre, gira alrededor de sus puntos de apoyo hasta que la dirección de la corriente se hace perpendicular á la dirección de la aguja magnética; nueva prueba de que entre el magnetismo y las corrientes eléctricas existen realmente las conexiones más íntimas, pues cuando la corriente es bastante intensa, ejerce acción directriz sobre el magnetismo, y cuando éste actúa en dirección fija y es más enérgico que las resistencias por rozamiento, etc., que se oponen al movimiento del conductor, entonces es el magnetismo el que ejerce la acción directriz sobre la corriente.

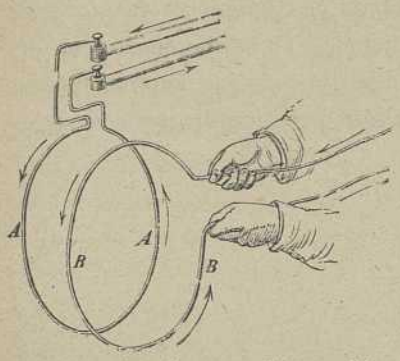


FIG. 356.— Atracción entre corrientes paralelas.

FIG. 357.—Andrés María Ampère.

Si dejamos á un lado ahora el magnetismo é investigamos la acción recíproca entre corrientes movibles, aproximando, por ejemplo, al primer conductor citado *A, A*, un segundo alambre *B B*, ambos recorridos por corrientes eléctricas en la forma indicada por las flechas, podremos hacer la observación de que el alambre movible *A A* se sitúa paralelo al segundo *B B;* las partes en las cuales la corriente pasa en dirección descendente, se aproximan entre sí; del mismo modo que aquéllas en que la corriente es ascendente. Si se invierte la dirección de la co-

rriente en ambos, se repelen entre sí. El conductor movible tiende, pues, á colocarse de suerte que exista siempre paralelismo entre la dirección de la corriente y la del conductor fijo.

De modo que aquí uno de los conductores, el fijo, hace lo que en la experiencia anterior hacía el magnetismo de la tierra ejerciendo cierto poder sobre el conductor movible recorrido por una corriente; y por otra parte, el conductor movible se conduce también del mismo modo que se conducía la aguja magnética con respecto á un conductor fijo, y adquiere cierta dirección en relación con la de éste.

Esta acción no tiene nada que ver con la naturaleza química de ambos hilos conductores; los hechos permanecen los mismos, cualesquiera que sean los metales que se tomen para ello, siempre que estén atravesados por una corriente. Las corrientes mismas son las que ejercen aquella interesante acción entre sí, según la ley de que *las corrientes que marchan paralelas y en el mismo sentido se atraen, y las que marchan en sentido contrario, se repelen.* Esta es la ley electro-magnética fundamental establecida por Ampère.

Ampère, cuyo nombre está unido de un modo indisoluble á la historia del electro-magnetismo, debe ser considerado como uno de los físicos más notables de todos tiempos, por más que el número de sus trabajos científicos sea relativamente pequeño. Nació en Lyon el 22 de Enero de 1775. Su padre se había dedicado al negocio comercial, que después abandonó para dedicarse á la explotación de una pequeña posesión agrícola. El joven Ampère no había podido recibir aquí una educación científica y metódica, sino que más bien debía á su propia inteligencia y aplicación cuanto sabía. Las nociones que había adquirido, podían, á lo sumo, hacer de él un modesto profesor de matemáticas, cuando, con motivo de la Revolución, se emancipó de la patria potestad. Después de haber permanecido algunos años en Lyon dedicado á estudios privados, se trasladó á Bourg, donde ingresó como profesor de matemáticas en la Escuela Central; de allí regresó á Lyon, y, por último, fué llamado á la Escuela politécnica de París. Murió el 10 de Agosto de 1836 en un viaje que había emprendido como inspector general de la Universidad. A más de los trabajos ya mencionados sobre electricidad, se ocupó también de problemas aislados de la mecánica y de la óptica, y también en investigaciones de matemáticas puras.

ELECTRO-MAGNETISMO

Desde las experiencias de Ampère, el magnetismo y las corrientes eléctricas revelaron una coincidencia en su manera de obrar que debía corresponder á una identidad semejante en la fuerza que constituye su causa. Hoy podemos demostrar la identidad completa de ambos fenómenos y hacer visible por me-

dio de experimentos que el magnetismo no es otra cosa que una corriente eléctrica dirigida de un modo particular. En efecto, dando un paso más en las experiencias anteriores y suspendiendo, no ya un alambre simplemente doblado, como *A A* en la fig. 356, sino un alambre en espiral como el de la fig. 358 (ó sea un llamado solenoide), éste se colocará, cuando sea atravesado por una corriente, de modo que todas las espiras del mismo sean perpendiculares á la dirección de la aguja magnética, y por consiguiente que el eje de la espiral se sitúe en dirección de Norte á Sur, ó sea en la misma dirección de la aguja magnética, conduciéndose en todos los demás casos un tal solenoide atravesado por la corriente, exactamente del mismo modo que un imán. Estamos, pues, en el caso de poder admitir como causa de los fenómenos que llamamos magnéticos, corrientes eléctricas, y precisamente tales que circulen todas en la misma dirección

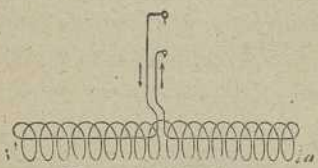


FIG. 358.—Solenoide.

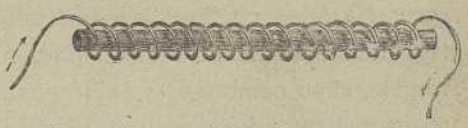


FIG. 359.—Generación del electro-magnetismo.

alrededor de las partículas más pequeñas de los cuerpos magnéticos, de modo que todas estas corrientes moleculares se complementen, determinando por su suma una acción total considerable. Podemos deducir en qué dirección deberán ser recorridas las partículas de un imán por estas corrientes circulares eléctricas, sin más que imaginar en su lugar la espiral de un solenoide en el interior del imán. Colocándonos entonces como si flotáramos nadando en la dirección de la corriente, el polo Norte siempre á nuestra derecha, el polo Sur hacia la izquierda, en la fig. 358 *a* indicará el primero, *b* el último; si pues el polo Norte de una aguja magnética suponemos que se halla en *a*, y en *b* el polo Sur de la misma, la dirección de las flechas indica la de las corrientes circulares que atraviesan las moléculas de acero de dicha aguja. La hipótesis que acabamos de desarrollar sobre la naturaleza del magnetismo se apoya, como queda dicho, en las propiedades de los selenoides, que coinciden con las de los imanes naturales. No sólo porque atraen al hierro, y precisamente con la mayor fuerza en sus polos y con la menor en el centro, sino tambien porque excitan sobre el hierro y acero el magnetismo del mismo modo que si se les frotara con un fuerte imán. Una barra de hierro introducida en un espiral aislada y recorrida por una corriente eléctrica (fig. 359), refuerza considerablemente la acción de ésta sobre la aguja magnética ó sobre un conductor movible recorrido por una corriente, como *A*, en la fig. 356. La barra de hierro ó de acero se ha hecho magnética de tal modo, que adquiere los polos Norte y Sur en los mismos extremos respectivamente que el solenoide.

El hierro dulce pierde de nuevo esta condición magnética en cuanto se interrumpe la corriente; pero en el acero, por el contrario, el estado magnético se sostiene todavía después de cesar la corriente en la espiral, y de aquí que hoy se emplea generalmente este procedimiento para formar poderosos imanes de acero. Pero todavía son más importantes que éstos los trozos de hierro dulce á los cuales se comunica la fuerza magnética de un modo sólo transitorio, los llamados electro-imanes, puesto que constituyen lo esencial de los aparatos electro-magnéticos. Encontraremos ocasión de volver sobre ellos al considerar sus diferentes aplicaciones; pero de antemano tenemos que establecer algunas particularidades de la corriente eléctrica que se hallan en íntima relación con los mismos.

FARADISMO

El físico inglés Faraday fué el que hizo en el año 1832 el descubrimiento de que una corriente eléctrica origina también corrientes eléctricas en aquellos conductores circulares cerrados, en cuya proximidad se producía aquélla; fenómeno que se llama *inducción* en un sentido restringido (faradismo). Estas corrientes de inducción duran siempre un solo instante, teniendo lugar únicamente en el momento en que se abre ó se cierra el circuito inductor. Al abrir este circuito, la corriente inducida tiene una dirección opuesta á la de la corriente inductora, mientras que al cerrarle tiene su misma dirección. El mismo efecto que el cerrar ó abrir el circuito principal produce la súbita aproximación ó separación de un conductor recorrido por la corriente. Cuanto más próxima se halle la corriente inductora del conductor en el que se quiere producir la inducción, más intensa será ésta. Los aparatos en los cuales se hace aplicación de estos efectos para originar corrientes eléctricas, ó sean los llamados aparatos de inducción, pueden tener diferentes disposiciones, según que al hilo inductor se le dé la forma de espirales paralelas, é inmediatamente al lado de las del alambre inducido, formando una doble espiral, ó bien que se arrolle cada uno de por sí, constituyendo dos espirales separadas. En el primer caso, las corrientes inducidas sólo pueden originarse por la penetración ó interrupción de la corriente principal; en el último caso puede originar también corrientes de inducción de intensidad proporcionada, por su aproximación ó alejamiento de la espiral inducida. La figura 360 permite comprender con mayor claridad lo dicho. La espiral H está en comunicación con el multiplicador G, por medio de los dos hilos conductores, que terminan en A y A'; así que el circuito está cerrado mientras este contacto en $A\,A'$ no se interrumpa. Sobre esta espiral se puede colocar, cubriéndola, otra H', cuyas espiras se arrollan en el mismo sentido y cuyos extremos en B y B' pueden ponerse en comunicación con los polos de una pila. Ahora bien: si se hace pasar una corriente por la espiral H', puede producirse sobre la espi-

ral H una corriente de inducción de sentido contrario, ó del mismo sentido que la de H', sobreponiendo ó alejando respectivamente la primera espiral de la segunda, cuyas corrientes inducidas y sus respectivas direcciones se manifiestan por la desviación de la aguja magnética en G. Del mismo modo podrían originarse corrientes de inducción teniendo la espiral H' fijamente superpuesta sobre la H, cerrando ó abriendo el circuito en B ó B'.

Es fácil disponer el aparato de manera que la corriente inductora de la pila se establezca é interrumpa alternativamente con una rapidez suficientemente grande, haciendo que se sucedan, por intervalos iguales, corrientes de inducción dirigidas en el sentido de la principal, ó en sentido contrario, y los aparatos construídos para los fines médicos están provistos de mecanismos muy ingeniosos con objeto de emplear, bien sean las corrientes en dirección variada, tales como se originan, ó bien haciéndolas correr todas en un cierto conductor con una misma dirección. La electricidad así producida, muestra todos los efectos de las corrientes engendradas por el galvanismo; se distingue, sin embargo, particularmente por una mayor tensión, asemejándose en esto más á la electricidad por rozamiento, pues se obtienen fácilmente de aquélla como de ésta chispas de longitud considerable, mientras que la corriente galvánica sólo puede saltar de uno á otro extremo de un conductor á una distancia muy pequeña.

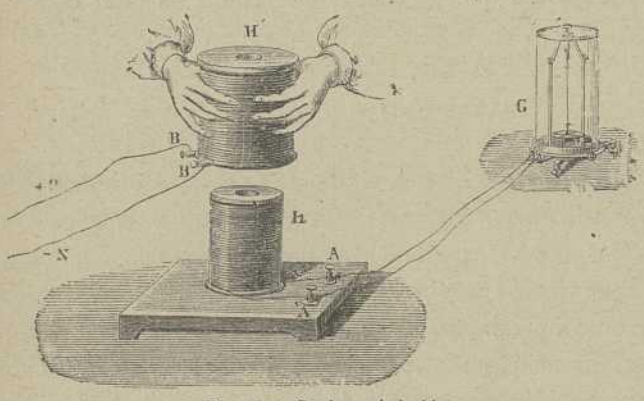


FIG. 360.—Corrientes inducidas.

Ya hemos indicado que el efecto es exactamente el mismo cuando penetra una corriente en un conductor colocado junto á otro que constituye el circuito de inducción, ó bien que el conductor continuamente atravesado por la corriente principal se aproxime bruscamente al circuito de inducción. Lo mismo se aplica á las corrientes inducidas por la interrupción de la corriente principal ó por el alejamiento de la misma.

Pero además se obtienen también fenómenos de inducción completamente análogos, aproximando ó separando rápidamente un imán potente á un circuito cerrado. Al aproximarle se origina una corriente inducida instantánea en una cierta dirección, y al alejarlo, otra en dirección contraria.

También aquí vemos, pues, que la electricidad y el magnetismo se equivalen mutuamente: un imán obra del mismo modo que una pila; y así como al magnetismo engendrado por una corriente eléctrica le hemos llamado electro-

magnetismo, llamamos también magneto-electricidad á las corrientes engendradas por los imanes.

Tenemos, por tanto, dos casos distintos que considerar á este propósito. En el uno, con ayuda de una cantidad de magnetismo existente, producimos electricidad, y la producimos en la cantidad que queremos; en el otro engendramos magnetismo, pero de ambos el más importante es el primero, en el cual con una provisión de magnetismo, relativamente muy pequeña, podemos obtener, sin que siquiera se observe la más pequeña pérdida de aquella provisión, y de un modo ilimitado, la moderna forma de la energía, la corriente eléctrica. No es, pues, que el magnetismo se transforme ó convierta en electricidad; aquél sólo sirve como intermediario, como excitador; lo que en realidad engendra la electricidad es la fuerza mecánica que se invierte para aproximar el circuito cerrado al imán, y separarlo de éste, hecho que comprueba la ley de Mayer sobre la transformación de la energía, el cual ha sido también sometido á una expresión matemática absoluta, y, por tanto, puede ser de igual modo al cálculo.

Evidentemente se nos revela ya ahora que podemos de nuevo transformar la electricidad en fuerza mecánica, por medio de la acción atractiva que los conductores atravesados por corrientes ejercen entre sí, ó lo que es lo mismo, sobre los imanes, y que si no tuviera lugar ninguna pérdida por influencias extrañas, se debería obtener de nuevo, mediante una cantidad determinada de electricidad, la misma porción de trabajo mecánico que había sido empleada para la producción de aquella electricidad.

Estos tres caminos diferentes, por los cuales puede tener lugar la transformación de la fuerza, tienen mucho interés, no sólo para la ciencia, sino también para la vida práctica, pues se han inventado numerosos aparatos y máquinas de extraordinaria importancia. Vamos á ocuparnos de las principales, siquiera sea ligeramente.

Hemos de tener en cuenta, por lo tanto:

Aparatos para engendrar electricidad con fuerza mecánica.

Aparatos para producir magnetismo por medio de la electricidad.

Y aparatos para originar fuerza mecánica mediante la electricidad.

Cada una de estas tres clases tiene un interés especial, pero la primera y tercera tienen importancia práctica sobresaliente como variantes elementales de a transformación de la fuerza, mientras que la segunda tiene su aspecto más interesante en el perfeccionamiento de la transportabilidad de la electricidad, y entraña todos esos maravillosos mecanismos para transmitir á distancia señales ó conversaciones (aparatos telegráficos, teléfonos, fonógrafos, etc.), á los cuales dedicaremos nuestra atención más adelante, en lugar especial.

Ahora trataremos en primer término de los aparatos para engendrar por la fuerza mecánica esas máquinas de inducción mediante las cuales, por sólo la acción del magnetismo, se pueden originar corrientes eléctricas, es decir, los apara-

tos magneto-eléctricos. Éstos han recibido múltiples modificaciones desde su primera aparición, alcanzando en la última decena de años una perfección que ha dado origen á una nueva era de la electricidad, puesto que con su ayuda la producción de ésta ha venido á hacerse independiente de los pares y pilas voltaicas.

APARATOS DE ROTACIÓN

Los aparatos más antiguos de este género fueron los aparatos rotatorios, así llamados porque en ellos las corrientes eran excitadas por la aproximación y

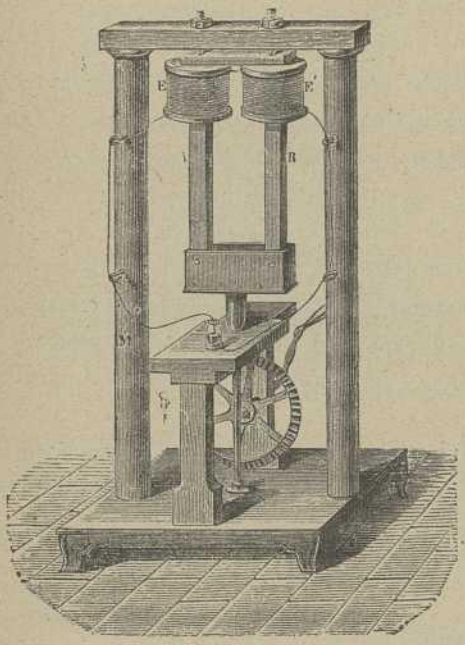


FIG. 361.—Máquina rotatoria de Pixii.

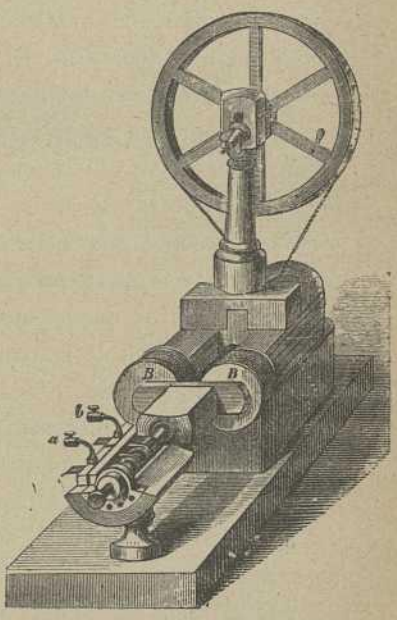


FIG. 362.—Aparato de rotación de Stöhrer.

alejamiento alternativos entre los polos de un imán y las espirales del circuito de inducción, bien girando éste en presencia del imán fijo, bien, por el contrario, girando el imán y estando fija la espiral de inducción.

El primer ejemplar, construído por Pixii el año 1832, está representado en la fig. 361. *A* y *B* son los imanes que están unidos entre sí, de modo que presentan sus polos de nombre contrario á las espirales *E* y *E'* que contienen en su interior un núcleo de hierro dulce; los dos imanes obran, por consiguiente, como las dos ramas de un solo imán en herradura. Haciendo girar el manubrio colocado en la parte inferior del aparato, cambian de posición los imanes con respecto á las espirales y se desarrollan en estas corrientes de inducción que son conducidas por medio de alambres metálicos hasta un vasito con mercurio, pudiéndose reconocer su presencia por las chispas que saltan en la superficie cuan-

do uno de los conductores está introducido en el líquido y el otro termina á pequeña distancia de aquélla.

Después Stöhrer, en Leipzig, perfeccionó considerablemente los aparatos rotatorios; la fig. 362 muestra una de las primeras construcciones adoptadas por él. Además del sistema transmisor de la rotación como parte esencial en primer término, podemos observar en ella un fuerte imán en herradura, constituído por varias láminas, que está fijo sobre un pie, y entre cuyas dos ramas se eleva la columna que sostiene el aparato de rotación. La parte á la cual se transmite el movimiento rotatorio de éste, se halla delante de los dos polos del imán; su eje penetra entre los brazos del imán, siendo rodeado por la correa de transmisión. Por la parte anterior el eje lleva una pieza transversal de hierro dulce, y sobre ésta los cilindros *B B*, también de hierro dulce, que corresponden á los polos del imán y sobre los cuales está arrollado en multitud de vueltas un hilo de cobre revestido de una cubierta aisladora.

Si recordamos el principio de que en un circuito cerrado se desarrolla una corriente instantánea cuando se aproxima al conductor un imán enérgico, y otra corriente instantánea de sentido contrario cuando se aleja el imán de él, comprenderemos fácilmente el juego de la máquina. El travesaño de hierro y los núcleos cilíndricos del mismo metal se convierten ellos mismos en imanes por la acción del imán en herradura, cuando ocupan la posición indicada en la figura, permaneciendo en estado magnético en tanto que dura esta posición. Pero cuando se hace girar al árbol, todo cambia; cuando la rotación es de un cuarto de vuelta, los carretes *B B*, con sus núcleos de hierro, se colocan verticalmente uno sobre otro y á la máxima distancia de ambos polos. En este momento ha desaparecido su magnetismo, y la acción de esta desaparición sobre la espiral de cobre es exactamente la misma que si se hubiera separado de éstas el núcleo de hierro, es decir, que si se hubiera alejado el imán del circuito. Al segundo cuarto de vuelta los cilindros se colocan de nuevo enfrente de los polos del imán, convirtiéndose otra vez ellos mismos en imanes, sólo que esta vez con los polos cambiados respecto del caso anterior, debiendo manifestarse también en la espiral una corriente de sentido contrario á la primera como si se hubiera introducido rápidamente un imán en su interior. Cada vuelta del árbol desarrolla, por consiguiente, una cuádruple excitación de corrientes contrarias. Cuando se desea dar á las corrientes inducidas una dirección única, se consigue esto mediante un pequeño aparato colocado en la parte anterior del árbol y llamado el conmutador. Éste recibe todas las corrientes, pero consta de dos mitades que funcionan alternativamente, de modo que sólo transmiten siempre á cada uno de los dos conductores, que se adaptan en *a* y *b*, las corrientes dirigidas en la misma dirección, recibiendo el uno las de un sentido y el otro las de sentido contrario. Estas corrientes de sentido contrario pueden compararse en cierto modo con las electricidades positiva y negativa.

EFECTOS FISIOLÓGICOS

De estos aparatos rotatorios se hace aplicacion especialmente en la medicina, haciéndose pasar á través del cuerpo la corriente alternativamente en la una ó en la otra dirección, ó bien en una dirección sola, mediante el empleo del conmutador. Las excitaciones nerviosas correspondientes al primer caso son naturalmente más enérgicas por las inversiones que se suceden brusca y rápidamente, y pueden hacerse de todo punto insoportables con aparatos muy pequeños cuando se aumenta considera blemente la velocidad. Los aparatos grandes obran con tal energía, que los músculos de todo el cuerpo entran en contracción espasmódica y pueden llegar á perder completamente la movilidad voluntaria. De aquí que se ha construído y utilizado con éxito primeramente por Stöhrer, en Leipzig, grandes aparatos de este género para la pesca de la ballena. Uno de los dos conductores está atado á la cuerda del arpón, el otro se arroja al agua. De este modo la corriente pasa á través del cuerpo de la ballena herida por el arpón, y un hombre solo, haciendo girar el aparato, puede convertir los movimientos enérgicos del cetáceo en una rigidez convulsiva, en una inmovilidad, durante la cual puede sin peligro acabarse con su vida. El aparato está dispuesto de modo que una corona de carretes de inducción, gira en presencia de cierto número de potentes imanes colocados en círculo. Como que el número de carretes es igual al de polos magnéticos en estas baterías, crece el número de corrientes inducidas por

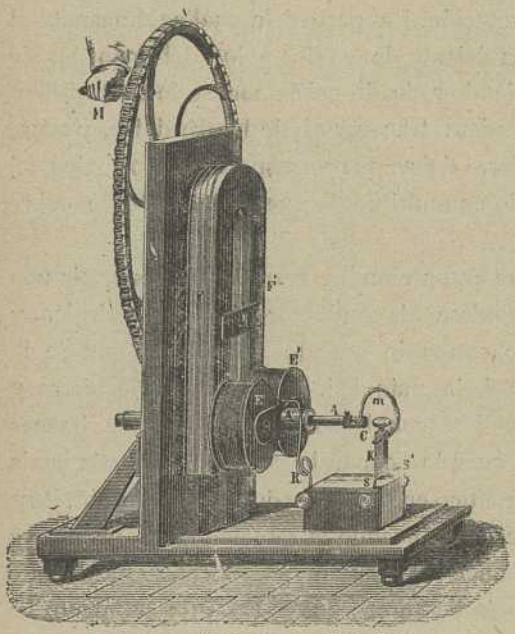


FIG. 363.—Máquina de rotación de Clark.

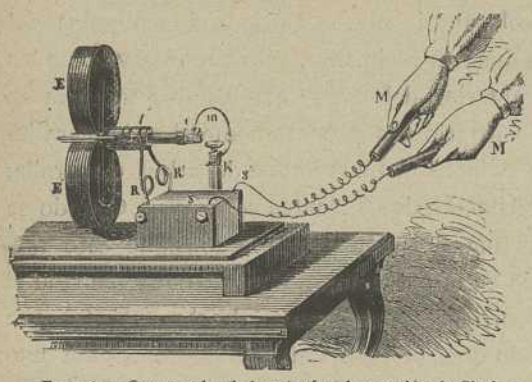


FIG. 364.—Conmutador de la máquina de rotación de Clark.

cada vuelta del sistema rotatorio, en proporción al cuadrado del número de polos.

La máquina de Clark (fig. 363) nos muestra otra disposición de estos aparatos rotatorios. El imán *F F'* tiene una posición vertical; como en el aparato de Stöhrer, se hallan cerca de sus polos las dos espirales *E*, *E'* unidas con sus núcleos de hierro al árbol *A A'*, que se pone en rotación por medio del manubrio

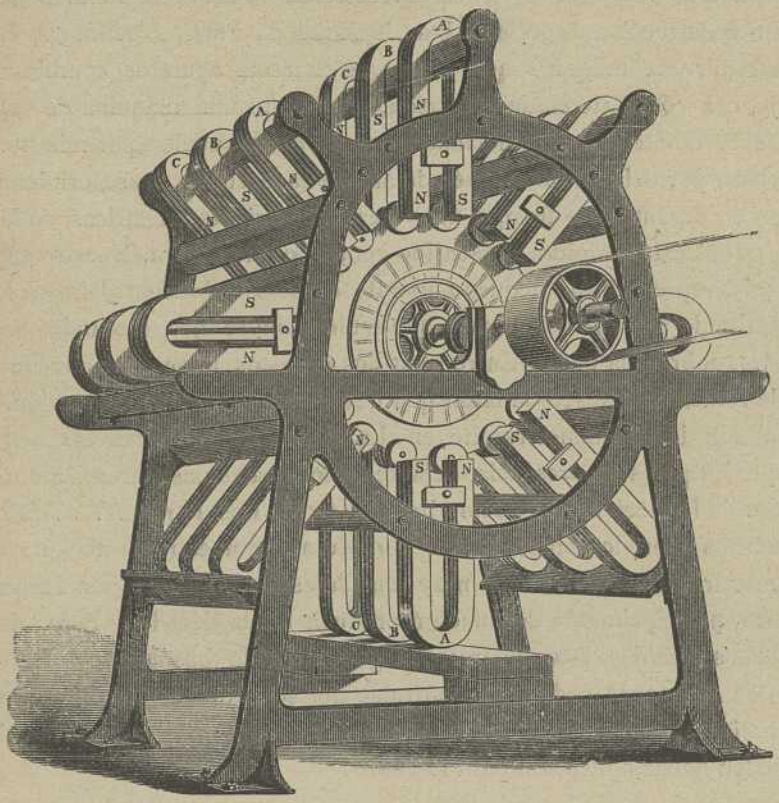


FIG. 365.—Aparato de rotación para el alumbrado eléctrico.

M. Los dos trozos *A* y *A'* están en comunicación conductora con las espirales *E* y *E'* y los hilos conductores *R* y *m* respectivamente, estando ambos aislados entre sí; mediante esa disposición especial, que representa todavía mejor la fig. 364, se hace posible la conmutación de las corrientes en las formas más variadas. Se puede hacerlas pasar por el cuerpo todas en una misma dirección, ó sólo las llamadas corrientes directas ó primarias que proceden de la acción del imán, ó bien sólo las secundarias que se originan en las espirales por la interrupción de las corrientes inducidas directas, combinando de diferentes maneras los conductores, y cogiendo los mangos *M*, *M'*. Por lo demás, el aparato de Stöhrer permite también una conmutación de este género, y su autor se la dió inmediatamente.

Es evidente que con estos aparatos se pueden también determinar todos los efectos físicos de la corriente eléctrica, y entre ellos, particularmente, la producción de luz, la telegrafía, así como las operaciones de galvanoplastia, las cuales de este modo se efectúan más cómodamente de lo que permiten las pilas voltaicas, siempre costosas, mediante la fuerza mecánica que produce la rotación de los carretes de inducción.

Este amplio uso de los grandes aparatos de rotación ha influído también sobre su construcción especial. Una Sociedad de París, *L'Alliance*, ha hecho construir una máquina que consta de cuarenta aparatos combinados, y cuyo eje, con 164 carretes de inducción, recibe de una máquina de vapor de dos caballos de fuerza, una velocidad rotatoria de 373 vueltas por minuto. Cada carrete pasa por delante de dieciséis imanes á cada vuelta, y se originan, por tanto, en él, durante este tiempo, unas diez mil corrientes eléctricas, de las cuales una mitad está dirigida en sentido contrario que la otra. Nuestro grabado (figura 365) representa un pequeño aparato de sólo veinticuatro imanes (cada uno constituído por varias láminas), que están siempre fijos, montados por grupos de tres sobre una barra. Entre cada dos de estos imanes se mueve unido al eje de rotación un disco de latón que lleva los carretes de inducción. Para que la acción de los imanes resulte en el mismo sentido, están dispuestos de modo que los polos en presencia, delante de los cuales pasa al mismo tiempo el carrete de inducción, son de nombre contrario. Las letras *N. S.* (Norte y Sur), escritas sobre los brazos de las herraduras, demuestran esto que acabamos de decir. Otra construcción muy sencilla es la practicada por Holmes, en Inglaterra, principalmente destinada á producir la luz eléctrica. Pero, á pesar de todas sus ventajas, estos aparatos seguían siendo bastante caros: por un aparato de 48 imanes (cada uno constituído por seis láminas) y 160 espirales, el precio asciende á unas 800 libras esterlinas, de suerte que tales focos de luz sólo pueden hallar aplicación para los faros.

LÍNEAS DE FUERZA MAGNÉTICA

La causa de esto reside en el aprovechamiento imperfecto del llamado campo magnético, ó sea la esfera de actividad de los imanes por el cual atraviesan al girar, las espirales de inducción, y que depende en su constitución de la posición recíproca de los polos magnéticos. Aproximadamente podemos obtener imágenes relativas de esta esfera de acción, extendiendo en el seno de dicho campo, esto es, en la proximidad de los polos, una hoja de papel horizontal, y esparciendo sobre ella, dejándola caer desde pequeña altura, limaduras de hierro mediante una criba fina. Como consecuencia de la atracción magnética, cuya acción se manifiesta á través del papel, estas partículas metálicas se agru-

pan, formando un sistema de líneas que guarda cierta regularidad, en la cual se refleja en cierto modo la dirección de las fuerzas magnéticas centrales que reinan en cada punto de este plano transversal. Según que estas figuras se tomen sobre un solo polo ó sobre dos que actúen recíprocamente, etc., varía, como es natural, la posición y dirección de las citadas *líneas magnéticas*. Cuanto más próximas al polo, tanto más apretadas están estas líneas, mientras que hacia fuera se aislan más y más, desviándose de su dirección en proporción á la influencia ejercida por el otro polo que entra en juego.

En cuanto á la acción inductora de un imán sobre un circuito cerrado en movimiento, está sujeta á la ley de que su intensidad es proporcional á la rapidez de dicho movimiento al número de las líneas magnéticas atravesadas por el conductor, y tanto mayor cuanto más se aproxima al ángulo recto el ángulo que forma con estas líneas el plano en el cual se mueve el circuito.

INDUCTOR CILÍNDRICO DE SIEMENS

En virtud de estas leyes, las primeras máquinas magneto-eléctricas no podían menos de dar poco efecto útil. Pero el doctor Werner Siemens, fundándose en el conocimiento exacto de cuanto se relaciona con este particular, construyó el inductor cilíndrico, con el cual debían obtenerse resultados completamente diferentes. Las figuras 366 á 368 contienen vistas aclaratorias de esta máquina. Las láminas ordenadas paralelamente entre sí, representan imanes de acero, cuyos extremos polares, bastante próximos entre sí, tienen todos una entalladura circular, en cuyo interior gira, en el menor espacio posible, el carrete de inducción al cual se ha dado la forma de un cilindro vertical. La disposición de este carrete de inducción (el áncora ó la armadura) está explicada por la figura 367, que lo representa en corte transversal, y la fig. 368, que lo representa en corte longitudinal y en menor escala. Según éstas, consiste en un cilindro macizo de hierro, en el cual se han practicado dos profundas y anchas ranuras una enfrente de otra, *a*, *b* (fig. 367), de modo que el núcleo de hierro *c*, *d*, que da próximamente en forma de una doble T. A lo largo de estas dos ranuras se arrolla sobre el núcleo un hilo de cobre revestido de una sustancia aisladora, de suerte que sus vueltas llenan por completo el hueco de dichas ranuras, formando con el núcleo un conjunto completamente cilíndrico. Por sus dos extremos se halla encerrado este carrete en fuertes armaduras metálicas aisladas. Los extremos de la espiral de inducción están en comunicación, el uno con el eje rotatorio, el otro con un anillo de cobre aislado, *x* (fig. 368), y las corrientes engendradas en la espiral por la rotación, pasan á conductores metálicos, cuyos extremos se unen con estas piezas. El descubrimiento de esta máquina data ya del año 1858; en 1866 sustituyó Wilde los imanes de acero por un gran electro-

imán que obtenía por la acción de corrientes, las cuales á su vez eran engendradas en la forma ya conocida, mediante un pequeño imán de acero. Para poner en rotación las dos armaduras cilíndricas, de las cuales la mayor ofrecía corrientes útiles de gran intensidad, se empleaba una máquina de vapor.

Pocos años después (en el año 1860), el doctor Antonio Pacinotti hizo en Florencia un descubrimiento extraordinariamente importante, que aunque no

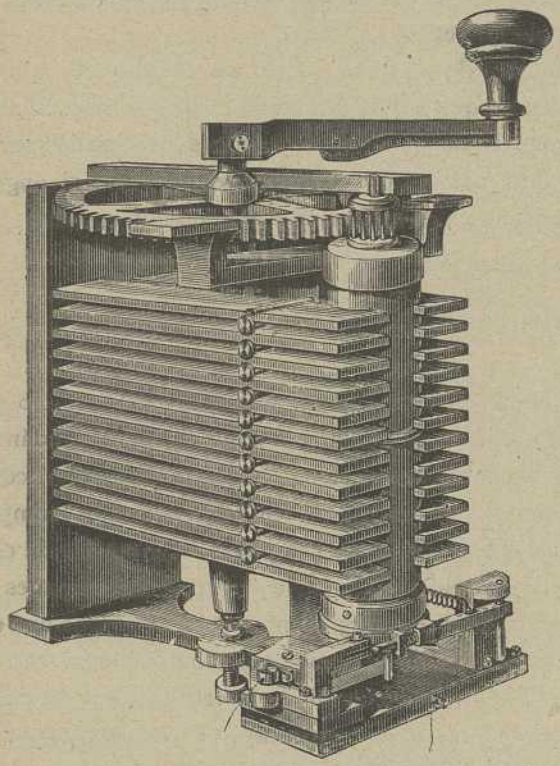


FIG. 366.

Inductor cilíndrico de Siemens.

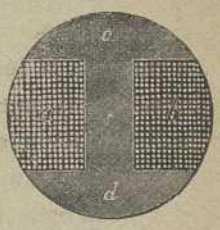


FIG. 367.

FIG. 368.

fué estimado al principio en todo lo que valía, estaba destinado á iniciar una nueva era en la historia del progreso de las máquinas magneto-eléctricas. Pacinotti encontró, interpretando exactamente la influencia del campo magnético, que debía obtenerse la mayor fuerza electro-motriz, y, por consiguiente, la máxima intensidad de corriente en un circuito cerrado en movimiento, colocando dos imanes con sus polos del mismo nombre inmediatos entre sí, de suerte que dichos imanes formaran un anillo y que el circuito cerrado, ó sea el espiral de inducción, se mueva á lo largo de este anillo de uno á otro polo, siempre en la misma dirección y con la mayor velocidad posible. La corriente que se forma en cada vuelta de la espiral conserva en este caso la misma dirección, y no hay más que dar salida á estas corrientes de cada una de las vueltas, lo cual se con-

sigue haciendo partir de los puntos de ellas más próximos al eje, un hilo de cobre dirigido hacia éste, el cual se dobla en ángulo recto y se adapta sobre la longitud del mismo, pero aislado de él. Sobre estas prolongaciones de las espirales, enfrente de los puntos indiferentes de ambos imanes semicirculares, ó sea de sus puntos medios, se aplican las escobillas colectoras de la corriente, las cuales se ponen en comunicación exteriormente mediante conductores que cierran el circuito. La fig. 369 permite concebir el juego del aparato.

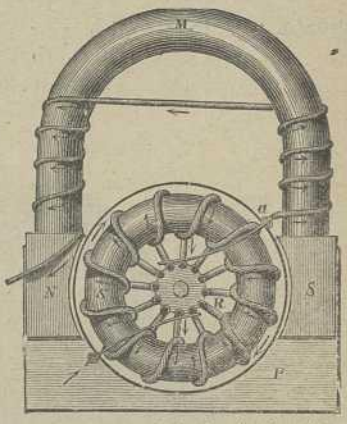


FIG. 369.—Esquema de la máquina de anillo de Pacinotti, según Pfaundler.

El disco interior presenta la parte rotatoria; el eje con las espirales. Dentro de éstas se hallan dos imanes semicirculares que concurren por sus polos Norte y por sus polos Sur y forman, por consiguiente, un anillo magnético que tiene sus polos *N* y *S* en los puntos correspondientes. Esta situación de los polos debe conservarse, como es natural, invariablemente fija, y, por consiguiente, debemos admitir que el imán no participa de la rotación de la espiral. Las pequeñas flechas indican la dirección de la corriente que resulta de la reunión de corrientes parciales aisladas instantáneas y dirigidas todas en el mismo sentido.

MÁQUINA ANULAR DE PACINOTTI

Existe, sin embargo, en la práctica de este principio una gran dificultad, debida á que el imán anular tiene que permanecer fijo, mientras que el circuito cerrado en espiral debe moverse á su alrededor. Pacinotti ha vencido esta dificultad de un modo muy ingenioso, haciendo que la espiral no rodee á un imán propiamente dicho, sino á un anillo de hierro blando, cuyos polos son engendrados por inducción de un enérgico imán exterior, que en nuestro dibujo está representado en la parte superior en forma de herradura, que tiene sus polos en *N* y *S*. Por la acción de este imán exterior se produce un polo Norte, en el punto del anillo que se halla en presencia del más potente polo Sur, *S*, y viceversa un polo Sur, en el punto que se halla enfrente del polo Norte, *N*. De este modo no importa que el anillo de hierro dulce gire con la espiral; la posición de sus polos no varía por esto.

El imán inductor exterior se ha considerado primeramente como un imán de acero; sin embargo, en nuestra figura, que sirve también para ilustrar una aplicación de que hablaremos más adelante, está representado rodeado por la corriente eléctrica; pero por lo que se refiere á nuestro objeto actual, podemos prescindir de esta última derivación de la corriente.

MÁQUINAS DE GRAMME Y DE HEFNER-ALTENECK

Este invento, sumamente ingenioso, del físico florentino, no fué tenido en cuenta por lo pronto, por más que parezca extraño; de suerte que cuando

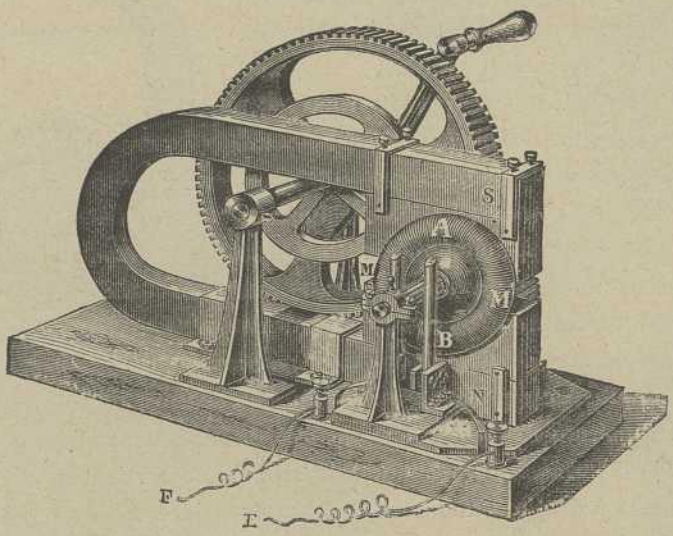


FIG. 370.—Máquina magneto-eléctrica de anillo de Gramme para ser movida á mano.

Gramme apareció en París con una máquina magneto-eléctrica (solicitud de patente fechada en 22 de Noviembre de 1869), que estaba construída exactamente según los mismos principios, produjo el efecto de una cosa completamente nueva. Pudo suceder muy bien que Gramme no hubiera tenido conocimiento de su predecesor y que hubiera llegado á su descubrimiento independientemente de aquél; pero de todos modos, la gloria de la prioridad pertenece siempre al físico italiano. La máquina de Gramme está representada en las figuras 370 y 371, tal como fué construída por su inventor. La explicación de estas figuras se hace por sí misma. El anillo interior, formado por un haz de alambres de hierro dulce, *A B*, tiene sus puntos indiferentes en *M*, *M'*; enfrente de éstos tiene lugar la transmisión de las corrientes por el eje á los resortes ó escobillas colectoras que terminan en tornillos de presión, desde los cuales la corriente pasa á los alambres conductores *E*, *F*.

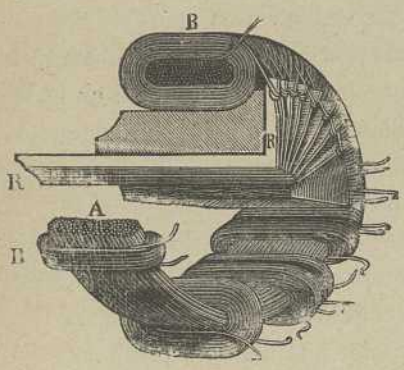


FIG. 371.—Anillo de la máquina de Gramme y su corte transversal.

Después de Gramme apareció en 1874 Hefner-Alteneck (Siemens y Halske) con una máquina fundada igualmente en el anillo de Pacinotti. Pero en lugar del anillo empleaba un cilindro cuya superficie era rodeada por el hilo de inducción aislado, paralelamente al eje. Con esto adquirió la máquina un aspecto exterior diferente, como muestra la fig. 372. Los imanes concurrentes entre sí por los polos del mismo nombre, tienen en esta máquina una forma triangular y están unidos por un trozo de hierro en forma de arco.

Todos los aparatos de que hemos hablado hasta ahora exigían imanes de

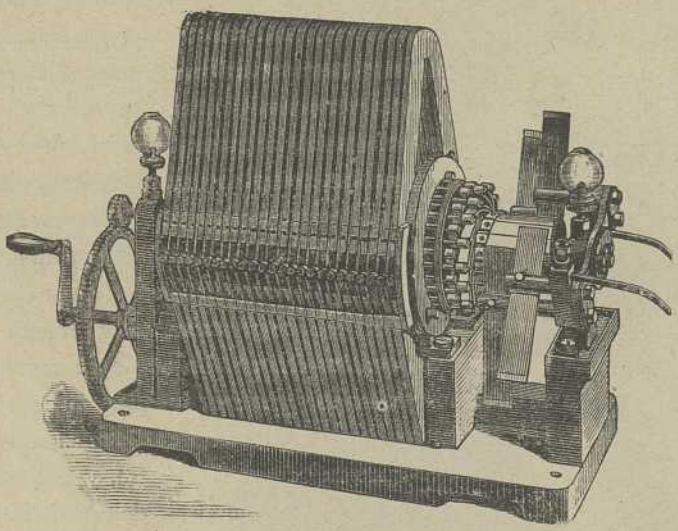


FIG. 372.—Máquina magneto-eléctrica de Hefner-Alteneck.

acero permanentes para la generación de la corriente. En este punto se dió el paso más transcendental de progreso sobre el particular, en virtud del cual dejaron de ser indispensables aquellos órganos que limitaban la capacidad de trabajo de estas máquinas.

PRINCIPIO ELECTRO-DINÁMICO DE SIEMENS

Werner Siemens había hecho ya en 1866 el descubrimiento de que con una pequeña porción de magnetismo, cual la que siempre resta en todo electro-imán después de cesar la corriente (magnetismo remanente) podía desarrollarse nuevamente en el imán inductor el máximum de magnetismo de que era capaz, arrollándolo con espirales de un hilo conductor que estuvieran en comunicación con las del áncora rotatoria. En efecto: este magnetismo remanente originaba, en primer término, corrientes inducidas en la espiral del áncora, que si bien eran sumamente débiles, no por esto dejaban de reforzar su magnetismo

primitivo, puesto que recorrían las espirales que rodean al imán. Este aumento de la fuerza magnética produce á su vez un aumento en la intensidad de la corriente en las espirales del áncora, cuyo aumento añade también un nuevo valor al magnetismo del imán, y así, en un tiempo sumamente pequeño por las acciones recíprocas entre ambas, llega la intensidad de la corriente, como la fuerza magnética del imán, hasta alcanzar el límite de la capacidad de saturación de este último (fuerza coercitiva). Además, el límite de saturación para un electro imán se halla muy por encima del que puede conseguirse mediante un imán de acero, siendo aquél variable. De este modo, pues, mediante el empleo de fuerza mecánica, puede engendrarse electricidad con una provisión de magnetismo completamente insignificante, para iniciar la cual basta el magnetismo terrestre, y ésta es la esencia del principio electro-dinámico, que, según queda ya consignado, descubrió Werner Siemens, y casi al mismo tiempo que él, el físico inglés Wheatstone.

FIG. 373 —Dr. Werner Siemens.

Ya era conocido varios años este principio sin haber podido hacer una aplicación decisiva de él á la construcción de las máquinas eléctricas, gracias al olvido en que se tenía el descubrimiento de Pacinotti, pues como las máquinas en que lo habían aplicado Siemens, Wheatstone y Ladd eran todavía máquinas de corrientes alternativas, en las cuales se había hecho notar el defecto especial de que por el rápido y brusco cambio de polos se calentaban considerablemente los alambres, tenían que ser enfriados continuamente con agua, y por consecuencia de esto perdían mucho en fuerza.

Pero cuando Gramme hubo construído la primera máquina magneto-eléctrica de corrientes constantes, realmente fundada en el principio del anillo de Pacinotti, entonces se reveló pronto la gran importancia del principio dinamo eléco enunciado. Esta es ya la ocasión de volver á nuestro esquema de la máquina

de Pacinotti (fig. 369), para hacernos cargo de la manera de obrar de la espiral que rodea al imán en herradura y que está unida al conductor que forma parte del áncora giratoria. No es ya preciso que la herradura sea un imán de acero; puede estar constituída por hierro dulce, pues por virtud del principio electro-dinámico se convierte en un electro-imán, cuya energía crece rápidamente hasta el grado máximo que permite su capacidad, con ayuda de la corriente que la rodea, y cuya intensidad va creciendo también sucesivamente en virtud del mismo principio. Y con esto, en el esquema de la fig. 369 damos al mismo tiempo el de una máquina electro-dinámica, como se han llamado, á partir de entonces, tales aparatos.

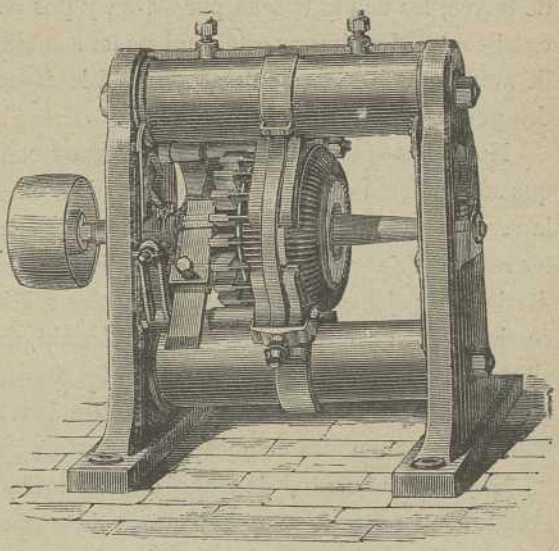


FIG. 374.—Máquina dinamo-eléctrica, de Gramme.

La primera máquina de este género, construída por Gramme en 1872, encontró aplicación en el Instituto galvanoplástico de Christoffle y Compañía, de París. Al año siguiente modificó Gramme algún tanto su disposición, dándole la forma representada en la fig. 374; los electro-imanes se hallan en los dos cilindros que están sostenidos en los pies de fundición de hierro, á la izquierda de los cuales se halla la polea transmisora del movimiento rotatorio del anillo, uno por encima y otro por debajo de éste; sus polos rodean por ambos lados la armadura de dicho anillo. Poco después modificó también Hefner-Alteneck su áncora cilíndrica, con arreglo al principio electro-dinámico. Esta máqui-

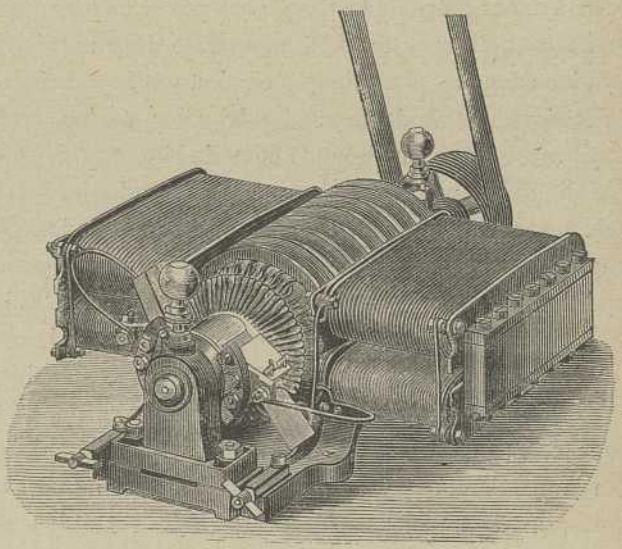


FIG. 375.—Máquina dinamo-eléctrica, de Hefner-Alteneck.

na, cuya patente está á nombre de Siemens y Halske, se ha construído bajo diferentes formas, una de las cuales está representada en la fig. 375; consta de cuatro electro-imanes, dos á cada lado, constituídos por trozos prismáticos de hierro, los cuales rodean por arriba y por debajo al áncora cilíndrica situada en el centro. Las barras están unidas en sus extremos por una lámina de hierro, de modo que forman un electro-imán á la derecha y otro á la izquierda, reunidos por sus polos del mismo nombre.

No podemos en este sitio entretenernos con la descripción de otros modelos que sólo difieren de los tipos considerados, en modificaciones que no afectan á la esencia del aparato. Tampoco podemos penetrar en el estudio de las diferentes modalidades que una misma máquina puede recibir según el objeto á que se destina. Por ejemplo: la precipitación electrolítica de los metales se obtiene con corrientes de gran intensidad y poca tensión, mientras que para producir la luz eléctrica son más convenientes corrientes de gran tensión, pero que no hace falta que tengan tanta intensidad. La realización de estos fines exige, como es natural, ciertas modificaciones en la construcción de las máquinas.

El problema capital de transformar la fuerza mecánica en electricidad, transportándola en otra forma á cualquiera distancia para poderla aplicar después á la realización de los variados trabajos de que es capaz, está resuelto. Una fuerza hidráulica, una máquina de vapor, un molino de viento, un caballo enganchado á un malacate, pueden ser utilizados para producir luz eléctrica, para practicar operaciones galvanoplásticas, para poner en juego aparatos telegráficos, etc., sin más que aplicar su fuerza á un aparato dinamo-eléctrico. Las pilas eléctricas son ya innecesarias, pues aunque el efecto útil rendido por las máquinas dinamo-eléctricas dista todavía mucho del valor que la teoría señala como accesible, actualmente es ya mucho más cómoda la generación de corrientes eléctricas por medio del trabajo mecánico, que con ayuda de las reacciones químicas en los elementos voltaicos. Pero además esta ventaja tan positiva está destinada á ser mucho mayor por el perfeccionamiento de esta ciencia, y de aquí la gran importancia de la electro-técnica no sospechada hasta hace poco tiempo.

Una de las aplicaciones más importantes de la electricidad, y tal vez la más interesante de todas para las artes, es la que se refiere á la realización de efectos ó trabajos mecánicos. El descubrimiento de las máquinas dinamo-eléctricas constituyó un gran paso para la solución de este problema, que durante largo tiempo parecía estar en suspenso: pues todos los perfeccionamientos para la transformación del trabajo mecánico en electricidad son aplicables exactamente del mismo modo á la transformación de la electricidad en trabajo mecánico.

Si dirigimos nuestra atención á este asunto, observamos que ya hace tiempo se manifestaron tentativas para emplear la electricidad como fuerza motriz. Los mecanismos auxiliares para este objeto fueron llamados

MOTORES ELECTRO-MAGNÉTICOS

Así como vemos transformarse en los aparatos de rotación el trabajo mecánico en electricidad, recíprocamente se ve á la electricidad realizar efectos mecánicos en la gran energía con que los electro-imanes atraen y retienen junto á sus polos á las masas de hierro. No era, pues, difícil construir electro-imanes que excedieran cien veces en fuerza atractiva á los imanes de acero ordinarios, y que fueran capaces de sostener muy bien algunos millares de quintales de peso.

Pronto se cayó, pues, en la cuenta de utilizar en talleres mecánicos esta fuerza evidentemente grande. En el año 1834 trató de emplear Dal Negro el electro-magnetismo como fuerza motriz, y el año siguiente Jakobi hizo pública la descripción de un aparato construído con el mismo objeto; este último recorrió el Neva en 1839 en un bote movido por un motor eléctrico de ¾ de caballo de fuerza. ¿Cómo pudo estar construído este motor?

Imaginemos un imán de acero en herradura, colocado de modo que sus polos estén hacia arriba y en un plano horizontal, y sobre él, á distancia sumamente pequeña, un electro-imán recto y rotatorio alrededor de un eje que dista igualmente de ambos polos; en virtud de las conocidas acciones atractivas de los imanes, el polo Norte del imán de acero tratará de aproximar á sí y retener al polo Sur del electro-imán. Pero si en el momento en que los polos opuestos se hallan de tal modo en presencia, cambia la dirección de la corriente, se invertirán los polos del electro-imán; el que antes era polo Sur se convertirá en polo Norte, y el que era polo Norte en polo Sur. Con esto vendrán á quedar uno frente al otro los dos polos del mismo nombre, y se repelerán; el electro-imán gira media vuelta para que venga á ocupar el otro polo el lugar que ocupa el primero; pero en el momento en que esto se verifica cambia de nuevo la corriente, y así sucesivamente se repite la inversión á cada media vuelta. Semejante aparato no es en el fondo otra cosa que un aparato rotatorio electro-magnético, cuya acción está invertida. Por efecto de la corriente conducida en la forma indicada, se origina una rotación del imán, la cual, como quiera que la pesada masa de hierro del electro-imán puede adquirir mucha fuerza viva, puede también transformarse en otros movimientos é invertirse en impulsar pequeñas máquinas.

Se habían hecho muchas tentativas para aplicar este principio á un motor electro-magnético; pero se oponía al éxito una gran dificultad.

Un imán que retiene un peso de 110 kilogramos, cuando se halla éste en contacto con él, conserva sólo una fuerza atractiva de 45 kilogramos á la distancia de 0,1 de milímetro; de 25 kilogramos, á la distancia de 0,25 de milímetro; de 20 kilogramos, á la distancia de 0,5 de milímetro, y así sucesivamente cada

vez menos. Ahora bien; no es posible poner á una distancia menor de 0,5 milímetros las piezas movibles, por efecto de la dilatación que experimentan por el calor; así, pues, queda una gran porción de electricidad sin producir efecto útil. Además, el estado magnético de grandes masas de hierro, aunque sea hierro dulce, no desaparece tan completamente que dejen de producirse, por su remanencia, pérdidas considerables de fuerza.

Para evitar la circunstancia últimamente citada, se ha hecho una modificación que consiste en que los núcleos de hierro dulce sean atraídos alternativamente por espirales de alambre metálico, por las cuales se hace pasar la corriente eléctrica.

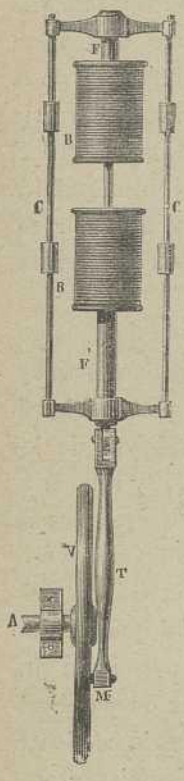


FIG. 376.
Motor electro-magnético de Page.

La fig. 376 nos muestra una máquina de esta clase construída por Page. Consiste en dos electro-imanes B y B', constituídos por cilindros de hierro dulce, á cuyo alrededor se arrollan espirales conductoras. Dos núcleos de hierro dulce, F y F', que están fijos entre sí á la varilla T, pueden penetrar alternativamente en el interior de los carretes B y B'. Cuando la corriente pasa por la espiral B, la otra B' no comunica con la pila galvánica; el cilindro B se magnetiza y atrae á su interior el cilindro macizo F, de suerte que el rectángulo $C\ C'$ á que va unido el último, verifica un movimiento de arriba abajo. Una vez llegado á la posición inferior, cesa en B la corriente, que pasa súbitamente á la espiral B', convirtiendo á ésta en un imán que á su vez atrae al núcleo F', haciendo así subir el rectángulo $C\ C'$, hasta que pasa otra vez la corriente $A\ B$ y comienza de nuevo el mismo juego. Como que á cada vez sólo está recorrida una espiral por la corriente, y por consiguiente la otra no puede ejercer ninguna atracción sobre el núcleo de hierro que le corresponde, no se oponen á este movimiento otros obstáculos que la resistencia determinada por el rozamiento y el peso unido $A\ T$. Este puede obrar de diferentes modos, y el movimiento de vaivén puede utilizarse para este fin en formas variadas, mediante sistemas sencillos de transmisión mecánica. En nuestra figura se articula con T una biela que puede transmitir la fuerza á una rueda motora. A pesar de todo, la disminución extraordinariamente rápida de la acción de los imanes con la distancia, ejerce aquí la misma influencia perjudicial que en las máquinas antes citadas, y no puede pensarse en un aprovechamiento, siquiera sea en una proporción algo satisfactoria, de la fuerza, ya cara de por sí, suministrada por las pilas secundarias. Stöhrer en Leipzig construyó también una máquina motriz electro-magnética, en la cual el movimiento se producía análogamente por medio de un imán cilíndrico (electro-imán) con polos permanentes, que se movía

alrededor de un eje, entre un marco formado por una espiral de hilo metálico. Según que la corriente recorría esta espiral en una ú otra dirección, los polos del imán eran atraídos ó repelidos; y como que á cada rotación de la máquina misma ésta producía dos veces, mediante un sencillo mecanismo, esta inversión de la corriente, se sostenía así el movimiento rotatorio, en tanto que el circuito permanecía cerrado. Pero si esta máquina no era capaz de realizar grandes cantidades de trabajo mecánico, en cambio trabajaba con gran velocidad; y Stöhrer utilizó su condición especial del modo más oportuno para revestir de seda alambres conductores de cobre.

Todas estas máquinas citadas son, en principio, ni más ni menos que una sencilla inversión de aquellos aparatos que se utilizan para la generación de las corrientes de inducción, en los cuales es indiferente que la influencia inductora sea ejercida por un imán permanente ó por una espiral atravesada por una corriente eléctrica. Tampoco es posible hacer otra cosa; bien claro lo revela el enunciado mismo del problema: engendrar unas veces electricidad con fuerza mecánica, y producir otras veces fuerza mecánica con electricidad. De aquí se desprende precisamente que toda máquina magneto-eléctrica, y por consiguiente también dinamo-eléctrica, representa en principio al mismo tiempo una máquina electro-magnética, ó, si se quiere, electro-dinámica (motores eléctricos), sin más que hacer pasar por las primeras, corrientes eléctricas en dirección contraria á la que ellas mismas engendraban. Esta idea se hará más inteligible por la comparación con el siguiente ejemplo: imaginemos una noria movida por fuerza mecánica y proporcionando cierta cantidad de agua elevada á determinada altura; esta misma cantidad de agua vertida desde arriba pondrá á la rueda igualmente en rotación, pero en sentido contrario, y se podrá así recoger de nuevo la misma cantidad de trabajo mecánico que fué necesario emplear antes para subir el agua. Una cosa semejante es lo que sucede en las máquinas electro-dinámicas cuando se hace pasar por sus conductores la electricidad; y así como podemos suponer dos ruedas hidráulicas construídas exactamente iguales, de las cuales una fuera empleada á manera de noria para subir agua mediante la aplicación de fuerza mecánica, mientras que la otra, situada al otro extremo del canal de agua horizontal, hacía de nuevo utilizable como tal la fuerza suministrada al agua por la primera, se puede también suponer, en lugar de las ruedas hidráulicas, dos máquinas electro-dinámicas construídas exactamente del mismo modo, entre las cuales se establece la comunicación mediante un hilo metálico de un grueso proporcional. La máquina dinamo-eléctrica *I* actúa análogamente á la rueda elevadora de agua, engendrando la electricidad que fluye por el hilo conductor y se vierte en la máquina *II*; la primera de estas máquinas, llamada también primaria, es una verdadera máquina dinamo-eléctrica (1); la otra, la se-

(1) *Dynamis*, la fuerza.

cundaria, puede llamarse recíprocramente electro-dinámica; pero entre ambas no existe diferencia esencial alguna en su construcción. El manubrio ó la rueda de correas que pone en movimiento en la máquina primaria la armadura, el anillo de Pacinotti ó el cilindro de Hefner-Alteneck, puede apropiarse en la máquina secundaria para la transmisión del trabajo mecánico. La historia de los motores electro-magnéticos va unida á la historia de las máquinas dinamo-eléctricas. Aun algunas construcciones, como el electro-motor de Griscom que modernamente ha sido adoptado en América para las necesidades de las pequeñas industrias y para las cuales la corriente eléctrica es suministrada por una pila galvánica, no son otra cosa que máquinas dinamo-eléctricas secundarias, cuya disposición ha sido ya objeto de nuestra atención en las páginas anteriores.

En este concepto, la máquina dinamo-eléctrica, ese invento internacional en el cual tienen la misma participación los Pacinotti, los Gramme, los Siemens, ha adquirido una nueva y extraordinaria importancia. Por medio de dos máquinas eléctricas del género mencionado, una primaria y otra secundaria, es practicable, en efecto, el transporte de la fuerza mecánica á cualquiera distancia á la que puedan llegar los conductores. Un salto de agua pone en movimiento, mediante una turbina ó una rueda hidráulica, una máquina dinamo-eléctrica (primaria); en ésta la fuerza del salto se convierte en corriente eléctrica, la corriente eléctrica camina á través de leguas y leguas, llegando al punto que se desea, en donde, por medio de una máquina electro-dinámica (secundaria) es convertida de nuevo en fuerza mecánica, si es que se quiere hacer aplicación de ella en tal forma, y no utilizar directamente la electricidad para la producción de luz ú otros fines. Dejamos en libertad la fantasía para discurrir, por ejemplo, que el salto de agua pueda ser las cataratas del Niágara, y el campo de operaciones Nueva York. Teóricamente, ningún obstáculo se opone á este proyecto; pero en la práctica se tropieza con las dificultades de la conducción de la electricidad. El conductor se hace muy costoso para el transporte de grandes fuerzas, de suerte que cuando la distancia es considerable, cualquiera ventaja que hubiera podido ganarse por otro lado, vendría á quedar compensada con su coste.

Pero si no pueden satisfacerse por completo esperanzas tan exageradas como las que se han fundado frecuentemente sobre el transporte de la fuerza por medio de la electricidad, en muchos casos se ha manifestado ya la gran utilidad de las máquinas dinamo-eléctricas. Consideradas simplemente como máquinas, como generadores de electricidad, han ensanchado en gran manera las aplicaciones prácticas de esta fuerza. Prescindiendo del empleo de la electricidad para el alumbrado, la galvanoplastia y todas las industrias que de ellas se derivan, las cuales han adquirido con su uso un impulso completamente nuevo, se utilizan hoy ya las corrientes eléctricas en la industria metalúrgica, no sólo para la obtención de metales puros, por ejemplo, el cobre de sus

disoluciones salinas, sino también para la separación de los minerales magnéticos de los que no lo son. Así se purifica el kaolín, ó tierra de porcelana, separando por medio de electro-imanes las partículas de hierro que la colorean. Hasta en las industrias de fabricación de materias colorantes se ha concedido un papel importante á la electricidad, puesto que se utiliza la descomposición electrolítica del agua para producir, con el oxígeno ó con el hidrógeno desprendidos, oxidaciones ó reducciones respectivamente de ciertos compuestos, por las cuales pueden obtenerse gran número de los conocidos colores de la anilina.

Pero las máquinas dinamos parecen estar destinadas á adquirir un gran círculo de acción de distinta especie, combinadas por pares, una primaria y otra secundaria, para el transporte de la fuerza. Se construyen trenes eléctricos, arados eléctricos, motores eléctricos para los trabajos de minería, y cunde la idea de que las máquinas eléctricas son adaptables á muchos casos en los cuales difícilmente pueden tener aplicación las locomóviles de vapor.

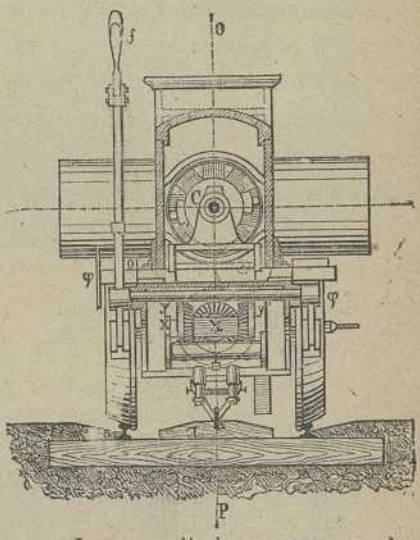


FIG. 377.—Locomotora eléctrica en corte transversal.

El ferrocarril eléctrico es uno de los ejemplos más interesantes de la forma notable de transporte de la fuerza que entra en juego en este caso; fué construído primeramente por Siemens y Halske, con ocasión de la Exposición industrial de Berlín, en 1879, en la cual una pequeña locomotora, con tres coches cada una para seis personas, era puesta en movimiento mediante máquinas dinamo-eléctricas, sobre un ferrocarril de vía estrecha. La vía tenía, además de los carriles ordinarios, una plataforma de hierro lisa en el centro, p (figura 377), la cual estaba encargada de conducir la corriente. Esta era engendrada en una máquina dinamo-eléctrica sistema Hefner-Alteneck, que era puesta en movimiento por medio de una máquina de vapor; la máquina de vapor y la dinamo se hallaban en un edificio especial. La corriente volvía por los dos carriles ordinarios que se hallaban en comunicación constante con la máquina secundaria, situada sobre la locomotora, por intermedio de las ruedas de ésta. Así, pues, la corriente, para volver á la máquina primaria, tenía que pasar del carril central por medio de la escobilla colectora de cobre que frota contra él, á la máquina secundaria, donde ponía en rotación al áncora, y con ésta á las ruedas motoras á que iba unida. La velocidad del transporte alcanzó unos tres metros por segundo, siendo el peso total arrastrado de 3.000 kilogramos entre loco-

motora, coches y personas; trabajo mecánico que corresponde próximamente á una fuerza de tres caballos.

De un modo análogo se han instalado vías eléctricas de la misma marca en otras Exposiciones posteriores; una de las vías que sirve para el transporte regular de viajeros, fué construída por la misma casa é inaugurada en 1881 entre el Colegio principal de Cadetes y la estación del ferrocarril de Berlín en el campo de Lichter (fig. 378). Esta vía tiene una longitud de dos y medio kilómetros y una anchura de un metro; la pendiente mayor es de 1 : 100. En ella se ha suprimido el carril central; la corriente llega por uno de los railes al aro de la rueda aislada del eje y de las demás partes del carruaje, de aquí á una caja metálica que se halla también aislada sobre el eje, y, por último, es recogida aquí por resortes de contacto y conducida á la máquina secundaria. De un modo análogo es conducida desde ésta al otro rail que sirve para su regreso. La velocidad media de este carruaje es de 20 kilómetros por hora, pero puede aumentarse hasta el doble. Desde entonces funcionan regulamente diversos tranvías eléctricos en Inglaterra y los Estados Unidos.

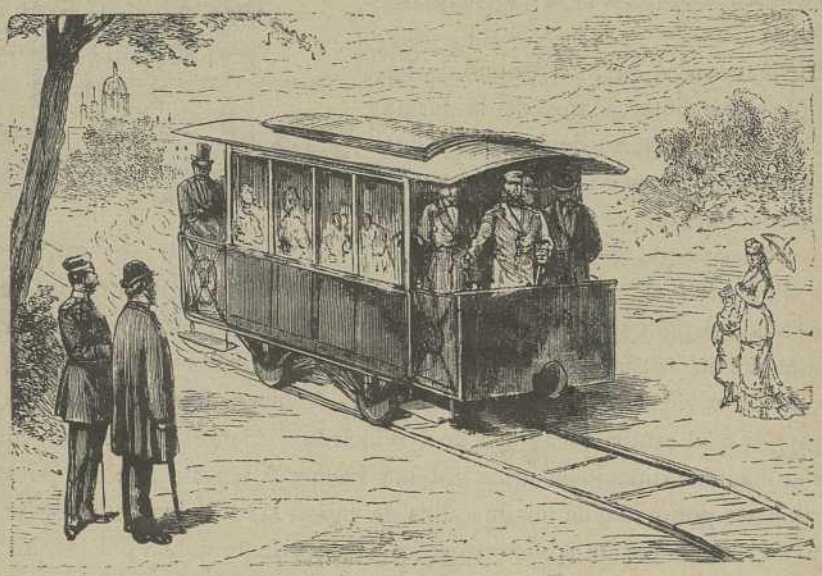


FIG 378.—Ferrocarril eléctrico en el campo de Lichter.

EL TELÉGRAFO

La telegrafía de los antiguos.—Líneas telegráficas de viva voz.—Telégrafos ópticos.—Señales con hachas y banderas.—Telégrafo de Chappe.—Historia y disposición.—Telegrafía acústica é hidráulica.—Telegrafía eléctrica.—Winkler.—C. M.—Lemond y Boeckmann.—Telégrafo galvánico de Sömmering.—Schilling de Kannsttatt.—Gauss y Weber.—Kooke.—Wheatstone.—Telégrafo de aguja y de doble aguja.—Telégrafo gráfico de Steinheil.—Telégrafo de cuadrante inventado por Davy y perfeccionado por Wheatstone.—Descubrimiento de Steinheil de la conducción por la tierra.—Telégrafos químicos.—Sistema Morse.—En una oficina telegráfica.—Telegrafía automática.—Telégrafo gráfico de Cowper.—Cruce de despachos.—Los conductores.—Cables submarinos y subterráneos.—Colocación del cable transatlántico.—Relojes eléctricos.

DESDE las primeras civilizaciones debió manifestarse la necesidad de transmitir con rapidez á los puntos lejanos ciertas noticias importantes. En cuanto los hombres se asociaron en grandes colectividades y se entablaron relaciones entre éstas, debieron surgir ocasiones en las cuales se hiciera preciso advertir á los amigos un peligro, ó reclamar de ellos un rápido auxilio, ó bien transmitir una noticia satisfactoria, etc., etc. De aquí que sería muy difícil, si no imposible, el descubrir las primeras huellas de la telegrafía, ó sea, propiamente hablando, el arte de escribir á lo lejos (de *tele*, á lo lejos, y *graphein*, escribir).

Por lo demás, los medios empleados en un principio con este objeto en to-

dos los pueblos, han sido de naturaleza tan primitiva, que puede admitirse que hayan surgido del mismo modo en todas partes. Correos instalados previamente en ciertos puntos se transmitían de viva voz unos á otros las noticias, ó bien se comunicaban á más largas distancias mediante señales perceptibles, como fogatas, banderas, columnas de humo y otras por el estilo, la realización de un acontecimiento previsto de antemano.

Se cuenta del rey persa Darío Histaspes que para la transmisión de noticias de interés desde su capital hasta las provincias más lejanas del reino, colocaba sobre alturas, á ciertas distancias, hombres de voz potente y clara. Estos *orejas del Rey*, como se les llamaba, gritaban del uno al otro las noticias y las transmitían en un día hasta una distancia de treinta jornadas.

En la tragedia de Esquilo, *Agamemnon*, se refiere que la esposa del conquistador recibió la noticia de la toma de Troya en la misma noche del suceso, por medio de señales, á pesar de que estaba separada de dicha ciudad por una distancia de setenta millas, dentro de las cuales se hallaban el mar Egeo y el de Myrtos. Las estaciones para los signos telegráficos se situaron en esta ocasión sobre el Ida, en Troya, después sobre el Hermäos, en Lemnos, Athos, Makistos, en Euboea, Messapios en Beocia, Graia, Kitheron, Agiplanktos, en Megara, y Arachnäon, en Argólide.

Según Herodoto, los reyes persas tenían verdaderas líneas telegráficas por las cuales eran transmitidas todas las noticias importantes mediante señales con hachas; y también Aníbal parece que levantó torres fijas como estaciones telegráficas permanentes en España y África.

También se practicaron comunicaciones, si bien muy defectuosas, por medio de simples fanales, como los que fueron empleados por todos los pueblos, desde los griegos y romanos hasta los chinos y habitantes primitivos de Norte-América, y son empleados todavía por los pueblos de las montañas de Grecia, Suiza, etc. Las señales con hachas, cuya antigüedad es también muy grande, permiten ya la comunicación de noticias de las más variadas especies y completamente imprevistas. Al parecer, Kleóxenes y Demócrito (450 años antes de Jesucristo) establecieron ya abecedarios especiales para este fin. Polibio cita un aparato semejante á un tablero de ajedrez, en el cual estaban ordenadas las 25 letras del alfabeto en cinco series horizontales y cinco verticales, de suerte que podía designarse exactamente cada una de éstas mediante dos datos numéricos, bien con hachas por la noche, bien con banderas durante el día.

En la columna de Trajano, erigida en la primera década del siglo II de nuestra Era, en memoria de sus guerras del Danubio, así como también en la columna de Antonino, se encuentran figuras singulares que representan pequeñas torres de observación, de base cuadrada, con dos pisos, en cuyo piso segundo hay una galería con fuertes balaustradas de madera. En la columna de Trajano están representadas dos de éstas torres de observación inmediatas, en las cuales

sobresale por encima de la galería un hacha encendida, que evidentemente sirve para dar alguna señal. Esto no tendría nada de particular. Pero además se cree tener fundamento para ver los originales de estas figuras en ciertas construcciones que se levantaban á lo largo de los fosos de empalizada, á pequeña distancia una de otra, de las cuales todavía se encuentran algunos restos. Por la forma de la distribución á lo largo de dichos fosos fortificados, que se construían como límite ó separación entre las comarcas conquistadas por los romanos y los que permanecían independientes, se deduce que en aquellos edificios no debemos admitir una fortificación (para lo cual hubieran sido muy insuficientes), sino una línea telegráfica en la cual se recibieran todas las noticias procedentes del exterior y se transmitieran después, bien hacia las estaciones y guarniciones existentes en los confines del Imperio, bien hacia el interior de las plazas principales de mismo, por medio de señales con hachas por la noche ó con banderas por el dia.

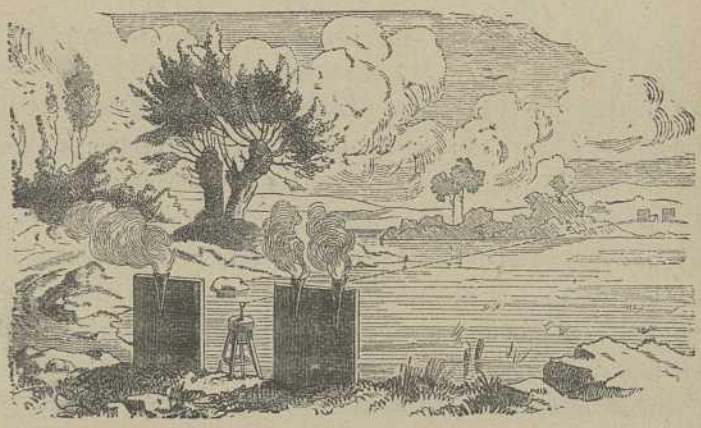


Fig. 379.—Telégrafo de antorchas.

Para telegrafiar servían indudablemente también piezas de madera que se suspendían de un asta sobre la torre, y que unas veces se elevaban y otras se bajaban. A pesar de que todos estos distintos sistemas ofrecían grandes inconvenientes, más tarde se volvió á adoptarles en muchas ocasiones, y el invento de Kessler (1617), que consistía en encender una luz en un tonel y señalar la letra que se quería designar, abriendo y cerrando la tapa del tonel el número de veces correspondiente á la posición de la letra en el alfabeto, se hallaba todavía al nivel de los métodos empleados por los antiguos romanos. En cambio, la naturaleza de las circunstancias hace que todavía hoy estén en uso señales con banderas y lámparas entre los buques.

Hasta el año 30 del siglo XVII no se produjo un verdadero progreso. En esta época el inglés marqués de Worcester (1633) propuso un telégrafo óptico con signos, que perfeccionó Amontons (1663), un francés sordo. En el año de 1684 dió á conocer el inglés Hooke un invento para telegrafiar por medio de figuras geométricas lineales, sobre cuya significación sistemática se hubiera convenido previamente, y en 1765 el inglés Edgeworth construyó un telégrafo para su uso privado entre Londres y Newmarket.

En el mismo año mostró en Hannau el profesor Bergsträsser con su *Synthematografía* cómo un General podía transmitir sus órdenes simultáneamente en un campo á 200.000 soldados, y cada uno de éstos al General aquello que él supiera ú observara, y esto sin gran dificultad, lo mismo de día que de noche, y propuso el establecimiento de uno de estos *correos de señales*, como él los llamaba de Leipzig hasta Hamburgo. En el verano del año 1786 se hicieron algunas experiencias al pie de las montañas en las llamadas «Minas de oro,» distantes ocho horas de Hanau, obteniendo un resultado sumamente satisfactorio; pero no se dedicó al particular gran atención, y á poco fué olvidado el invento. Pero cuando éste regresó á Alemania como un invento francés, y como tal precedido de gran resonancia, entonces se puso en él la atención que hubiera debido merecer desde el principio.

EL TELÉGRAFO DE CHAPPE

Se dice que el ingeniero Claudio Chappe inventó un telégrafo para comunicar desde Angers con sus dos hermanos que residían en un Instituto distante tres kilómetros y medio. Pero esto no es más que una fábula, y más bien parece cierto que Chappe concibiera la idea de hacer posible una comunicación rápida del pensamiento por medio de un aparato mecánico, cuando en 1790 regresó á la casa paterna, en Brulou, con sus dos hermanos, después de una larga ausencia. Estableció una serie de experiencias que fueron objeto de las burlas del vecindario, pero que por último llamaron también la atención de la Convención nacional. Después de haber sido perfeccionado el sistema por medio de experiencias, más en grande, de los hermanos Chappe, así como también por efecto del apoyo que les prestó el cónsul Delauny y el relojero Breguet, aquel poder constituído, impulsado á ello principalmente por Romme, ordenó el establecimiento de una línea telegráfica de 30 leguas de extensión entre París y Lille, con 30 estaciones (Julio de 1793). El primer despacho telegráfico fué la noticia de la reconquista de Condé (29 de Agosto de 1794), á la cual contesta la Convención que esta plaza se llamara en lo sucesivo *Nord-Libre*, cuyo nombre, sin embargo, desapareció después con la Revolución. Desde la expedición del despacho hasta la llegada de la respuesta transcurrieron tres cuartos de hora.

Se instalaron edificios especiales, provistos de dos ventanas sobre montañas, elevaciones del terreno, torres, etc., dispuestas de tal modo, que desde ellas se pudiera dirigir una visual hacia el telégrafo inmediato. Sobre el terrado se elevaba una barra vertical á cuyo extremo se adaptaba un gran marco horizontal de 3 á 5 metros de largo por 22 á 32 centímetros de ancho, el cual podía girar alrededor de un árbol llevado por el eje, de suerte que podía adquirir cualquiera posición en un círculo vertical (⊤). A cada extremo de este llamado marco

regulador se hallaba otro marco semejante de dos metros de largo por 30 centímetros de ancho, el indicador o ala que á su vez podía tomar cualquiera posición con respecto al regulador (⊓ ⌐ ⌐ N). Cada una de estas piezas estaba equilibrada por un contrapeso, de suerte que podía cambiar de posición respecto á las otras, con un impulso muy pequeño. Con objeto de no oponer gran resistencia al viento, todas estas partes estaban dispuestas á modo de persianas. El aparato entero estaba pintado de negro (fig. 380).

En tanto que la máquina se hallaba en reposo, los indicadores se suponían sobre el regulador, de suerte que no eran visibles. Pero cuando se quería hacer señales telegráficas, se daban posiciones diferentes al ala principal y á sus dos brazos. Desde luego se presumen ya cuatro posiciones diferentes de la primera, la vertical (|) la horizontal (—) inclinada de derecha á izquierda (/) y de izquierda á derecha (\). Pero todavía son más numerosos los movimientos de los brazos laterales según el ángulo bajo el cual el uno ó el otro, ó ambos á un tiempo, se colocan con respecto al regulador. Tomemos sólo las siete posiciones más fáciles de concebir, dos verticales (una por encima y otra por debajo), una horizontal, dos formando un ángulo de 45° por arriba y dos formando el mismo ángulo por debajo. Estas siete posiciones de uno de los indicados, con las siete correspondientes del otro, dan 49 combinaciones diferentes; y como cada una de estas combinaciones pueden tener lugar en cualquiera de las cuatro posiciones del regulador, resulta que el telégrafo de Chappe daba por lo menos 196 figuras, que se distinguían entre sí con toda claridad. De éstas se escogieron 70, las que se hacían más perceptibles, y se pudo con ellas representar, no sólo las letras y cifras, sino también los signos ortográficos.

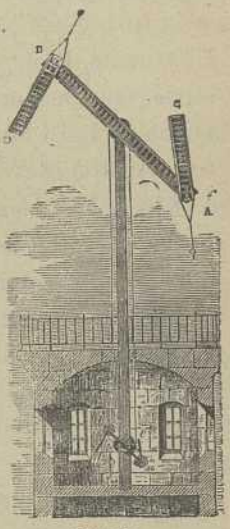


FIG. 380.
Telégrafo de Chappe.

Los movimientos de las tres piezas del telégrafo y su colocación en las posiciones respectivas eran practicadas con facilidad y seguridad completas por un solo hombre, por medio de cuerdas que pasaban sobre poleas colocadas en el regulador y en la columna principal. El telegrafista se situaba en su cuarto inmediatamente debajo del telégrafo, y las cuerdas de gobierno iban á parar á un pequeño modelo telegráfico de metal que se hallaba en el interior de la habitación, y en el cual el telegrafista hacía las señas que habían de transmitirse, las cuales se comunicaban automáticamente con toda exactitud al telégrafo mayor. En cada oficina telegráfica se hallaban sujetos á las paredes dos buenos anteojos, dirigidos de tal modo, que mostraban claramente en su campo las dos estaciones inmediatas, para permitir reconocer cualquier movimiento que ocurriera en los brazos de los respectivos telégrafos.

Muy pronto se extendieron sobre todo el país las líneas telegráficas, concurriendo todas en París. En los llanos las estaciones distaban unas de otras muchas veces seis y ocho horas, y menos en los países montañosos, de modo que siempre se pudiera reconocer exactamente una estación telegráfica desde las inmediatas. Cada movimiento que partía de París era reproducido mecánica y sucesivamente por todos los telégrafos que se hallaban sobre el camino que debía seguir el despacho.

Por este medio fué posible transmitir una noticia con bastante rapidez. Por ejemplo, se recibía en París un telegrama de Lille, distante 60 horas, en 2 minutos; de Calais (68 horas), en 4′ y 5″; de Strasburgo (120 horas), en 5′ 52″; de Tolón, en 13′ 66″; de Bayona, en 15′; de Brest (150 horas), en 6′ 50″, y así sucesivamente. Pronto siguieron á Francia otros países con sistemas semejantes de telegrafía; así, por ejemplo, Suecia, en 1795; Inglaterra, en 1796, según el sistema de Lord Murray; Dinamarca, en 1802; Francfort, en 1798; Prusia, en 1833; Austria (de Viena á Linz), en 1835; Rusia (Varsovia á San Petersburgo), en 1839, y hasta las Indias Orientales y la Turquía tenían sus telégrafos. En España se estableció con gran actividad el telégrafo óptico precisamente cuando iba siendo desterrado ya de casi todas las demás naciones. La línea telegráfica más importante en Alemania fué la de Berlín á Colonia, construída por el Gobierno, pero sólo para su uso oficial. Una señal sola invertía 10′ para llegar de un extremo á otro de la línea; pero un despacho completo exigía un tiempo algo considerable, pues las señales no podían sucederse con mucha rapidez.

Por más que este sistema se propagó mucho y produjo gran admiración en las gentes, tenía, sin embargo, el gran defecto de que sólo podía ser empleado durante el día, y esto cuando el cielo estaba despejado. En cuanto se nublaba ó llovía, aunque sólo fuera entre dos de las muchas estaciones del tránsito, cesaba de pronto toda su actividad, y todavía hace unos treinta años, quedaban cortados de ordinario los telegramas en los periódicos cuando más interés tenían para el público. Tan pronto se movían las alas rápida y activamente, tan pronto se paraban en una señal como si se hubieran hecho inmóviles; por último, bailaban de nuevo de un modo ininteligible, para flotar otra vez: mientras tanto el telegrama no consistía más que en puntos aislados, entre ellos algunas palabras sin conexión con las anteriores, luego otra vez puntos, y, por último, se leía: «la interposición de una espesa nube hace imposible la inteligencia del resto.»

Después de los telégrafos ópticos mencionaremos también, siquiera sea ligeramente, algunos otros sistemas propuestos en diferentes épocas, y practicados también en parte.

La observación de que el sonido se debilita sólo en una pequeña parte de intensidad al propagarse por el interior de tubos cilíndricos, impulsó al napolitano Porta, citado ya diferentes veces, á proponer en 1579 la adopción de tubos

conductores del sonido, en sustitución de las antiguas líneas de voceadores. Estos telégrafos acústicos no han encontrado, sin embargo, una aplicación extensa, por más que se ha insistido frecuentemente sobre ellos, entre otros por el fraile Gauthey, de la Orden del Císter, en cambio se han utilizado con ventaja para comunicar dentro de grandes edificios, fábricas, etc. Sólo por hacer más completa esta reseña citaremos el proyecto de formar una especie de alfabeto con diferentes sonidos musicales, el cual partió de Doull, Sudre y otros (telégrafos musicales). Tampoco han tenido aceptación los telégrafos neumáticos, en los cuales el aire sería comprimido dentro de un tubo y saldría en burbujas del seno del agua en el extremo opuesto (Rowley, 1838). Cuanto puede hacerse en este camino en condiciones prácticas lo ha realizado modernamente el correo neumático y atmosférico. Y los telégrafos hidráulicos son compañeros de destino de los neumáticos. Lo esencial en éstos está formado por un tubo en forma de U, lleno de agua. Las dos ramas verticales están divididas del mismo modo y situadas en las dos estaciones. Si se comprime hacia abajo por medio de un émbolo el nivel del líquido en una de las ramas, se eleva el nivel en la otra casi en el mismo instante y en una altura igual; se pueden, pues, designar sobre un flotador las letras ó caracteres que se quiera. Los antiguos dejaban salir el agua de dos vasos colocados en las estaciones distantes entre sí, en los cuales se había puesto una mira con señales especiales, hasta que el nivel llegara al signo que se quería transmitir, cuyo momento se indicaba por medio de una señal luminosa (fig. 381).

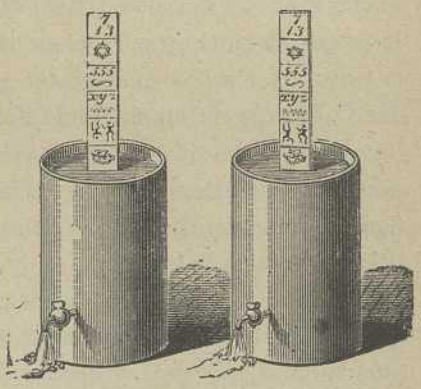


FIG. 381.—Telégrafo hidráulico.

A más de que en la antigüedad se habían ya propuesto mecanismos semejantes, á fines del siglo pasado y comienzos de éste, cuando la telegrafía empezó á adquirir gran importancia, se trató nuevamente de hacer aplicación de su principio y se ocuparon de su perfeccionamiento, entre otros, Bramah (1796), Wallance (1824), Jobard (1827) y Jowett. Pero nada se consiguió con esto, pues por una parte los telégrafos de Chappe realizaban de modo más satisfactorio cuantas aspiraciones se podían alimentar en su época, y por otra parte, cuando más tarde el descubrimiento de los actuales sistemas telegráficos relegó al olvido el mismo sistema de Chappe, con mayor razón estos otros aparatos, tan defectuosos, perdieron todo interés, aparte del histórico.

LA TELEGRAFÍA ELÉCTRICA

Es efectivamente la única, la más completa que merezca ser mencionada, especialmente como arte de escribir desde lejos, y en su terreno parece haberse conseguido ya casi el más alto grado posible de perfección. En rigor, se distinguen tres períodos en el desarrollo de la telegrafía actual, los cuales se caracterizan por el empleo sucesivo de la electricidad por rozamiento, el galvanismo, y, por último, el electro-magnetismo, como agentes en los aparatos telegráficos.

La enorme velocidad de propagación de la electricidad debió hacer pensar á los físicos desde un principio en su aplicación á la telegrafía; así vemos hace mucho más de cien años (1746) transmitir la electricidad, de Leipzig á través de largos alambres y por debajo del rio, al profesor Winkler. El 1.º de Febrero de 1753 parece que existía en Renfrew una carta firmada con las letras C. M., que se suponen iniciales del nombre del escocés Charles Marshall, cuyo autor aconseja establecer veinticuatro alambres de una á otra estación, con la cual se quiera entablar comunicación de ideas; colocar delante de cada alambre una pequeña esferita de medula de saúco señalada con una letra, pero aislados los alambres en toda su longitud por medio de pies de vidrio ó resina. Si en una de las estaciones se carga de electricidad uno de los alambres, el otro extremo de éste atraerá en la segunda estación á la esferita de medula de saúco situada en su presencia, y de este modo sería posible telegrafiar rápidamente palabras y períodos. En lugar de las esferitas de medula de saúco se podría también disponer pequeñas campanitas que vinieran á sonar por la atracción eléctrica. Lesage, en Ginebra, construyó en 1774 un telégrafo de esta clase que él había inventado, sin embargo, espontáneamente.

Por esta época, y algo después, trabajaban sobre el mismo problema muchos físicos, y surgieron diferentes proyectos. El profesor Zetsche, en su *Historia de la telegrafía eléctrica*, cita, además de los anteriores, á Cavallo (1795), Salvá (1796) y Betancourt (1798). Pero sólo revelan un interés especial los proyectos de Lomond y Boeckmann, que en lugar de los veinticuatro alambres, adoptaban sólo uno ó dos, y por combinaciones en las señales (atracción de la esferita de medula de saúco (Lomond), ó extracción de chispas por la descarga de una botella de Leyden (Boeckmann), querían indicar las diferentes letras. En esto se encuentra ya el principio que más tarde renació en los telégrafos de aguja, así como en el aparato de Morse; y notablemente también encontramos ya la idea sobre que descansan los telégrafos de cuadrante que han estado en uso largo tiempo, y todavía hoy lo están en Inglaterra. Se inició esta idea en 1816 por el inglés Ronalds, el cual establecía en las dos estaciones mecanismos de relojería completamente iguales, y por medio de éstos ponía en rotación discos se-

ñalados con letras, en completa coincidencia. Los discos giraban ante una pantalla con un orificio, á través del cual aparecía al observador precisamente una sola letra. Cuando pasaba la letra que se quería transmitir, el movimiento se interrumpía por un momento mediante la influencia eléctrica.

Pero en cuanto se descubrió en el galvanismo una forma de la energía mucho más apropiada al objeto, cesaron todas las tentativas con la electricidad por rozamiento.

Los telégrafos galvánicos forman la continuación de la historia de la telegrafía desde el año 1809, según se ha puesto hoy en claro, y corresponde al fisiólogo alemán Sömmering, de Munich, la gloria de haber planteado la cuestión con claridad por vez primera y de haber trazado el camino para llegar á su solución. El primer impulso para ello fué dado por aquella guerra devastadora que á principios de este siglo se difundía desde Francia por toda Europa. El roce sangriento de los pueblos esparció una semilla cuyo desarrollo debía ser para la humanidad más fructífero que el de ninguna otra; y es de notar la circunstancia de que la nación francesa, cuyo engrandecimiento fué la primera causa impulsora que lanzó las primeras ondas de aquella persistente conmoción, fué precisamente la última en sacar utilidad, y esto en la forma más defectuosa, de los provechosos resultados del invento iniciado con tal ocasión. Todavía en el año 1846 la Cámara de los Diputados se resistía á la adopción de una línea electro-telegráfica entre París y Lille, y sólo á los esfuerzos de Arago se debe que poco á poco fueran aceptándose á lo menos experiencias y pruebas que últimamente decidieron á reemplazar por sistemas incomparablemente superiores el telégrafo de Chappe, con el cual estaba tan satisfecho el orgullo nacional, pero que había caído ya en notoria decadencia.

Hasta el año 1851 no se ofreció al uso público, definitivamente, el telégrafo eléctrico en Francia, y en los dos primeros meses se expidieron por él desde París no más que quinientos despachos. Pero volvamos á nuestro estudio histórico.

No es posible desconocer que las rápidas, y por lo mismo tan felices empresas de Napoleón I, se apoyaron principalmente en la excelente organización en virtud de la cual la voluntad de aquél se comunicaba con gran rapidez á todas las partes de su ejército; ciertamente á esta causa se debió, casi exclusivamente, el éxito de dichas empresas. El sitio del general Mack, en Ulm, fué un ejemplo que Bayer demostró demasiado evidentemente para que quedara inadvertido, cuando para completar la derrota imprevista de los austriacos el 9 de Abril de 1809, habiendo huido el Rey de esta nación el 11 de dicho mes y refugiádose en Munich, Napoleón, con ayuda del telégrafo óptico, dispuso el movimiento de su ejército con tal rapidez, que el 22 de Abril era ya sitiada por los franceses Munich, que había sido tomada seis días antes por los austriacos, y el rey Maximiliano pudo ser restablecido en su residencia dieciséis días des-

pués de su fuga; entonces fijó su atención Montgelás, ministro de Baviera, sobre la gran importancia de la telegrafía.

El 5 de Julio de 1809 comunicó de sobremesa á Sömmering, miembro de la Academia, el deseo de que esta Corporación científica estudiara algún aparato para telégrafos, y el sabio citado respondió á esta excitación con una actividad y originalidad que se revela en las siguientes palabras que tres días después, ó sea el 8 de Julio, se leían ya en su cartera de bolsillo: «... no he de descansar hasta que realice el telégrafo por medio del desprendimiento de gases.»

Sömmering partió de la idea de aplicar la telegrafía y la corriente eléctrica engendrada por las pilas voltaicas y desde luego se presentó ante su pensamiento la propiedad de ésta de descomponer el agua, como especialmente utilizable para dicho objeto. Se propuso, pues, investigar hasta qué distancia se podría transmitir la acción química de la corriente. Según se expresa en su cartera, el 9 de Julio consiguió desprender los gases que forman el agua á una distancia de 12 metros; el 16, á 52 metros de distancia; el 8 de Agosto á 313 metros, y 3 días después pudo ya exclamar: «¡El telégrafo es un hecho!» La pila empleada por Sömmering estaba formada con plata (monedas) y cinc, y constaba de 15 pares; como conductor líquido usaba fieltro empapado con una disolución salina. La Memoria detallada y completa fué presentada á la Academia el 26 de Agosto de 1809.

La fig. 382 muestra en qué forma estaba dispuesto el telégrafo de Sömmering. Está tomada de un opúsculo en el cual el hijo de aquel notable naturalista ha llamado la atención del mundo, con justicia, hacia la participación largo tiempo desconocida y menospreciada de su padre en el descubrimiento más grandioso de nuestro siglo; sobre ningún asunto ha sido menos citado hasta hoy el nombre alemán que á propósito de la telegrafía, y, sin embargo, pocas naciones pueden enorgullecerse al hablar de ella como Alemania, precisamente porque en su seno nació la idea, allí se desarrollaron sus gérmenes, y, por consiguiente, la utilidad que obtiene el género humano en su aplicación, la debe en gran parte á este pueblo.

Como muestra la fig. 382, el primer telégrafo galvánico consta de las partes siguientes: 1.º, la pila voltaica *A;* 2.º, el alfabeto B_1, en el cual corresponden las 24 letras á hilos especiales que pueden ponerse en comunicación conductora con la pila, introduciendo el extremo del electrodo en uno de los agujeros de la pieza, que está representada en escala algo mayor en B_2, y en B_3 mirada desde arriba; 3.º, del cable *E*, que consta de los 24 hilos de la estación *B*, aislados entre sí; 4.º, de un alfabeto, C_1, en la estación de recepción, que corresponde completamente al aparato *B*, y en la cual los hilos alfabéticos, separados de nuevo unos de otros, se introducen por el fondo de una vasija de vidrio llena de agua; en C_3 se ve ésta última en proyección horizontal; por último, 5.º, del avisador *D*, cuya pieza principal, una cuchara apoyada sobre una palanca, nos

ofrece el dibujo C_2 algo aumentado. Cuando Sömmering quería telegrafiar con este aparato, hacía, en primer término, la señal de *atención* al receptor del telegrama, mediante el avisador, poniendo los electrodos en los orificios correspondientes á las letras *B* y *C*. La corriente marchaba, por ejemplo, á través del hilo *B* por el cable *E*, y en la otra estación pasaba á través del líquido de *B* á *C*, retrocediendo en el hilo *C* hasta la pila. Pero al atravesar el líquido en la cuba C_1 se descomponía aquí el agua y se desarrollaban sobre los extremos *B* y *C*

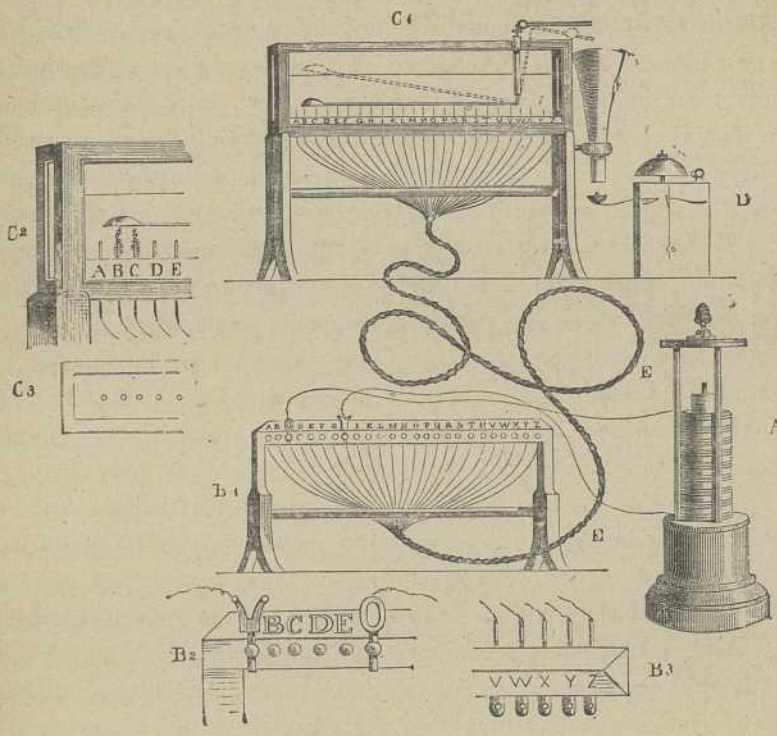


FIG. 382.—Primer telégrafo galvánico de Sömmering.

burbujitas de gas, como se ve en C_2, las cuales se acumulaban bajo la cuchara, á la cual, por último, levantaban en alto, de modo que la palanca tomaba la posición indicada por las líneas de puntos. En esta posición, una bola de plomo, atravesada por la varilla, descendía por su propio peso á lo largo de ésta y caía en un embudo que la conducía á un platillo en comunicación con la disolución del avisador *D*, poniéndose con esto en movimiento el timbre. Este avisador fué inventado por Sömmering el 24 de Agosto de 1810, después de haberle salido infructuosas muchas tentativas para alcanzar el efecto deseado. Una vez ya dispuesto todo para la recepción del despacho, el expedidor comenzaba á cambiar ambos electrodos de suerte que fueran tocando por el orden correlativo las letras del telegrama, y éstas se hacían perceptibles en la estación de término por el desprendimiento sucesivo de las burbujas gaseosas. Si se quería, por

ejemplo, telegrafiar la palabra *marea*, se ponía uno de los alambres en comunicación con la *m*, el otro con la *a*, dejándolos obrar un corto tiempo después se unían con la *r* y la *e*, y, por último, con la *a* y con el punto. Como que en el polo negativo el desprendimiento gaseoso era mucho más intenso que en el positivo, se tenía con esto una señal distintiva para que no cupiera error en el orden de colocación de las dos letras telegráficas simultáneamente; bastaba sólo leer siempre aquellas en la cual se desprendían mayor cantidad de burbujas.

Como ya hemos mencionado, Sömmering dió conocimiento de su telégrafo á la Academia de Munich en cuanto lo inventó, y poco después (el 5 de Diciembre de 1809) al Instituto (Academia de Ciencias) de París, por intermedio del inspector de Sanidad del ejército francés, Larrey. En París se designó una comisión para el ensayo del invento, en la cual brillaban los nombres de Monge, Biot, Carnot y otros. Pero se tropezó con la pasión del orgullo nacional, en virtud del cual pensaban poseer con el telégrafo de Chappe una cosa inmejorable, por lo cual no se dió importancia al asunto, y hasta Napoleón, que podía baber atendido, sobre todo, á la utilidad de tal medio de comunicación, llamaba con desprecio al sistema «una extravagancia alemana.»

Aunque abandonado en la práctica, pues tampoco en Baviera se decidió nadie por una realización en grande de la telegrafia galvánica, Sömmering prosiguió sus experiencias y dió realidad á su telégrafo, en cuanto lo permitían las circunstancias. Telegrafió el 4 de Febrero de 1812 por una línea de 1.255 metros; el 15 de Marzo lo hizo también con el mismo feliz éxito á distancia de 3.138 metros, y mientras estuvo Sömmering en Munich (hasta 1820), muchos forasteros tuvieron ocasión de sorprenderse de la excelencia del invento, ya algo antiguo. Sömmering, que más que á utilidades pecuniarias aspiraba á la generalización de su telégrafo, se manifestó desde luego propicio á enviar modelos de él á diferentes personas, y así, por ejemplo, el embajador ruso conde Potocky llevó uno á Viena, donde el Emperador, entusiasmado en alto grado por el resultado, quiso establecer una línea telegráfica entre Viena y Laxenburgo. El conocido aeronauta Robertson llevó otro telégrafo á París, y un tercero fué enviado á Ginebra, donde residía Guillermo Sömmering, hijo. Pero nada sirvió de estímulo para la empresa. Las necesidades comunes no alcanzaban todavía á una comunicación tan rápida, y la primera ocasión para la generalización del invento, la guerra, ya había pasado. El mundo sabio, que había adquirido conocimiento de esta aplicación tan brillante del galvanismo, por una Memoria de Larrey en el *Boletín de la Sociedad de Medicina*, consideró, como sucede muchas veces, completamente satisfecho su interés, si es que lo había tenido, sobre el particular, con la solución científica del problema. Los únicos de quienes sabemos que dedicaron atención casi preferente al aparato de Sömmering fueron Alejandro Humboldt, Schweigger y Gauss. En Inglaterra, el doctor Thomas Thomson escribió por el año 1816 en los *Annals of philosophy*, publicados por él, las si-

guientes palabras, sin hacer para nada mención de Sömmering. El profesor doctor Redmann Coxe, de Filadelfia, había manifestado la idea de que el galvanismo debía prestarse á la telegrafía; pero la realización de esta «quimérica» empresa debía exigir todavía mucho tiempo. Esto es tanto más notable, cuanto que muchos ingleses debían haber visto ya en Munich el telégrafo de Sömmering. Verdad es que todavía no había llegado modelo alguno de él á Inglaterra; pero el que después envió solícito Sömmering al secretario de legación Lyonel Hervey, á su instancia, le fué devuelto nuevamente, sin que hubiera alcanzado la cosa mayor publicidad.

La apatía con que Sömmering tropezó por todas partes es tanto menos comprensible, cuanto que el coste de su telégrafo no era mucho más considerable que el de los telégrafos ópticos, cuya adopción estaba, sin embargo, por entonces muy generalizada. Schweigger, por la reducción del número de hilos á dos, en lugar de 24, había conseguido que el coste medio de un kilómetro de conductor no ascendiera á más de 50 pesetas, mientras que en el telégrafo óptico entre Berlín y Colonia se había tenido que gastar ocho veces más.

La exactitud de una idea no es garantía bastante para asegurar por sí sola el éxito; es preciso que la multitud sea impresionada, y de aquí que en la historia de los descubrimientos brillen á veces con más esplendor aquellos que han luchado con incansable energía, sólo para la conquista de las voluntades, que aquellos otros que se han abandonado á la fuerza espontánea de la idea. Vemos, por ejemplo, á Sömmering perfectamente convencido de toda la importancia de su invento, y aun, como escribió á Humphry Davy, de que llegaría á presenciar la colocación de un cable telegráfico á través del Canal de la Mancha; pero esta persuasión, de la cual tal vez participaran algunos otros, no podía, sin embargo, realizarse fácilmente. Sucedió, empero, que un consejero de Estado ruso, el barón Paul Lawowitsch Schilling von Kannstatt, agregado á la embajada de Munich, se entusiasmó tanto con el telégrafo de Sömmering, que tomó por su cuenta, en cierto modo, el conseguir su adopción en gran escala. Entre Sömmering y Schilling se entabló estrecha amistad; pero desgraciadamente las circunstancias políticas obligaron al último á regresar ya en 1812 á San Petersburgo, y los esfuerzos que realizaban en común sufrieron una interrupción desastrosa por consecuencia de los acontecimientos europeos que se sucedieron desde entonces. No cejó Schilling por esto, y cuando Oersted descubrió el electro-magnetismo, trató aquél de hacer utilizable este modo de obrar de la corriente eléctrica para la telegrafía, con lo cual comienza la tercera fase histórica de los telégrafos eléctricos.

LA TELEGRAFÍA ELECTRO-MAGNÉTICA

Al lado de Schilling, Ampère (1820) y Ritchie particularmente, fueron también en la primera época, después de la experiencia de Oersted, los que propusieron, para hacer señales eléctricas, la desviación de la aguja magnética por la corriente galvánica. El célebre físico francés quería combinar 60 hilos con 30 agujas. Fechner (1829), en Leipzig, Davy y Alexander en Inglaterra, inventaron también diferentes sistemas de telégrafos, que quedaron, sin embargo, todos en el olvido. Lo mismo puede decirse del primer telégrafo electro-magnético construído con condiciones prácticas y utilizado realmente por sus autores Gauss y Weber, en 1833, los cuales habían combinado un sistema de cifras por medio de la desviación de la aguja magnética y se comunicaban entre sí mediante ellas, desde el gabinete de Física al Observatorio magnético de Göttingen, en 1833, sin que, á pesar de su cómodo mecanismo, tuviera por lo pronto ningún eco la idea. Este telégrafo tenía un conductor de 1.000 metros de longitud, y permaneció en uso hasta 1838. La aguja consistía en una barra magnética muy gruesa y larga, tal como la que se utilizaba para la determinación de las variaciones en el magnetismo terrestre, y las desviaciones fueron obtenidas desde 1835 con corrientes de inducción magnética.

FIG. 383 —Carlos Federico Gauss.

Por otra parte, es interesante en alto grado ver en la historia de los progresos de las ciencias de qué modo ideas cuya importancia y consecuencias se han revelado prematuramente, han venido á quedar estacionarias, y aun á ser abandonadas, solamente porque las circunstancias no ofrecían todavía un terreno bastante fecundo, en el que pudieran germinar las semillas, y no existía quien se preocupara de recoger sus frutos. ¿A quién no llama la atención, por ejemplo, la coincidencia notable que existe entre los aparatos antes descritos, su

objeto y disposición, y la idea que forma la base de un problema planteado y resuelto en cierto modo en un libro de Daniel Schwenters publicado en Nurenberg el año 1636, y titulado: *Horas de recreo matemático-filosóficas:*

«Cómo dos personas podrían comunicar algunas ideas á distancia con la lengüeta magnética.—Si Claudio estuviera en París y Juan en Roma, y quisieran transmitirse el uno al otro alguna señal, era preciso que cada uno de ellos tuviera una lengüeta ó aguja magnética tan fuertemente frotada con el imán, que pudiera hacer mover la una á la otra desde París á Roma. Esto supuesto, podrían tener también Claudio y Juan cada uno una brújula dividida en tantas partes como letras tiene el alfabeto, y quisieran comunicarse algo á las seis de la tarde, sin más retraso. Cuando, por ejemplo, Claudio hiciera á Juan la señal de dar á la aguja tres vueltas y media, y quisiera después decirle:—*Vente*, podría hacer mover su aguja hasta la *V*, dejándola allí un corto tiempo, después llevarla á la *e*, luego á la *n*, y así sucesivamente, y cuando casi simultáneamente la aguja magnética de Juan señalara las letras mencionadas, podría éste advertir y comprender fácilmente el deseo de Claudio. La invención es hermosa, pero yo no confío que se pueda encontrar en el mundo un imán de semejante virtud. El autor de ella y yo somos una misma persona; pero no creo que un imán tenga siquiera fuerza para esto á distancia de dos ó tres leguas solamente: serían necesarias para ello piedras como las que he mencionado en mi *Steganographia.*»

La misma idea se encuentra también en la obra *De arte magnética*, de Kircher.

¿No está completamente contenida en estas consideraciones la esencia de nuestro telégrafo? Pero, aparte de ello, se necesita algo más que una chispa de inspiración arrancada casualmente al pensamiento para desenvolver conscientemente una idea; es preciso calcular el querer y el poder, y cuando ambos se hallen al alcance uno de otro, buscar el camino y los medios para aproximarlos entre sí. No puede negarse el ingenio de aquella primitiva idea; pero no se ha mostrado fructífera hasta los doscientos años de su nacimiento. Por lo demás, ninguno de aquéllos á quienes debemos el descubrimiento de la telegrafía electro-magnética tuvo probablemente ni la menor noticia de aquellas precoces ideas, y menos que los demás Schilling, que se había retirado á sus posesiones, y allí, en el aislamiento, se ocupaba en perfeccionar el telégrafo electro-magnénico. No está determinado con toda exactitud el momento en que inventó realmente su aparato. En la sección histórica para los inventos de la Exposición Universal de Viena, en 1873, se veía una imagen bastante verosímil del telégrafo de Schilling, tal como fué presentado á la Academia de Ciencias. El inventor debió construir el aparato antes del año 1832; y este dato, que no puede ponerse en duda, puesto que, según ya hemos dicho, Schilling murió en 1837, y que implica la posesión de la idea desde 1811, sería siempre de importancia,

puesto que comprobaría la prioridad con respecto á la época á que se atribuye al telégrafo de Gauss. De todos modos queda al último el mérito de haber sido el primero en dar utilidad práctica al modelo, pues sobre el telégrafo de Schilling se había experimentado detalladamente, el 23 de Setiembre de 1835, la primera vez en el Congreso alemán de naturalistas y médicos por parte del Presidente de la sección de Física y Química, Muncke, Profesor de Física en Heidelberg. Este físico generalizó mucho el conocimiento del telégrafo electromagnético de Schilling, pues á continuación estableció en sus conferencias experiencias con dicho aparato ante numeroso público.

El principio del aparato de Schilling fué tomado del multiplicador de Schweigger; por medio de las desviaciones de cinco agujas magnéticas se telegrafiaban números sobre cuya significación se ideó una especie de cartilla. Muncke telegrafiaba con uno de estos aparatos, cuyo hilo recorría diferentes pasillos y salas del edificio. Más tarde parece que Schilling construyó un aparato con una sola aguja.

A una de estas conferencias de Muncke asistió el 6 de Marzo de 1836 un inglés, William Fothergill Cooke, el cual no tenía por sí solo ninguna idea de los experimentos físicos. Un comerciante le llamó la atención sobre las propiedades notables del nuevo invento. Sorprendido por tan pasmosos resultados, concibió de pronto la idea de ponerlo en práctica, é hizo construir un modelo del telégrafo de Schilling, que se llevó consigo á Londres. Ocurría esto en una época antes de la cual los ingleses tuvieron poca participación en los telégrafos eléctricos, ó á lo menos no habían conservado mucho lo que les correspondía sobre el particular. Pero Cooke entendió mejor las cosas. Después de haber sido rechazado por Faraday, se dirigió al célebre físico Wheatstone, presentándole el telégrafo de Möncke, como él lo llamaba, equivocando el nombre de Muncke, y proponiéndole trabajar en sociedad para el establecimiento de la telegrafía eléctrica en Inglaterra (27 de Febrero de 1837). Wheatstone y Cooke formaron, pues, una sociedad, y adquirieron en común, en Mayo de 1837, una patente por un perfeccionamiento (*improvement*) del telégrafo eléctrico, á consecuencia de lo cual tuvo lugar el 25 de Julio la primera prueba en grande, telegrafiándose por medio de un hilo de varios kilómetros de longitud, el cual en parte estaba contenido dentro de un gran edificio, dando allí multitud de vueltas, y en parte se extendía nueve kilómetros á lo largo del ferrocarril de Birmingham entre Londres hasta Cambden Town. La prueba obtuvo un gran éxito, y el telégrafo eléctrico formó desde entonces el objeto de la conversación general. Todos hablaban de Cooke y de Wheatstone, mientras que nadie se acordaba del verdadero inventor, el cual precisamente por esta fecha (6 de Agosto) falleció, sin abrigar probablemente ninguna esperanza de que su aparato tuviera resultados felices. Si Schiling hubiera vivido aún mucho tiempo, el desarrollo de la idea telegráfica sobre el continente hubiera sido seguramente mucho más rápido,

pues la construccion de una línea mediante la cual quería poner en comunicación telegráfica Kronstadt con Peterhof á través del golpe de Finlandia se convirtió naturalmente en una empresa incierta por consecuencia de su muerte, y con esto se perdió la ocasión de un ejemplo convincente de la utilidad del invento. Por lo demás, la idea no quedó tan completamente abandonada en Alemania. El profesor Carlos Augusto Steinheil, de Munich, dedicó su atención á la telegrafía electro-magnética, estimulado por Gauss, y pronto tendremos ocasión de ver con qué resultados tan grandiosos para la práctica lo hizo. Además, en Viena, Jacquin y Andrés von Ettingshausen habían construído también ya en 1836 una línea telegráfica á través de varias calles, que en parte caminaba por el aire y en parte por debajo de la tierra.

FIG. 384.—Carlos Augusto Steinheil.

Si los ingleses toman á Cooke y Wheatstone como inventores del sistema telegráfico, hay que atribuir esto más bien á un orgullo nacional disculpable, que á una pretensión formulada por el mismo Wheatstone. Por el contrario, este sabio, al describir el aparato objeto de la patente, designa á su obra expresamente como un simple perfeccionamiento. Cooke, inmediatamente después que adquirió el conocimiento del telégrafo que había visto manejar á Muncke, se puso á trabajar con el fin de perfeccionarlo, y las construcciones que produjo inmediatamente demuestran que no debía poseer un talento extraordinariamente inventor. En la primera mitad de Marzo parece que ya proyectó, estando todavía en Francfort, un telégrafo de aguja semejante al de Schilling, con tres agujas y seis hilos; después trató de construir telégrafos de cuadrante, para lo cual se fijó primeramente en la idea de una caja de música con una manivela, cuyo proyecto le ofreció demasiadas dificultades, por la necesidad de un completo sincronismo de las rotaciones en ambas estaciones, y que por esto sustituyó con la de adoptar el principio de un péndulo que oscilara entre dos electro imanes, y que mediante un áncora engranara en los dientes de una rueda, como en los relojes de péndola, haciendo girar á la rueda diente por diente á cada oscilación. Cada diente correspondía á una letra del alfabeto, que iba colocado en su su-

perficie exterior y que pasaba por delante de un orificio practicado en la pantalla. Hasta aquí había llegado Cooke cuando vino á asociarse á Wheatstone.

El telégrafo de Schilling tenía, como hemos dicho, cinco agujas magnéticas, que oscilaban horizontalmente, y cada una de las cuales llevaba un pequeño disco de papel vertical á él, y señalado de un modo diferente por ambas caras. En la posición de equilibrio estos discos volvían hacia el observador el canto, de modo que sólo eran visibles sus caras cuando la aguja era desviada por la corriente hacia uno ú otro lado. Mediante los diez signos así representados se podía arreglar un gran número de combinaciones, á las cuales se daba la significación de letras y números.

Wheatstone dió á las agujas una posición vertical, y las ordenó entre sí, de suerte que la corriente siempre actuara sobre dos de ellas, determinadas sobre un teclado, y cada dos de éstas convergieran hacia arriba ó hacia abajo, según los casos. Pero como quiera que los telégrafos de cinco agujas eran todavía muy incómodos, los mismos Wheatstone y Cooke adoptaron el sistema de Gauss y Weber, con una sola aguja, de modo que ésta marcara la letra que se quería transmitir por el número mayor ó menor de impulsos.

La adjunta fig. 385 nos muestra la forma exterior que recibió el primer telégrafo de este género extendido por Inglaterra. La aguja visible está en combinación con la aguja magnética, situada en el interior de la caja, y que es desviada mediante un multiplicador en posición vertical. Con objeto de que cada aparato sirva, no sólo para recibir despachos, sino también para transmitirlos, se pone el mango que se ve en la figura en comunicación con la pila ó con el imán de un aparato de inducción y con su rotación hacia uno ú otro lado, se producen corrientes que desvían en el mismo sentido la aguja magnética de la estación lejana. El sistema de signos está dibujado en la pared anterior de la caja, y se ve en él que una desviación hacia la izquierda significa «¡atención!,» una desviación hacia la derecha, *m*; dos hacia la izquierda, *a*; tres hacia la izquierda, *b*; cuatro hacia la izquierda, *c;* en cambio dos hacia la derecha, *n;* tres hacia la derecha, *o*; cuatro hacia la derecha, *p;* un movimiento hacia la izquierda, seguido inmediatamente de otro hacia la derecha, significa *d*, dos á la izquierda seguidos de uno hacia la derecha, *e*; uno en primer lugar á la derecha, seguido inmediatamente de uno hacia la izquierda, *r*, y así sucesivamente.

Después de este sencillo aparato combinaron los poseedores de la patente dos agujas en el llamado telégrafo de doble aguja, que en el fondo no contiene nada de nuevo, y ofrece sólo la ventaja de que se pueden hacer las mismas señales que en el anterior con una desviación menos.

En la fig. 386 se revela la disposición del sistema de signos adoptado en él, tomando como señal para la dirección de la desviación de la aguja correspondiente y la repetición de las letras como medida para el número de desviaciones. Una sola desviación hacia la izquierda significa, por consiguiente, la se-

ñal + para atención ó para terminar una palabra; una doble desviación á la izquierda significa *a*; una triple desviación á la izquierda, *b*: en cambio una triple desviación hacia la izquierda de la aguja de la derecha significa *k*, y así sucesivamente. Los signos colocados arriba se señalan con una sola aguja; los colocados abajo, con las dos á un tiempo.

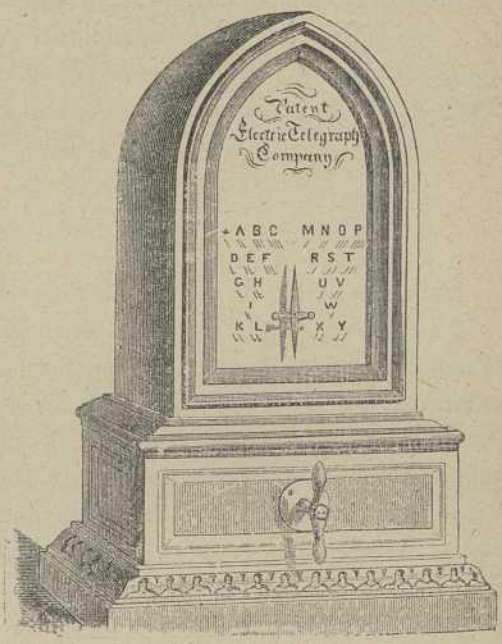


FIG. 385.—Telégrafo de aguja de Wheatstone y Cooke.

El telegrafiar con agujas, como inventaron primero Schilling, y luego Gauss y Weber, tenía dos inconvenientes. En primer lugar, sólo podían hacerlo los que se hubieran instruído en el alfabeto ideado para el objeto, de modo que pudieran leer y escribir con él rápidamente; pero además también, el de que, como el telégrafo no hacía ninguna señal duradera ó permanente, el despacho no podía ofrecer mayor seguridad y exactitud que la que mereciera la atención del observador. Esta última circunstancia, principalmente, fué la que dió ocasión para pensar en los telégrafos gráficos al profesor de Munich Steinheil, que desde un principio había trabajado mucho sobre telegrafía, y que antes de que Wheatstone y Cooke realizaran su primera experiencia en grande, se hallaba ya en posesión de un aparato que respondía á dicha aspiración (á mediados de Julio de 1837). Había instalado el conductor desde su casa, hasta al edificio de la Academia de las Ciencias, y desde aquí al Observatorio. Los alambres se hallaban colocados por encima de la tierra, en parte apoyados sobre postes, y en parte sobre las casas de la ciudad. Las agujas magnéticas llevaban en sus extremos pequeños pinceles ó capsulitas, en las cuales salía algo de tinta, y al desviarse ejercían con ellas una ligera presión sobre una tira de papel que se movía constantemente con velocidad uniforme, mediante un mecanisco de relojería. Además Steinheil había colocado también señales acústicas, haciendo chocar las agujas contra campani-

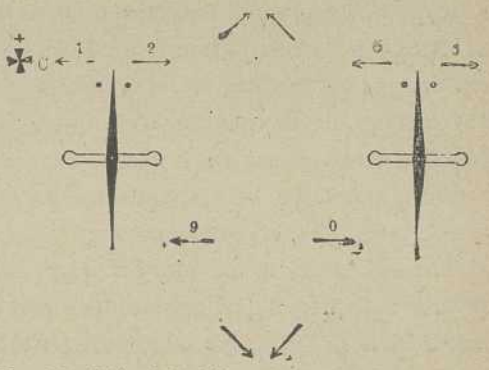


FIG. 386.—Telégrafo de doble aguja de Wheatstone y Cooke.

tas que daban sonidos de diferente altura, de modo que se comprobaban entre sí las observaciones de la vista y del sonido.

Lo mismo que en el telégrafo de Gauss y de Weber, la corriente eléctrica era producida hasta aquí también por medio de un aparato de rotación, y no sólo esto, sino la tira de papel en movimiento que recibía los signos, y que hoy todavía constituye un requisito irreemplazable de los telégrafos gráficos, es, por consiguiente, un perfeccionamiento de origen alemán.

TELÉGRAFO DE CUADRANTE

Hemos mencionado ya las tentativas de Cooke para la construcción de un telégrafo de cuadrante, las cuales dimanan del año 1836. Cooke persistió en ellas y encontró á fines de 1839 una forma perfeccionada para su aparato. Entretanto Wheatstone había tenido la feliz idea de combinar la acción de la corriente eléctrica con la de la caída de un peso ó la de un resorte elástico, y Davy había dado á este pensamiento una realización afortunada, haciendo que la corriente eléctrica soltara y retuviera alternativamente el áncora de una rueda de escape impelida por la pesa. Pero el telégrafo de cuadrante construído por Davy según esta base, y del cual adquirió una patente el 4 de Enero de 1839, era demasiado complicado en su mecanismo interno, de suerte que su colega Wheatstone, más afortunado, sustituyó este aparato al año siguiente por otro de construcción más sencilla y cómoda, y por el cual adquirió también su patente correspondiente. Wheatstone puso directamente en comunicación con la rueda de escape una saeta que señalaba sobre la circunferencia de un disco, marcado con letras y números, y de este modo se podía leer directamente la transmisión deseada, puesto que ésta se verificaba en presencia de los signos correspondientes. De aquí que los aparatos todavía en uso en Inglaterra son, generalmente, telégrafos de cuadrante de Wheatstone.

Como quiera que este aparato ha servido de punto de partida á toda una clase de telégrafos, creemos oportuno decir algunas palabras sobre lo más esencial de su disposición, así como ilustrar estas ideas por medio de algunos grabados. En primer lugar, no daremos más que una imagen esquemática; en su construcción práctica, las diferentes partes del aparato muestran un aspecto completamente distinto, como puede verse en las figuras sucesivas. Lo principal es aquí un trozo de hierro dulce, que se convierte transitoriamente en un imán por el paso de la corriente, como lo era en los antiguos telégrafos de aguja, una verdadera aguja magnética que recibía la influencia de la corriente eléctrica. Por la interrupción ó cierre alternativos del circuito, del cual forma parte la espiral del electro-imán, es atraída ó abandonada una pieza movible de hierro, el áncora, que se halla colocada cerca de aquél, y este movimien-

to de doble sentido puede ser utilizado de diferentes modos para determinar señales visibles.

En nuestra primera figura (387), *A* representa la estación de expedición, *B*, la de recepción del telegrama, las cuales pueden distar entre sí lo mismo cinco

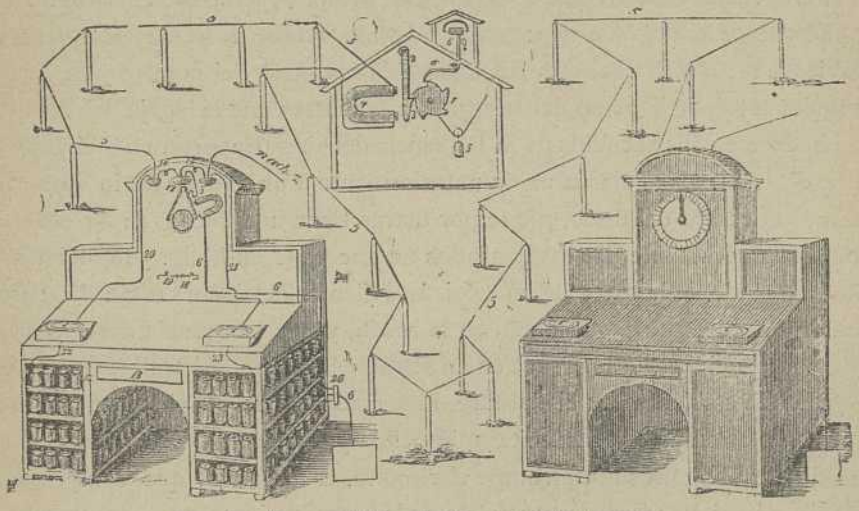


FIG. 387.—Esquema del telégrafo de cuadrante de Wheatstone.

que quinientas leguas. Entre ambas existen otras estaciones intermedias, como la que se indica en *C*, en forma de una simple garita de un guarda vía. El alambre que establece la comunicación eléctrica está señalado con la cifra 5, y cami-

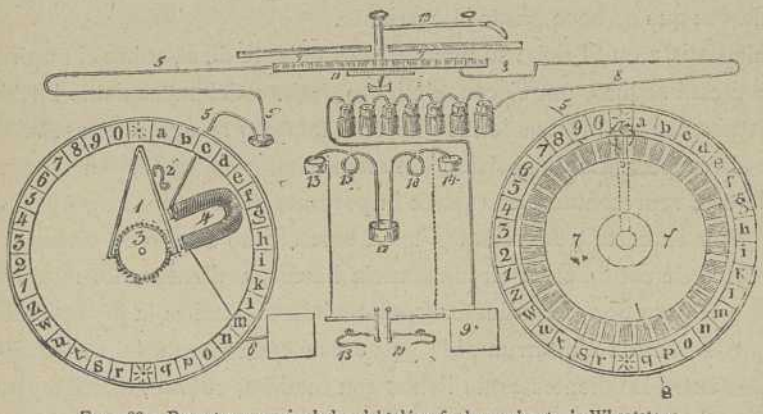


FIG. 388.—Receptor y manipulador del telégrafo de cuadrante de Wheatstone.

na de una á otra estación apoyado sobre postes. Los aparatos son iguales en todas las estaciones; *A* da una vista del exterior, *B* una vista de la disposición interior de uno de estos antiguos aparatos telegráficos. La pila galvánica, que puede ser también sustituída evidentemente por un aparato de rotación, se halla en la parte inferior del pupitre de trabajo. Las partes principales del aparato telegráfico, propiamente dicho, están representadas en la fig. 388 en escala algo

mayor. En ella *A* es el disco perceptible en el pupitre, y semejante á una esfera de reloj, el cual lleva en su periferia veintidós letras (se suprimen la *x* y la *y*, empleando un mismo signo para la *v* y *w*), y las diez cifras del sistema de numeración, entre cuyos signos se interponen las dos estrellitas, una superior y otra inferior. Este disco recibe el nombre de *receptor*, para diferenciarlo de otro completamente análogo en su exterior, el *manipulador C* (representado en *B*, visto desde arriba), el cual está colocado sobre la mesa del pupitre y es puesto en movimiento por la mano del telegrafista, mientras que la aguja del receptor sólo obedece en sus sacudidas á la influencia del aire ó apertura del circuito en la otra estación. La aguja va unida anteriormente á un eje giratorio que atraviesa por el centro del disco, y que por detrás tiene una rueda en la cual engrana alternativamente por los dos lados un áncora (*1* en la fig. 388) del mismo modo que el eje de la saeta de un reloj. Los dientes del áncora están dispuestos de modo que siempre engrane uno en la rueda, y que ésta pueda avanzar en un diente cuando el áncora se mueve en un sentido contrario. Ahora bien: cada vez que pasa una corriente por el alambre, la herradura *4* se convierte en un imán, el áncora es atraída, y la ruedecita *3*, impelida por una pesa descendente, avanza un diente; si ahora se interrumpe el circuito, el resorte *2*, que comprime el brazo derecho del áncora, separa á ésta de la herradura, que ya no es magnética, con lo cual la ruedecilla es obligada á correr otro diente. Cada corriente produce, por consiguiente, una rotación de dos dientes, uno al cerrarse y otro al abrirse el circuito, y teniendo la rueda doble número de dientes que signos hay sobre el receptor (ó sean 68), la saeta unida á la ruedecita *3* avanza, por tanto, una letra cada vez que se hace pasar la corriente.

El telegrafista en *A* tiene su manipulador delante de sí, sobre el pupitre, á la derecha, y está seguro, por el conocimiento íntimo del mecanismo interior, de que exactamente las mismas letras que él señala con su aguja, son señaladas en *B* sobre el receptor. La disposición del manipulador es visible en la fig. 388, en donde está representada esta parte importante del aparato en proyección horizontal (*B*) y en corte transversal (*C*). En este último dibujo en sección, *7*, indica un disco de cobre, cuya circunferencia lleva 34 dientes, de modo que la corriente que pasa por el conductor *5*, el cual resbala sobre la periferia de dicha rueda, queda cerrada é interrumpida 34 veces á cada vuelta del manubrio. Los intersticios entre los dientes están llenos con madera, cuerno, marfil ó otras sustancias semejantes, malas conductoras. La corriente misma marcha desde la pila por el hilo *8* al disco de cobre, y así, cuando este alambre conductor se apoya sobre un diente metálico, la corriente llega al electro-imán *4;* después de recorrer las espirales de éste por el alambre *6* á la lámina colocada bajo tierra, es conducida por el suelo terrestre hasta la otra estación; allí es recibida por la lámina correspondiente *9*, llegando por fin á la pila. Cada avance del manipulador *10*, que corresponde sobre el disco á un diente, determina también el avan-

ce de la aguja sobre el avance correspondiente á una letra de la aguja del receptor.

La fig. 388 muestra también cómo, con un aparato telegráfico de la forma del representado en la fig. 387, es posible en cualquier instante lo mismo recibir telegramas que expedirlos entre los puntos *A* y otro cualquiera, que llamaremos *Z*. En efecto, los hilos *15* y *16*, procedentes de *A* y de *Z*, sumergen en pequeñas capsulitas con mercurio (tales como están representadas con más claridad en la fig. 388 en *13* y *14*); de cada una de estas capsulitas parte un conductor que se sumerge en una tercera capsulita, *17*, de la cual sale el alambre que se arrolla alrededor del electroimán. El imán puede así ser excitado por uno ú otro lado, y para telegrafiar en una cierta dirección se sumerge en la capsulita de mercurio común únicamente el hilo conductor correspondiente.

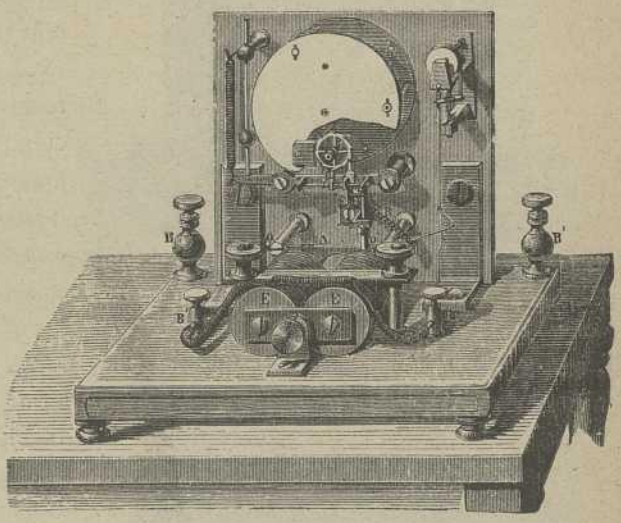


FIG. 389.—Telégrafo de cuadrante de Breguet. (Cara posterior)

Por lo demás, estos aparatos están provistos también de timbres y otros mecanismos accesorios, en cuya descripción detallada no podemos entrar en este sitio. Tampoco corresponde á nuestro objeto entrar á considerar los múltiples perfeccionamientos ó simples cambios introducidos para satisfacer á fines diferentes y que han sido adoptados en distintos puntos. El aspecto exterior de los telégrafos de cuadrante es próximamente el mismo en todos ellos, á pesar de las diferencias internas en los aparatos. Las figuras 389 á 392 nos muestran un modelo de los construídos por Breguet y adoptados en Francia. La fig. 390 se comprende sin ninguna explicación; en la fig. 389 haremos observar principalmente que *E*, *E* representa el electro-imán, que por su excitación transitoria atrae á la pieza de hierro *A*, movible alrededor del eje *O*, *O'*, abandonándola después cuando se interrumpe la corriente á través de sus espirales. Los movimientos del áncora *A* se transmiten por medio de la palanca *L* á la rueda de escape, que está dispuesta de modo que á cada impulso pase un diente. La rueda de escape recibe su movimiento de un aparato de relojería que está oculto á nuestra vista por la pantalla circular. Sobre el otro lado va la aguja unida al árbol. El aparato para transmitir, ó sea el manipulador, está representado por la

figura 391. La parte principal de éste es la palanca *A, B,* que oscila alrededor del punto *O* y está en comunicación conductora por el extremo *B* con el hilo telegráfico *L*, el cual penetra por la llave *N*. El otro brazo, *A*, se halla enfrente del conductor *P'*, que está en comunicación con la pila mediante el hilo *P*. Cuando el extremo del brazo de palanca *A* se apoya en *P'*, el circuito está cerrado y la corriente pasa por la línea, pues al otro extremo *B* está siempre unido al hilo telegráfico *L*. Pero en cuanto *A* se separa de *P'*, la corriente se interrumpe, y esta oscilación está determinada por un anillo de forma ondulada, situado debajo del disco, donde está escrito el alfabeto y unido á la aguja *M*, en cuyo anillo se apoya el extremo *B* de la palanca por medio de un clavo, obligándola á oscilar tantas veces como signos recorre en la estera el manubrio hasta encontrar la letra que se quiere telegrafiar. Nuestra fig. 391 pone esto en evidencia. Las ondulaciones del disco anular son en número igual al de las letras ó signos de la esfera, y se comprende que las interrupciones y pasos alternativos de la corriente marcarán sobre el receptor de la estación de llegada, y en virtud del mecanismo ya explicado, las mismas letras que recorra el manipulador.

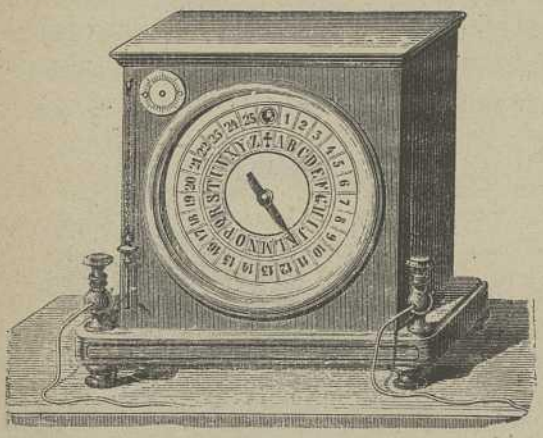


FIG. 390.—Telégrafo de cuadrante de Breguet. (Cara anterior.)

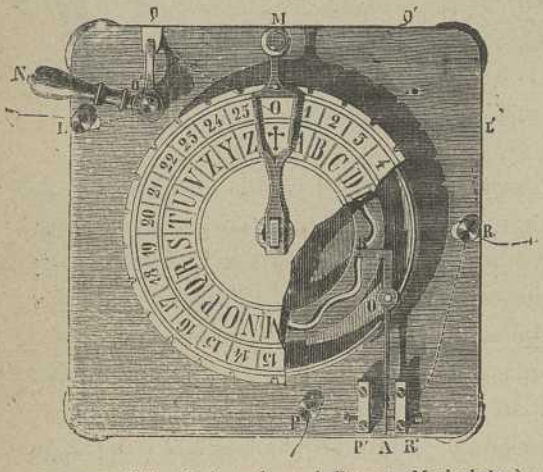


FIG. 391.—Telégrafo de cuadrante de Breguet. (Manipulador.)

En los telégrafos de cuadrante no se exige instrucción especial para telegrafiar, y por esta razón tal sistema tiene ciertas ventajas para el servicio de las líneas férreas. En cambio el tiempo que se invierte en la expedición de un telegrama es relativamente grande, pues la saeta sólo puede moverse en una dirección y para llegar á una letra anterior en el alfabeto tiene que recorrer antes todo el círculo. Si se quiere, por ejemplo, telegrafiar la palabra *amor*, basta ciertamente recorrer una sola vez el disco: el manipulador del telegrafista retiene el manubrio sobre la *a*, después, interrumpiendo once veces la corriente, hace

llegar la aguja hasta la *m*, de aquí pasa á la *o* y por último á la *r*, todo en una sola rotación. Pero en cambio para telegrafiar la palabra inversa, *Roma*, hay que señalar primero la *R*, después recorrer todo el círculo de nuevo para llegar hasta la *o*, luego otra vez dar una vuelta casi completa para llegar á la *m*, y por último llevar de nuevo el manubrio hasta la *a*, después de haber recorrido 4 veces toda la circunferencia, siempre en el mismo sentido. Esta dificultad ha influído mucho en la aceptación del telégrafo inventado por Morse, y que ha dado á este nombre mucha gloria, la cual, á su vez, ha sido en parte oscurecida por otros inventos de no menor mérito.

SUSTITUCIÓN DEL HILO DE RETROCESO POR LA TIERRA

Estamos ya en el caso de considerar uno de esos descubrimientos capitales, debido á un alemán, y digno de que se le tribute el mayor agradecimiento, pues hoy día no hay en toda la tierra una sola línea telegráfica que no le utilice, y el cual contribuyó principalmente á la generalización de la telegrafía, puesto que redujo á la mitad los gastos de instalación. Nos referimos á la disposición ideada por Steinheil en 1838, en virtud de la cual se telegrafía con un solo hilo conductor, aprovechando la tierra para el regreso de la corriente.

Como quiera que el coste considerable del doble hilo conductor era un gran obstáculo para la adopción de la telegrafía, Steinheil trató de hacer servir á los rails que existen siempre en las líneas férreas para conducir la corriente de regreso en los telégrafos anejos á aquellas líneas, economizando así un hilo. Con este fin verificó experiencias en la línea férrea entre Nurenberg y Fürth. Pero se encontró con que para nada se necesitaban los rails, y entonces generalizó sus resultados proponiendo introducir en la tierra el polo positivo en una estación y el negativo en la otra, en lugar de unirles entre sí por uu hilo especial, como se hacía antes. Sólo que como la tierra ofrece á la corriente eléctrica una resistencia mucho mayor que el metal, á igualdad de sección, era necesario tomar entre ambos polos un prisma terrestre más grueso que el alambre en la proporción correspondiente; con este objeto se hacen terminar los electrodos en láminas metálicas que se entierran bajo el suelo.

TELÉGRAFO GRÁFICO DE MORSE

Es muy difícil dictaminar acerca del mérito de la gloria de este inventor americano, dilucidando lo que haya de cierto en las referencias sobre su invento, aceptadas generalmente con demasiada credulidad; de aquí que nos limitemos á tomar en cuenta los hechos y las fechas, de lo cual resulta en realidad, que

Morse verificó innovaciones útiles en la telegrafía. No es posible ya defender la suposición de que Morse hubiera inventado el telégrafo electro-magnético en su viaje desde Europa á América á bordo del *Sully*. Morse había permanecido en Europa para perfeccionarse en el arte de la pintura, y apenas tenía ningún conocimiento de la física y sus aplicaciones. Parece ser que el doctor Jackson, de Boston, entretuvo algunos ratos á los pasajeros con experiencias con un electro-imán y algunas pilas voltaicas, y tal vez estas experiencias hicieran nacer en la mente de Morse la idea de la telegrafía electro-magnética; pero cuando llegó desde Munich á América la noticia del aparato telegráfico de Steinheil, en 1837, no se tenía conocimiento público del más pequeño resultado de las experiencias que Morse emprendió desde 1836 con un profesor de química, el doctor Leonard Gall, en virtud de las cuales quiso obtener una patente en previsión de las circunstancias, cuando el Gobierno americano trató de establecer líneas de telégrafos ópticos. A pesar de esto el *New-York Journal of Commerce* reclamaba en 1837, y con gran arrogancia, la gloria de la telegrafía electro-magnética para Morse, «el cual no había hecho ningún secreto de su idea en el buque, habiendo dado cuenta de ella espontánea y sinceramente á los compañeros de viaje de todas las naciones.» Entonces, para convencer al público de la existencia del invento de Morse, se estableció el telégrafo; pero para que los lectores se formen un concepto de la incapacidad del aparato, bastará consignar que el electro imán de éste tenía un peso de 79 kilogramos. El primer despacho, que constaba de cinco palabras, fué transmitido el 4 de Setiembre de 1837; para efectuarlo se tuvo necesidad de producir 143 señales. Y al decir de 1837, en lugar de 1835, como se dice generalmente, estamos seguros de nuestra afirmación; la última fecha es inexacta, y sólo se ha hecho corriente porque el autor del *Telegraph manual*, de donde se han tomado la mayor parte de las noticias sobre Morse, ha cometido la pequeña falsedad, sin duda como broma para favorecer las pretensiones del americano, de suprimir las dos rayas finales de la fecha del telegrama (1837) escrita en números romanos, convirtiéndola, por consiguiente, en 1835.

Todos los demás documentos referentes á la época del descubrimiento de Morse adolecen de inexactitudes semejantes. Por lo demás, el hecho de que Morse se dedicó de nuevo á la pintura en 1839 y más tarde á la fotografía, prueba mejor que nada que la cosa no encontró gran resonancia en el público americano, al menos en su forma primitiva é imperfecta. Cuando últimamente se probó en Inglaterra la utilidad de los telégrafos eléctricos, el Congreso concedió (en Marzo de 1843) la subvención que ya antes había obtenido Morse, y en 1844 se unió telegráficamente Washington con Baltimore, como primera prueba. El primer despacho recorrió el hilo el 27 de Mayo; pero los aparatos empleados en esta ocasión eran todavía sumamente defectuosos, y sólo cuando Morse vino otra vez á Europa y adquirió en Francia un modelo, con arreglo al cual modi-

ficó su aparato, pudo desarrollarse gradualmente su sistema, adquiriendo importancia práctica.

El sistema de Morse (al cual están limitados todos sus derechos) no debe tampoco su generalización á un pensamiento orignal y completamente nuevo, sino que más bien está caracterizado por la producción de signos que resultan mediante un estilo que el electro-imán comprime contra una tira de papel en movimiento, lo cual tiene la mayor analogía con otras proposiciones anteriores, como, por ejemplo, la de utilizar la escritura con tintas de color, en lugar de las impresiones penetrantes de una punta. Por consiguiente, el invento de la telegrafía en general á nadie se debe menos que á Morse, y el mérito de creador de éste desaparece casi por completo en comparación del de los Sömmering, Schilling, Steinheil, Weber, Gauss, Wheatstone, etc. El aparato de Morse ofrece, sin embargo, algunas ventajas bajo el punto de vista de la comodidad; y como quiera que por medio de él se resolvía de un modo aceptable el problema planteado de obtener en los telégrafos signos permanentes corespondientes á las palabras comunicadas, se hizo casi general la adopción de estos aparatos; las oportunas patentes le aseguraron la posesión del invento por todas partes, proporcionando á su inventor fortuna y celebridad (fig. 392).

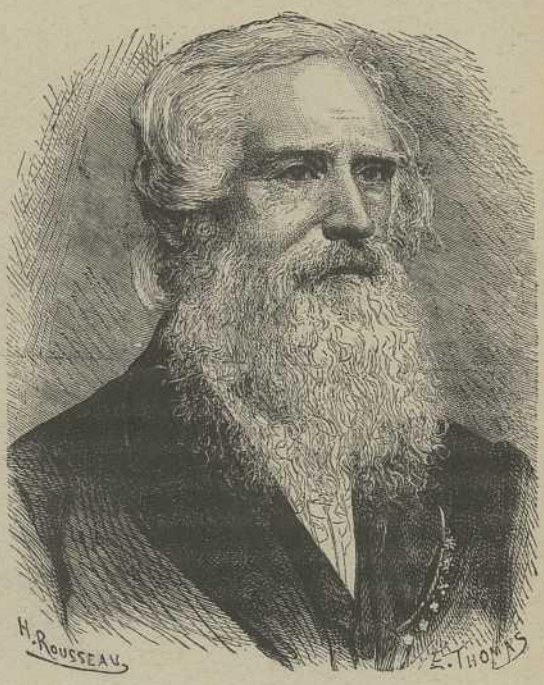


FIG. 392.—Samuel Morse.

Si hoy penetramos en una oficina telegráfica y escudriñamos los instrumentos en uso, cuyo conjunto se conoce con el nombre de telégrafo de Morse, porque contienen la particularidad del estilete registrador, y preguntamos quién ha introducido cada uno de los perfeccionamientos á que se debe el juego de los aparatos, en las respuestas no encontraremos casi nunca el nombre de Morse, sino que oiremos más bien los de los físicos ya citados, y otros como Stöhrer, Kramer, Meissner, y sobre todos Siemens y Halske. Estos son realmente los que han llevado la telegrafía á su estado actual de perfección, por medio de ingeniosísimos inventos. Pero en este sitio no es posible tratar ni siquiera de los más sobresalientes de estos inventos, pues se exigirían para ello detalles

técnicos que nos llevarían demasiado lejos. Tenemos que contentarnos con trazar á grandes rasgos una imagen de la manera de obrar de estos aparatos, lo cual intentaremos refiriéndonos á las figuras 393 y 394.

Con respecto á la disposición en conjunto, no tenemos necesidad de dar explicaciones especiales. Vemos en la fig. 394 la pila que engendra la corriente y que indica la dirección de ésta sobre la línea, á partir del polo positivo, ó sea del cinc. La corriente entra inmediatamente en la *llave*, con la cual el telegra-

FIG. 393.—En una oficina telegráfica. Expedición del despacho.

fista hace las señales abriendo ó cerrando el circuito. De la llave marcha á un galvanómetro, cuya aguja hace visible á cada momento si existe ó no corriente en el circuito; después recorre un aparato particular, un pararrayos, que tiene por objeto proteger los extremos de la línea contra la eventualidad de una acción peligrosa de la electricidad atmosférica, á la cual conduce directamente al suelo terrestre, y parte, por último, á través del hilo *H* más ó menos largo, hacia la estación de destino (fig. 395). Aquí sigue una marcha opuesta, pasando desde el hilo *H* primeramente al pararrayos, después al galvanómetro, y luego á la llave, que está aislada de la pila correspondiente, luego al electro-imán, y por último al conductor *Z*, que la transmite á la tierra, por la cual vuelve á la estación de origen, siendo recibida por la lámina polar de la pila (véase la figura 394), y quedando así cerrado el circuito.

Los aparatos telegrafiadores propiamente dichos son la llave y el aparato gráfico, de los cuales damos una imagen en las figuras siguientes:

La llave (fig. 395) consiste en una palanca metálica que gira alrededor de un eje horizontal. Lo mismo en el brazo anterior que en el posterior, contiene pequeños conos metálicos, cada uno de los cuales puede aplicarse contra una plancha metálica situada debajo de él, y ponerse en comunicación conductora con la misma. Designemos por 1 el cono anterior, por 3 el cono posterior, y

FIG 394.—En una oficina telegráfica. Recepción del despacho.

por 2 y 4 respectivamente las planchas colocadas debajo de ellos; cuando no se ejerce presión hacia abajo sobre el mango, 3 se apoya sobre 4, tomando la palanca la posición representada en la figura. La plancha 2 se halla en comunicación con el hilo conductor de la pila, el hilo que comunica con la estación inmediata se une al cuerpo de la palanca, mientras que la plancha 4 comunica con el correspondiente aparato registrador.

Para que sea posible recibir despachos en la estación considerada, al mismo tiempo que expedirlos, hay que suponer además en la fig. 394 un hilo que va desde la llave al electro-imán, y en la fig. 395 otro alambre de unión entre la llave y la pila local, cuyos conductores han sido suprimidos en nuestro dibujo, para evitar confusión. Cuando llega un telegrama, la corriente eléctrica recorre el cuerpo de la llave en la forma siguiente: Desde el hilo de la línea pasa al

cuerpo de la palanca, de aquí á la plancha 4, y desde ésta, por medio del conductor correspondiente, al aparato registrador; entretanto el contacto entre 1 y 2 está interrumpido. Cuando se envía un telegrama, está interrumpido el contacto entre 3 y 4, y mientras 1 y 2 se tocan, la corriente marcha desde el eje de la palanca hasta la otra estación por el hilo de línea. Queda, pues, á voluntad del telegrafista producir corrientes breves ó prolongadas, y esto es lo importante. En efecto: en tanto que la corriente recorre las espirales *M M'* del aparato registrador (fig. 396) de la estación de término, el núcleo de hierro que existe en su interior actúa como un imán, atrayendo la pieza de hierro *B*, que se halla sobre él, y que va unida á una palanca oscilatoria alrededor de un eje; entre tanto el estilete *O*, unido al extremo del otro brazo de palanca, *A*, se aplica contra la cinta de papel, *P*, que va desarrollándose del carrete *R*, y pasando por entre los cilindros *V* y *W*, en la dirección de la flecha, y graba, por consiguiente, sobre aquélla puntos ó trazos. Cuando desaparece el magnetismo, el resorte *f* atrae hacia abajo al extremo de la palanca que lleva el buril, y levanta, por consiguiente, la lámina de hierro *B*, del otro extremo, separándola del electro-imán. El movimiento de los cilindros *V* y *W* está determinado por un aparato de relojería, puesto en movimiento por una pesa, *G*. La oscilación de la palanca alrededor del eje *C*, se gradúa por medio de los tornillos *m* y *n;* con objeto de que las impresiones sean más visibles, el papel se apoya algo hueco en el punto donde se aplica el estilo ó buril grabador.

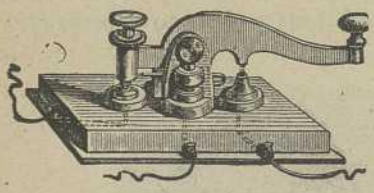


FIG. 395.—Llave ó manipulador del telégrafo registrador.

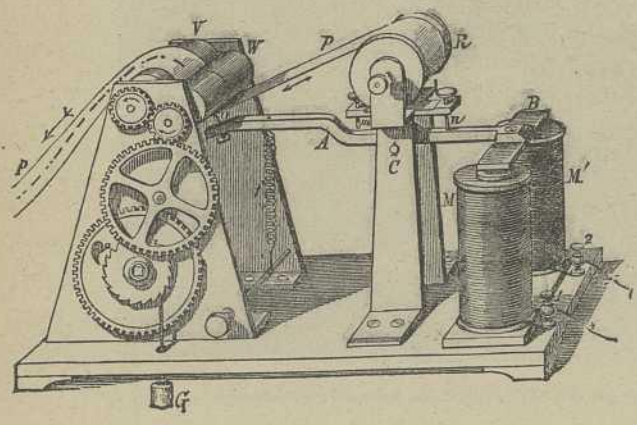


FIG. 396.—Aparato registrador de Morse.

Morse formó, por la combinación de trazos y puntos, su alfabeto (fig. 397), que hoy día se adopta, con sus aparatos, en casi todas las líneas telegráficas. Los telegrafistas están tan familiarizados con él, que leen el contenido del despacho sólo por el ruido que producen los choques del aparato registrador. Por lo demás, se han inventado con este objeto aparatos especiales, llamados *picaportes*, los cuales producen, por consiguiente, un verdadero lenguaje oral.

La primera idea del aparato protector contra el rayo, de que hemos hecho

mención, fué dada por Steinheil. El telégrafo, por su comunicación conductora con la tierra, se conduce respecto á la electricidad atmosférica como un enorme pararrayos; los alambres se cargan á veces con cantidades de electricidad tan grandes, que una interrupción de su comunicación con la tierra, como se verifica continuamente al manipular en el aparato transmisor, puede ser en alto grado peligrosa para el telegrafista. De aquí que se ha procurado proporcionar á la electricidad atmosférica otro camino, adaptando al hilo telegráfico un aparato con puntas, unas enfrente de otras, ó con dos láminas metálicas dentadas que distan muy poco entre sí. La corriente galvánica no tiene tensión suficiente para saltar á través de este espacio, en lugar de fluir á lo largo del hilo con-

A . —	I . .	R . — .
Ae . — . —	J . — — —	S . . .
B — . . .	K — . —	T —
C — . — .	L . — . .	U . . —
D — . .	M — —	Ue . . — —
E .	N — .	V . . .
E' . . — . .	O — — —	W . — —
F . . — .	Oe — — — .	X — . . —
G — — .	P . — — .	Y — . — —
H	Q — — . —	Z — — .

FIG 397.—Alfabeto de Morse.

ductor, abocando en la tierra; pero, por el contrario, la electricidad que las tempestades acumulan en dichos hilos salta con facilidad entre aquellas puntas, y fluye por este camino directamente hacia la tierra, ya funcione ó no la llave del manipulador.

TELÉGRAFOS IMPRESORES

El deseo que realizaron los telégrafos registradores ordinarios, esto es, recibir los despachos del aparato telegráfico en forma permanentemente visible, condujo, según parece, desde mucho antes, los esfuerzos de algunos inventores, en el sentido de construir un aparato que ofreciera el despacho escrito en una forma inteligible para todo el mundo, y no simplemente en cifras cuya interpretación exigiera conocimiento de la clave. Atribuyendo al invento de Morse la fecha de 1847, en que realmente fué conocido, mucho antes ya, en 1837, había construído el americano Vail un aparato que imprimía con letras los despachos transmitidos por la corriente eléctrica; en 1840 dió á conocer Bain otro aparato: en 1841 presentó Wheatstone un telégrafo gráfico á la Real Sociedad Politécnica; Fardely inventó en Alemania un telégrafo de este género, que fué usado ya en 1854 en la línea del Taunus; ya hemos mencionado también el te-

légrafo de cuadrante con aparato impresor inventado por Siemens en 1846. Después se ha aumentado todavía considerablemente el número de estos aparatos, pues realmente todos los que se han ocupado del perfeccionamiento de la telegrafía, han perseguido con más ó menos fortuna este ideal de escribir telegráficamente. Si á pesar de esto ha transcurrido tanto tiempo sin que llegara á adquirir aceptación general uno de los muchos sistemas inventados, la causa reside en la complicación de los mecanismos que forzosamente iba aneja á tan elevadas aspiraciones; cuyas aspiraciones, á lo menos en lo más importante, una escritura rápida y segura, no parece que ofreció ninguno con las ventajas prácticas que el aparato de Morse, llevado á un alto grado de perfeccionamiento.

Sólo el inventado por el profesor americano Hughes, responde por completo á todas las exigencias, pues permite telegrafiar con rapidez superior en mucho al de los mejores aparatos de Morse, y además su manejo es muy fácil de aprender, de modo que hubiera desbancado seguramente á todos los demás sistemas, si no fuera porque su mecanismo tiene una estructura tan delicada, que sus reparaciones no podrán ser practicadas más que por mecánicos sumamente hábiles y experimentados, á los cuales no se tiene siempre á mano. El telégrafo impresor de Hughes es, sin duda, una obra mecánica maestra, cuya invención patentiza un genio de primer orden, y merece, por consiguiente, que le dediquemos nuestra atención.

Son comunes á la mayor parte de los telégrafos autógrafos la forma y manera como están dispuestos los tipos impresores; están labrados en relieve sobre la periferia de una rueda de acero, semejante á una rueda dentada. Imagínese que esta rueda esté en comunicación con un manipulador de la otra estación, como lo están el receptor y manipulador del telégrafo de cuadrante de Wheatstone. Se concibe así que, en lugar de recorrer una aguja, como en este último, la circunferencia de un disco alfabético, pueda estar dispuesto el mecanismo de suerte que la rueda con los tipos impresores experimente una rotación, hasta que venga á colocarse la letra correspondiente exactamente sobre la cinta de papel blanco. En este momento podría tener lugar la presión, para lo cual naturalmente tenía que ser previamente mojada en tinta la letra en cuestión, y mediante otro mecanismo, oprimir dicha letra contra el papel, ó bien oprimir el papel contra la letra. Aparte de esto, es preciso que el papel avance de tal modo, que la huella de la letra inmediata venga á caer al lado de su anterior.

Mientras que todos los telégrafos impresores en general contienen forzosamente estos cuatro mecanismos, uno para el movimiento de la rueda, otro para la compresión del papel, otro para dar tinta á los tipos, y otro para hacer avanzar la cinta, se diferencian entre sí, principalmente, por la manera como se verifica el trabajo primeramente citado, ó sea la presentación adecuada de los tipos que se quieren imprimir. Este objeto se consigue en un gran número

de aparatos (los de Wheatstone, Bain, Brett, House, Breguet, Digney, Freitel, Mouilleron, Dujardin, Thomson, Du Moncel y otros) por medio de escapes que la corriente eléctrica separa, dejando así girar á la rueda diente por diente (ya hemos establecido la comparación oportuna con el telégrafo de cuadrante de Wheatstone). Pero en otros, por el contrario, (los de Vail, Siemens, Theilez, Donnier, Arlincourt, Desgoffes, y también el de Hughes) la colocación de los tipos se obtiene por medio de dos mecanismos de relojería que caminan acordes en ambas estaciones. Estos aparatos son los llamados de movimiento sincrónico. Diremos algo sólo de uno de éstos, que ha tenido mucho éxito por sus excelentes resultados.

EL APARATO DE HUGHES

La pieza principal de éste es una especie de corredera movible que gira rápidamente sobre un disco circular (2 vueltas por segundo) á la manera de la aguja del telégrafo de cuadrante de Wheatstone, y cuyo movimiento depende del de la rueda de tipos, coincidiendo completamente con él; de suerte que cuando cierto punto de referencia de la corredera se halla en presencia de una letra determinada (las letras están dispuestas sobre el disco análogamente á las horas de un reloj), por debajo del disco se encuentra exactamente colocada para la impresión la misma letra de la rueda de tipos, y basta, por consiguiente, una ligera presión de la cinta de papel para obtener su imagen. Las letras sobresalen de un disco, sostenidas por pequeños estiletes metálicos. Ejercen ciertas transmisiones eléctricas instantáneas y sostienen con esto el juego de un electroimán que proporciona los escapes mecánicos, la opresión del papel, etc., etc.

En la otra estación, á la cual se envía el telegrama, se halla instalado un aparato completamente idéntico. Los aparatos de relojería de ambas estaciones están puestos en coincidencia telegráficamente, y hacen pasar á cada momento las mismas letras en la rueda de tipos y en la corredera sobre el disco. La expedición del despacho se verifica con ayuda de un teclado, cada una de cuyas teclas corresponde á una letra; pulsando una de éstas sobresale instantáneamente el estilete correspondiente, y en el mismo momento recibe la corriente eléctrica la corredera rápidamente giratoria colocada delante. Si se pulsa, por ejemplo, la tecla de la letra *m*, pasa la corriente por el conductor en el momento en que la corredera llega en presencia del estilete con la *m* levantada en alto; pero precisamente en este momento se halla la letra *m* de la rueda de tipos sobre la cinta de papel en la otra estación. La corriente excita al electro imán; este atrae á la letra *m* y la graba instantáneamente. En cuanto la corredera deja de estar en contacto con el estilete saliente, la corriente se interrumpe, la cinta de papel avanza el espacio de un diente y puede recibir todavía durante la misma vuelta de la corredera la impresión de una letra, como la *u* por ejemplo,

que no está muy próxima de la *m* cuando el telegrafista la pulsa con rapidez suficiente. Pero en todo caso, aun cuando sea necesaria una vuelta completa de la corredera para la impresión de la letra siguiente, se podrán telegrafiar por lo menos dos letras por segundo, y se comprende que en manos de telegrafistas habituados á su juego, el aparato de Hughes no puede ser igualado fácilmente por ningún otro, en lo que se refiere á la rapidez de la expedición; así que sus innegables ventajas le han conducido á una aceptación que crece de día en día.

TELÉGRAFOS QUÍMICOS

Hemos indicado ya de qué modo Steinheil intentó construir un telégrafo que reprodujera los despachos en forma permanentemente visible. Aparte del telégrafo gráfico de Steinheil, existen otros testimonios de los esfuerzos realizados en este sentido. El ya mencionado aparato de Davy (uno de los inventos sobresalientes por todos conceptos en la historia de la telegrafía), tenía, en lugar de la saeta introducida por Wheatstone, un lápiz ó estilete que á cada movimiento del áncora oprimía un papel preparado químicamente, y movible sobre un cilindro en presencia de aquél, el cual originaba en el papel puntos coloreados, porque por efecto de la corriente eléctrica descomponía las sustancias contenidas en dicho papel, constituyendo su preparación. El papel estaba dividido en diferentes campos, y por la disposición de las señales se podían leer los despachos; pero por más que este invento fuera muy importante para el desarrollo de los aparatos telegráficos, no fué objeto de un estudio especial. De aquí que hubo de ser abandonado y convertido, bajo la influencia de Wheatstone, en el ya descrito telégrafo de cuadrante que satisfacía á las exigencias de la época.

De nuevo se alejó de la solución el problema de un aparato gráfico. Más tarde, los telégrafos químicos fueron objeto de numerosas investigaciones y perfeccionamientos; pero sus autores no se preocuparon de obtener los resultados del modo más sencillo posible, por más que algunas de sus disposiciones eran sumamente ingeniosas. Algunos años después dió que hablar tanto en Florencia Giovanni Caselli con su llamado pantelégrafo, que no podemos abandonar este asunto sin decir algo sobre él, por más que la lentitud con que funciona constituye un obstáculo muy grande para su adopción.

En principio, los telégrafos químicos copiadores, á cuya clase pertenece el de Caselli, tienen el carácter distintivo de reproducir los despachos con los mismos rasgos gráficos con que se escriben sobre una lámina metálica con una tinta mala conductora. Sobre esta lámina metálica (papel de estaño que se arrolla sobre un cilindro), se mueve la punta de un hilo polar, y, por consiguiente, la corriente se interrumpe siempre que aquella punta pasa por una letra trazada con una sustancia resinosa, con lo cual se produce en la estación de término una in-

terrupción correspondiente en la descomposición del papel preparado químicamente, y, por tanto, un signo análogo al primero. Bien entendido que la ima-

FIG. 398.—Pantelégrafo de Caselli. Escrito original.

gen del despacho no reproduce de un modo ininterrumpido los rasgos ó líneas del dibujo, sino por la reunión de pequeños trazos que corresponden al tiempo

FIG. 399.—Telegrama transmitido por el pantelégrafo de Caselli.

que la corriente está interrumpida, mientras la punta señaladora resbala sobre la tinta aisladora. La fig. 398 representa el despacho original dibujado sobre la

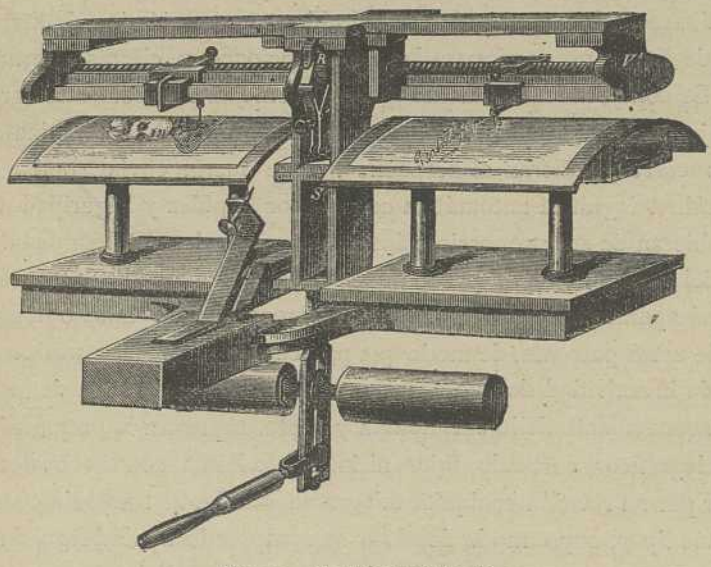


FIG. 400.—Pantelégrafo de Caselli.

lámina conductora, y la fig. 399 la imagen que ofrece de él el telégrafo de Caselli en la estación de término. Cremos innecesaria la descripción del mecanismo.

TELEGRAFÍA AUTOMÁTICA

La circunstancia de que los aparatos gráficos hayan de ser puestos en movimiento directamente por la mano de un telegrafista, y por consiguiente que la transmisión del despacho dependa del estado de atención ó de abandono, etc., de un hombre en un momento dado, hizo nacer el deseo de que el aparato gráfico pudiera estar dispuesto de modo que la acción de la corriente le impulsara automáticamente para obtener el fin deseado. En los telégrafos químicos hemos encontrado ya disposiciones que permitían realizar, hasta cierto punto, esta aspiración, pero funcionaban demasiada lentamente; y precisamente el aprovechamiento de los conductores ó hilos telegráficos, la parte más costosa en su instalación, entraña como aspiración capital del perfeccionamiento de los aparatos telegráficos, la de transmitir por ellos el mayor número de telegramas en el menor tiempo posible. Especialmente para las líneas submarinas tiene esto la mayor importancia, y se ha intentado conseguirlo de varios modos.

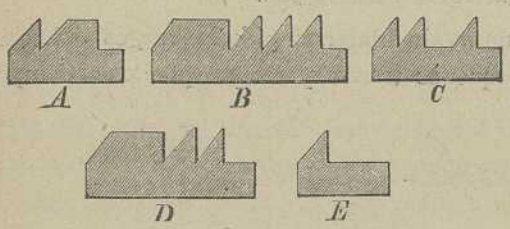


FIG 401 —Tipos de Morse para la telegrafía automática.

Morse alimentaba ya esta idea cuando hizo que una lámina de metal tallada en forma de sierra proporcionara las interrupciones y cierres alternativos del circuito. Se comprende fácilmente que con semejante medio auxiliar se podía poner en juego el manipulador, y que una vez preparada la lámina cuyas entalladuras correspondieran al despacho que se quería enviar, podía tener lugar la acción telegráfica automática con mayor rapidez y seguridad que si los signos hubieran de ser proporcionados por la mano de un telegrafista. La construcción del patrón de un despacho puede hacerse independientemente de todo el resto del aparato telegráfico, pudiéndose preparar á un mismo tiempo gran número de estos patrones, de modo que parece que se debiera utilizar por este medio toda la actividad de que es capaz en absoluto el sistema de Morse. Éste evitó el inconveniente de lo entretenida y costosa que era la preparación de los moldes telegráficos, cortando tipos aislados de letras con los cuales se podía componer por su reunión cualquier telegrama. La fig. 401 nos ofrece una muestra de estos tipos, cuyo modo de obrar se comprende desde luego sin más que suponer un resorte metálico conductor que vaya resbalando por encima de ellos. Los dientes puntiagudos dan puntos; los anchos dan trazos. Pero se reveló un inconveniente menos fácil de evitar, debido á que los electro-imanes,

en el estado en que se hallaban entonces estos aparatos, no eran capaces de obedecer con bastante rapidez y seguridad á la acción de las corrientes intermitentes.

Poco después (1846), Baine propuso para este objeto otro medio. Dibujaba los despachos sobre una tira de papel, con trazos y puntos análogamente á como los ofrecen los aparatos gráficos de Morse. Cortaba en el papel estos trazos y puntos y aplicaba aquél sobre un cilindro metálico, de donde partía el hilo conductor de la corriente. Un resorte metálico resbalaba por encima del despacho poniéndose en contacto con el cilindro conductor en todas aquellas partes en que el papel estaba agujereado, y cerrando entre tanto el circuito. Este principio de las cintas telegráficas agujereadas fué objeto más tarde de nuevos proyectos, y en particular Siemens empleó aparatos perfeccionados que producían mécánicamente las incisiones mediante tres teclas. También resucitaron Siemens y Halske en el año 60 las tablillas de tipos de Morse después que se encontraron medios de hacer á la corriente producir las señales, en forma que evitara las dificultades que se habían ofrecido anteriormente.

En los aparatos gráficos automáticos y rápidos inventados posteriormente, á cuyo perfeccionamiento se han dedicado especialmente Siemens y Halske, se ha vuelto á adoptar la preparación de los despachos antes indicada, y que es independiente de los aparatos productores de la corriente. Se agujerean siempre las tiras de papel mediante un mecanismo manipulador que contienen las diferentes letras, números, etc., y en el aparato de Hefner Alteneck existen 49 teclas. El aparato de agujeros está unido con el que produce la corriente, de suerte que las letras, después de agujereadas, se telegrafían por sí mismas. La ventaja de la rapidez que proporcionan en general los telégrafos automáticos, subsiste aquí lo mismo que antes, pues como cada golpe del manipulador agujerea una letra, la cual consta, por término medio, de tres signos en el sistema de Morse, se tiene, por esto sólo, una velocidad mucho mayor en la acción de telegrafiar; pero además, el manejo del teclado es también mucho más fácil y rápido que el de la llave manipuladora.

Estos aparatos automáticos han sido presentados con diferentes construcciones. Se tienen cajas y cadenas escritoras, cuya diversidad especial no podemos entrar aquí á establecer. El principio automático ha sido aplicado también á los telégrafos impresores.

En cuanto á la rapidez de la acción de telegrafiar, se calcula que con un aparato automático se puede telegrafiar en un minuto hasta 7.200 palabras, ó sea 360 telegramas de á 20 palabras unos con otros. Semejante velocidad parece haber sido alcanzada sobre la línea de París á Marsella con estación intermedia en Lyon, mediante el sistema Baudot, por el cual pueden utilizar á un tiempo seis telegrafistas el mismo hilo. El sistema *duplex* de Wheatstone (con doble aprovechamiento del hilo), permite expedir de 140 á 150 telegramas por minuto. El sistema de Hughes, de 40 á 50 palabras, ó sean de 20 á 25 telegramas por hora.

TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA Y EN SENTIDO INVERSO DE TELEGRAMAS POR UN MISMO HILO

La idea de enviar á un mismo tiempo por el conductor dos corrientes en dirección contraria, las cuales no ejerzan entre sí perturbación alguna, tiene á primera vista el carácter de pasmosa; y si se interroga á cualquiera sobre la posibilidad de telegrafiar de un modo inteligible y por el mismo hilo desde una estación *A* á otra lejana *B*, y al mismo tiempo recíprocamente desde *B* á *A*, difícilmente daría respuesta afirmativa si esta pregunta la oía por primera vez y no poseía un conocimiento exacto de los fenómenos á que se refiere. Y sin embargo, esta idea es cosa practicable y practicada de hecho.

Para formarnos una idea del fenómeno en cuestión, no necesitamos preocuparnos de cuál es el estado de la corriente en el interior del hilo conductor durante el mismo. La cuestión es que simultáneamente se puede transmitir entre dos estaciones, corrientes que proporcionan ciertas señales. La dificultad para la industria consiste en tener constantemente dentro del circuito al aparato registrador y disponerle de modo que sólo reciba influencia de la corriente procedente de la otra estación, mientras que le atraviese sin ejercer acción alguna sobre él la corriente que parte de cada una de las estaciones. Si ponemos en parangón las figuras 388 y 403, comprenderemos fácilmente en lo que estriba el problema. Allí hemos visto que, como sucede de ordinario, el aparato receptor está interpuesto en el hilo de línea cuando se telegrafía desde otra estación. La corriente marcha desde la estación *A*, partiendo de la pila y á través del manipulador al conductor, y por él á la estación *B*, donde penetra en el aparato receptor, pasando desde éste á la tierra y por ella volviendo á la pila *A*. Si en la estación *A* el aparato registrador estuviera encerrado en el circuito, como lo está en la estación *B*, la corriente, que parte de la pila *A*, no recorrerá el conductor hasta *B*, sino que escogerá el camino más corto para llegar á la tierra atravesando el aparato registrador *A*, al cual pondría en juego. Por consiguiente, para nuestro objeto es preciso que el aparato receptor esté situado en ambas estaciones dentro del circuito, mediante una disposición que haga al aparato registrador de *A*, insensible para las corrientes que parten de la estación *A* hacia *B*, mientras que le conserve su sensibilidad para las corrientes que proceden de *B*, y del mismo modo el aparato registrador de *B* no debe ser puesto en juego por las corrientes que marchan desde *B* á *A*, sino sólo por las que vienen desde *A* á *B*. Ahora bien; esto puede conseguirse de diferentes maneras.

Como ejemplo para que se comprenda lo practicable de la idea, vamos á explicar en principio únicamente la disposición ideada por Edlunh en Stokolmo, para lo cual nos servirá la representación esquemática de la fig. 402.

En ella V es la pila; T, el manipulador; c, el aparato registrador ó la pieza de transmisión del movimiento á éste, que podemos suponer representada por un núcleo de hierro dulce que se hace magnético por la corriente eléctrica y atrae al estilete impresor; G es el galvanómetro; L, el conductor de la línea; P, la placa terrestre, y sobre la otra estación están representadas con la mismas letras, provistas de una ' las mismas partes componentes. Por lo demás, no tienen nada de particular en su disposición hasta considerar el aparato registrador, el cual, por el contrario, ha sido colocado de un modo sumamente ingenioso. El hilo que conduce la corriente y parte de la pila se divide en dos ramas al llegar al aparato registrador; estas dos ramificaciones están representadas respectivamente por la línea llena a y por la línea de puntos b. Estos dos hilos a y b están dispuestos de tal modo con respecto al núcleo del electro-imán, que las vueltas de a se arrollan en sentido contrario que las de b; por consiguiente, si a va de derecha á izquierda, b se arrolla de izquierda á derecha, y viceversa. Con esto se consigue lo que era nuestro objeto; esto es, que la corriente procedente de la pila V, y que al apretar la llave T pasa por el circuito hasta la otra estación, no pueda ejercer sobre el núcleo c ninguna acción magnetizadora, toda vez que en el mismo punto en que una de las dos corrientes derivadas a, tienda á engendrar un polo Norte, debería producirse un polo Sur por la influencia de la corriente b, y estas dos acciones opuestas se neutralizan forzosamente entre sí.

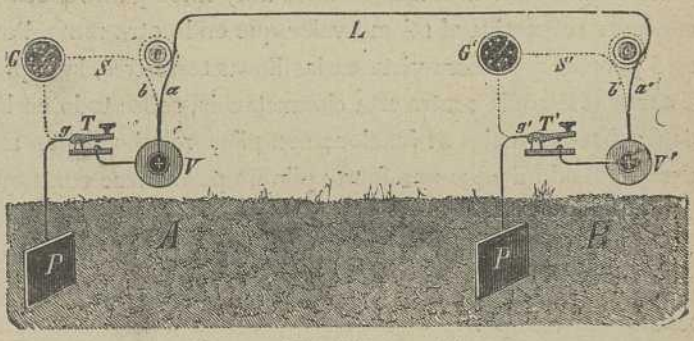


FIG. 402.—Disposición esquemática del aparato de Edlund para telegrafiar recíproca y simultáneamente entre dos estaciones.

La misma corriente, después de sus dos ramificaciones, han rodeado al núcleo del electro-imán, marcha primero por el conductor L á la estación B, en donde rodea toda entera al electro imán C', poniendo en movimiento el aparato registrador, y cuando la llave T' está comprimida, atraviesa la pila V', y por conducto de esta llave llega á la tierra, que la devuelve á la estación A y á la pila V. Pero cuando en la estación B está interrumpido el manipulador T', la corriente procedente de la estación A, después de haber atravesado al aparato registrador, recorre el camino indicado por las líneas punteadas. pasando por el galvanómetro G' hasta llegar á la parte del conductor que une al manipulador con el suelo terrestre. Nos queda todavía que seguir la segunda parte de la corriente en la estación A, la cual desde la pila V ha adquirido el camino señala-

do por la línea de puntos. Esta marcha también desde el aparato registrador por el galvanómetro al conductor que está por detrás de la llave *T*; pero desde aquí no va á la tierra, sino que estando la llave cerrada, prefiere el camino que ésta le ofrece hacia la pila *V*.

Para que un aparato registrador sea completamente insensible á las corrientes originadas en su propia estación, es condición indispensable que las dos ramificaciones de la corriente sean completamente iguales entre sí con respecto á su intensidad. Ahora bien; como el conductor *L* ofrece á la corriente que le ha de atravesar una gran resistencia, por consecuencia de su longitud, debilitando á dicha corriente en igual proporción, es preciso intercalar en la rama *b* una resistencia artificial en forma de hilos muy finos para reducir la intensidad de la corriente respectiva al mismo valor que en la otra rama. Por muy sencillo que esto parezca á primera vista en las líneas terrestres, la explotación práctica del sistema se estrella contra esta circunstancia, sobre todo en líneas muy ramificadas, sobre las cuales se funciona con pilas relativamente muy enérgicas; pues prescindiendo de que una fuerte pila no permanece constante en ningún caso, la continua interposición y separación en el circuito de nuevas líneas, cuyas resistencias varían de un modo tan complejo, hace imposible que el aparato registrador se conserve insensible á la pila de su estación más que por pequeños intervalos de tiempo.

Sin embargo, para los cables submarinos, en los cuales no tienen lugar aquellas dificultades en la forma indicada, la conversación telegráfica adquiere una importancia tanto mayor, cuanto que en ellos es mucho más considerable el coste de los conductores. Pero para nuestro objeto nos basta con demostrar la posibilidad de resolver el problema, y por esto nos abstenemos de penetrar en detalles sobre los procedimientos inventados por Gintl, en Viena, Frischen, en Hannover, Siemens y Halske, en Berlín, y otros.

Al lado del diálogo telegráfico se encuentra la telegrafía *doble*; que tiene el mismo objeto de transmitir el mayor número posible de despachos en el menor tiempo y por el mismo hilo; pero este doble telegrafiado se distingue del *recíproco* en que en él marchan simultáneamente dos ó á veces más despachos, de una á otra estación, en el mismo sentido. El aparato registrador tiene la misión de clasificar los signos de los diferentes despachos que se transmiten mezclados de modo que los que pertenecen á un despacho se compongan realmente en la serie de palabras que lo expresa. Esto se consigue efectivamente con ayuda de movimientos sincrónicos en ambas estaciones. En la Exposición de Viena, en 1873, funcionaba ya un telégrafo cuádruple de Meyer, de París, el cual permitía que simultáneamente cuatro telegrafistas expidieran por un hilo cuatro telegramas distintos. Después, Baudot ha hecho posible el empleo simultáneo de un hilo por seis funcionarios. La descripción del mecanismo de estos aparatos nos llevaría demasiado lejos.

EL CONDUCTOR

Nos resta fijar nuestra atención, después de los aparatos ya descritos, en el *generador de la corriente y el conductor*. Sería inútil hablar de nuevo sobre el primero, puesto que hemos dado á conocer ya con suficiente extensión la generación de corrientes por medio de las pilas galvánicas, así como de los aparatos de inducción; el conductor, por el contrario, es un objeto cuya importancia no nos permite prescindir en absoluto de su estudio.

Las primeras líneas telegráficas fueron las de Gauss y Weber, en Geottingen, y la de Steinheil, en Munich, ambas conducidas en parte sobre las casas, en parte sobre postes. En las instalaciones telegráficas en grande, es preciso establecer puntos de apoyo, en su mayor parte especiales, para los hilos conductores; generalmente se emplean hoy postes de tres á cinco metros de alto, pero que pueden serlo más ó menos, segun las circunstancias, cuyo extremo inferior se clava en tierra, y que en la parte enterrada se carbonizan superficialmente. En América (y también en Java) se sujetan los hilos telegráficos frecuentemente sobre árboles vivos; sólo que en este caso es preciso emplear una suspensión tal, que el hilo no sufra por las oscilaciones que el viento comunica á las ramas. El aislamiento se obtiene generalmente por medio de sostenes de porcelana en forma de campanas; en Francia es usada otra forma de aislamiento, que representa la fig. 403. Modernamente se emplea, en lugar de las campanas de porcelana ó de vidrio, que están muy expuestas á roturas, campanitas de hierro con aisladores de goma endurecida. Mientras que antes se empleaban para los conductores hilos de cobre, después se ha dado preferencia generalmente á los de hierro, mucho más baratos. Su menor conductibilidad se compensa por un grueso correspondiente; el alambre obtiene con esto, no sólo mayor duración por lo que se refiere á las influencias atmosféricas, sino también por lo que hace al peligro del robo, ante el cual el cobre es un objeto mucho más expuesto. Por la interposición de un galvanómetro se reconoce la existencia de deterioros en un punto del conductor. Por la resistencia que opone el conductor á la corriente se puede calcular con bastante seguridad la distancia á la estación del punto donde existe el desperfecto, lo cual es de gran importancia, sobre todo para los cables submarinos.

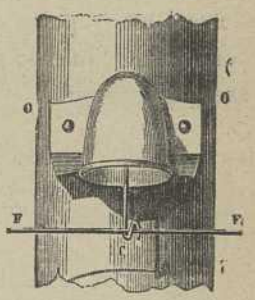


FIG. 403.—Sostenimiento aislador del hilo telegráfico.

El descubrimiento de Steinheil sobre el empleo de la tierra como conductor de regreso de la corriente ha proporcionado, á más de otras ventajas, la de que, como quiera que haciendo suficientemente grande la lámina metálica enterrada

en las estaciones, se puede reducir á un valor casi nulo la resistencia de la mitad del circuito, el hilo conductor que forma la otra mitad puede adquirir con esto un grueso menor, sin que disminuya la intensidad de la corriente.

Sin embargo, en conductores muy largos se debilita siempre la corriente en proporción tan considerable, que más allá de cierto límite no sería ya capaz de poner en movimiento el aparato registrador, y la posibilidad de una telegrafía transatlántica no hubiera podido conseguirse á tan gran distancia si Wheatstone no hubiera inventado un aparato, el llamado *conmutador*, que hace actuar con una nueva energía á las más débiles corrientes. Consiste este aparato, extraordinariamente útil, en que el electro-imán de la estación de llegada 2, no es excitado por la corriente que procede de la estación de origen, 1, sino que esta corriente, muy debilitada tal vez por la excesiva longitud del conductor, sólo actúa sobre una aguja sumamente movible, y cuyo movimiento determina el cierre ó interrupción del circuito de una pila voltaica la *pila local*, que á su vez pone en movimiento al aparato registrador, para lo cual tiene esta corriente la energía necesaria.

LOS CABLES SUBTERRÁNEOS Y SUBMARINOS

Exigen un aislamiento especial, toda vez que están rodeados completamente de cuerpos muy buenos conductores.

Ya se mencionó antes que el profesor Winkler, en Leipzig, condujo ya en 1746 la electricidad por rozamiento mediante largos hilos á través del río Pleisse; sin embargo, ni el objeto perseguido entonces, ni los medios de que disponía para realizarlo, pueden compararse con las exigencias de un cable que tiene que tenderse á lo largo de miles de kilometros á una profundidad de más de 5.000 metros, bajo las circunstancias más dificultosas por todos conceptos, y sufriendo á cada minuto influencias perturbadoras, una de las cuales bastaría, en un caso desgraciado, para hacer perder el trabajo y los cuidados de años enteros.

Para Winkler y su tiempo, la cuestión tenía sólo un interés científico. Pero las experiencias emprendidas por sir W. O'Shanghessy en el río Hugly, cerca de Calcuta, para la organización de la red telegráfica británica de la India, tuvieron ya carácter práctico, así como las de Morse, que en 1842 se ocupó de la colocación de conductores submarinos en América. Las obras inglesas refieren que el coronel Colt colocó en 1846 un hilo telegráfico submarino desde Nueva York hasta la playa de Brooklyn, y sin duda ésta debe ser considerada como la primera empresa de tal género, llevada resueltamente á la práctica. En Europa fué emitido repetidas veces el pensamiento, y particularmente el físico Wheatstone, tantas veces citado, había ya hecho en 1840 una excelente propo-

sición al Parlamento para llevarle á cabo, pero todavía no se había hecho sentir su necesidad; y aparte de la poca confianza que podía abrigarse sobre la reproductividad de semejantes empresas, existían todavía varias imperfecciones técnicas, que era preciso se corrigieran, para que fuera permitido hacer propaganda con la esperanza de un éxito feliz. Durante la guerra del Schleswig en 1848 se verificaron en el puerto de Kiel, con éxito completamente satisfactorio, explosiones submarinas contra la armada danesa; mas para la construcción de grandes cables como conductores telegráficos los métodos de aislamiento por el cautchuc no satisfacían por completo, pues éste se alteraba bajo el agua, perdiendo poco á poco su poder aislador.

Por esta época se introdujeron en el comercio grandes cantidades de gutapercha, cuya sustancia se manifestó muy superior al cautchuc para el objeto, no sólo por la facilidad con que se modelaba, sino, lo que era más importante, que, lejos de deteriorarse, se hacía más densa y conductora por efecto de la gran presión que la masa de agua superpuesta ejercía sobre sus partes, comprimiéndolas entre sí.

La gutapercha constituyó desde entonces una parte integrante indispensable de la cubierta aisladora de los cables submarinos; en 1849 telegrafió ya Walker á través de un conductor de más de 15 kilómetros de largo sumergido en el mar, y Brett, que había obtenido del Gobierno francés una patente para la construcción de una línea submarina entre Francia é Inglaterra, colocó el 28 de Agosto de 1850 el hilo de 45 kilómetros de longitud entre Calais y Dover. El alambre, de espesor de 3 milímetros, y rodeado de una cubierta aisladora de gutapercha, fué desarrollado felizmente por el vapor *Goliat*, que recorrió de tres á cuatro millas inglesas por hora, quedando terminada la operación á la puesta del sol de dicho día. De 100 en 100 metros de distancia llevaba el cable masas de plomo de 7 á 12 kilogramos de peso, con objeto de que le sostuvieran fijo en el fondo del mar. Todas las dificultades fueron satisfactoriamente vencidas; pero los beneficios no fueron duraderos, pues el cable dejó de prestar sus servicios á los pocos días, según se dice, por haberle cortado unos indiscretos pescadores franceses.

No retrocedió por esto el espíritu emprendedor, súbitamente despertado con respecto á este punto: se construyó un cable mucho más grueso, formado por cuatro hilos de cobre del grueso de los alambres ordinarios de los llamadores, los cuales estaban, cada uno de por sí, envueltos en una doble cubierta de gutapercha; los cuatro cables se arrollaban reunidos, formando una cuerda de 30 milímetros de diámetro, por medio de una mezcla de cáñamo, brea y sebo, y el conjunto, finalmente, fué revestido con 10 alambres de hierro galvanizado, de unos diez milímetros de grueso cada uno, de suerte que el todo adquirió un diámetro bastante considerable. La colocación tuvo lugar del 25 al 27 de Septiembre de 1851.

Poco después se establecieron gran número de cables telegráficos á través de ríos, lagos y mares; así, en 1852 quedó unida Inglaterra con Irlanda por un cable desde Holyhead hasta Dublín, cuya capa aisladora se manifestó perfectamente conservada cuando dos años más tarde se sacó el cable del fondo del mar para reparar una avería causada por el áncora de un buque; al año siguiente se tendió un cable entre Inglaterra y Bélgica (Dover-Ostende), más tarde entre Inglaterra y Holanda, Dinamarca y el continente, etc., etc.

Por la misma época (1853) adquirió Brett una concesión para tender un cable desde Spezzia por Córcega y Cerdeña hasta Argel; pero las desfavorables condiciones de profundidad, cuyos abismos llegaban á constituir para el cable una altura de agua superpuesta hasta 3.000 metros, obligaron á abandonar el proyecto como impracticable, á pesar de los grandes esfuerzos realizados en él. El desarrollo demasiado rápido y brusco, merced á la imperfección de los aparatos usados, estropeó el cable; y si bien se había llegado felizmente á Córcega, la línea quedó cortada, aunque á la vista ya de las costas africanas, con lo cual fracasaba por completo el proyecto. Se había empleado una longitud de cable mucho mayor de la calculada, por efecto de las grandes diferencias de nivel; además de esto, se manifestó la necesidad de recoger un trozo que se había deteriorado y sustituirle por otro mejor; en una palabra, se acabó el cable antes de haber llegado á la estación de término. Ciertamente que se proveyó inmediatamente á su terminación; pero en el entretanto, mientras el buque estaba en un mar de 800 metros de profundidad anclado al cable, se levantó una tempestad, y por efecto de los destrozos que aquélla causó en el cable, perdió éste de pronto su poder conductor; hubo que cortarlo de nuevo, pues no era posible pensar en recogerlo. En estos trabajos transcurrieron más de dos años; en 1857 se repitieron las tentativas, pero con tan poco éxito como la otra vez. En cambio, otras instalaciones de cables han tenido mejores resultados en el Mediterráneo, como, por ejemplo, la unión de Italia con Sicilia (1855), Cerdeña con Malta y Corfú (1858); un cable á través del Golfo Pérsico para la línea de Indias por Turquía; Francia tendió una línea desde Marsella á Argel, etc., etc. El resultado generalmente favorable de estas empresas hizo concebir el grandioso pensamiento de unir telegráficamente el Antiguo con el Nuevo Mundo.

Los americanos solicitan para sí la gloria de haber tenido la primera idea de la realización de esta empresa, y realmente fué el ingeniero Gisborne el que, estimulado por el feliz éxito de la colocación del cable entre Dover y Calais, intentó poner en comunicación la red telegráfica del Norte de América con la del Antiguo Continente por medio de un conductor, pasando por Nueva Brunswik, Nueva Escocia y la isla Bretón; desde aquí por la bahía de San Lorenzo á la isla de Terranova, y por la bahía Trinidad á Europa, en donde pensó primero, como punto de enlace, en Valentia (Irlanda). Sin embargo, no se consiguió en mucho tiempo allegar los medios necesarios para la realización de la empresa, y

sólo por la intervención del gran emprendedor Ciro Field se dió á los trabajos preliminares bastante impulso para que fuera posible la instalación de ese cable. Por más interesante que sea la historia de este acontecimiento, no podemos penetrar en la descripción de sus detalles; después de indecibles esfuerzos, dificultades y decepciones, se llegó, por último, en el verano de 1857, á poner en práctica el proyecto con toda felicidad.

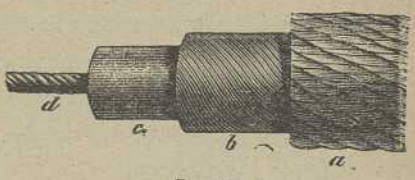


FIG. 404.

FIG. 405.

FIG. 406.

Cables submarinos.

El cable transatlántico, de cuya estructura dan una idea las figuras 404 y 405, poseía una sola cuerda (*d*, fig. 404), constituída por siete alambres finos arrollados entre sí. Esta cuerda estaba inmediatamente rodeada de una cubierta, *c*, consistente en tres capas concéntricas de gutapercha, después con una capa séxtuple de cáñamo, *b*, y, por último, el conjunto estaba protegido exteriormente por una envoltura formada de dieciocho cordones, formados á su vez por alambres de hierro entretejidos, *a*. Este cable parece bastante débil en comparación con otros, como, por ejemplo, el tendido entre Cerdeña y la costa de

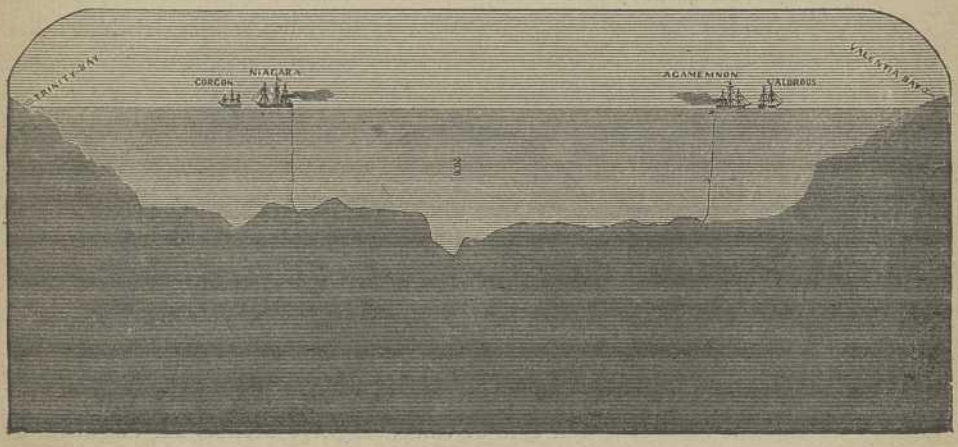


FIG. 407.—Colocación del cable transatlántico.

Africa (fig. 406); pero estaba sometido en el fondo del Océano á influencias perturbadoras mucho menores que un conductor instalado en las costas; además, en la proximidad de éstas el mismo cable transatlántico fué revestido de cubiertas protectoras más fuertes.

La operación misma de colocarle se verificó de la manera siguiente: determinado, después de muchas tentativas fracasadas, el punto medio de las dos estaciones (cuyo punto se hallaba á 52° 5′ de latitud N. y 32° 42′ de longitud O. del

meridiano de Greenwich), se situaron en dicho punto dos buques, cargados cada uno con la mitad del cable, y una vez empalmadas las dos partes, partieron en la dirección previamente fijada el *Agamemnon*, acompañado del *Valorous*, hacia las costas de Inglaterra, y el *Niágara*, acompañado del *Gorgon*, hacia las de América, el 20 de Julio de 1858, á la una y veinticinco minutos de la tarde. El cable estaba arrollado sobre la cubierta, formando un rollo gigantesco, y por su propio peso, así como por el movimiento del buque, iba descendiendo hacia el fondo del mar, pasando por una polea con una velocidad de cinco á seis nudos por hora (fig. 407.)

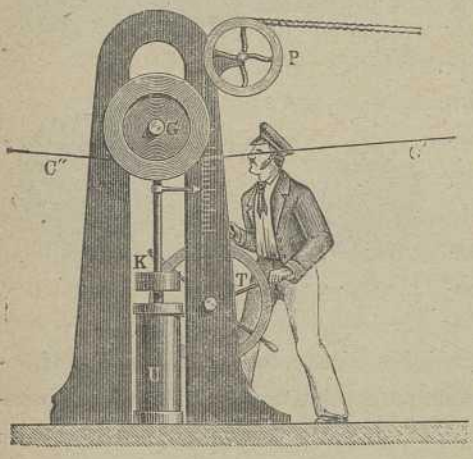


FIG 408.—Dinamómetro y freno.

Una de las mayores dificultades era graduar el movimiento del buque, de suerte que no fuera demasiado grande la tracción ejercida sobre el cable, que en virtud de su peso tendía ya á descender con bastante fuerza, así como tampoco demasiado lento, en cuyo caso éste hubiera quedado doblado, exigiendo una longitud mayor de la necesaria. Era preciso que la velocidad del buque tuviera un valor correspondiente exactamente á la del desarrollo del cable, para conseguir lo cual se recurrió por una parte á un dinamómetro que mostraba la tensión del cable, de la cual podía deducirse la rapidez de su desarrollo, y por otra parte un aparato, especie de freno, mediante el cual se podía graduar la marcha del buque. La fig. 408 muestra en qué forma se realizó este fin durante la colocación del cable transatlántico. *C' C''* es el cable que pasa por bajo de la polea *G* antes de recorrer la rueda que lo extiende sobre el mar. Aquella polea gravita sobre el cable junto con el émbolo *K*, muy pesado y que puede oscilar dentro del cilindro *U*, según la velocidad con la cual el cable desciende, cuya velocidad acrecienta su fuerza tractora, el peso *K* adquiere una posición distinta, señalándose por medio de una aguja adaptada á la varilla del péndulo sobre una escala, é indicando con esto el valor, mayor ó menor, del ángulo formado por el cable, y cuyo vértice está en el punto en que se apoya sobre la rueda *G*. Estas indicaciones permiten influir en la velocidad del buque proporcionalmente á ellas, actuando sobre la rueda *T*, cuyo movimiento se transmite por una cuerda que pasa por la polea *P* á la máquina motriz del mismo. Sólo ejerciendo una atención constante por el día y la noche al juego de este mecanismo para alcanzar rápidamente á cada momento el valor medio apropiado en la tensión del cable, se pudo conseguir evitar la rotura del cable, lo cual hubiera supuesto un fracaso completo de la empresa.

Diferentes veces amenazó muy de cerca el peligro de un accidente. Una de ellas atravesó por detrás del buque, junto á él, una ballena; otra vez se descubrió demasiado tarde un trozo deteriorado, de suerte que por lo pronto se desconfiaba de poderle reparar en tanto que se desarrollaba la parte sana que le precedía; por último, apareció un vapor americano precisamente en dirección del cable, y lo hubiera cortado indudablemente á no haber cambiado su rumbo el *Agamemnon* con bastante oportunidad, y así otra porción de lances. Entretanto los dos buques, *Agamemnon* y *Niágara*, estaban constantemente en comunicación. ¡Qué impaciencia cuando por cualquier circunstancia de la pila se retrasaba la llegada de una señal! Se vivía en constante angustia, temiendo oir á cada instante el desastroso grito *¡cortado!* viendo con él perdidas las grandes sumas y los esfuerzos de años enteros invertidos en el proyecto. El 3 de Agosto había desarrollado el *Agamemnon* 1.005 kilómetros de cable, y el 5 de Agosto, antes de las seis de la madrugada, arrojó el ancla en la bahía de Doulus; poco tiempo después, el primer telegrama daba cuenta de que también el *Niágara* había llevado á cabo felizmente su misión, arribando á Terranova. El año anterior se había intentado ya la colocación del cable de la misma manera, pero con éxito muy desgraciado. Cuando los dos buques (los mismos que en 1858 realizaron felizmente esta empresa) se habían alejado á 1.000 millas inglesas entre sí en medio del mar, cesaron de pronto las señales que á través del cable se transmitían constantemente; el hilo se había roto: no cabía ya hacer otra cosa que salvar el resto separándole de la parte tendida, y regresar al punto de partida para sustituir por otro nuevo el trozo perdido ya para siempre. Según se dice, este accidente fué ocasionado por pretender uno de los buques hacer un cambio en la máquina de desarrollar el cable, mientras éste pasaba constantemente á través de ella. Por consecuencia, se rompió el cable y el otro buque tuvo también por fuerza que desprenderse de él.

La segunda vez fué mejor conducido el asunto. La distancia total recorrida por ambos buques y puesta en comunicación por el hilo telegráfico entre la bahía Trinidad, en Terranova, y Valentia, en Irlanda, mide 1.650 millas inglesas; fueron extendidas unas 2.050 millas de cable, á razón de seis á ocho nudos por hora. Desde la bahía Trinidad se continuó el telégrafo por tierra en la forma ya conocida al otro lado de la isla, y desde allí fué reunido con la red telegráfica americana á través de la bahía de San Lorenzo, isla de Bretón, Nueva Escocia y Nueva Brunswik. Los gastos de colocación subieron á unos 29 millones de pesetas. El telegrama de felicitación de la reina Victoria al presidente de los Estados Unidos exigió para su transmisión dieciséis horas, pues la masa del cable se conduce en el seno del agua como una botella de Leyden que tiene que cargarse previamente para entrar á funcionar.

Pero desgraciadamente, la alegría por el éxito de esta empresa duró poco, pues también en este caso se manifestó bien pronto que dicho éxito no había

sido tan afortunado como se creía. Las señales comenzaron, poco después de los primeros saludos, á hacerse confusas, cada vez más débiles, y cesaron, por último, completamente. La causa de este fatal enmudecimiento, se buscó en motivos muy distintos; pero, estuviera donde estuviera, lo cierto es que no se pudieron evitar tan rápidamente, y que el saludo de congratulación entre los Jefes

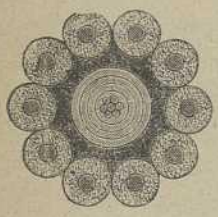


FIG. 409.

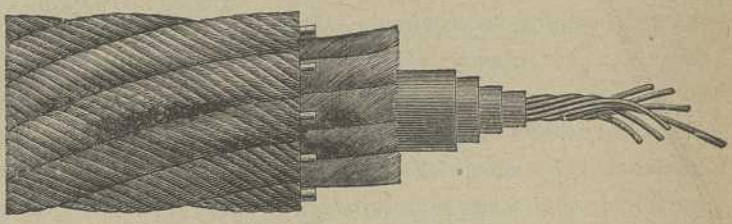


FIG. 410.

Cable submarino de 1865: parte de alta mar.

de ambos Estados el 5 de Agosto de 1858, fué la correspondencia más cara que se ha verificado en el mundo. En total, hasta el 1.º de Septiembre, en que el cable cesó de hablar, fueron transmitidos por él solamente 129 despachos desde Europa á América, y 271 en dirección opuesta. Después de este corto funcionamiento se perdió el cable en grandes profundidades, donde tal vez, revestido de limo, se ofrecerá á los geólogos de la posteridad como un enigma.

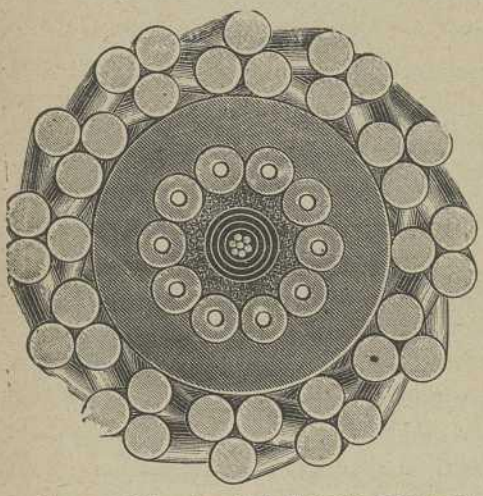


FIG 411.—Cable submarino de 1865: parte de las costas.

Á pesar del fracaso de esta nueva tentativa, no se tardó mucho en oir otra vez excitaciones hacia una repetición del intento. Se hicieron nuevos proyectos, y á principios del año 1864 se presentaba ya esta empresa tan segura, que pudo comenzarse á construir el cable. Este mismo fué dispuesto de un modo algo diferente de los anteriores, utilizando la experiencia adquirida sobre el particular. De la construcción se encargó la fábrica inglesa de Glass y Elliot, los alambres de hierro empleados fueron suministrados por la fábrica Webster y Horsfall, de Birmingham, cuyo suministro fué muy considerable, pues como indican las figuras 409 y 410, constaba el cable submarino de un haz de siete hilos de cobre aislado por una cubierta cuádruple de gutapercha, y protegido inmediatamente de la acción de influencias exteriores perturbadoras por una capa

de cáñamo preparado de un modo especial y revestida exteriormente por diez cuerdas de hilo de alambre fino en espiral. La parte mayor, destinada al fondo del Océano, tenía un diámetro de 30 milimetros; para las porciones que habían de ocupar las costas, en las cuales era de temer la inutilización por efecto de la agitación y el choque de las corrientes, recibió todavía una armadura de doce cuerdas de hierro, cada una formada por tres hilos galvanizados de seis milímetros de grueso, adquiriendo con esto un diámetro de más de 60 milimetros (fig. 411). La masa total del cable pesó 82.000 quintales. Después de hechas todas las pruebas correspondientes, fué cargado á bordo del *Great Eastern*, que partió con él, el 23 de Julio de 1865, de las costas irlandesas. Parecían reproducirse los mismos obstáculos y dificultades que ya antes habían impedido el completo éxito. Fueron también felizmente vencidos los primeros pequeños accidentes, ó al menos se consiguió que no tuvieran consecuencias de importancia. Pero también se rompió el cable por efecto de múltiples tentativas para arrollarle de nuevo, que se emprendieron con objeto de completar un trozo que se suponía inutilizado, y que no quedara ningún recelo de su continuidad para el servicio. Los esfuerzos para levantar el cable ya tendido (próximamente 1.000 millas inglesas) fueron infructuosos, y el *Great Eastern* regresó á Irlanda en la segunda mitad de Agosto de 1865. Se había aprendido mucho, pero había costado caro el aprendizaje.

Esto no fué obstáculo para que en poco tiempo se reuniera un nuevo capital de 15.000.000 de pesetas, se construyera un nuevo cable, nuevas máquinas de desarrollo, y antes de haber transcurrido un año, el 13 de Julio de 1866, zarpaba por segunda vez de Valentia el *Great Eastern* conduciendo el cable que había de enlazar ambos mundos, cuyo extremo desembarcaba catorce días después, el 27 de Julio, en Terranova. En la misma noche quedó ya terminado el empalme, y la comunicación de este acontecimiento fué el primer despacho enviado esta vez del hemisferio Occidental al Oriental. Se había, pues, realizado la obra.

He aquí el primer despacho comercial á través del cable atlántico, transmitido á Londres desde América, por la Agencia Reuter, con las cotizaciones del 28 de Julio: Oro, 50; Londón, 164 ½; Bonds, 7 ½; algodon, 36 *c* tranquilo.» Este telegrama hizo correr en un instante doce días al Antiguo Mundo en cuanto á sus relaciones con el Nuevo, pues las últimas noticias transmitidas habían partido de Nueva York el 16 de Julio en un vapor. El feliz éxito resucitó de nuevo la idea de levantar el cable perdido el año anterior, y suponiendo que se hallara utilizable, como indudablemente debía estarlo, intentar enlazarlo con el resto del cable de 1865, y obtener así una segunda línea telegráfica hasta Terranova. Este plan fué puesto en práctica inmediatamente. El *Great Eastern* fué enviado para ello con su máquina elevadora. Se trataba, en primer lugar, de buscar un sitio donde el cable se hallara á una profundidad no demasiado grande para

que pudiera ser enganchado por el áncora y no se rompiera por su peso al elevarlo. En cuanto se encontró este sitio, fué puesto en movimiento el aparato elevador. El 1.º de Septiembre se había ya cogido el cable, de suerte que era de esperar verle aparecer de un momento á otro sobre la superficie del mar. La impaciencia crecía por minutos; á media noche, por último, flotaba ya sobre el agua, y una hora más tarde se recibía ya contestación al telegrama enviado inmediatamente hacia Valentia. El extremo fué empalmado con la porción llevada á previsión por el buque; en la madrugada del 2 de Septiembre prosiguió su marcha el *Great Eastern*, y el 8 de Septiembre estaban unidos por una doble línea telegráfica los dos continentes, Europa y América. Ambos cables marchan casi paralelos, y separados por una distancia de pocos kilómetros; el de 1866 está hacia el Sur.

Entretanto se han construído una porción de líneas telegráficas submarinas: Europa se halla actualmente en comunicación con los Estados Unidos por medio de diez cables y con la América Meridional mediante otros dos; funcionan otros muchos de menor importancia y diariamente se irán inaugurando otros nuevos, de suerte que pronto serán raros los puntos situados sobre el mar que no tengan ninguna línea telegráfica.

La forma y manera como el telégrafo transatlántico nos hace perceptibles sus indicaciones, ó, lo que es lo mismo, su lenguaje, es muy diferente del de los telégrafos terrestres ordinarios, en los cuales existen condiciones completamente distintas de los conductores, del aislamiento, etc. Las distancias entre las estaciones de los telégrafos terrestres entre las cuales se comunica, es relativamente corta, y particularmente el cuerpo que forma la envoltura exterior del hilo telegráfico, el aire, ejerce una influencia completamente distinta sobre el estado eléctrico de dichos hilos, que el agua que rodea á los conductores submarinos.

Cuantas veces se lanza una corriente ó se interrumpe ésta á través de un cable submarino, se originan en la masa de agua que le rodea corrientes de inducción que á su vez influyen sobre el estado del cable, determinando en él otras corrientes, lo cual hace necesario que después de cada corriente telegráfica se haga pasar inmediatamente por el hilo una segunda corriente más débil y de sentido contrario que neutralice las corrientes de inducción. Pero el obstáculo principal que ofrece la telegrafía submarina en comparación con la terrestre, consiste en que los hilos telegráficos, las cubiertas de gutapercha y el agua se combinan en una acción completamente análoga á la de una botella de Leyden, en la que los hilos telegráficos corresponden á la armadura interior, las cubiertas de gutapercha al vidrio del vaso, y el agua del mar á la armadura exterior. Esta botella está en cierto modo estirada á lo largo, pues se extiende desde el uno al otro continente, y considerando al cable bajo este punto de vista, no es de extrañar que haya de preceder una cierta carga del aparato transmisor antes de que pueda ejercerse una acción en el otro extremo. Esta circunstancia

es tan importante en las largas líneas submarinas, que, por ejemplo, en una línea entre Francia y Australia serían necesarios diez minutos próximamente para que el hilo telegráfico quedara cargado y se estableciera por él una corriente continua, y, por consiguiente, para que fuera posible la transmisión de signos telegráficos.

Ahora bien: al tratar de las botellas de Leyden, hemos visto que las tensiones de la electricidad de ambas armaduras, representadas aquí por el hilo y el agua del mar, llegan á atravesar el obstáculo que se opone á su combinación, abriéndose paso á través del aislador, cuando se hacen demasiado intensas. Si ocurriera en un cable submarino este caso, y por efecto de la tensión eléctrica fueran agujereadas las cubiertas de gutapercha aisladoras del alambre, quedaría destruída la línea; y como en la mayor parte de los casos es muy difícil descubrir el punto deteriorado, perdida por completo toda la obra. Antes de que la experiencia de estos accidentes hubiera suministrado conocimientos exactos sobre el particular, se han inutilizado varios cables por esta causa. Se creía que para vencer la resistencia producida por la larga longitud del conductor era preciso emplear fuertes pilas, mientras que precisamente con esto se originaba una tensión muy peligrosa entre la electricidad del alambre y la del agua, cuya tensión podía causar fácilmente una chispa perforadora en cualquier punto del aislador, cuya resistencia fuera algo más débil que en el resto. Para limitar la tensión eléctrica entre las dos armaduras de este condensador á un grado que no ofrezca semejante peligro, deben emplearse, por el contrario, pilas débiles. Pero una débil corriente no puede producir al otro extremo de la línea sino muy débiles acciones, máxime cuando á su paso por el hilo pierde una parte de su intensidad; de aquí que en los telégrafos submarinos, cuyos conductores atraviesan considerables distancias, no pueden usarse los aparatos ordinarios de nuestros telégrafos gráficos é impresores.

Alemania está hoy atravesada por líneas telegráficas, no solamente por encima, sino también por debajo de tierra, que forman una red libre de todo accidente exterior entre los principales puntos comerciales y comarcas industriales. Para el establecimiento de estas líneas subterráneas se manifestó conveniente la construcción de un cable especial. En 1869 se terminó la edificación de una fábrica fundada en 1865 por Siemens y Halske con este objeto, y según el modelo de la fábrica de cables de los hermanos Siemens, en Woolwich, que hasta entonces había atendido á las necesidades de este género en Alemania. Esta nueva fábrica forma parte del establecimiento telegráfico de los mismos dueños. Los dos grandes cuerpos del edificio, cuyo corte transversal representa nuestra figura 412, tienen, con las casas de generadores de vapor anejas, 85 metros de largo, con una altura de 18 y 22 metros respectivamente, y un hueco de ocho metros de ancho en los talleres. A principios del año 1877 las máquinas distribuídas en once talleres eran puestas en movimiento por tres motores de vapor

con una fuerza total de 75 caballos. Dos motores impelían las correas transmisoras que recorrían todos los talleres, y una tercera las prensas de gutapercha.

Dada su situación territorial, la fábrica de cables de Berlín se dedica más bién á la construcción de cables subterráneos. Construye las cuerdas formadas por delgados hilos de cobre arrollados entre sí, las recubre con gutapercha,

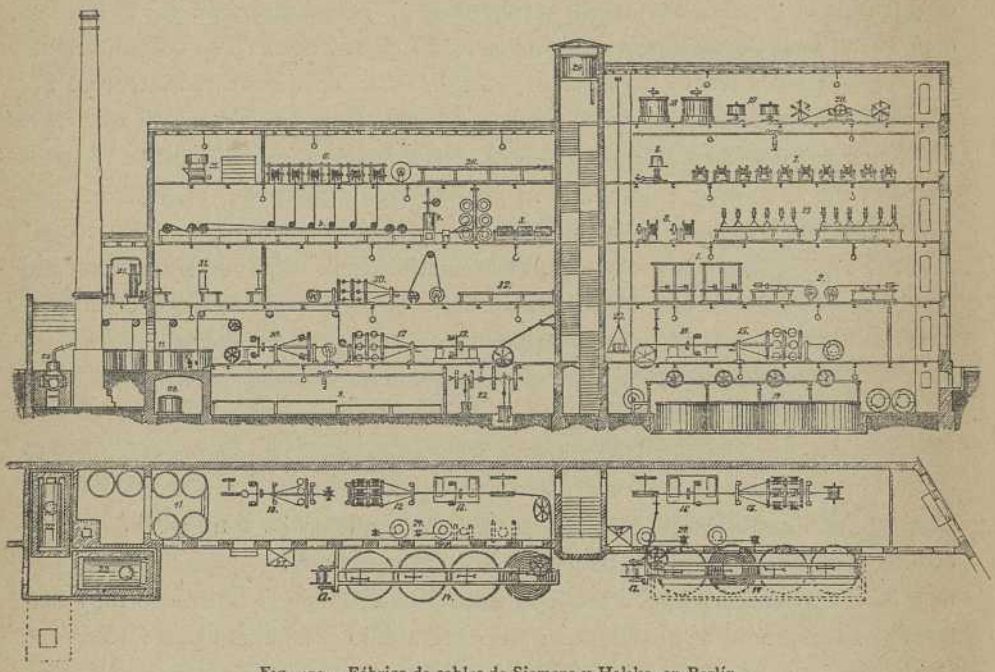


FIG. 412.—Fábrica de cables de Siemens y Halske, en Berlín.

1. Máquina que arrolla el alambre de cobre.—2. Máquina que acordona el mismo.—3. Máquina que limpia la gutapercha.—4. Prensa de gutapercha.—5. Cuba refrigerante de los hilos.—6. Máquina desarrolladora de los filones.—7. Taller de reconocimiento de los hilos.—8. Máquina arrolladora de los hilos.—9. Vasijas para ensayo de los hilos.—10. Máquina para acordonar los cables.—11. Vasijas de ensayo para las cuerdas de los cables.—12. Máquinas para recubrir los hilos.—13. Máquinas para la cubierta de asfalto.—14 Vasijas de ensayo para los cables.—15. Máquinas para recubrir los hilos para cables fluviales —16. Máquinas para las cubiertas de asfalto.—17. Máquinas arrolladoras de los cables.—18. Vasijas para fundir el asfalto.—19. Máquinas centrífugas para yute —20. Máquinas arrolladoras del yute —21. Máquina refrigerante.—22. Caldera de vapor.—23. Motor de vapor.—24. Máquina arrolladora del alambre de hierro.—25 Marmita para «compound.»—26. Hilera para cables de plomo.—27. Ascensor.—28. Vasija para impregnar el cable.—29. Depósito de agua.—30. Pequeña máquina tejedora del cable.—31 Gabinete para experiencias eléctricas.—32. Taller de reparaciones.—33. Máquina de bobinas para el cable.

reune después en gruesos cables varios de estos cordones conductores ya aislados y los recubre finalmente con una coraza protectora de alambre de hierro. Los hilos conductores construídos hasta hoy por esta fábrica, añadidos unos á otros, formarían una longitud que podría dar la vuelta á la esfera terrestre.

Si penetramos en una de nuestras oficinas telegráficas, oímos distintamente el tic tac del estilete del aparato registrador, el ruido sordo que producen en su marcha las ruedas del aparato de relojería, y sin embargo, un oído ejercitado puede leer por las interrupciones del manipulador lo que se telegrafía á Mar-

sella, mientras que al mismo tiempo recibe una noticia de San Petersburgo. Los puntos más apartados de la tierra comunican entre sí de un modo perceptible por nuestro oído. No sucede así en una estación del telégrafo transatlántico. Mientras que en aquélla entran y salen los mensajes en todas direcciones de un modo comparable á la agitación de las palomas en un palomar, en éste no percibimos más que una sola voz. Una voz cuyo origen se halla tan lejano de nosotros, que suspendemos nuestro aliento para que el susurro de éste no perturbe su percepción; procuramos que exista á nuestro alrededor el silencio de la noche, pues esperamos un grito del otro hemisferio, cuyo grito no debe ser oscurecido por ningún rumor. En el centro de una gran habitación oscura se halla un hombre atento á la observación, por medio de un pequeño anteojo, de una aguja magnética suspendida del techo por un hilo largo. Se han tomado todas las precauciones necesarias para que nada influya sobre este cuerpo sumamente movible, comunicándole oscilaciones, ú oponiéndose á las que él pueda realizar; se evita hasta la más débil corriente de aire, pues los movimientos más imperceptibles de la aguja significan señales enviadas desde el otro hemisferio, y no es cosa de que exista confusión alguna en su perfecta inteligencia. Para reconocer con toda seguridad las pequeñas desviaciones de la aguja, ya hacia la derecha, ya hacia la izquierda, por cuya combinación se forma el alfabeto, dicha aguja magnética lleva un espejito en el cual sigue el observador, á través de su anteojo, la imagen reflejada de una escala intensamente iluminada y colocada á varios metros de distancia, y se distinguen en su significación las menores desviaciones de la aguja y de la imagen producida por reflexión en el espejo, porque este movimiento se detiene breves momentos sobre una letra correspondiente de la escala. Toda esta sutilidad es precisa, pues la fuerza que llega procedente de allende los mares actuando sobre estos delicados aparatos, tiene sólo el poder de un soplo casi imperceptible.

RELOJES ELÉCTRICOS Y APARATOS DESPERTADORES

El pensamiento de telegrafiar el tiempo surgió probablemente bien pronto, sobre todo después que la telegrafía eléctrica dió sus primeros pasos. También sobre este particular fueron los dos grandes físicos Steinheil y Wheatstone los que realizaron las primeras tentativas para obtener relojes eléctricos; el primero en 1839, y el segundo en el año siguiente. Desde aquella fecha casi todos los inventores sobre telegrafía práctica, así como también relojeros, astrónomos y físicos, se han ocupado del perfeccionamiento de los relojes eléctricos, pero particularmente se han hecho notar por modificaciones sumamen-

te convenientes los modelos de Bain, Stohrer y Cholle, Siemens y Halske y otros.

La esencia de los relojes eléctricos consiste en poner en comunicación por medio de hilos conductores las saetas de relojes lejanos, con un reloj normal de pesas. En el punto donde se halla el reloj normal está también la pila para la generación de la corriente. Sobre cada una de las estaciones en comunicación se han instalado un electro-imán, que es excitado por la corriente procedente de aquella pila. Este electro-imán atrae, como el telégrafo de cuadrante de Wheatstone, á una pieza de hierro en forma de áncora, permitiendo así correr un diente á una rueda de escape. En la estación secundaria la rueda de escape tiene un número de dientes, correspondiente al intervalo de tiempo, bien de un segundo, bien de un minuto ú otro cualquiera, según el cual se cierra el circuito en la estación principal, y aquel número de dientes determina otros tantos avances de la aguja sobre la esfera, correspondientes al mismo intervalo de tiempo. La transformación de minutos en segundos se verifica después por medio de ruedas dentadas en la forma ordinaria.

Finalmente, Wheatstone ha utilizado también la acción instantánea de la corriente eléctrica para la construcción de un *cronóscopo* muy interesante, que hace perceptible y medible el intervalo de tiempo entre dos momentos sucesivos, por más que la sucesión sea sumamente rápida. Este aparato muestra de un modo seguro el tiempo transcurrido desde el momento en que una bala comienza su movimiento en el interior de un cañón, hasta el momento en que sale del mismo, la velocidad con la cual se transmite al cerebro la excitación nerviosa, y el espacio de tiempo que invierte la voluntad en poner en actividad á los músculos, caminando desde el cerebro por el sistema nervioso. El órgano característico de este aparato es un disco, que gira rápidamente alrededor de su eje, y cuya velocidad está regulada por un aparato de relojería. El anillo externo del disco, recubierto de una capa de estearina, se halla enfrente de un estilete muy fino, el cual está unido á un electro-imán; de suerte que cuando se establece la corriente se precipita sobre dicho anillo, trazando una raya en la capa de estearina, en tanto que pasa la corriente y el áncora está retenida por el electro-imán. El disco mismo está provisto de una división circular todo lo fina posible, y un grado de esta división invierte para pasar por delante de la punta del estilete $\frac{1}{3.600}$ de segundo, cuando el disco da 10 vueltas por segundo. Si, por ejemplo, el trazo señalado abarca nueve, el tiempo durante el cual el circuito ha estado cerrado será, por consiguiente, $= \frac{9}{3.600} = \frac{1}{400}$ de segundo; todavía se pueden leer con exactitud décimas de grado, una de las cuales correspondería á $\frac{1}{36.000}$ de segundo.

La forma y manera como los dos momentos cuyo intervalo de tiempo se

quiere medir producen el cierre ó apertura del circuito, hay que inventarla en cada caso particular. La bala de cañón, por ejemplo, podría interponerse entre los dos hilos conductores adaptables exteriormente al tubo del cañón, de modo que antes del disparo fuera atravesada por la corriente, mientras que rompiendo un alambre fino extendido transversalmente en la boca del cañón, interrumpiera otra corriente al pasar por este punto.

LA BRÚJULA

Los antiguos conocían imanes naturales.—Procedencia de éstos.—Fuerza atractiva y fuerza directiva.—Los polos.—Imanes artificiales y su construcción.—Descubrimiento de la brújula. Construcción de ésta.—Magnetismo terrestre.—Declinación, inclinación é intensidad.—Variaciones del magnetismo terrestre y su determinación.—Estaciones magnéticas.—La aurora boreal.—Meteoro magnético.

EXISTE en la Naturaleza una piedra negruzca sin brillo, cuyas propiedades son de más valor que las del diamante más costoso. Dicha piedra, ni sirve de adorno, ni puede suministrar otra sustancia que un trozo de hierro; por consiguiente, su utilidad debe residir en una condición completamente especial. Y, efectivamente, si se pasa este mineral por una caja con limaduras de hierro, se reconoce inmediatamente que deben existir en él fuerzas especiales, pues permanecen adheridas á su superficie grandes porciones de esas limaduras en forma de una especie de borla ó flecos, agrupándose principalmente en dos puntos situados hacia los extremos opuestos de la piedra. Y si colocamos ésta de modo que pudiese girar libremente sobre su punto de apoyo, en un barquichuelo flotante sobre el agua, y colocáramos la quilla del mismo en una orientación cualquiera, siempre veríamos girar al flotador y adquirir una direc-

ción fija y perfectamente determinada, de suerte que un punto particular del mineral quedara vuelto hacia el polo Norte, y el otro punto vuelto hacia el polo Sur. Y precisamente estos dos puntos notables que, por efecto de la fuerza directriz que muestran, se designan respectivamente con los nombres de polo Norte y polo Sur, son los mismos en los cuales se acumulaban preferentemente las limaduras de hierro en la experiencia anterior.

No es preciso decir que esta piedra, que es el mineral conocido con los nombres de *imán* ó *piedra imán*, es la que, en virtud de tan admirable propiedad, guía en su rumbo á los buques, conduciéndoles sobre la superficie ilimitada de los mares en medio de la oscuridad y de las tinieblas de la noche, cual el hilo de Ariadna, y con la misma seguridad que si se encontraran en una calle habitada.

El imán es un mineral de hierro constituído por óxido ferroso férrico, combinación que se diferencia del óxido de hierro ordinario sólo por contener menor proporción de oxígeno. Su nombre procede de la ciudad lídica Magnesia, en cuyas inmediaciones fueron encontradas minas de dicha piedra; además se la llama también piedra lídica de Hércules, etc., y servía ya á los sacerdotes de la antigüedad para dar una apariencia mística á sus misteriosas aplicaciones.

Lucrecio habla de anillos de hierro suspendidos del techo de los templos y que colgaban unos de otros sólo por la atracción que ejercían entre sí en los puntos de contacto. Se conocía la acción del imán sobre las cotas de malla, y la imaginación en épocas de escasa cultura exageró esta propiedad hasta tal extremo, que se fantaseaba sobre grandes rocas magnéticas en el Océano, que desde lejos atraían hacia sí todo objeto de hierro, y desviaban de su camino al buque con fuerza incontrastable, antes de que se pudiera sospechar por ningún otro indicio la proximidad de estos peligrosos escollos. Tales supersticiones duraron largo tiempo, con gran perjuicio de la navegación, y no deja de ser curiosa é instructiva coincidencia que precisamente esta fuerza que se consideró como origen de tantos y tan grandes peligros, haya sido después, por el reconocimiento de una de sus maneras de obrar, la que ha prestado auxilio al hombre para atravesar los mares más apartados y desconocidos del mundo.

En Europa parece que en la antigüedad sólo se admiró la fuerza atractiva del imán; si se hubiera conocido su fuerza directiva característica, no hubiera podido pasar inadvertida su acción como guía en los viajes terrestres ó marítimos. Los chinos, por el contrario, tenían ya veinte siglos antes de nuestra Era, según parece comprobado, pequeñas balanzas magnéticas, las cuales les mostraban su camino á través de las inmensas estepas de la Tartaria, pues una figurilla adaptada á aquel instrumento señalaba siempre con el brazo extendido hacia el Sur. En el tercer siglo de la Era cristiana se servían ya los chinos de una aguja magnética suspendida por un hilo de seda. En los pueblos occidentales, y probablemente por primera vez en las naciones marítimas del Norte, se suspen-

día la piedra misma de un hilo ó se colocaba encima de una planchita, dejándola flotar sobre una superficie tranquila de agua. En el antiguo romance francés de la Rosa, que fué escrito en 1180, se cita el imán bajo el nombre de *marinette*, lo cual permite deducir que se aplicaba ya á la navegación. Aunque algunos dicen que Marco Polo aprendió de los chinos el uso de la brújula magnética, el verdadero descubrimiento de esta aplicación de los imanes se atribuye por los napolitanos á un tal Flavio Gioja, que vivió por el año 1300. Como quiera que el imán guiaba á los viajeros entre los pueblos del Norte, se le llamó *leitstein* ó *leitarstein* (de *stein*, piedra, y *leiten*, guiar), y es probable que ya mucho antes se hubieran encontrado imanes en Noruega y Suecia, pues su yacimiento no está limitado á las minas lídicas antes citadas; existen grandes cantidades en capas y masas en Danémora, Arendal, Siberia, Inglaterra, Harz Pirna, el Escorial, etc., en donde la piedra imán, que por otra parte no tiene siempre las propiedades aludidas en el mismo grado de intensidad, se explota como el mineral más á propósito para la extracción del hierro.

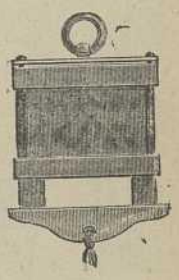


FIG. 413 — Armadura de un imán natural.

Los imanes naturales parece ser que no adquieren sus propiedades hasta que salen del seno de la tierra al aire libre. Se puede acrecentar considerablemente su acción, sobre todo en cuanto al poder atractivo, revistiendo sus dos superficies polares con armaduras de hierro que terminan en dos puntas gruesas, próximas entre sí. Estos dos extremos se unen por una barra de hierro, el áncora, y el imán armado de esta suerte puede sostener con frecuencia una carga más de doscientas veces mayor que sin ellos.

Por más que generalmente cada imán sólo tiene dos polos, uno Norte y otro Sur, y entre ambos una región neutral, se dan casos en que los imanes ofrecen varios puntos de atracción máxima, ó sea varios polos; pero esto es raro, y siempre efecto de irregularidades en la estructura interna del mineral.

Por otra parte, la acción atractiva no se limita exclusivamente al hierro, sino que también se ejerce, aunque en menor grado, sobre el níquel y cobalto; Faraday y otros han demostrado que el magnetismo ejerce una influencia no despreciable sobre todos los cuerpos. Se reconoce ésta por una repulsión especial, y recibe el nombre de diamagnetismo. Por más que las investigaciones sobre este asunto están muy distantes de ser decisivas, se ha pretendido deducir de ellas, con absoluta seguridad, ese cúmulo de confusiones á propósito de supuestas propiedades magnéticas del cuerpo humano, formando el magnetismo animal, el sonambulismo, etc., especie de castillos encantados por el fantasma de la ignorancia científica.

IMANES ARTIFICIALES

Las propiedades magnéticas pueden también comunicarse al hierro y acero de un modo artificial. Uno de estos medios es el que hemos conocido ya en las corrientes eléctricas (electro-imanes), de cuya propiedad dedujo Ampère una teoría sencilla sobre la esencia del magnetismo. Supongamos que el cuerpo magnético esté atravesado por corrientes paralelas y cerradas, esto es, que vuelven sobre sí mismas; podrían explicarse todos los fenómenos magnéticos en virtud de las leyes conocidas sobre la acción recíproca de las corrientes. Si el polo Norte del imán está dirigido hacia nosotros, las corrientes marchan hacia abajo por la izquierda, y hacia arriba por la derecha; si es el polo Sur el que está en presencia nuestra, sucede lo contrario.

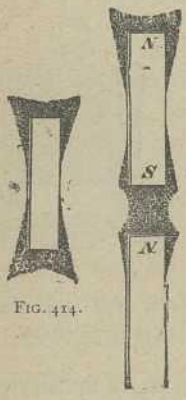


Fig. 414.

Fig. 415. Comunicación del magnetismo por influencia.

Un trozo de hierro colocado en la proximidad de un fuerte imán, adquiere propiedades magnéticas; esto es un hecho. La causa está en que las corrientes eléctricas del imán excitan en el trozo de hierro, hasta entonces no magnético, corrientes circulares correspondientes á las de aquél. Ó bien, si partimos de la suposición de que existe en el hierro, como en todos los cuerpos, cierta cantidad de electricidad neutra que por la aproximación de un cuerpo electrizado se descomponga en sus elementos constituyentes de electricidad positiva y negativa, y también que en el hierro circulan ya corrientes eléctricas, pero en todas las direcciones posibles, y, por tanto, sin efecto ninguno exterior, porque se neutralizan mutuamente, y que estas corrientes ya existentes, fueran todas colocadas paralelamente por la influencia de las corrientes en dirección determinada del imán, de un modo análogo á lo que representa la figura 414. De todos modos queda sobrentendido que, en presencia del polo Norte del primitivo imán, se originará un polo Sur, y en presencia del polo Sur un polo Norte (fig. 415) y que el polo Norte y el polo Sur se atraerán, mientras que los polos del mismo nombre se repelarán, porque en estos las corrientes tienen dirección contraria. Esta excitación del magnetismo por la aproximación de un imán es en cierto modo comparable con la electrización por influencia. En las limaduras de hierro atraídas por un imán se excitan también corrientes, de suerte que lo atraído no es la sustancia del hierro, sino más bien las corrientes paralelas que residen en el interior de ambos cuerpos, y que ejercen entre sí acciones atractivas.

Como quiera que el acero templado conserva largo tiempo la condición magnética así adquirida, se forman imanes artificiales frotando una barra de ace-

ro siempre en la misma dirección con un imán enérgico, bien sea natural, bien haya sido obtenido artificialmente.

Hoy día se emplean casi exclusivamente para este fin las corrientes eléctricas. Se reunen en un haz varias de estas barras de acero magnetizadas (constituyendo los llamados haces magnéticos) y se las dobla generalmente en forma de herradura. En estos haces los polos del mismo nombre se hallan colocados superpuestos en todas las barras magnéticas.

Fig. 416. Haz magnético en herradura.

Todavía tenemos que consignar una particularidad de los imanes, que es muy propia para comprobar la teoría de Ampère. Consiste en que si se parte una barra magnética por la mitad, ó sea por donde existe su región neutra, cada uno de los dos trozos partidos adquiere en la superficie de fractura un polo magnético del nombre contrario. La mitad del imán que conserva el polo Norte adquiere un nuevo polo Sur, y la otra mitad que contiene el polo Sur adquiere un polo Norte; de suerte que se obtienen por este medio dos imanes independientes. Recíprocamente, si se adapta al polo Norte de un imán el polo Sur de otro imán, desaparecen aquí los efectos magnéticos y sólo subsisten los otros dos polos de los extremos. Para explicarse este fenómeno, no hay más que representarse las espirales (véase la fig. 361) é imaginar que éstas se cortan ó se prolongan por la reunión de trozos iguales por sus extremos.

LA BRÚJULA

Esta aplicación, la más transcendental de los fenómenos magnéticos, no es otra cosa que una aguja de acero imantada que puede moverse con toda libertad alrededor de su centro. La dirección determinada que la aguja adquiere siempre abandonada á sí misma, sirve de guía en las empresas más variadas; pues no sólo se sirven de ella los navegantes, sino que también hacen uso de la misma los ingenieros en sus medidas terrestres, los mineros en sus trabajos subterráneos, los geólogos para la determinación de la orientación é inclinación de las capas de roca, los exploradores terrestres, astrónomos y físicos, estando la brújula dispuesta de un modo distinto, y correspondiente á cada una de estas múltiples aplicaciones. Unas veces la aguja está suspendida de un hilo, otras se apoya sobre un eje vertical. La forma más sencilla es aquella en que la aguja magnética está provista en el centro de un alvéolo de acero duro ó de ágata pulimentada que gira sobre la punta de un eje vertical. Debajo de la aguja se halla un círculo graduado, sobre el cual puede determinarse el ángulo de desviación de una dirección cualquiera con respecto á la dirección del eje terrestre.

La brújula marina está dispuesta de un modo algo diferente, pues en ella el

disco circular graduado de papel, está pegado á otro de talco ó espato calizo unido invariablemente á la aguja y que gira con ésta, indicando las desviaciones por medio de una señal colocada exteriormente y que corresponde al eje longitudinal del buque. Entre los chinos este círculo lleva una división en veinticuatro partes; entre los japoneses, en doce. Entre nuestros mineros, de los cuales se

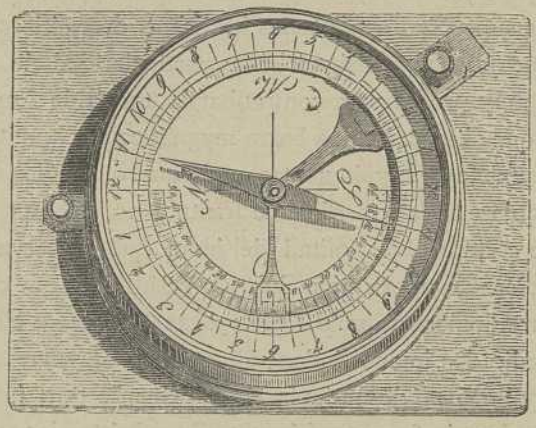


FIG. 417.—Brújula minera.

transmitió el uso á los ingenieros, geólogos, etc., la división comprende dos veces doce partes llamadas horas (véase la fig. 417). Sin embargo, se verifican también determinaciones científicas con la división circular usual en 360°. La aguja está colocada, en las brújulas ordinarias, en una caja cilíndrica provista en la parte superior de una tapadera de vidrio. Para mantener en reposo dicha aguja mientras no sean necesarias sus indicaciones, está provista de un mecanismo que la levanta sobre su apoyo. Para evitar la influencia de las oscilaciones de los buques, la brújula marina está apoyada sobre una de las llamadas suspensión Cardán, que consiste en dos anillos muy movibles alrededor de ejes rectangulares entre sí, y uno de los cuales está llevado por el anillo exterior (véase la fig. 418).

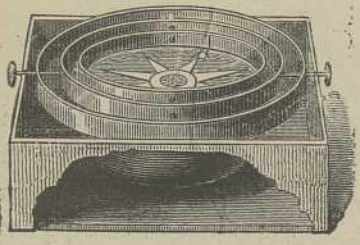


FIG. 418.—Brújula marina en suspensión Cardán.

MAGNETISMO TERRESTRE

Si nos preguntamos por la causa que da á la aguja magnética su dirección constante, se nos manifestará desde luego que dicha causa debe ser exterior; pues aunque existiera en el interior de un cuerpo una fuerza tan intensa, no po-

dría nunca determinar un movimiento total del cuerpo mismo, sin que se le diera en algún modo un punto de apoyo exterior. Y como quiera que es fácil demostrar que á un imán sólo puede desviar de su dirección el mismo magnetismo, ó, lo que es lo mismo, las corrientes eléctricas, resulta que la fuerza directriz de los imanes, fuerza que podemos observar sobre toda la tierra y hasta en las más elevadas regiones de la atmósfera, hay que suponerla en una condición magnética de la tierra esparcida por toda su masa.

La tierra es comparable á un gran imán; tiene dos polos, uno de los cuales debe hallarse en la proximidad del polo Norte geográfico, y el otro en la proximidad del polo Sur, puesto que la dirección de la aguja magnética, el *meridiano magnético*, coincide sobre toda la superficie terrestre próximamente con el meridiano geográfico. Realmente la coincidencia no es completa, y las relaciones magnéticas terrestres no conservan tampoco una estabilidad absoluta.

La determinación del estado magnético de la tierra constituye así, constantemente, uno de los problemas más importantes para el físico, pues se trata de una fuerza cuya acción es general y cuya esfera de actividad sobre los fenómenos terrestres no se ha podido trazar todavía con completa seguridad. Sin embargo, algunos fenómenos, particularmente curiosos é interesantes, como la aurora boreal, nos proporcionan ejemplos bastante elocuentes de la transcendencia que hay que atribuir al magnetismo en el estado físico de la tierra. Humbolt, en particular, ha prestado servicios inolvidables á esta parte de la geografía física. A impulso de sus poderosas excitaciones se ha establecido por toda la tierra una red de estaciones meteorológicas, en las cuales se mide y registra á horas determinadas, y según plan general, los cambios en la presión atmosférica, estado higrométrico, temperatura, dirección del viento, etc., pero particularmente el estado magnético de nuestro planeta, de modo que por la reunión de las observaciones practicadas aisladamente, se está en condiciones para formarse una imagen exacta del estado general de la tierra en cuanto á estos fenómenos físicos se refiere. Y al mismo tiempo que Humbolt llamaba la atención general sobre tan importante asunto, estableciendo una base para su desenvolvimiento práctico, otros sabios han enriquecido brillantemente esta ciencia, todavía en la infancia, con la invención de métodos apropiados de observación y la discusión de los resultados obtenidos por medio de ellos. Gauss y Weber, en particular, han contribuído poderosamente á la formación de una parte tan importante de las ciencias naturales, con sus ingeniosos métodos de observación. Mediante ellos se ha hecho posible seguir las huellas y reconocer las manifestaciones de aquella fuerza á que antes aludíamos en sus misteriosas oscilaciones, y á pesar de hallarse su centro de acción á miles de kilómetros de distancia.

DECLINACIÓN, INCLINACIÓN É INTENSIDAD MAGNÉTICA

Si comparamos la tierra á un verdadero imán, y llamamos polo Norte magnético al que se halla en la proximidad del polo Norte geográfico, el extremo de la aguja magnética que se dirige hacia aquel polo Norte deberá ser en rigor un polo de nombre contrario, ó sea un polo magnético Sur de la aguja. No le llamamos así, sin embargo, sino también polo Norte, atendiendo al punto cardinal hacia el cual está dirigido; y esta denominación, aunque falsa, seguiremos empleándola, puesto que viene estando tanto tiempo en uso, aunque sin atribuirle significación ninguna respecto á la naturaleza íntima del magnetismo contenido en dicho polo.

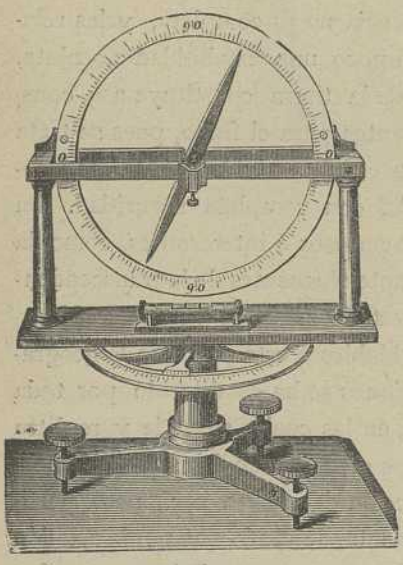


FIG. 419.—Inclinatorio.

Si ahora suspendemos una aguja magnética, de suerte que pueda girar libremente alrededor del punto de suspensión, no sólo en un plano horizontal, sino también verticalmente en todos sentidos, observaremos que al mismo tiempo que uno de sus extremos se dirige hacia el polo Norte magnético, la aguja adquiere también cierta inclinación respecto al horizonte, cuya inclinación se reproduce siempre con el mismo valor cuantas veces se separe la aguja de su posición espontánea de equilibrio. Deberemos, pues, admitir que la resultante de las atracciones y repulsiones de los polos terrestres sobre los polos de la aguja, se halla en dirección de esta posición de equilibrio; y del mismo modo que se determina la llamada *declinación* magnética por el ángulo que forma la dirección horizontal de la aguja sobre la brújula con el meridiano astronómico, designándose esta declinación con los nombres de oriental ú occidental, según los casos, se determina también la llamada *inclinación* magnética por el ángulo que forma la aguja suspendida libremente con la horizontal. Para esto se emplea un instrumento especial, el llamado *inclinatorio*, ó brújula de inclinación, cuya disposición se reconoce fácilmente por la fig. 419. La declinación y la inclinación magnéticas son distintas para los diferentes puntos de la tierra, y las líneas que unen entre sí los puntos de la superficie de la tierra de igual inclinación se designan con el nombre de *paralelos* magnéticos, así como con el de

meridianos magnéticos las que unen los puntos de igual declinación, y ambas con el nombre de *curvas magnéticas* (véase la fig. 420).

La observación de la declinación, ó sea el hecho de que los polos magnéticos no coinciden con los geográficos, se encuentra por primera vez expresada en los libros de navegación de Cristobal Colón, escritos por éste en su primer viaje de exploración en 1492. Con fecha 13 de Septiembre se lee en ellos: «Al cerrar la noche, mostraba la brújula una desviación hacia el Noroeste; en la mañana era un poco menor.» Pero el audaz navegante buscaba la causa del fenómeno, no en las condiciones magnéticas de la tierra, sobre cuya naturaleza se tenía entonces

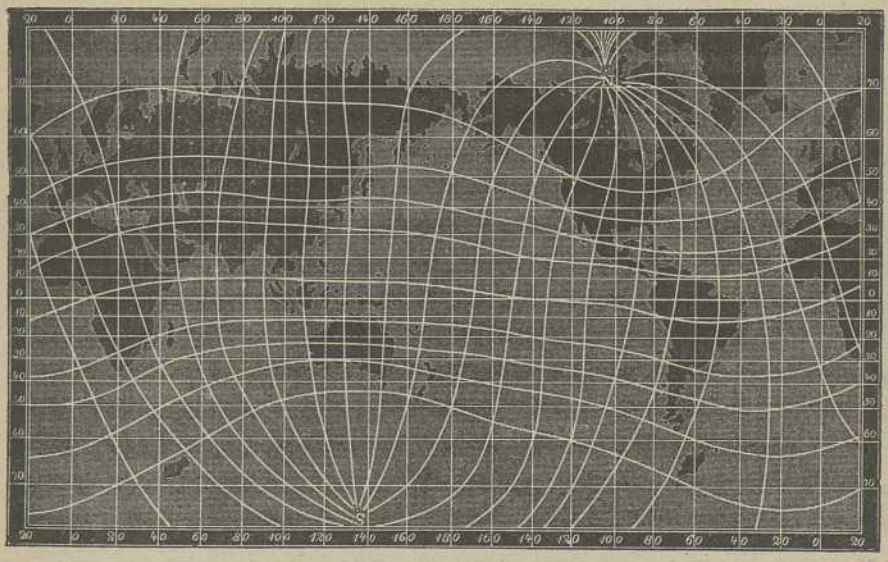


Fig. 420.—Curvas magnéticas.

un concepto muy imperfecto, sino en la circunstancia de que la estrella polar no mostraba exactamente el polo astronómico, sino que verificaba un movimiento circular que no era seguido por la aguja; y apoyado por la circunstancia casual de que á la mañana siguiente no se hizo ya perceptible el fenómeno cuya repetición había inquietado á la tripulación, tranquilizó á ésta con la explicación antedicha. Sólo al regreso de las Indias Occidentales se persuadió Colón de su error, reconociendo que el rumbo del viaje en el mar Atlántico daba una línea á lo largo de la cual la aguja magnética experimenta modificaciones en el transcurso del tiempo, y que en 1492 dichas agujas se ofrecían en posición distinta que hoy sobre los mismos puntos de la tierra. En ambos polos las agujas magnéticas se colocan verticales, desapareciendo por completo la declinación. Por el contrario, la inclinación máxima en estos puntos disminuye hacia el Ecuador, existiendo en esta región una zona anular alrededor de la tierra, donde es nula, esto es, donde la aguja magnética, atraída con igual intensidad por ambos po-

los, se mantiene en posición completamente horizontal. Este anillo se llama ecuador magnético.

A más de la declinación y de la inclinación, hay que tomar en consideración todavía otro factor, que es la *intensidad* del magnetismo terrestre, la energía total de la fuerza, cuyas dos componentes (horizontal y vertical) se manifiestan en los fenómenos citados. La intensidad se mide de una manera sumamente delicada por otros métodos, por ejemplo, por la duración de las oscilaciones de grandes barras magnéticas; estas oscilaciones son tanto más rápidas, cuanto mayor es la intensidad, y tanto más lenta cuanto menor es la misma.

ALTERACIONES DEL MAGNETISMO TERRESTRE

Ninguno de estos tres factores del magnetismo terrestre, declinación, inclinación é intensidad, permanece constante en su valor. Por el contrario, cambian casi continuamente, pues dependen, aunque de un modo desconocido, de los fenómenos luminosos, caloríficos y eléctricos de la tierra; y como quiera que éstos varían, determinan con sus variaciones alteraciones correspondientes en el estado magnético. La observación de estas *variaciones*, para deducir en lo posible su ley de dependencia recíproca, por la comparación de los resultados obtenidos durante largo tiempo: he aquí el objeto de los grandes esfuerzos á que se dirigen las experiencias verificadas sin interrupción acerca de los movimientos de las agujas magnéticas en numerosas estaciones, en la India, en las estepas de los límites de la China, en las islas del Pacífico, en Groenlandia, en el Cabo de Buena Esperanza, así como en los laboratorios de las Universidades europeas. El viajero universal cuenta el magnetómetro entre sus más importantes aparatos, habiendo prestado grandes servicios á la ciencia por sus observaciones magnéticas, entre otros, Humbolt sobre las cordilleras de la América Meridional y en las sencillas cabañas de las pantanosas orillas del Amazonas, y Cane en las regiones árticas. (Fig. 421.)

Ya hace mucho tiempo se había notado en algunos puntos una variación gradual de la declinación; así, por ejemplo, en París era en el año 1580 de 11° 30' al Este; en 1618 era sólo de 8°; en 1663 se aproximaba más el meridiano magnético al meridiano astronómico; 100 años después se desviaba la aguja magnética 8° 10' hacia el Oeste; en 1780 17° 55'; en 1805 22° 5', y en 1814 22° 34'. Desde esta fecha retrocedió de nuevo la aguja, de suerte que en 1852 la declinación occidental era ya sólo de 20° 22'. Estas alteraciones lentas se llaman variaciones, seculares, se manifiestan sobre toda la tierra, y por efecto de ellas no tienen estabilidad alguna las curvas magnéticas terrestres, siendo precisa la modificación de los mapas ó cartas correspondientes, de tiempo en tiempo. La dirección de la calle de Federico, en Berlín, se tomó exactamente de

la de la aguja magnética en la época de su construcción; la brújula constituye, por tanto, un medio cronológico.

Pero en sus grandes variaciones seculares no marcha la aguja magnética con un paso regular y seguro, sino que de tiempo en tiempo verifica conmociones de uno á otro lado, en las cuales se reconoce cierta regularidad con respecto al año y al día, y que se llaman por esta razón variaciones diurnas y anuales. En Europa el extremo Norte de la aguja de declinación tiene su máxima desviación al Oriente antes de la salida del sol; desde entonces marcha rápidamente hacia el Oeste hasta la una ó las dos de la tarde, en que comienza á retroceder, recorriendo el mismo camino hasta el punto de partida, pero con más rapidez en las horas de la tarde que en las de la noche.

FIG. 421.—Cane observando el magnetómetro.

Lo mismo que en la declinación, se han podido establecer en la inclinación una variación secular, una anual y otra diurna, lo cual nos autoriza para admitir una misma causa para ambos fenómenos. Pero mientras que en los cambios climatológicos puede reconocerse un motivo de variación durante los períodos diurno y anual, se está todavía completamente á oscuras respecto á las causas de las variaciones seculares.

LA AURORA BOREAL

Estos fenómenos nos conducen inmediatamente al estudio de otro, cuya explicación ofreció dificultades insuperables á los tiempos pasados, y que, por lo tanto, fué considerado sólo con impresiones de temor por la ignorancia y la superstición. Por más que todavía hoy no podemos darnos explicación completa de todo el conjunto de fenómenos como resultado de los cuales se eleva sobre el horizonte la magnífica luz polar, sabemos, sin embargo, con seguridad, y por efecto de observaciones indiscutibles, que dichos fenómenos se hallan en íntima

relación con el magnetismo terrestre y pueden ser considerados como una especie de tempestades magnéticas, en las cuales las condiciones de equilibrio alteradas se restablecen por medio de una neutralización instantánea.

Entre nosotros las auroras boreales son bastante raras; pero en las regiones polares tienen lugar en casi todas las puestas del sol. Durante una expedición á Noruega en el año 1838, observó el teniente de navío Lottin nada menos que 143 auroras boreales en doscientos seis días.

«La parte superior de la niebla clara que casi siempre reina hacia el Norte, se colorea entre cuatro y ocho de la tarde. La cinta luminosa toma gradualmente la forma de un arco cuyos extremos se apoyan en el horizonte. Su vértice se halla en la proximidad del meridiano magnético. A poco aparecen líneas oscuras que separan en porciones el arco de luz, formándose rayos que se alargan y se acortan, ya rápida, ya lentamente. Los rayos divergen sobre el cielo y se prolongan á veces hasta el punto señalado por el extremo Sur de la aguja de inclinación, formando así un fragmento de una bóveda de luz indescriptible. En el brillo del arco, que aumenta hacia el zenit, se manifiesta un movimiento ondulatorio; el brillo de los rayos de luz crece sucesivamente desde el uno al otro pie del arco, y esta ondulación de la luz marcha unas veces de Occidente á Oriente, otras en sentido contrario. También adquiere el arco movimiento en su amplitud horizontal, se agita y fluctúa, se arrolla como una cinta movida por su extremo, ó bien como una banderola flotante en el aire. Algunas veces uno de sus pies, y aun ambos, se separan del horizonte, y entonces se hacen más numerosos y brillantes estos dobleces. El arco aparece en tal caso como una ancha cinta de rayos que se arrolla, se separa en varias partes y forma graciosos dobleces que casi se cierran y originan lo que se ha llamado con propiedad las coronas. Al mismo tiempo cambia rápidamente la intensidad luminosa de los rayos, que excede á la de las estrellas de primera magnitud; los rayos corren como flechas, se doblan y arrollan como una serpiente; además, se colorean en rojo por la base, verde por el centro, conservando el resto un brillo amarillo pálido. Estos colores conservan siempre su posición relativa y tienen una transparencia admirable. El rojo se asemeja al de la sangre arterial; el verde es un verde esmeralda claro. Finalmente, disminuye el brillo, desaparecen los colores y el fenómeno todo se extingue unas veces súbitamente, otras debilitándose poco á poco; pero algunos trozos del arco resucitan, se forman de nuevo, prosiguiendo su movimiento ascensional hasta aproximarse al zenit. Por efecto de la perspectiva aparecen cada vez más cortos, llegando á reducirse á un punto hacia el cual se dirige el polo Sur de la aguja de inclinación cuando alcanzan el vértice del arco, el zenit magnético. Entretanto, en el horizonte se forman nuevos arcos que se suceden unos á otros, recorriendo las mismas fases y conservando entre sí las mismas distancias. A veces estas separaciones se hacen menores, apretándose varios de estos arcos entre sí, y recuerdan, por su disposición, los telones

de nuestros teatros, que, apoyados sobre las decoraciones laterales, forman el cielo de la escena teatral. En cuanto los rayos traspasan el zenit magnético sobre el cielo, en el vértice, parecen converger hacia este punto por el Sur, y forman entonces la corona propiamente dicha. El aspecto de la corona es, sin duda, solamente un efecto de perspectiva, y el observador que en este momento se hallará lejos, hacia el Sur, seguramente vería sólo un arco.

»Imagínese ahora un vivísimo centelleo de estos radios, que cambian continuamente, tanto en lo que se refiere á su longitud como á su brillo, que muestran los matices más brillantes del rojo y verde, que verifican un movimiento de ondulación, que se suceden en corrientes de luz, y, por último, que hacen aparecer

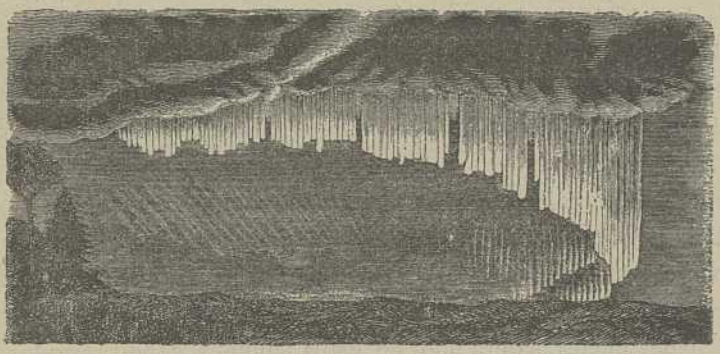


FIG. 422.—Aurora boreal en el mar polar.

toda la bóveda celeste cual una especie de cúpula luminosa de indescriptible esplendor, extendida sobre un suelo cubierto de nieve y formando un marco de fuego alrededor del tranquilo mar, negro como un mar de asfalto, y se tendrá una idea incompleta de este maravilloso espectáculo, cuya descripción es inútil intentar.» (Fig. 422.)

De este modo pinta Lottin la aurora boreal observada en Bossekop. Lo que observamos de este fenómeno en nuestros climas no puede compararse con el brillo del fenómeno del Norte.

La investigación espectroscópica de la aurora boreal ha dado por resultado que el espectro del arco de luz consiste principalmente en una línea brillante amarillo verdosa, colocada entre las rayas *D* y *C* de Fraunhofer. Angström ha observado esta misma raya en el espectro de la luz zodiacal, cuya línea de incandescencia no coincide con ninguna de las correspondientes á los gases conocidos.

Los límites dentro de los cuales es visible una misma aurora boreal son muchas veces sumamente extensos, de lo cual puede deducirse que el fenómeno se produce á una gran altura. Por ejemplo, la aurora boreal del 28 de Agosto de 1859 fué observada sobre una extensión de 140° de longitud desde Califor-

nia hasta el Oriente de Europa, y desde Jamaica hasta las regiones septentrionales de los Estados Unidos; y fundándose en observaciones semejantes, ha deducido Mairán que la producción de la luz debe tener lugar á una altura de más de 100 millas geográficas.

En la aparición de las auroras boreales parece reinar cierta periodicidad. Prescindiendo de que Loomis indica que hacia las once de la noche para el Canadá, y media noche y una de la madrugada para latitudes mayores, son las horas del día á que tiene lugar más frecuentemente su aparición, algunos, y en particular Fritz, han tratado de demostrar recientemente que después de un transcurso de once años, se reproduce siempre un máximum en la frecuencia de las auroras boreales. Cada cinco de estos períodos de once años determinarían épocas en que las máximas serían todavía más marcadas. Estos períodos ofrecerían la coincidencia notable de que también se cree haber observado un período de once años para la repetición con frecuencia especial de las manchas solares y un período de treinta y tres años para la de las estrellas fugaces. (Alejandro de Humbolt.)

La coincidencia de la dirección de los rayos con el meridiano magnético hizo sospechar, ya hace mucho tiempo, que la aurora boreal se halla en íntima relación con el magnetismo terrestre. Esta hipótesis encontró una comprobación en la circunstancia de que la aguja magnética se altera de un modo notable en sus propiedades mientras dura uno de estos fenómenos, adquiriendo un estado de intranquilidad característico, que se manifiesta por sacudidas hacia uno y otro lado. Después se ha observado todavía que esta admirable radiación tiene lugar también de tiempo en tiempo sobre el cielo del polo Sur, cuya aurora austral aparece muchas veces simultáneamente con la aurora boreal, hallándose ambas sujetas á una dependencia recíproca indiscutible. Desde que se ha observado con los aparatos más sensibles, y con la mayor exactitud, la influencia de estos meteoros sobre la aguja magnética, de suerte que desde su gabinete de París, á muchos cientos de millas de distancia del polo, pudo Arago adivinar, por los movimientos de su aguja magnética, la aparición simultánea de una aurora boreal, no cabe dudar ya que este fenómeno natural, tan admirado como temido, no es en realidad otra cosa que, como dice Humbolt, una tempestad magnética. Las perturbaciones que ejerce la aurora boreal durante su producción sobre las corrientes eléctricas de los hilos telegráficos obran tan poderosamente, que los aparatos comienzan á funcionar por sí solos, y es imposible transmitir un despacho de modo inteligible; lo cual es una prueba de lo dicho, toda vez que las corrientes eléctricas sólo pueden ser excitadas en tal forma por otras corrientes eléctricas. Podemos representar en pequeño la aurora boreal artificialmente por medio de un espacio con aire enrarecido, en la cual hacemos fluir desde uno á otro polo la electricidad de una batería, bajo la influencia de una fuerte tensión eléctrica; y si concebimos á la Tierra atravesada por corrientes eléctricas en dirección de

Oriente á Occidente, encontraremos condiciones que expliquen en su conjunto, de un modo racional, los fenómenos de las auroras polares. Sin embargo, es preciso confesar que, á pesar de los hechos innegables en virtud de los cuales queda evidentemente demostrada la inexactitud de otras explicaciones, no se ha podido formular todavía una teoría completa de las auroras polares bajo la base racional establecida, y abarcando en su detalle todas las circunstancias del fenómeno.

No por eso estamos menos seguros de que no tiene fundamento ninguno la superstición de ver en este fenómeno una especie de anuncio sobrenatural de guerras y calamidades para la humanidad. Tales profecías, creídas en los siglos pasados, han perdido en nuestros tiempos su poder terrorífico, sin que ninguna persona regularmente instruída les haya dado importancia ni hayan atribuído, por ejemplo, la significación de una renovación de la antorcha de la guerra á la magnífica aurora boreal que brilló en el cielo varias noches sucesivas, precisamente por la época de la rendición de Metz (á fines de Octubre de 1870). En lugar de estas angustiosas significaciones ha surgido el reconocimiento evidente de las causas físicas del fenómeno, y este concepto racional destierra el efecto terrorífico que lo extraordinario y maravilloso ejerce siempre sobre los espíritus mezquinos.

La tempestad magnética es, como la eléctrica, un acto de reconciliación, una combinación de fuerzas opuestas, una neutralización de tensiones, un símbolo de pacificación; el rayo y la aurora boreal son «mensajeros de amor que nos anuncian la eterna actividad creadora de la Naturaleza.»

EL MUNDO DE LOS SONIDOS

Ondas sonoras.—Su propagación y velocidad.—Reflexión.—Eco.—Trompetillas y tubos acústicos.—Sonidos y colores.—Altura del sonido.—Cuerdas vibrantes.—Interferencias.—Monocordio.—Intervalos y *gamma* musical.—Helmholtz.—Nodos y vientres en las cuerdas y placas vibrantes.—Figuras de Schladnje.—Sonidos armónicos.—Timbre de los instrumentos.—Las vocales.—Pulsaciones.—Tartini y Sorge.—Tubos sonoros.—Tubos abiertos y cerrados.—Teléfono.—Aparato primitivo de Reis.—Construcciones modernas de Bell, Siemens y otros.—Micrófono.—Fonógrafo y fotófono.

El aire es el vehículo del sonido, dice Humbolt en su *Cosmos*, «y por consiguiente también el vehículo del lenguaje, de la comunicación de las ideas, de la sociabilidad entre los pueblos. Si el globo terráqueo estuviera pri-

vado de la atmósfera, como lo está la Luna, se presentaría á nuestra imaginación cual un páramo absolutamente silencioso.»

Así como nuestros ojos reciben impresiones luminosas, en virtud de que los nervios ópticos son excitados de un modo especial por las ondulaciones del éter esparcido por todo el espacio, así también las impresiones que recibimos por nuestros oídos no son otra cosa que el resultado de movimientos transmitidos por el aparato auditivo á los nervios correspondientes. Cuando oímos el estallido de un disparo, podemos observar, por el temblor simultáneo de los cristales de nuestras ventanas, en qué grado de conmoción se halla el aire. Todo cuanto oímos lo designamos habitualmente con el nombre de sonido, y de aquí que llamemos vibraciones ú ondas sonoras á las que originan aquellas sensaciones. Consisten estas ondas en condensaciones y dilataciones alternativas del aire. Allí donde el aire falta, no es posible que recibamos ninguna sensación auditiva. Sobre las altas montañas nuestra voz suena más débil que en los llanos, porque el aire está allí más enrarecido. Saussure disparó una pistola en la cúspide del Montblanc, y la detonación producida por el disparo, no le pareció al observador más intensa que si hubiera golpeado entre sí dos trozos de madera. Si colocamos bajo el recipiente de una máquina neumática el timbre de un aparato de relojería, oiremos su sonido con toda claridad, en tanto que no hagamos funcionar la máquina; pero á medida que extraigamos el aire por el juego de las bombas, el sonido se debilitará gradualmente, y se hará por último completamente imperceptible cuando la campana esté vacía de aire, por más que sigamos viendo funcionar al martillo. (Véase la fig. 423.)

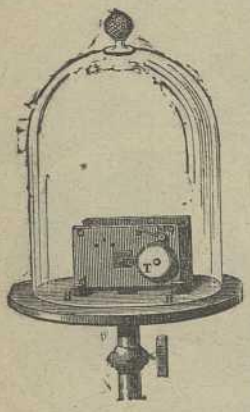


Fig. 423.—Timbre movido por un aparato de relojería bajo el recipiente de la máquina neumática

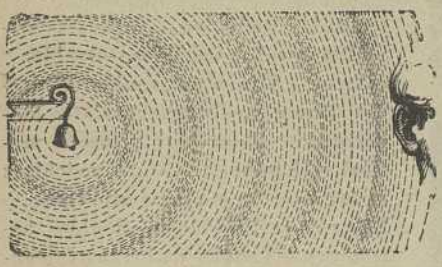


Fig. 424.—Propagación de las ondas sonoras en el aire.

La propagación de las ondas sonoras se verifica uniformemente en todos sentidos, de suerte que las superficies de las ondas forman esferas huecas alrededor de su origen. De aquí que el sonido llega á un punto cualquiera en una línea recta, y en este sentido se habla de rayos sonoros. De esta forma de propagación del sonido se desprende que su intensidad debe hacerse menor con la distancia, y, efectivamente, como resulta de una consideración matemática sencilla, la intensidad decrece en proporción del cuadrado de la distancia; de suerte que un pistoletazo nos impresiona cien veces más fuertemente cuando el disparo se produce á un me-

tro de distancia de nuestro oído, que si nos alejáramos á 10 metros de largo.

En el aire camina el sonido con una velocidad de 342 metros por segundo; siendo de advertir que esta velocidad disminuye con la amplitud de las ondas sonoras, según experiencias practicadas en París por Regnault. Si un rayo de luz invierte 8 minutos y 13 segundos para llegar desde el Sol á la Tierra, un grito de intensidad suficientemente grande sólo sería oído en el lejano astro después de dieciséis años y ocho meses. No debemos deducir de lo dicho que las ondas sonoras hayan de ser transmitidas única y exclusivamente por el aire; se propagan también á través de los cuerpos sólidos y líquidos, y aun la velocidad de propagación es en éstos mayor que en los gases. Para el estaño, por ejemplo, es siete veces mayor que en el aire; en el hierro, acero y vidrio 10 y $^2/_3$ veces mayor; en la plata, latón y madera de nogal, otras tantas; en el cobre, 12; en el ébano 14 y $^2/_3$, y en la madera de abeto 18 veces mayor. De aquí que esta última madera es apropiada preferentemente para conducir las vibraciones sonoras, y de aquí que juegue un papel tan importante en la construcción de los instrumentos musicales y que se hagan con ella los instrumentos de cuerda, y en general aquellas partes destinadas á obrar por su propia resonancia, mientras que las flautas, clarinetes y otros instrumentos cuyas paredes no deben tomar parte en la vibración, se construyen de madera de ébano, de boj, de marfil y otros materiales semejantes. El rumor del volcán Morne Garon, en San Vicente, se oía hasta el lago Maracaibo, ó sea á 1.125 kilómetros; el ruido no era transmitido por el aire, sino por el suelo terrestre; y es sabido que los salvajes reconocen con gran seguridad la aproximación del enemigo, así como su dirección y el valor de sus fuerzas, aplicando el oído á la tierra.

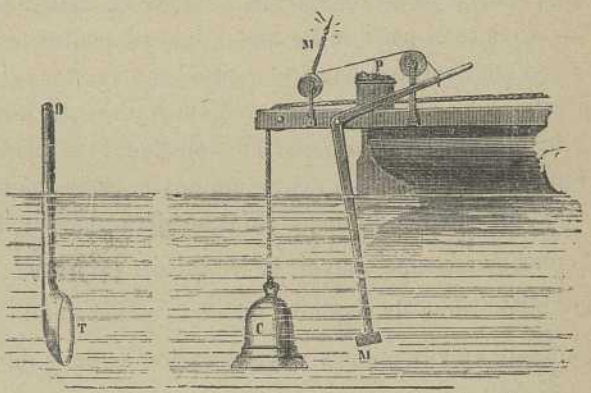


FIG. 425.—Medida de la velocidad de propagación del sonido en el agua.

Todos hemos tenido ocasión de observar en el baño que el sonido se transmite también con gran facilidad á través de los líquidos. La fig. 425 muestra una disposición por medio de la cual puede medirse la velocidad de propagación en el agua. La campana *C* se hace sonar por medio del martillo *M* en una de las dos estaciones cuya distancia se ha determinado exactamente. El movimiento del martillo se le comunica por medio de una palanca que está unida por medio de una cuerda, *P*, y una polea, con un foco de luz movible, de suerte que este último sufra una desviación cuando el martillo golpea á la campana. El observador situado sobre la otra estación ve naturalmente el movimiento de

la luz mucho antes de percibir el sonido por medio de la trompetilla acústica *O*, y por el retraso observado puede calcular fácilmente la velocidad de las ondas.

REFLEXIÓN DEL SONIDO

Cuando las ondas sonoras chocan contra un obstáculo, se originan fenómenos variados. Si el obstáculo es fácilmente movible, pero poco elástico, no devuelve las vibraciones que recibe, ó lo hace de una manera muy incompleta; las cubiertas de algodón, los tapices, colgaduras, etc., apagan por esta razón la voz y la música en las habitaciones donde se hallan extendidos. Ni permiten completamente el paso de las ondas á su través, ni las envían tampoco de nuevo en dirección contraria hacia el espacio de donde proceden. Los cuerpos duros y elásticos, por el contrario, se conducen de otro modo; reflejan los rayos sonoros y los reflejan precisamente con sujeción á las mismas leyes según las cuales se reflejarían en ellos los rayos luminosos. Sólo que las ondas sonoras son mucho mayores que las de luz, y emplean para realizar su oscilación un tiempo extraordinariamente mayor; la vibración luminosa más lenta se verifica en $\frac{1}{450}$ de billonésima de segundo, mientras que el sonido más grave de los perceptibles consiste en vibraciones cuya duración es de $\frac{1}{32}$ de segundo. Por esto, para una reflexión completa del sonido se exigen superficies extensas poco interrumpidas, aunque no estén pulimentadas.

Cuando la pared reflectante se halle á distancias del origen del sonido y de nosotros mismos, comprendidas entre ciertos límites, de suerte que el sonido invierta un tiempo apreciable para llegar á nuestro oído, recorriendo este camino indirecto determinado por su reflexión, las ondas sonoras reflejadas son percibidas por nosotros distinta y posteriormente que las ondas directas, y este fenómeno recibe el nombre de *eco*. Cuando las circunstancias son adecuadas, este eco puede repetir, no sólo palabras, sino párrafos completos, y en particular son notables las comarcas en que existen canteras ó rocas con grandes paredes regulares cortadas á pico, como en la Suiza sajona, Adersbach, etc., por los numerosos ecos que poseen, con gran perjuicio de los viajeros, pues el aprovechamiento especulativo de la Naturaleza ha fundado allí una industria sumamente especial, cuyos útiles, tambores, trompetas y cantores guturales, generalmente ya gastados, sólo pueden compararse con las llaves y mordazas de los dentistas ambulantes. Es célebre el eco de las canteras de Lurlei, y muy particularmente también el del castillo Simoneta, en Milán; por la reflexión del sonido en las diferentes alas del castillo, se oye hasta 50 veces un disparo hecho en el balcón del edificio principal.

Las superficies curvas pueden concentrar los rayos sonoros como espejos cón-

cavos, y de ésto se hace un uso bien conocido en la disposición de las salas de conciertos, teatros y edificios semejantes. En las salas para sociedades orales se debe, por ejemplo, emplear la forma de la elipse en el plano y en el corte transversal. En efecto, en toda elipse existen dos puntos tales, que los rayos que parten de uno de ellos concurren todos simultánea y exactamente en el otro por la reflexión sobre las paredes; de aquí que el sonido se conserve hasta tal punto, que en un espacio abovedado elípticamente por completo, se puede oir con claridad desde los sitios correspondientes la voz más suave emitida en puntos bastante lejanos. Los laberintos, ventanas ó escaleras de los secretos, en cuya dirección empleaban con frecuencia los antiguos arquitectos grandes cuidados, y que existen en algunos castillos, son ejemplos de lo dicho; y la célebre oreja de Dionisio, una excavación practicada en una cárcel en donde, según se cuenta, los reos de Estado no podían hablar sin ser oídos, debió sin duda á aquella misma circunstancia su terrorífica importancia.

TROMPETILLAS Y TUBOS ACÚSTICOS

Cuando las ondas sonoras son reflejadas constantemente por las paredes de una cavidad, de suerte que sólo puedan transmitirse en una dirección, se conserva su intensidad casi invariable y se comunica el sonido muy perceptiblemente en dicha dirección. El célebre físico francés Biot practicó experiencias sobre lo dicho con tubos colocados en París para la conducción de aguas. En una noche silenciosa se colocó á un extremo de un tubo de 900 metros de longitud, haciendo que en el otro extremo se hicieran sonar diferentes instrumentos, se hablara y se produjeran ruidos con todos los grados de intensidad; no se observó que las ondas sonoras perdieran la menor porción de su intensidad á través de este largo espacio. El sonido más débil se percibía á través de él, y el único medio para no oir nada era, según sus propias palabras, guardar un silencio absoluto en el otro extremo.

Desde hace mucho tiempo se ha hecho aplicación de este hecho en *tubos y trompetillas acústicas*. En un libro antiguo traducido del árabe en 1516, impreso en Roma, y atribuído equivocadamente á Aristóteles, se menciona que Alejandro el Grande poseyó un cuerno con el cual llamaba á su ejército á una distancia de 100 estadios; pero no puede éste considerarse sino como un cuerno de guerra, así como el del fabuloso Rolando, que resonó por última vez en Roncesvalles, nunca como un tubo acústico, propiamente dicho, que transmitiera inteligiblemente las palabras. El primero digno de este nombre fué inventado por el caballero Samuel Morland, en 1670, quien practicó con él experiencias en Deal, á presencia del rey Carlos II de Inglaterra y del príncipe Roberto. En estas experiencias se sirvió de un tubo en forma de cono agudo de paredes de co-

bre y de 1,68 metros de longitud. El diámetro de un extremo era de 5 centímetros, y el del otro de 52; el sonido de la voz se percibió á una distancia de cinco kilómetros. Veinte años antes había ya indicado el conocido Atanasio Kircher un aparato para hacer posible la inteligencia de una conversación á los tardos de oído; este aparato consiste igualmente en un tubo cónico cuyo vértice se apoyaba en la oreja, debiendo hablarse por el extremo ensanchado. Kircher, sin embargo, no hizo hasta después la observación de que esta trompetilla podía utilizarse también como tubo acústico, invirtiéndola y hablando por el extremo más delgado.

FIG. 426.
Trompetilla acústica.

En nuestros tiempos ha perdido por completo este instrumento toda la importancia que pudo tener en épocas anteriores, por efecto del progreso de la telegrafía en sus varias formas, y no se le encuentra sino rara vez en los buques, en las altas montañas ó en las torres para dar avisos desde lo alto, á no ser los tubos acústicos por los cuales se comunican entre sí las diferentes habitaciones de algunos edificios.

Las trompetillas acústicas tienen, por el contrario, un valor más duradero; son para el oído, en cierto modo, lo que las lentes para las vistas cansadas y débiles. Está constituído por un tubo algo cónico, con una boquilla ensanchada, semejante á un cuerno, y satisface su objeto recogiendo gran cantidad de ondas sonoras, que concentra en la oreja; pero esto sólo basta para aquellas personas que no han sufrido más que los primeros grados de la enfermedad y pueden todavía sentir impresiones más enérgicas que las ordinarias. Con el mismo objeto son de un uso excelente los tubos de gutapercha, cuya flexibilidad permite su fácil manejo, habiéndose conseguido, por la reunión de varias boquillas á un tubo central, que en una mesa puedan conversar los mismos sordos.

EL SONIDO MUSICAL

Hemos comparado ya los rayos sonoros con los rayos luminosos; la comparación no se limita únicamente á la forma y manera de propagarse y reflejarse; podemos llevar más adelante la analogía, y así como hemos reconocido cual ondas luminosas de diferente duración y refrangibilidad las diferentes partes constituyentes de la luz solar, encontramos una distinción semejante en lo que abarcamos bajo el concepto complejo de sonido ó ruido. Un cañonazo, el rodar de un carruaje, el clamor de la multitud, el estampido del trueno, etc., nos causan sensaciones que podemos equiparar á las sensaciones luminosas en general: la inflamación de un cohete, la luz del sol enviada á nuestros ojos por

reflexión, etc. Pero así como la luz blanca contiene ondulaciones elementales, cada una de las cuales determina por sí sola sensaciones de color, así también un ruido cualquiera no es un movimiento ondulatorio simple, sino que más bien se muestra como un mezcla de multitud de oscilaciones coexistentes regulares, cada una de las cuales corresponde á un movimiento como el del péndulo, y que se distinguen por su amplitud y velocidad respectivas. Estas oscilaciones originan los sonidos musicales ó simples, que se distinguen de los sonidos y ruidos en general, como los colores de la luz blanca. En estos sonidos simples distinguimos, entre otras cualidades, la llamada *altura*, cuya causa se reconoce en la velocidad con la que se suceden las vibraciones ú ondulaciones unas á otras. El sonido musical nos satisface con una sensación determinada, mientras que el ruido obra de una manera diferente; siendo de notar, á propósito del particular, lo que constituye una ley general de la naturaleza; que todo se perfecciona por la medida y el orden, en virtud de reglas sencillas, y que la belleza está reñida con la arbitrariedad, siendo, por el contrario, sinónimas la regularidad y la armonía.

Nada más apropiado para el estudio de la naturaleza del sonido propiamente dicho, ó musical, que la llamada *sirena*, que consiste en una rueda dentada, contra cuya periferia se hace llegar una corriente de aire por un tubo estrecho. Cuando la rueda gira, cada uno de sus dientes corta la corriente, interrumpiéndola por un momento, del mismo modo que la rueda del aparato de Fizeau interceptaba los rayos de la luz (véase la fig. 188). Mientras el diente se halla frente á la boca del tubo, el aire está comprimido en el interior de éste, engendrándose así, por la alternativa de esta acción, ondas que se suceden tanto más rápidamente cuanto mayor es la velocidad de rotación de la rueda. Se puede determinar el número de las ondas en un segundo, y se ha encontrado por este medio que el sonido más grave corresponde á 32 vibraciones en aquella unidad de tiempo. En la música se considera este sonido como el *do* más bajo. Las vibraciones más lentas se perciben sólo como soplos ó choques aislados del aire sobre nuestra piel. El sonido más alto que podemos oir se origina por 24.000 vibraciones en un segundo; más allá de este límite carece ya nuestro oído de la facultad de percibir sonidos. Parece, sin embargo, que los órganos auditivos de algunos animales poseen una sensibilidad mucho más elevada. Por lo demás, sabemos que para engendrar un sonido musical sirve cualquier cuerpo elástico que por medio de oscilaciones rápidas y regulares sea capaz de comunicar al aire un movimiento ondulatorio correspondiente, mediante condensaciones y dilataciones. Un diapasón ó una campana de cristal suenan, por lo mismo, cuando se las golpea ó se las frota con un arco de violín (véase la figura 427). Por el golpe entra su masa en vibraciones que se prosiguen con regularidad durante cierto tiempo, en virtud de la elasticidad del acero ó del cristal, y las cuales es fácil sentir aplicando los dientes á las varillas del diapa-

són, ó tocando con la punta de los dedos el borde de la campana; las vibraciones del diapasón pueden también retratarse por sí mismas, sujetando una punta de lapicero contra una de sus ramas, y haciendo que aquella trace su huella en una hoja de papel que pase por delante. Desde que en los tiempos modernos ha sido objeto de estudio la investigación de los números de vibraciones correspondientes á los diversos sonidos, se han inventado varios aparatos que hacen en cierto modo visibles los fenómenos acústicos. Adaptando, por ejemplo, al extremo de uno de los brazos del diapasón un botón esférico bien pulimentado, el cual refleja la luz de la llama de una bujía como un punto brillante, se ve, cuando el diapasón entra en vibración, una línea luminosa, que en circunstancias normales es recta. Pero si se observa esta raya de luz por reflexión, sobre un espejito adaptado á un segundo diapasón, cuyas ramas vibran en sentido perpendicular á las del primero, colocando, por ejemplo, el uno vertical y el otro horizontal, dicha recta brillante se altera y adquiere una forma generalmente curva, que depende de la relación entre los números de vibraciones de ambos diapasones, y que ofrece un medio auxiliar de importancia para la investigación matemática de aquellas relaciones.

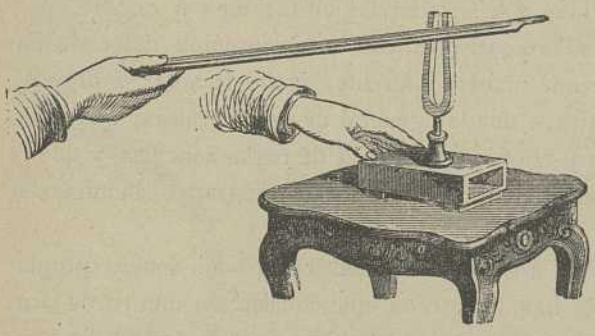


FIG. 427.—Modo de hacer sonar el diapasón.

El impulso para poner en vibración un cuerpo puede ser instantáneo (un golpe ó pulsación), como en el violín y los instrumentos de viento. Las cuerdas tensas son separadas de su posición de equilibrio por medio del arco espolvoreado con resina; tienden á volver á dicha posición, son de nuevo impulsadas por el arco, y así verifican sus movimientos vibratorios cientos y miles de veces por segundo, originando en el aire, cada vaivén, ondas que se propagan sucesivamente y cuyo conjunto constituye el sonido. En los instrumentos de viento son labios elásticos ó lengüetas, resortes y laminitas vibratorias las que entran en movimiento por la acción del aire comprimido mediante el soplo, y también en ciertos casos un rompimiento particular de la corriente de aire, que más adelante tendremos ocasión de estudiar.

Por más que sean muy desemejantes entre sí los instrumentos musicales fundados en estos distintos métodos de generación del sonido, todos tienen por base, sin embargo, ciertos principios físicos comunes. Son éstos, en primer término, las relaciones entre los números de vibraciones sobre las cuales puede instruirnos ligeramente el instrumento de cuerda más sencillo de todos, el monocordio.

El *monocordio* tiene, como indica su nombre, una sola cuerda, que para reforzar el sonido se halla fija sobre una caja hueca de madera, llamada *caja de resonancia*. La cuerda se halla libre en el centro, y apoyada por los extremos sobre dos trastes, pudiendo acortarse á voluntad haciendo correr un puente movible por debajo y á lo largo de ella; la pared de la caja lleva una división. En la fig. 428 está representado uno de estos aparatos con dos cuerdas, tal como suele emplearse para el estudio de las leyes de sus vibraciones. Cuando se frota

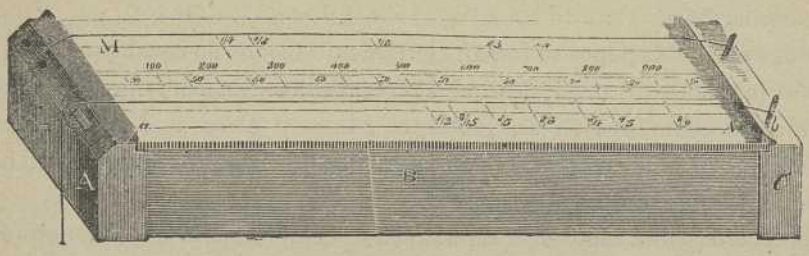


FIG. 428.—Sonómetro ó monocordio.

la cuerda con un arco ó se pulsa con el dedo, es desviada hacia un lado, y verifica vibraciones llamadas transversales. El punto de la desviación máxima se halla en el centro, entre los dos puntos de apoyo en reposo (véase la fig. 429); cuando las dos cuerdas son iguales en longitud y en diámetro, tienen la misma densidad y están tensas con la misma fuerza, verifican en el mismo tiempo igual número de vibraciones; pero tanto la amplitud como la rapidez de éstas son diferentes según que varíe en la una ó en la otra cuerda el peso específico, la sección, la fuerza tensora ó la longitud. Esta recíproca dependencia está fundada en leyes sencillas. La tensión se mide de la manera más cómoda haciendo pasar uno de los extremos de la cuerda sobre una polea y suspendiendo de ella pesas; se encuentra así que el número de vibraciones de una cuerda es proporcional á la raíz cuadrada del peso tensor. Si, por ejemplo, una cuerda verifica 64 vibraciones en un segundo con una carga de un kilogramo, con cuatro kilogramos de carga verificará 128. Resulta de aquí que una cuerda que da notas altas debería ejercer una presión mucho más considerable sobre su apoyo, tomando las cosas en este sentido, que cuando da notas bajas; y como debe existir siempre cierta constancia en la fuerza tensora, se hace necesario que varíen los otros factores que tienen influencia sobre la altura del sonido, longitud, grueso y densidad. El peso de la cuerda misma no carece de influencia, pues la fuerza elástica tiene que mover siempre la masa total de la cuerda; por consiguiente, tanto más pronto será eficaz la fuerza para producir vibraciones de una cierta

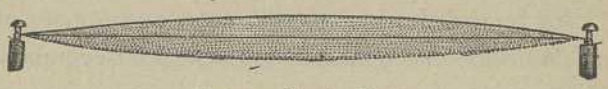


FIG. 429.—Cuerda vibrante.

rapidez, cuanto más ligera sea la cuerda y menor diámetro tenga. El número de vibraciones de cuerdas formadas por la misma sustancia está en razón inversa, á igualdad de las demás circunstancias, de sus diámetros; pero si las cuerdas son de diferente naturaleza, los números de vibraciones son inversamente proporcionales á las raíces cuadradas de sus pesos específicos, suponiendo la misma tensión, longitud y grueso. Por esto están revestidos de alambre metálico los bordones ó cuerdas destinadas á los sonidos más graves de la guitarra, el violoncello, etc., cuyo revestimiento aumenta su peso y hace más lentas las oscilaciones.

Todas estas relaciones se toman ciertamente menos en consideración al manejar los instrumentos musicales que al construirlos. Sin embargo, en muchos instrumentos como los violines, guitarras, cítaras y otros análogos, se recurre á hacer cambiar la tensión y también la longitud de la parte vibrante para hacer producir á la cuerda diferentes sonidos.

Una cuerda vibra tanto más rápidamente cuanto menor es su longitud. Si, por ejemplo, la cuerda *a b* (fig. 428), haciéndola vibrar en toda su longitud, verifica 40 oscilaciones en un segundo, dará 80 en el mismo tiempo si se acorta hasta la mitad, interponiendo en su centro el traste ó puente movible; dará cuatro veces más si se reduce á la cuarta parte de su longitud primitiva, y así sucesivamente. Esta circunstancia explica que el violinista pueda producir una serie completa de sonidos con todos los matices intermediarios imaginables por la aplicación de sus dedos sobre la cuerda, pues realmente, al pisar ésta, acorta su parte oscilante tanto más, cuanto más cerca del puente la pisa. La cuerda libre da el sonido más bajo, el sonido fundamental.

Así como todo color por sí solo es bueno, pero produce sobre nuestra vista una impresión más ó menos agradable por su combinación con otros colores, del mismo modo un sonido aislado no podría nunca ser objeto de aplicación artística, y sólo da origen á una especie de lenguaje por su reunión con otros varios sonidos. Estas relaciones mutuas de los sonidos, bien sea que suenen en un conjunto simultáneamente, bien que nos produzcan una variedad de sensaciones por la sucesión de unos á otros diferentes, encuentran su fundamento primordial en relaciones matemáticas sencillas entre sus números de vibraciones.

INTERVALOS Y ESCALA MUSICAL

Cuando arrojamos una piedra sobre el agua tranquila de un estanque, vemos cómo las ondas se dirigen á la orilla en forma de anillos circulares. Imaginemos lanzada inmediatamente después de la primera piedra, y sobre el mismo

punto de la masa líquida, una segunda que produzca ondulaciones de duración mitad que la anterior; ninguna perturbación producirán éstas en la marcha regular de las primeras y mayores ondas. El comienzo y el fin de éstas coincidirá también con un comienzo y un fin de ondulación en las ondas mitad menores, sólo que por lo mismo se harán perceptibles de un modo más marcado los puntos donde se produzcan las desviaciones máximas á uno y otro lado de la posición de equilibrio en las cuales se sumarán las acciones correspondientes á los dos movimientos vibratorios, puesto que se producirán en el mismo sentido. Pero si la segunda piedra determinara la producción de tres ondulaciones en el mismo tiempo en que se producían dos á impulso del choque de la primera, los puntos de la coincidencia sólo tendrán lugar siempre después de dos ondulaciones de las más lentas, y durante este intervalo las dos ondulaciones se alteran mutuamente en mayor proporción que en el caso anterior, y así sucesivamente. En resumen: cuanto más complicada sea la relación entre los períodos de ambos movimientos ondulatorios, tanto más confusa aparece la superficie del agua, y tanto menos distintos son los choques contra la orilla. Nuestro oído es, en cierto modo, la orilla en la cual chocan los anillos de las ondas sonoras atmosféricas en cuya marcha tienen lugar también las mismas influencias recíprocas que ejercen entre sí dos ondas líquidas, y el nervio acústico situado en ella recibe la impresión de aquellas ondulaciones complejas.

El carácter sintético de una combinación de sonidos es tanto más placentero, cuanto más tranquilo es el curso de la ondulación correspondiente; y de lo dicho se deduce que la sensación relativa de dos sonidos cuyos números de vibraciones están en la relación $^1/_2$, será la más inteligible, puesto que es la más sencilla. Esta relación se designa en lenguaje musical con el nombre *de octava*. La distancia de dos sonidos entre sí, estimada por la relación entre su número de vibraciones, constituye en general *su intervalo*. La octava es una relación tan sencilla, que casi se considera á ambos sonidos como iguales en cualidad, refiriendo á éste todos los demás intervalos posibles. Sobre el monocordio se encuentran éstos fácilmente; si, por ejemplo, se coloca el puente movible de modo que á la derecha queden los dos tercios y á la izquierda un tercio de la cuerda, esta parte menor dará la octava alta de la otra parte. Si se coloca el puente de modo que queden á la derecha las $^3/_5$ partes y á la izquierda $^2/_5$ de la longitud de la cuerda, los números de oscilaciones se hallarán también en la relación $^2/_3$, y obtendremos el *intervalo* más sencillo, después del de la octava, la *quinta*. Como es sabido, la *cuarta* corresponde á la relación $^3/_4$, la *tercera* mayor á $^4/_5$, la tercera menor á $^5/_6$, y así sucesivamente.

En el transcurso del tiempo las necesidades musicales han ido aplicando relaciones sucesivamente más complejas á sus fines, sutilizados cada vez más, de suerte que se ha ido formando gradualmente hasta nosotros una escala compuesta de siete tonos entre dos notas en octava, y cuyos intervalos, toman-

do para la nota fundamental 24 vibraciones, corresponden á las relaciones siguientes:

Do	Re	Mí	Fa	Sol	La	Sí	Do
24	27	30	32	36	40	45	48
1	$^{9}/_{8}$	$^{5}/_{4}$	$^{4}/_{3}$	$^{3}/_{2}$	$^{5}/_{3}$	$^{15}/_{8}$	2

Los quebrados colocados en la línea inferior dan las relaciones de los números de vibraciones con respecto á la nota primera ó fundamental de la escala. Esta tiene por fundamento los intervalos más sencillos: la quinta, la cuarta, la tercera mayor, la sexta y la octava. La quinta y la tercia mayor suenan muy perceptiblemente en la mayor parte de los sonidos, como los primeros intervavalos diferentes en los llamados armónicos do_1, do_2, sol_2, do_3, $mí_3$, y forman, por su unión con el sonido fundamental, el efecto de armonía más sencillo, llamado *acorde mayor* perfecto. Los intervalos mayores que todavía restan para formar una sucesión de sonidos agradables, se obtienen construyendo sobre la quinta, que es el sonido más sencillamente relacionado con el fundamental, un nuevo acorde mayor, y bajando una octava la quinta de estas notas.

Junto á la tercera mayor $^{4}/_{5}$ se encuentra, por su sencillez especial, la relación $^{5}/_{6}$ entre los números de vibraciones, ó sea la tercera menor, que sirve á su vez, por esta razón, para formar una escala, la llamada *escala menor*.

En la *escala mayor*, el intervalo de la tercera á la cuarta nota y de la séptima á la octava son menores que los demás, y se llaman semitonos, porque entre todas las demás notas de dicha escala puede intercalarse un intervalo semejante á éste. La sucesión de los semitonos dentro de una octava constituye la *escala cromática*. Desgraciadamente no podemos penetrar en un estudio completo de este asunto, que se sale ya del objeto de esta obra. Sólo queremos hacer observar que nuestro sistema de sonidos en su constitución actual, con sus escalas mayor y menor, por más que permite presentar los fenómenos enlazados matemáticamente, no es, sin embargo, el único sistema natural posible. Estos sistemas han sido creados por civilizaciones especiales y por ciertas tendencias del gusto; así que, al juzgar la música de otros pueblos adelantados en distintos conceptos, no tenemos ningún derecho para calificarla de una falta absoluta de belleza. Así como nosotros hemos habituado gradualmente nuestro gusto á ciertas series de sonidos, debemos también respetar el derecho de los que prefieren otras relaciones diferentes de las nuestras, pero tan naturales como ellas.

Las condiciones de la educación musical, que antiguamente eran muchas veces interpretadas errónea ó confusamente, no han adquirido una organización clásica hasta los tiempos modernos, en virtud de los trabajos de Helmholtz, resumidos en su tratado de las sensaciones sonoras. Y no sólo es la música teórica la que ha podido tomar métodos y fundamentos de estos trabajos que forman

época, sino que también las ramas prácticas de construcción de instrumentos musicales y manejo de los mismos se han perfeccionado por la aplicación de los resultados obtenidos por aquél.

NODOS DE VIBRACIÓN

Los llamados sonidos con sordina de los instrumentos de cuerda nos dan ocasión á nuevas é interesantes observaciones. Son éstos, como es sabido, mu-

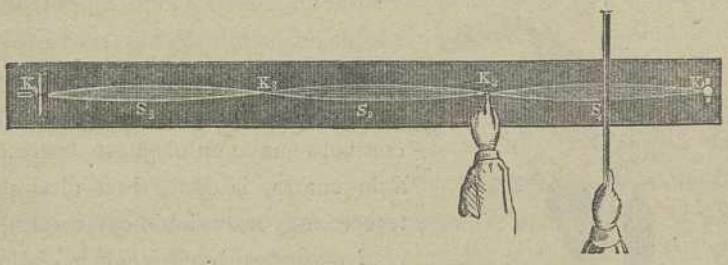


FIG. 430.

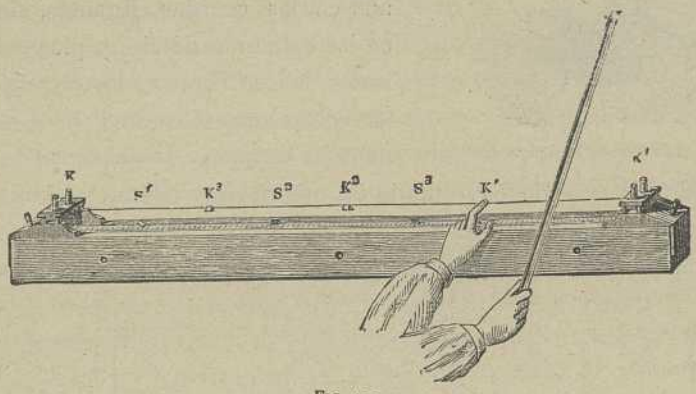


FIG. 431.

Formación de los nodos de vibración en las cuerdas tensas.

cho más agudos que los que se producirían oscilando la cuerda completamente libre en toda su longitud, y se originan cuando se toca suavemente con el dedo la cuerda en un punto tal, que la parte que queda á un lado esté contenida exactamente un número entero de veces en su longitud total; por ejemplo, á la tercera ó cuarta parte de su longitud, y luego se hacer sonar frotándola con el arco. Si el contacto es bastante suave, de suerte que en virtud de él el punto en cuestión quede realmente en reposo, pero las vibraciones puedan, sin embargo, comunicarse al resto de la cuerda, ésta vibra en toda su longitud, pero no vibra en conjunto, sino por porciones, por trozos de cuerda en cierto modo independientes, que son iguales entre sí y están determinados por la distancia desde el punto pisado al extremo más próximo. Estos puntos de división

permanecen en reposo, y se llaman nodos de vibración. Mientras que en el caso representado en la fig. 430 sólo se forma uno de estos nodos de vibración, K^3, tocando la cuerda en el primer cuarto de su longitud se originan dos más, R K^3 (fig. 431). Si se cuelga en esos puntos pequeños caballetes de papel, permanecen tranquilamente en ellos, mientras que son lanzados en las porciones vibratorias intermedias de la cuerda S^1, S^2 y S^3.

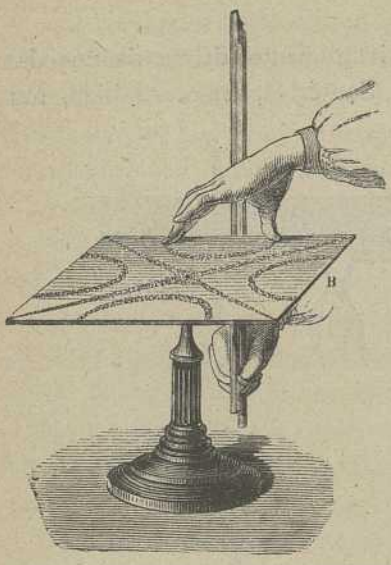
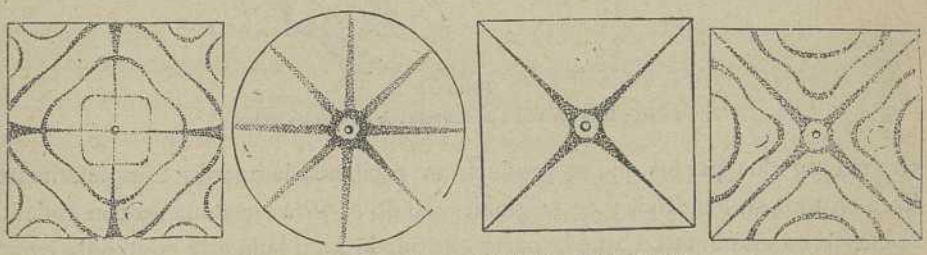


FIG. 432.—Producción de las figuras de Chladni.

En la música se hacen varias aplicaciones, como ya se ha mencionado, de esta división, en cierto modo espontánea, de las cuerdas. El contacto más suave de una cuerda en el punto donde habría que pisarla para obtener la quinta, produce la octava alta; el contacto suave en el punto correspondiente á la cuarta, la duodécima alta; en el de la tercera mayor, la doble octava alta, etc.

Los nodos de vibración no sólo se originan en las cuerdas vibrantes, sino también en las columnas de aire y placas sonoras; al tratar de los diferentes instrumentos musicales volveremos sobre lo dicho. Las líneas nodales de las placas son la causa de las figuras de Chladni (fig. 432), de cuyo modo de originarse y caracteres diferentes nos dan una idea las figuras 433 á 436.

Las placas, sean las que quieran, con tal que tengan una forma regu-



FIGURAS 433 á 436.—Figuras de Chladni y su producción.

lar, se fijan fuertemente en un punto, se recubren con arena fina y se ponen en vibración frotándolas con un arco de violín. Las partículas de arena son puestas en un vivo movimiento de oscilación en los puntos vibrantes, por consecuencia del cual se ordenan pronto en figuras regulares sobre aquellas partes que no participan de la vibración. Se pueden transformar unas en otras figuras tocando con el dedo diferentes puntos, con lo cual se obliga á éstos á permanecer en reposo.

SONIDOS ARMÓNICOS

Estas observaciones tienen una importancia sumamente especial, pues lo que nosotros producimos aquí de intento y de una manera aislada, se origina continua y espontáneamente en la naturaleza, de suerte que podemos muy bien admitir que un sonido absolutamente simple y puro, es el más raro de todos los fenómenos naturales. Ahora bien: de la naturaleza de la mezcla de los sonidos entre sí dependen los efectos más admirables. Si, por ejemplo, un violinista quisiera hacer oir con su cuerda el *do* de la escala central, ó cualquiera otra nota completamente aislada, se encontraría con la imposibilidad absoluta de conseguirlo, cualesquiera que fueran los medios que empleara para ello. Por más que cogiera su instrumento de la manera más correcta y segura, así como el arco, siempre acompañarían al sonido en cuestión otros varios más ó menos intensos, pues por una parte la cuerda se divide espontáneamente en porciones, de un modo semejante á lo que hemos expuesto á propósito de la sordina, por otra parte las diferentes partes constituyentes del instrumento son puestas en vibración también, y sobre todo que, por efecto de la desigual impulsión que la cuerda recibe en sus diferentes partes, se originan pequeñas ondulaciones ó vibraciones longitudinales, del mismo modo que cuando comunicamos una serie de choques rápidos al extremo de una cuerda tensa. Todas estas diferentes causas producen sonidos aislados, que se asocian en aquel conjunto sonoro, al cual consideramos equivocadamente en la música como representante legítimo de la nota en cuestión, es decir, como una nota simple.

Cuando los sonidos simultáneos no guardan entre sí una relación definida, adquiere el conjunto el carácter de un ruido. Los choques, silbidos, rumores, etc., constan realmente de sonidos, cada uno de los cuales se produce con regularidad, pero cuya irracionalidad entre los números de vibraciones respectivas impide que se reunan en un efecto sintético apreciable.

Los sonidos armónicos, como se llaman los producidos por un cuerpo elástico regular, puesto en vibración, se hallan en relaciones sencillas con el sonido fundamental, combinándose con éste en una impresión única; pero varían en cada caso con la naturaleza del cuerpo sonoro, con las condiciones de tensión y con la fuerza impulsora. En el caso de cuerdas tensas, tubos abiertos, etc., la serie total de los sonidos armónicos corresponde á las siguientes relaciones entre su número de vibraciones:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Do_0	Do_1	Sol_1	Do_2	$Mí_2$	Sol_2	$Sí_2$—Do_3		Re_3	$Mí_3$	Fa_3—Sol_3		La_3—La_3—$Sí_3$			Do_4

Según que algunos de estos armónicos sobresalgan en su intensidad, y otros, por el contrario, se debiliten ó desaparezcan por completo, varía el timbre del

sonido, y en los diferentes instrumentos depende también su timbre especial, en la mayor parte de los casos, de la presencia de diferentes sonidos armónicos, que forman parte de la vibración compleja producida en ellos. Es más; la diferencia característica que distingue la formación de las *vocales*, la *a*, por ejemplo de la *e*, *i*, *o*, *u*, y éstas entre sí, está íntimamente enlazada con la coexistencia de ciertos y determinados sonidos armónicos. Cuando un cantante emite una nota con la vocal *a*, da lugar, por una disposición particular de la cavidad bucal, á la producción, junto á la nota dominante, de ciertos sonidos completamente distintos, que cuando da la misma nota con la vocal *o*, ó con cualquiera de las demás, y estos mismos armónicos determinan también en el lenguaje ordinario la pronunciación de una ú otra de dichas vocales. Helmholtz, no sólo ha demostrado este hecho por sus investigaciones, sino que todavía, en prueba de él, ha reproducido artificialmente las vocales por la combinación de los sonidos correspondientes. Ahora bien: la Naturaleza verifica esto mismo muchas veces espontáneamente, como lo demuestra que el timbre de las grandes campanas se imita en cierto modo con nuestra voz por una combinación de silbido y palabras, en las que juega el papel principal la vocal *u* (ummm... bummm), mientras que las pequeñas campanas se imitan con la *i* (immm... bimmm).

Las consonantes no tienen un carácter tan armónico, si se permite la palabra, sino que se forman por ruidos cuya producción depende generalmente de un cambio de posición de los órganos que constituyen la cavidad bucal.

PULSACIONES

Aparte de los sonidos armónicos, que se engendran todos simultáneamente con el sonido fundamental, y cuya causa reside en el mismo cuerpo sonoro, existen otras sensaciones sonoras que sólo se originan por la concurrencia en nuestro oído de diferentes ondulaciones; son éstas las pulsaciones llamadas también sonidos de Tartini, del conocido violinista de este nombre, que si bien no las describió por primera vez, fué, sin embargo, el que fijó primeramente en ellas su atención. Las pulsaciones son debidas á que las ondas correspondientes á cada ondulación se refuerzan entre sí ó se debilitan y aun aniquilan recíprocamente, según los casos; y también á que nuestro oído percibe las impresiones sucesivas correspondientes á diferentes ondulaciones, refiriéndolas á una sola causa, y por consecuencia como un sonido más agudo, cuyo número de vibraciones es igual á la suma de los números de vibraciones de los sonidos primitivos (sonidos resultantes aditivos).

Supongamos que un sonido fundamental y su tercera mayor se produzcan simultáneamente; en tal caso, cada cuatro ondas condensadas del primero se producirán en el mismo tiempo que cinco del segundo, y al cabo de este tiem-

po tendrán lugar en el mismo instante ambas ondas condensadas, sumándose sus efectos. Si este hecho se reproduce con bastante frecuencia para que el oído perciba en un segundo un número correspondiente de estos refuerzos, comprendidos entre otras debilitaciones en la impresión transmitida, el resultado será un nuevo sonido más grave que los primitivos. Estas son las primitivas pulsaciones descubiertas en 1740 por Sorge, compositor alemán, estudiadas después por Tartini, y á las cuales Helmholtz llamó después sonidos resultantes diferenciales, en correspondencia á los resultantes aditivos descubiertos por él.

Cuando las pulsaciones no se suceden con bastante rapidez para que puedan dar ocasión á una sensación sonora, determinan sólo en el oído conmociones mecánicas, choques, etc. Esta sucesión es tanto más lenta, cuanto más próximos se hallan entre sí los números de vibraciones de ambos sonidos, y tanto más rápida cuanto más difieran entre sí, por lo cual constituyen un medio muy cómodo y seguro para que los constructores de órganos puedan afinar exactamente entre sí los tubos del mismo.

La llamada resonancia de las cuerdas y tubos depende también de estos mismos fenómenos. Cuando se canta bien marcada una cierta nota enfrente de la caja abierta de un piano, se percibe un rumor bastante intenso, por efecto de que un gran número de cuerdas suenan, habiendo sido puestas en movimiento por las vibraciones del aire. Pero en medio de este rumor sobresale por su intensidad el sonido de la nota cantada, que subsiste después que los demás se han apagado por completo, puesto que á cada vibración de la cuerda llega una vibración aérea en el mismo sentido que la primera, cuyos pequeños impulsos, repetidos, mantienen la vibraclón de dicha cuerda largo tiempo. Todas las demás tienen vibraciones de diferentes velocidades, y, por tanto, los pequeños impulsos comunicados por las vibraciones del aire no pueden reforzarlas en todos los casos, sino que, por el contrario, actúan en sentido más ó menos directamente opuesto al de sus vibraciones, y apagan los sonidos correspondientes.

COLUMNAS VIBRANTES DE AIRE, Y TUBOS SONOROS

Aunque sumamente diversos por su aspecto exterior y por la forma de su manejo, los instrumentos de viento y los instrumentos de cuerda descansan en su acción sobre leyes de oscilaciones completamente análogas. Las condensaciones y dilataciones ondulatorias se suceden en ambos de una manera semejante, y sólo difieren por la forma de engendrarlas. Su rapidez, de la cual depende la altura del sonido, está determinada por la longitud de la columna de aire vibrante, y ésta se halla, á su vez, en relación directa con la longitud del instrumento mismo. El principio común á todos los instrumentos de viento pue-

de deducirse de la consideración de un simple tubo recto y cilíndrico, en el cual el aire se condensa y enrarece alternativamente, del mismo modo que en las vibraciones de una simple cuerda tensa hemos encontrado la expresión de las leyes generales de los instrumentos de cuerda.

Si soplamos sobre un tubo largo y abierto por abajo, determinaremos con esto un movimiento en el aire que encierra; pero sólo un movimiento que se propaga gradualmente, y no una oscilación, como es necesaria para producir un sonido. Esta última clase de movimiento puede originarse, por ejemplo, por medio de una lengüeta vibrante delante de la boca del tubo, la cual producirá una condensación de las partículas de aire situadas en su proximidad cada vez que se mueva hacia el interior del tubo, y, por el contrario, un enrarecimiento de dichas partículas cuando se mueva en sentido opuesto. Pero también se puede conseguir el objeto por los choques que experimenta una corriente de aire cuando tropieza contra una arista opuesta en su camino, cuyas formas ambas de poner en vibración una columna de aire, son empleadas en la construcción de los instrumentos musicales. Las trompetas, los cuernos de caza, las trompas, clarinetes y fagots, son ejemplos del primer caso, ó sean los llamados tubos de lengüeta, mientras que pertenecen al segundo grupo, ó sea de embocadura de flauta, los de órgano, y las flautas mismas. A ellos vamos á referir las leyes de los tubos sonoros en general. Las figuras 437 y 439 muestran el aspecto exterior de los tubos, y las figuras 438 y 440 un corte longitudinal de los mismos. La parte inferior, el pie, sirve para soplar. El aire marcha guiado por una pieza interior, *c*, contra la boca *a*, *b*, y sufre aquí, por el encuentro de la arista superior *b*, una condensación. Esta no dura largo tiempo, puesto que el aire puede difundirse libremente hacia el exterior; pero este juego se reproduce de nuevo constantemente por la continuidad de la corriente de aire, y se origina así, por la rápida sucesión de capas aéreas condensadas y enrarecidas, una serie de ondas. Estas conmociones se transmiten al aire contenido en el interior del tubo, y tratan de ponerle en vibración con la misma rapidez. Pero como la columna de aire encerrada tiende á oscilar en conjunto, actúa con sus movimientos más pesados sobre la rapidez de las ondas originadas en la boca del tubo, regularizando su velocidad. De aquí que cada tubo so-

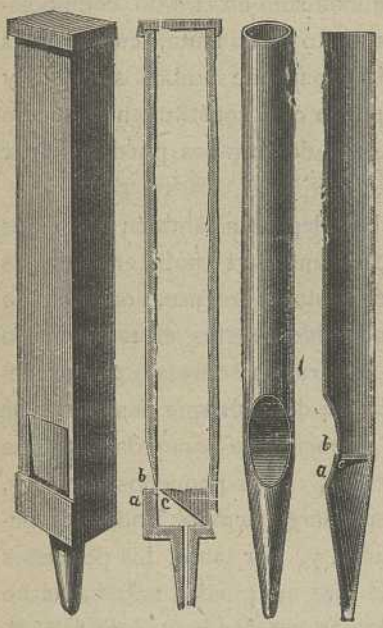


FIG. 437. FIG. 438. FIG. 439. FIG. 440.
Tubos sonoros cerrados y abiertos.

noro tiene su sonido especial, que depende de la longitud de la columna de aire contenida en él.

Es evidente que cada choque, cada condensación que actúa desde *a* hacia el interior de la columna de aire, se propaga en toda la longitud del tubo como onda condensada, hasta alcanzar el extremo cerrado *d* (figuras 437 y 438), se refleja en este extremo y vuelve de nuevo al orificio inferior. La capa superior de aire en *d* permanece, por consiguiente, en reposo, produciéndose allí un nodo de vibración. El sonido que da un tubo cerrado de medio pie parisién de longitud, coincide completamente con el que deja oir la sirena por 512 vibraciones al segundo. Ahora bien: como el sonido recorre en el aire 1.024 pies parisienses por segundo, y como la longitud de las ondas es el espacio al que se propaga el sonido mientras una partícula de aire verifica una oscilación, la longitud de cada una de las ondas engendradas por el sonido indicado debe ser igual á $\frac{1.024}{512}$ ó sea dos pies, y por consiguiente, la longitud del tubo cerrado (figuras 437 y 438) es igual á la cuarta parte de la longitud de onda del sonido fundamental correspondiente. Resulta, pues, que la altura del sonido es inversamente proporcional á la longitud del tubo.

En los tubos abiertos (figuras 439 y 440) se forma á la mitad el nodo de vibración; por consiguiente, para un mismo sonido fundamental el tubo abierto debe tener doble longitud que el cerrado.

König ha hecho visible por un medio muy ingenioso el estado de presión que reina en los diferentes puntos de una columna de aire vibratoria, practicando una serie de orificios á lo largo de la pared de un tubo sonoro de madera abierto, y cerrando dichos orificios con laminitas delgadas de cauchuc. Sobre cada uno de estos orificios se coloca una caja muy aplastada, en la que se abre un tubo de conducción de gas del alumbrado, y de ella sale un mechero, en el cual puede inflamarse el gas. Es evidente que en los puntos donde reine en el interior del tubo una presión constante, ó sea en los vientres de vibración, la llama exterior arderá de un modo completamente uniforme, mientras que en los puntos donde la membrana de cauchuc vibre por los cambios en la presión interior, ó sea en los nodos, la llama entrará en un movimiento de oscilación más ó menos intenso. Estas llamas, nombradas *manométricas* (fig. 441), se han manifestado un instrumento muy sensible para el estudio del estado vibratorio de las columnas de aire.

Así como las cuerdas de violín se subdividen espontáneamente en ciertas circunstancias, originándose nodos en ciertos puntos de su longitud, así también las columnas de aire sonoras, se prestan, bajo ciertas condiciones, á dividirse en partes alícuotas vibrantes por sí solas, dando origen á sonidos armónicos superiores. Si la columna de aire en un tubo sólo pudiera oscilar siempre de un mismo modo, se produciría también una sola nota con determinado instrumento.

Pero aquella propiedad á que nos hemos referido permite al ejecutante hacer dar á su instrumento los sonidos más variados. La serie de los sonidos superiores que pueden originarse en un tubo abierto por la división espontánea de la columna de aire vibratoria, está expresada por los números siguientes:

Do_0	Do_1	Sol_1	Do_2	$Mí_2$	Sol_2	$Sí_2$?	Do_3	Re_3	$Mí_3$	Fa_3?	Sol_3	La_3?	La_3?	$Sí_3$	Do_4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Todavía se producen simultáneamente sonidos superiores. En los instrumentos de viento consistentes en simples tubos, se da á éstos una gran longitud para obtener con la posible claridad y pureza los armónicos; de aquí que

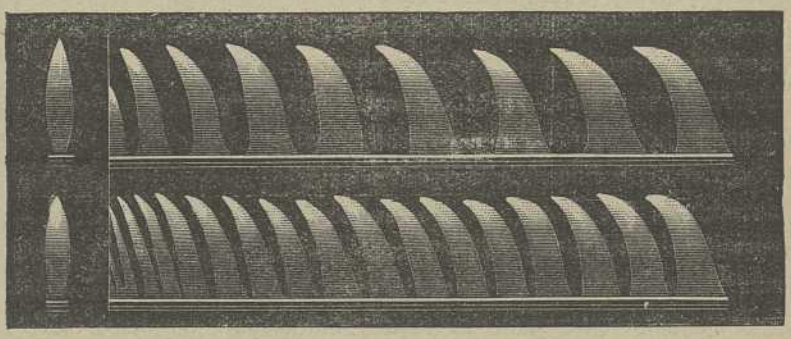


FIG 441 —Llamas manométricas para el sonido fundamental y su octava.

rara vez se utilice también su sonido fundamental. Como el número de vibraciones del sonido es un número perfectamente determinado, un instrumento que produce una serie especial, á partir de su sonido fundamental, no sirve para producir los sonidos que están fuera de dicha serie. De aquí que en la música se usan diferentes ejemplares de instrumentos de esta especie para diferentes clases de sonidos, y se diferencian entre sí en que la longitud de su tubo es tanto mayor cuanto más grave es el sonido fundamental. Existen, por ejemplo, entre las trompas, trompas en *do*, trompas en *fa*, trompas en *mí;* entre los clarinetes los hay en *do*, en *sí* y en *re;* por último, hay trompetas en *mí* y en *mí bemol*, etc. En los serpentones se hace variar la longitud de la columna de aire vibrante, y con esto su sonido fundamental, de la manera que es conocida, prolongando ó acortando el tubo.

EL OÍDO

En nuestra oreja, las ondas aéreas, que son las únicas que pueden originar una sensación sonora, chocan contra la *membrana del tímpano*, que es una membrana delgada y tensa que cierra la cavidad interna del oído. Esta recibe las vibraciones y las comunica por medio de *una cadena de huesecillos* que ac-

túa á modo de un finísimo sistema de palancas, desde su cara interna hasta la pared opuesta de la *caja del tambor*, en cuya pared existe otra membrana tensa, que separa esta caja del *laberinto*. En el laberinto se halla un líquido acuoso, llamado *humor auditivo*. A éste se transmiten, pues, las agitaciones de la cadena de huesecillos, adquiriendo un movimiento vibratorio que corresponde exactamente en su ritmo á la altura del que obra exteriormente sobre la membrana del tímpano. Estos movimientos, por lo demás puramente mecánicos, son recibidos finalmente por el nervio acústico mediante fibras sumamente particulares y perfectamente determinadas, de suerte que cada sonido excita siempre y exclusivamente á ciertas fibras de éstas, de cuyo fenómeno depende la distinción entre las sensaciones sonoras. Por más confusas y complejas que puedan ser las ondulaciones que lleguen á nuestro oído, en virtud de esta disposición, goza aquél en alto grado de la facultad de aislar unas de otras las vibraciones correspondientes, confundidas al parecer, y referirlas á sus causas particulares. En el murmullo que nos transmite constantemente el mundo exterior, distinguimos el rodar de los carruajes, las carcajadas, la conversación, el canto de las aves, el tictac de los relojes y los cientos de ruidos y sonidos que se producen en la vida, por más que todos actúan simultáneamente, por medio de movimientos de vaivén de la cadena de huesecillos, sobre el líquido que llena el oído interno. El aparato auditivo es, bajo este concepto, infinitamente admirable, y más sutil todavía que el ojo, que si bien mirando sobre la superficie de un lago, sobre el cual hemos arrojado dos ó tres piedras en sitios diferentes, nos permite reconocer y referir á sus causas especiales los sistemas aislados de anillos en medio de la red ondulatoria en que se cruzan, á manera de un tejido de encaje, pierde, sin embargo, esta facultad en cuanto aumenta el número de los centros de conmoción. En medio del torrente de notas lanzado por una orquesta en pleno, descubrimos los temas de cada uno de los instrumentos aislados, y un oído educado puede advertir las desafinaciones entre un coro de cientos de voces.

LA TELEFONÍA

Suena más aún que á fantasía cuando decimos que sea posible por medio del hilo telegráfico conversar con personas situadas á centenares de leguas de distancia, de suerte que éstas distingan por su propio oído nuestra voz, con todas sus particularidades é inflexiones, que puedan oir la melodía que nosotros cantemos, que perciban nuestra risa exactamente lo mismo que si se hallaran á nuestro lado, y, sin embargo, esta posibilidad se ha realizado ya, hasta cierto punto.

El profesor Reis, de Francfort, tuvo la feliz idea de hacer servir los telégrafos electro-magnéticos para determinar sensaciones sonoras á la misma dis-

tancia á que hasta entonces transmitía sensaciones visuales. El aparato electromagnético en este inmenso órgano auditivo juega el mismo papel que la cadena de huesecillos que transmite las agitaciones desde una á otra membrana; y la única diferencia entre el interior de la caja del tambor y el enlace así establecido entre dos estaciones, consiste en que en el primero se hacen perceptibles las ondas que chocan contra la membrana del tímpano por medio de un sistema de palanquitas, mientras que en el segundo se consigue este objeto mediante las conmociones de una varilla de hierro.

El teléfono de Reis está representado en la fig. 442, y tiene la siguiente

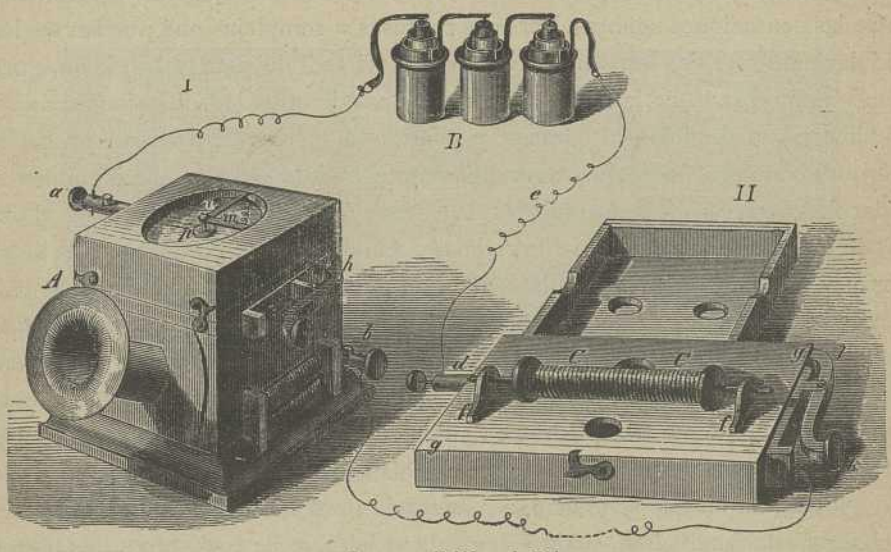


FIG. 442.—Teléfono de Reis.

disposición. En la primera estación, I, se halla una caja hueca, provista anteriormente de una boquilla, *A*. Por esta se canta la melodía que quiere hacerse oir en la otra estación, II. La caja tiene en su cara superior un orificio cerrado con una membrana fuertemente tensa, hecha de vejiga de cerdo fina. Sobre esta membrana se halla un disco sumamente delgado de platino, *p*, en el cual se apoya la punta de un estilete de platino, *n*, á modo de resorte, colocado de manera que toque al disco *p* precisamente cuando la membrana esté en reposo, pero que deje de tocarle á cada vibración de dicho disco. Por medio de este contacto intermitente, la corriente eléctrica que desde una pila de Bunsen, *B* (de 3 á 4 pares) llega al disco de platino á través del tornillo de presión *a* y desde el disco por el estilete *n* pasa al otro tornillo *b*, se hace también intermitente.

Desde *b* parte el hilo conductor hacia la segunda estación, rodea aquí la espiral *C C*, y marcha desde ésta á través del tornillo *d* y del hilo correspondiente, á la pila de origen. En el interior de la espiral existe un alambre de hierro delgado, sujeto por los dos extremos en los soportes *f*, *f*, los cuales descansan á

túa á modo de un finísimo sistema de palancas, desde su cara interna hasta la pared opuesta de la *caja del tambor*, en cuya pared existe otra membrana tensa, que separa esta caja del *laberinto*. En el laberinto se halla un líquido acuoso, llamado *humor auditivo*. A éste se transmiten, pues, las agitaciones de la cadena de huesecillos, adquiriendo un movimiento vibratorio que corresponde exactamente en su ritmo á la altura del que obra exteriormente sobre la membrana del tímpano. Estos movimientos, por lo demás puramente mecánicos, son recibidos finalmente por el nervio acústico mediante fibras sumamente particulares y perfectamente determinadas, de suerte que cada sonido excita siempre y exclusivamente á ciertas fibras de éstas, de cuyo fenómeno depende la distinción entre las sensaciones sonoras. Por más confusas y complejas que puedan ser las ondulaciones que lleguen á nuestro oído, en virtud de esta disposición, goza aquél en alto grado de la facultad de aislar unas de otras las vibraciones correspondientes, confundidas al parecer, y referirlas á sus causas particulares. En el murmullo que nos transmite constantemente el mundo exterior, distinguimos el rodar de los carruajes, las carcajadas, la conversación, el canto de las aves, el tictac de los relojes y los cientos de ruidos y sonidos que se producen en la vida, por más que todos actúan simultáneamente, por medio de movimientos de vaivén de la cadena de huesecillos, sobre el líquido que llena el oído interno. El aparato auditivo es, bajo este concepto, infinitamente admirable, y más sutil todavía que el ojo, que si bien mirando sobre la superficie de un lago, sobre el cual hemos arrojado dos ó tres piedras en sitios diferentes, nos permite reconocer y referir á sus causas especiales los sistemas aislados de anillos en medio de la red ondulatoria en que se cruzan, á manera de un tejido de encaje, pierde, sin embargo, esta facultad en cuanto aumenta el número de los centros de conmoción. En medio del torrente de notas lanzado por una orquesta en pleno, descubrimos los temas de cada uno de los instrumentos aislados, y un oído educado puede advertir las desafinaciones entre un coro de cientos de voces.

LA TELEFONÍA

Suena más aún que á fantasía cuando decimos que sea posible por medio del hilo telegráfico conversar con personas situadas á centenares de leguas de distancia, de suerte que éstas distingan por su propio oído nuestra voz, con todas sus particularidades é inflexiones, que puedan oir la melodía que nosotros cantemos, que perciban nuestra risa exactamente lo mismo que si se hallaran á nuestro lado, y, sin embargo, esta posibilidad se ha realizado ya, hasta cierto punto.

El profesor Reis, de Francfort, tuvo la feliz idea de hacer servir los telégrafos electro-magnéticos para determinar sensaciones sonoras á la misma dis-

tancia á que hasta entonces transmitía sensaciones visuales. El aparato electromagnético en este inmenso órgano auditivo juega el mismo papel que la cadena de huesecillos que transmite las agitaciones desde una á otra membrana; y la única diferencia entre el interior de la caja del tambor y el enlace así establecido entre dos estaciones, consiste en que en el primero se hacen perceptibles las ondas que chocan contra la membrana del tímpano por medio de un sistema de palanquitas, mientras que en el segundo se consigue este objeto mediante las conmociones de una varilla de hierro.

El teléfono de Reis está representado en la fig. 442, y tiene la siguiente

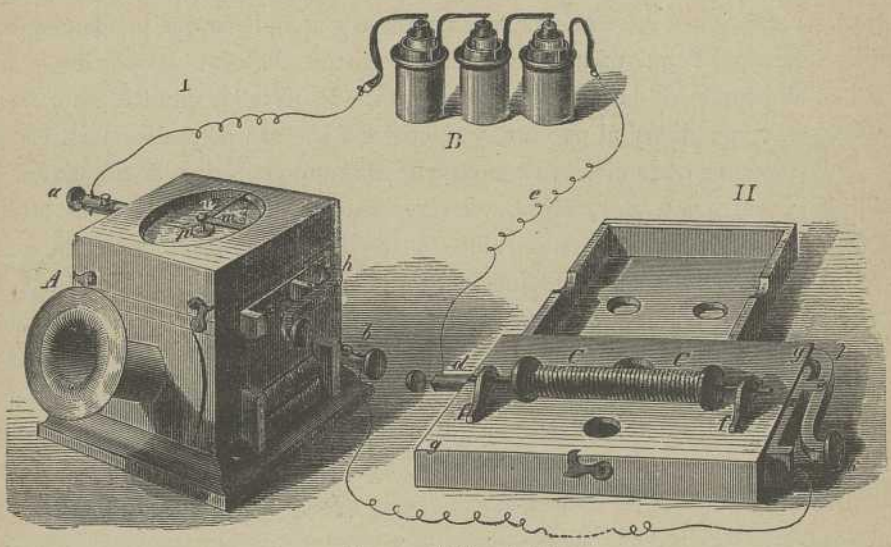


FIG. 442.—Teléfono de Reis.

disposición. En la primera estación, I, se halla una caja hueca, provista anteriormente de una boquilla, *A*. Por esta se canta la melodía que quiere hacerse oir en la otra estación, II. La caja tiene en su cara superior un orificio cerrado con una membrana fuertemente tensa, hecha de vejiga de cerdo fina. Sobre esta membrana se halla un disco sumamente delgado de platino, *p*, en el cual se apoya la punta de un estilete de platino, *n*, á modo de resorte, colocado de manera que toque al disco *p* precisamente cuando la membrana esté en reposo, pero que deje de tocarle á cada vibración de dicho disco. Por medio de este contacto intermitente, la corriente eléctrica que desde una pila de Bunsen, *B* (de 3 á 4 pares) llega al disco de platino á través del tornillo de presión *a* y desde el disco por el estilete *n* pasa al otro tornillo *b*, se hace también intermitente.

Desde *b* parte el hilo conductor hacia la segunda estación, rodea aquí la espiral *C C*, y marcha desde ésta á través del tornillo *d* y del hilo correspondiente, á la pila de origen. En el interior de la espiral existe un alambre de hierro delgado, sujeto por los dos extremos en los soportes *f*, *f*, los cuales descansan á

su vez sobre una caja de resonancia, *g g*. La parte *h i k l* pertenece en ambas estaciones á un aparato telegráfico, por medio del cual puede llamarse la atención del encargado para que reciba el despacho transmitido.

La reproducción de los sonidos se funda en que cada vez que la varilla de hierro se magnetiza por el paso de la corriente eléctrica en la espiral, dicha varilla entra en conmoción. Por más que los movimientos de sus menores partículas sean muy tenues, bastan, sin embargo, para engendrar ondas cuya rápida sucesión puede ser percibida como un sonido y precisamente de la misma altura del sonido cantado en el aparato de la estación de origen y por cuyas vibraciones fué excitada la membrana. La caja de resonancia sirve para reforzar el sonido.

Reis practicó ya con su aparato, en Octubre de 1861, experiencias afortunadas. Una melodía cantada con alguna claridad, se reprodujo á una distancia de 100 metros por medio de su aparato. Sin embargo, éste era todavía muy imperfecto, y transcurrió largo tiempo antes de que el teléfono alcanzara una forma apropiada para el uso práctico. En efecto, en aquella forma podía ciertamente expresar la altura del sonido, y, hasta cierto punto, también la intensidad relativa, pero no el timbre, lo cual es de la mayor importancia para la telefonía de la palabra hablada; pues, como hemos visto, junto al número de vibraciones (altura musical) y la amplitud de estas oscilaciones (intensidad) existe el llamado timbre, producido por los armónicos que acompañan á cada sonido, y que tiene una influencia esencial en el sonido característico de los instrumentos musicales, y, sobre todo, en un orden de cosas mucho más elevado, en la serie de sonidos que constituyen la voz humana y el lenguaje.

Ahora bien; esta forma variable de las vibraciones, este desarrollo particular, resultado de la composición de todas las vibraciones elementales que influyen en la impresión total, no puede reproducirse por una serie de corrientes aisladas intermitentes (corrientes pulsatorias, como las llama Bell), sino sólo por las modificaciones de una corriente continua. En oposición á las corrientes pulsatorias, llama Bell á estas corrientes permanentes y variables, corrientes ondulatorias. El teléfono de Reis no podía engendrar estas corrientes ondulatorias, ó á lo más las producía de un modo muy incompleto; y sólo en tanto que duraba el contacto entre la punta de platino y el disco de la misma sustancia, y el efecto de ellas sobre los nervios acústicos, quedaba oscurecido por las vibraciones mucho más intensas que se originaban en relación con las interrupciones de la corriente, cuya intensidad era siempre la misma. Pero cuando se desistió de la corriente de una pila que sólo podía marcar las vibraciones por medio de interrupciones, y se aplicaron las corrientes de inducción á la transmisión de los sonidos, entonces se entró en el camino por el cual podía llegar rápidamente el teléfono á su perfección. Muchos trabajaron en la solución del problema, pero el primero que consiguió encontrarla de una manera verdaderamente sorprendente fué

el profesor Alex. Graham Bell, nacido en Edimburgo y residente en Boston (Estados Unidos) en 1877.

El teléfono de Bell está representado en las figuras 443 y 444. Consiste principalmente en una barra magnética, *A*, alrededor de uno de cuyos polos en caja una espiral de inducción *B*, formada por hilo fino de cobre revestido, cuyos extremos se prolongan por dos hilos gruesos *C C*, que se ponen en comunicación con los conductores *L L* mediante tornillos de presión, *D D*. Bastante próximo al imán *A* se halla una membrana *E E* consistente en una laminita de hierro dulce que es puesta en vibración sonora por las atracciones variables del polo del imán, rodeado de la espiral de inducción.

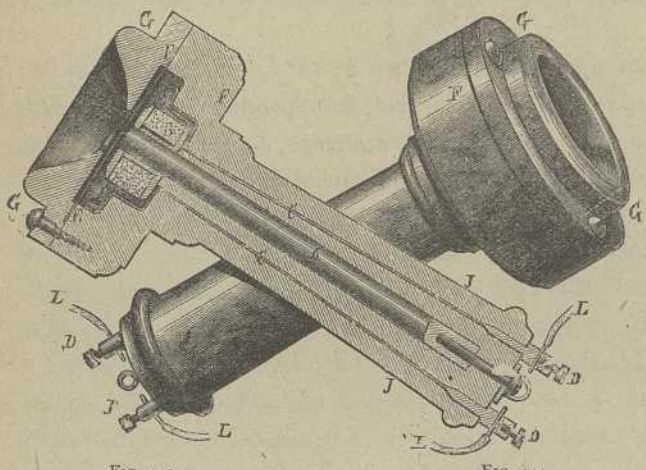


FIG. 443. FIG. 444.

Teléfono de Graham Bell.

El conjunto está encerrado en una armadura de madera que lleva en la parte *G G*, sobre la membrana *E E*, una abertura en forma de embudo, que sirve como boquilla. La armadura disminuye de diámetro en la parte inferior, donde sólo tiene que proteger á la barra magnética, fija en la posición correspondiente por medio de un tornillo, y á los dos conductores *C C*. En la otra estación debemos suponer un teléfono exactamente igual al descrito, y unido con él de suerte que los extremos de los conductores *L L* se adaptan en aquél á tornillos de presión *D D*. Ahora es fácil de comprender la manera de obrar del sistema total.

En efecto, cogiendo el aparato y hablando por el embudo á modo de boquilla, entra la membrana *E E* en vibración; por consecuencia de estas vibraciones varía su posición con respecto al polo del imán, y por tanto su propio estado magnético, así como también el estado magnético del polo. Se originan aumentos y disminuciones de su intensidad, que deben inducir en la espiral *C* corrientes ondulatorias, las que corresponderán exactamente en su curso á las vibraciones excitadas en la membrana.

Estas corrientes recorren primeramente en el segundo teléfono la espiral *b*, y determinan aquí los efectos consiguientes. Por su influencia sobre la intensidad del polo del imán, hacen cambiar ésta, y con ella la atracción que ejerce sobre la membrana de acero. Ésta verifica, en virtud de esta influencia, vibraciones que coinciden con las de la membrana en cuanto á su número y forma, pero

su vez sobre una caja de resonancia, *g g*. La parte *h i k l* pertenece en ambas estaciones á un aparato telegráfico, por medio del cual puede llamarse la atención del encargado para que reciba el despacho transmitido.

La reproducción de los sonidos se funda en que cada vez que la varilla de hierro se magnetiza por el paso de la corriente eléctrica en la espiral, dicha varilla entra en conmoción. Por más que los movimientos de sus menores partículas sean muy tenues, bastan, sin embargo, para engendrar ondas cuya rápida sucesión puede ser percibida como un sonido y precisamente de la misma altura del sonido cantado en el aparato de la estación de origen y por cuyas vibraciones fué excitada la membrana. La caja de resonancia sirve para reforzar el sonido.

Reis practicó ya con su aparato, en Octubre de 1861, experiencias afortunadas. Una melodía cantada con alguna claridad, se reprodujo á una distancia de 100 metros por medio de su aparato. Sin embargo, éste era todavía muy imperfecto, y transcurrió largo tiempo antes de que el teléfono alcanzara una forma apropiada para el uso práctico. En efecto, en aquella forma podía ciertamente expresar la altura del sonido, y, hasta cierto punto, también la intensidad relativa, pero no el timbre, lo cual es de la mayor importancia para la telefonía de la palabra hablada; pues, como hemos visto, junto al número de vibraciones (altura musical) y la amplitud de estas oscilaciones (intensidad) existe el llamado timbre, producido por los armónicos que acompañan á cada sonido, y que tiene una influencia esencial en el sonido característico de los instrumentos musicales, y, sobre todo, en un orden de cosas mucho más elevado, en la serie de sonidos que constituyen la voz humana y el lenguaje.

Ahora bien; esta forma variable de las vibraciones, este desarrollo particular, resultado de la composición de todas las vibraciones elementales que influyen en la impresión total, no puede reproducirse por una serie de corrientes aisladas intermitentes (corrientes pulsatorias, como las llama Bell), sino sólo por las modificaciones de una corriente continua. En oposición á las corrientes pulsatorias, llama Bell á estas corrientes permanentes y variables, corrientes ondulatorias. El teléfono de Reis no podía engendrar estas corrientes ondulatorias, ó á lo más las producía de un modo muy incompleto; y sólo en tanto que duraba el contacto entre la punta de platino y el disco de la misma sustancia, y el efecto de ellas sobre los nervios acústicos, quedaba oscurecido por las vibraciones mucho más intensas que se originaban en relación con las interrupciones de la corriente, cuya intensidad era siempre la misma. Pero cuando se desistió de la corriente de una pila que sólo podía marcar las vibraciones por medio de interrupciones, y se aplicaron las corrientes de inducción á la transmisión de los sonidos, entonces se entró en el camino por el cual podía llegar rápidamente el teléfono á su perfección. Muchos trabajaron en la solución del problema, pero el primero que consiguió encontrarla de una manera verdaderamente sorprendente fué

el profesor Alex. Graham Bell, nacido en Edimburgo y residente en Boston (Estados Unidos) en 1877.

El teléfono de Bell está representado en las figuras 443 y 444. Consiste principalmente en una barra magnética, *A*, alrededor de uno de cuyos polos en caja una espiral de inducción *B*, formada por hilo fino de cobre revestido, cuyos extremos se prolongan por dos hilos gruesos *C C*, que se ponen en comunicación con los conductores *L L* mediante tornillos de presión, *D D*. Bastante próximo al imán *A* se halla una membrana *E E* consistente en una laminita de hierro dulce que es puesta en vibración sonora por las atracciones variables del polo del imán, rodeado de la espiral de inducción.

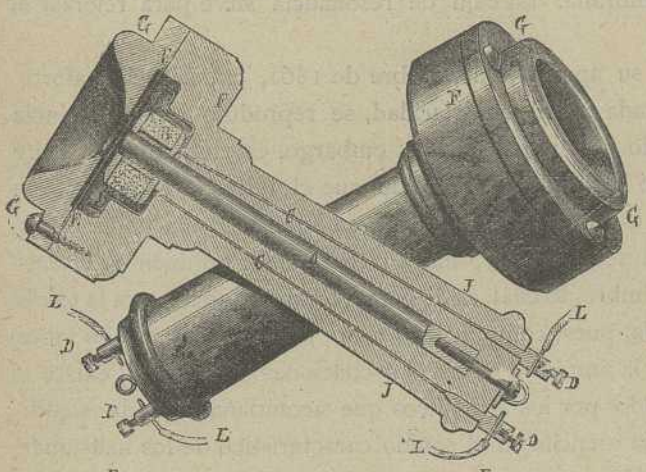


Fig. 443. Fig. 444.

Teléfono de Graham Bell.

El conjunto está encerrado en una armadura de madera que lleva en la parte *G G*, sobre la membrana *E E*, una abertura en forma de embudo, que sirve como boquilla. La armadura disminuye de diámetro en la parte inferior, donde sólo tiene que proteger á la barra magnética, fija en la posición correspondiente por medio de un tornillo, y á los dos conductores *C C*. En la otra estación debemos suponer un teléfono exactamente igual al descrito, y unido con él de suerte que los extremos de los conductores *L L* se adaptan en aquél á tornillos de presión *D D*. Ahora es fácil de comprender la manera de obrar del sistema total.

En efecto, cogiendo el aparato y hablando por el embudo á modo de boquilla, entra la membrana *E E* en vibración; por consecuencia de estas vibraciones varía su posición con respecto al polo del imán, y por tanto su propio estado magnético, así como también el estado magnético del polo. Se originan aumentos y disminuciones de su intensidad, que deben inducir en la espiral *C* corrientes ondulatorias, las que corresponderán exactamente en su curso á las vibraciones excitadas en la membrana.

Estas corrientes recorren primeramente en el segundo teléfono la espiral *b*, y determinan aquí los efectos consiguientes. Por su influencia sobre la intensidad del polo del imán, hacen cambiar ésta, y con ella la atracción que ejerce sobre la membrana de acero. Ésta verifica, en virtud de esta influencia, vibraciones que coinciden con las de la membrana en cuanto á su número y forma, pero

que son naturalmente más débiles, puesto que las distancias entre las partes inductoras é inducidas del aparato dan lugar necesariamente á pérdidas en la transmisión y transformación de la fuerza. Las corrientes eléctricas procedentes del primer teléfono, el que habla, se hacen perceptibles por la membrana del segundo teléfono, el receptor, como vibración sonora, y basta sólo aplicar la boquilla de este segundo teléfono á la oreja para que estas vibraciones se hagan más sensibles. Un mismo teléfono puede, pues, ser utilizado doblemente como trompetilla acústica y tubo acústico.

FIG. 445.—Unión de dos teléfonos de Bell.

Lo mismo que en el telégrafo, basta también en el teléfono un conductor sencillo, pues el regreso de la corriente se verifica por la tierra, de modo que la combinación de dos teléfonos *T 1* y *T 2*, tiene lugar como representa la figura 445; los hilos exteriores deben suponerse en unión con la tierra.

El teléfono de Bell difícilmente puede ser excedido en cuanto á sencillez; por esto sin duda los inventores, una vez poseídos de su principio, han podido hacer poco para perfeccionarle. El teléfono de Siemens y Halske, que es empleado generalmente en las oficinas telegráficas oficiales de Alemania, se distingue sólo del de Bell en que la acción inductora, no sólo alcanza á un polo del imán, sino que ambos polos son excitados por las vibraciones de la lámina de hierro; y como quiera que las corrientes de inducción originadas por esta acción doble adquieren mayor intensidad, la reproducción de las ondas sonoras se verifica también con mayor claridad. Se ha conseguido esto dando al imán una forma en herradura, cuyas dos ramas *M M* y *S S* (fig. 447) están provistas de armaduras polares sobre las cuales se hallan colocadas las espirales de inducción *U U* (figuras 446 y 447). *H H* son láminas de madera que sujetan los hilos conductores *R R*. El tornillo *g* mantiene al imán en su posición conveniente con respecto á la membrana. El conjunto está encerrado en un estuche de madera (fig. 446), que se parece exteriormente al del teléfono de Bell. Una adición importante es

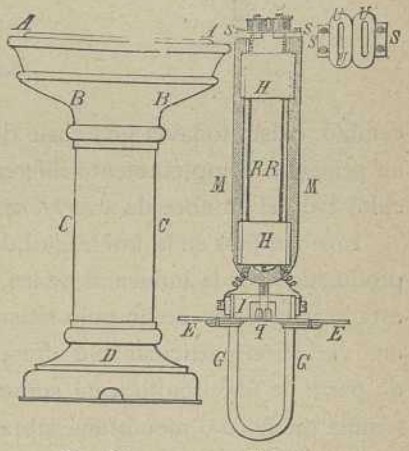


FIG. 446. FIG. 447.
Teléfono de Siemens.

la del tubo de señales. Un tubo de lengüeta, que puede adaptarse á la boquilla, hacer sonar al unísono á otro tubo igual situado en la otra estación, el cual lo verifica bastante fuertemente para llamar la atención hacia la conversación que se trata de comenzar.

En el teléfono inventado por Böttcher trata éste de conseguir un aumento en la intensidad de la acción, colocando el imán, no ya fijo como lo hicieron Bell y Siemens, sino suspendido á resorte bajo la membrana, de suerte que éntre el mismo en vibraciones, las cuales, estando dirigidas en sentido contrario que las de la membrana, refuerzan hasta cierto punto la acción inductora. Pero sería demasiado prolijo enumerar todos los proyectos de este género. En

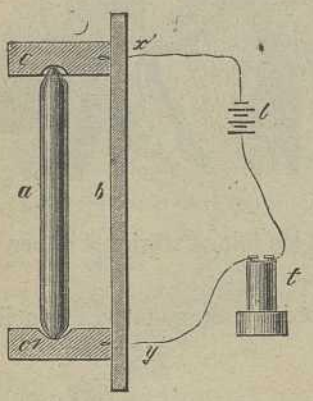


FIG. 448.

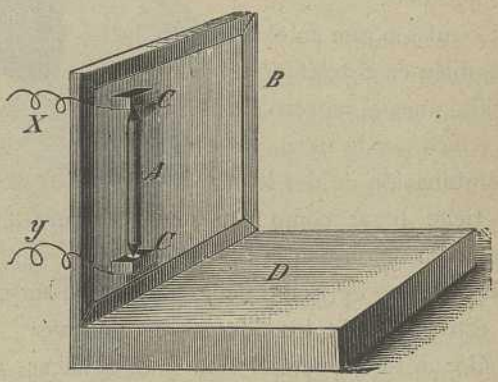


FIG. 449.

Micrófono de Hughes.

cambio, existe todavía una clase de aparatos telefónicos que descansan sobre un principio completamente diferente; son éstos los teléfonos de carbón, conocidos bajo el nombre de *micrófonos*, por su extraordinaria sensibilidad.

Los cambios en la intensidad de la corriente, que en el teléfono de Bell son producidos por la influencia de las oscilaciones de la membrana férrea sobre el estado magnético de un polo situado en presencia, se producen en éstos por una variación particular que ofrece el carbón en su resistencia, cuando, formando parte de un circuito, está sometido á presiones variables por parte de una lámina metálica ó membrana vibratoria.

Es un hecho conocido que cuando el circuito está constituído de modo que uno de los hilos conductores termine en un trozo de carbón homogéneo y denso y el otro en una pieza metálica, la intensidad de la corriente que pasa, varía con la presión según la cual se unen en su contacto ambos extremos polares. Aumentando esta presión, disminuye la resistencia y crece la intensidad de la corriente, como si se aumentara el número de los puntos de unión entre ambos conductores, y viceversa. El hecho es el mismo entre carbón y carbón, lo cual representan las figuras 448 y 449. Desde la pila *l* parte la

que son naturalmente más débiles, puesto que las distancias entre las partes inductoras é inducidas del aparato dan lugar necesariamente á pérdidas en la transmisión y transformación de la fuerza. Las corrientes eléctricas procedentes del primer teléfono, el que habla, se hacen perceptibles por la membrana del segundo teléfono, el receptor, como vibración sonora, y basta sólo aplicar la boquilla de este segundo teléfono á la oreja para que estas vibraciones se hagan más sensibles. Un mismo teléfono puede, pues, ser utilizado doblemente como trompetilla acústica y tubo acústico.

FIG. 445.—Unión de dos teléfonos de Bell.

Lo mismo que en el telégrafo, basta también en el teléfono un conductor sencillo, pues el regreso de la corriente se verifica por la tierra, de modo que la combinación de dos teléfonos *T 1* y *T 2*, tiene lugar como representa la figura 445; los hilos exteriores deben suponerse en unión con la tierra.

El teléfono de Bell difícilmente puede ser excedido en cuanto á sencillez; por esto sin duda los inventores, una vez poseídos de su principio, han podido hacer poco para perfeccionarle. El teléfono de Siemens y Halske, que es empleado generalmente en las oficinas telegráficas oficiales de Alemania, se distingue sólo del de Bell en que la acción inductora, no sólo alcanza á un polo del imán, sino que ambos polos son excitados por las vibraciones de la lámina de hierro; y como quiera que las corrientes de inducción originadas por esta acción doble adquieren mayor intensidad, la reproducción de las ondas sonoras se verifica también con mayor claridad. Se ha conseguido esto dando al imán una forma en herradura, cuyas dos ramas *M M* y *S S* (fig. 447) están provistas de armaduras polares sobre las cuales se hallan colocadas las espirales de inducción *U U* (figuras 446 y 447). *H H* son láminas de madera que sujetan los hilos conductores *R R*. El tornillo *g* mantiene al imán en su posición conveniente con respecto á la membrana. El conjunto está encerrado en un estuche de madera (fig. 446), que se parece exteriormente al del teléfono de Bell. Una adición importante es

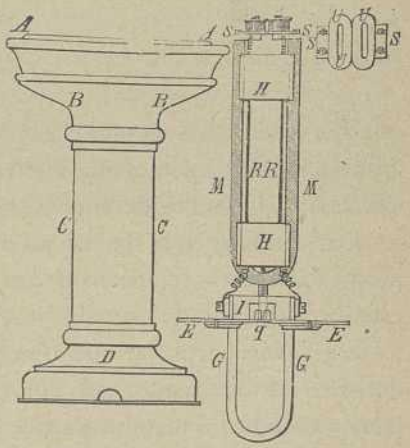


FIG. 446. FIG. 447.
Teléfono de Siemens.

la del tubo de señales. Un tubo de lengüeta, que puede adaptarse á la boquilla, hacer sonar al unísono á otro tubo igual situado en la otra estación, el cual lo verifica bastante fuertemente para llamar la atención hacia la conversación que se trata de comenzar.

En el teléfono inventado por Böttcher trata éste de conseguir un aumento en la intensidad de la acción, colocando el imán, no ya fijo como lo hicieron Bell y Siemens, sino suspendido á resorte bajo la membrana, de suerte que éntre el mismo en vibraciones, las cuales, estando dirigidas en sentido contrario que las de la membrana, refuerzan hasta cierto punto la acción inductora. Pero sería demasiado prolijo enumerar todos los proyectos de este género. En

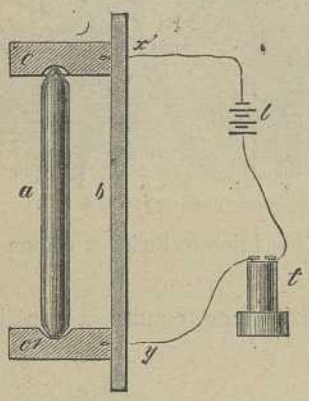


FIG. 448.

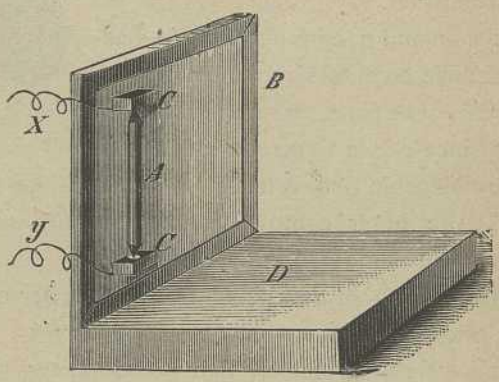


FIG. 449.

Micrófono de Hughes.

cambio, existe todavía una clase de aparatos telefónicos que descansan sobre un principio completamente diferente; son éstos los teléfonos de carbón, conocidos bajo el nombre de *micrófonos*, por su extraordinaria sensibilidad.

Los cambios en la intensidad de la corriente, que en el teléfono de Bell son producidos por la influencia de las oscilaciones de la membrana férrea sobre el estado magnético de un polo situado en presencia, se producen en éstos por una variación particular que ofrece el carbón en su resistencia, cuando, formando parte de un circuito, está sometido á presiones variables por parte de una lámina metálica ó membrana vibratoria.

Es un hecho conocido que cuando el circuito está constituído de modo que uno de los hilos conductores termine en un trozo de carbón homogéneo y denso y el otro en una pieza metálica, la intensidad de la corriente que pasa, varía con la presión según la cual se unen en su contacto ambos extremos polares. Aumentando esta presión, disminuye la resistencia y crece la intensidad de la corriente, como si se aumentara el número de los puntos de unión entre ambos conductores, y viceversa. El hecho es el mismo entre carbón y carbón, lo cual representan las figuras 448 y 449. Desde la pila *l* parte la

corriente á través del conductor cerrado *x c a c' y*, volviendo á su origen *l*; *c* y *c'* son pedazos de carbón á los cuales llegan los hilos *x*, *l*, *y*; *a* es una barra de carbón que está simplemente ajustada por medio de dos cavidades regulares entre ambos trozos *c* y *c'*. El sistema total está unido á la pared de una planchita de resonancia *B*, que á su vez se apoya sobre la caja de resonancia *D*. En el estado de reposo, cuando la presión entre *a* y *c* permanece constante, la intensidad de la corriente no sufre tampoco variación alguna. Pero si *c* y *c'* se aproximan ó se alejan entre sí, como sucede cuando la planchita entra en vibración, entonces comprimen con fuerza variable á la barra *a*, modificándose proporcionalmente la resistencia y la intensidad de la corriente en el sentido antes dicho. Esta propiedad es notable especialmente por su extraordinaria sensibilidad; la más mínima conmoción, como, por ejemplo, el paso de una mosca que corra sobre una de las planchas de resonancia, puede hacerse claramente perceptible á nuestro oído por las variaciones de la corriente producidas del modo indicado.

Si se intercala, pues, en el conductor de la corriente permanente un contacto de carbón parecido, lo cual puede verificarse de distintos modos, de suerte que la lámina metálica reciba y devuelva las vibraciones sonoras, la intensidad de la corriente que atraviese el circuito variará exactamente en la misma proporción en que aquellas vibraciones influyen en la presión de la membrana contra el carbón. Ahora bien; estas variaciones de la corriente pueden utilizarse para la generación de corrientes inducidas ondulatorias, cuyas últimas, transmitidas á la estación de destino, originarán en un aparato ordinario de Bell ó de Siemens nuevas vibraciones sonoras, y, como tales, perceptibles á nuestro oído. La corriente del circuito galvánico reemplaza aquí al imán del teléfono de Bell; pero como aquélla no puede excitar de igual modo á la membrana por medio del contacto de carbón, de suerte que estas variaciones de la corriente se convirtieran de nuevo en vibraciones sonoras, de aquí que se haga necesario un aparato receptor especial para el teléfono de carbón, cuyo receptor especial puede ser un teléfono de Bell. El teléfono de carbón, ó micrófono, sólo puede servir como transmisor.

Los teléfonos de carbón se han construído de diferentes maneras. Edison, el primero que inventó uno de estos aparatos, colocó entre dos correderas metálicas, de las cuales la una estaba destinada á recibir las vibraciones sonoras como membrana, una capa de negro de humo comprimido, y condujo á través de este sistema la corriente, cuya intensidad cambiaba según que la lámina vibratoria ejercía mayor ó menor presión sobre este intermedio de carbón.

En el micrófono de Bell-Blake, sobre la membrana contra la cual se habla, se apoya un resorte metálico con un buril, el cual á su vez se aplica contra una planchita de carbón; la conducción de la corriente tiene lugar entre ambas de un modo semejante al del antiguo aparato de Reis. Emilio Berliner, de

Wáshington, hace que se compriman entre sí dos pedazos de grafito movibles á charnela, haciendo pasar la corriente de una pila por este contacto doble de carbón. El micrófono de Ader sólo difiere del modelo de Hughes en que la corriente no atraviesa sólo una barra de carbón, sino un sistema formado por cuatro de éstas, colocadas entre pequeños bloques de carbón, con lo cual se debe obtener una sensibilidad todavía mayor y un funcionamiento más seguro. Con el auxilio de estas invenciones, la telefonía ha alcanzado un desarrollo tal, que hoy forma ya un factor irreemplazable en las grandes empresas de la vida. Desde nuestra propia casa podemos hablar ya con cualquiera que posea un aparato unido con la estación central á distancia de muchos cientos de kilómetros. Estos admirables resultados económicos no pueden ser aquí objeto de descripciones más detalladas; encontrarán lugar oportuno al tratar en general de los medios de comunicación.

Pero todavía parece más maravilloso de lo que es el teléfono mismo, un descubrimiento que no sólo hace posible la transmisión de la palabra hablada á través de los espacios más dilatados, sino que la conserva también á lo largo del tiempo con todas sus particularidades; de suerte que después de una serie cualquiera de años, puede resucitar la misma voz y entonar la misma canción, con expresión idéntica á aquella con que fué cantada en el momento en que la recibió el aparato.

EL FONÓGRAFO

Se funda éste, en que las impresiones determinadas sobre una hoja de papel de estaño por un estilete ante el cual pasa la hoja con un movimiento uniforme, y cuyo estilete va unido á una membrana elástica puesta en vibración por resonancia, corresponden exactamente, por su forma, á la de las ondas sonoras que pusieron en vibración á la membrana. Ahora bien; estas hojas de papel de estaño pueden ser utilizadas para reproducir el mismo sonido en un aparato completamente idéntico al en que fueron impresionadas por aquél, sin más que hacerle funcionar de un modo inverso, á semejanza del teléfono de Bell. Puesto el estilete que va unido á la membrana sobre las impresiones de la hoja de papel de estaño, y avanzando ésta por debajo de él, le obliga á repetir todos los movimientos vibratorios en virtud de los cuales produjo en un principio aquellas huellas. La membrana misma recibirá todas las mismas vibraciones que antes le había comunicado nuestra voz, ó las notas de un instrumento musical, y, por consiguiente, sonará cual lo hace la placa de un teléfono. Por más que parezca esto muy raro, es, sin embargo, un hecho real y positivo. El fonógrafo habla, canta y silba todo cuanto se hable, cante ó silbe ante él, y cuantas veces se quiera. Siempre que se hagan pasar por delante de la punta algo roma del estilete las impresiones grabadas en la hoja de papel de estaño, se oirá de nuevo la

corriente á través del conductor cerrado *x c a c' y*, volviendo á su origen *l*; *c* y *c'* son pedazos de carbón á los cuales llegan los hilos *x*, *l*, *y*; *a* es una barra de carbón que está simplemente ajustada por medio de dos cavidades regulares entre ambos trozos *c* y *c'*. El sistema total está unido á la pared de una planchita de resonancia *B*, que á su vez se apoya sobre la caja de resonancia *D*. En el estado de reposo, cuando la presión entre *a* y *c* permanece constante, la intensidad de la corriente no sufre tampoco variación alguna. Pero si *c* y *c'* se aproximan ó se alejan entre sí, como sucede cuando la planchita entra en vibración, entonces comprimen con fuerza variable á la barra *a*, modificándose proporcionalmente la resistencia y la intensidad de la corriente en el sentido antes dicho. Esta propiedad es notable especialmente por su extraordinaria sensibilidad; la más mínima conmoción, como, por ejemplo, el paso de una mosca que corra sobre una de las planchas de resonancia, puede hacerse claramente perceptible á nuestro oído por las variaciones de la corriente producidas del modo indicado.

Si se intercala, pues, en el conductor de la corriente permanente un contacto de carbón parecido, lo cual puede verificarse de distintos modos, de suerte que la lámina metálica reciba y devuelva las vibraciones sonoras, la intensidad de la corriente que atraviese el circuito variará exactamente en la misma proporción en que aquellas vibraciones influyen en la presión de la membrana contra el carbón. Ahora bien; estas variaciones de la corriente pueden utilizarse para la generación de corrientes inducidas ondulatorias, cuyas últimas, transmitidas á la estación de destino, originarán en un aparato ordinario de Bell ó de Siemens nuevas vibraciones sonoras, y, como tales, perceptibles á nuestro oído. La corriente del circuito galvánico reemplaza aquí al imán del teléfono de Bell; pero como aquélla no puede excitar de igual modo á la membrana por medio del contacto de carbón, de suerte que estas variaciones de la corriente se convirtieran de nuevo en vibraciones sonoras, de aquí que se haga necesario un aparato receptor especial para el teléfono de carbón, cuyo receptor especial puede ser un teléfono de Bell. El teléfono de carbón, ó micrófono, sólo puede servir como transmisor.

Los teléfonos de carbón se han construído de diferentes maneras. Edison, el primero que inventó uno de estos aparatos, colocó entre dos correderas metálicas, de las cuales la una estaba destinada á recibir las vibraciones sonoras como membrana, una capa de negro de humo comprimido, y condujo á través de este sistema la corriente, cuya intensidad cambiaba según que la lámina vibratoria ejercía mayor ó menor presión sobre este intermedio de carbón.

En el micrófono de Bell-Blake, sobre la membrana contra la cual se habla, se apoya un resorte metálico con un buril, el cual á su vez se aplica contra una planchita de carbón; la conducción de la corriente tiene lugar entre ambas de un modo semejante al del antiguo aparato de Reis. Emilio Berliner, de

Wáshington, hace que se compriman entre sí dos pedazos de grafito movibles á charnela, haciendo pasar la corriente de una pila por este contacto doble de carbón. El micrófono de Ader sólo difiere del modelo de Hughes en que la corriente no atraviesa sólo una barra de carbón, sino un sistema formado por cuatro de éstas, colocadas entre pequeños bloques de carbón, con lo cual se debe obtener una sensibilidad todavía mayor y un funcionamiento más seguro. Con el auxilio de estas invenciones, la telefonía ha alcanzado un desarrollo tal, que hoy forma ya un factor irreemplazable en las grandes empresas de la vida. Desde nuestra propia casa podemos hablar ya con cualquiera que posea un aparato unido con la estación central á distancia de muchos cientos de kilómetros. Estos admirables resultados económicos no pueden ser aquí objeto de descripciones más detalladas; encontrarán lugar oportuno al tratar en general de los medios de comunicación.

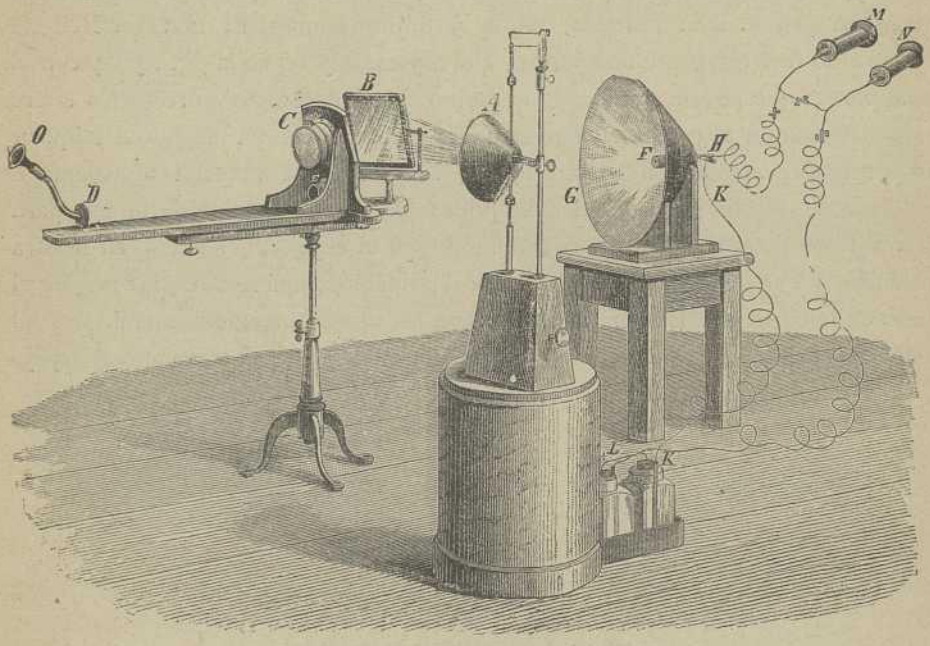
Pero todavía parece más maravilloso de lo que es el teléfono mismo, un descubrimiento que no sólo hace posible la transmisión de la palabra hablada á través de los espacios más dilatados, sino que la conserva también á lo largo del tiempo con todas sus particularidades; de suerte que después de una serie cualquiera de años, puede resucitar la misma voz y entonar la misma canción, con expresión idéntica á aquella con que fué cantada en el momento en que la recibió el aparato.

EL FONÓGRAFO

Se funda éste, en que las impresiones determinadas sobre una hoja de papel de estaño por un estilete ante el cual pasa la hoja con un movimiento uniforme, y cuyo estilete va unido á una membrana elástica puesta en vibración por resonancia, corresponden exactamente, por su forma, á la de las ondas sonoras que pusieron en vibración á la membrana. Ahora bien; estas hojas de papel de estaño pueden ser utilizadas para reproducir el mismo sonido en un aparato completamente idéntico al en que fueron impresionadas por aquél, sin más que hacerle funcionar de un modo inverso, á semejanza del teléfono de Bell. Puesto el estilete que va unido á la membrana sobre las impresiones de la hoja de papel de estaño, y avanzando ésta por debajo de él, le obliga á repetir todos los movimientos vibratorios en virtud de los cuales produjo en un principio aquellas huellas. La membrana misma recibirá todas las mismas vibraciones que antes le había comunicado nuestra voz, ó las notas de un instrumento musical, y, por consiguiente, sonará cual lo hace la placa de un teléfono. Por más que parezca esto muy raro, es, sin embargo, un hecho real y positivo. El fonógrafo habla, canta y silba todo cuanto se hable, cante ó silbe ante él, y cuantas veces se quiera. Siempre que se hagan pasar por delante de la punta algo roma del estilete las impresiones grabadas en la hoja de papel de estaño, se oirá de nuevo la

misma serie de sonidos; únicamente que la sucesión será más ó menos rápida, según la velocidad con que se haga girar el manubrio. Pero á pesar de este poder maravilloso, no se ha sabido todavía hacer práctico el uso del fonógrafo, que actualmente pertenece al número de los aparatos de interés principalmente científico.

Por último, al lado de éste puede mencionarse también un invento todavía más útil, pero que tampoco ha sido puesto en práctica; éste es un aparato para enviar á distancia los sonidos simplemente por el intermedio de un rayo de luz,



F.G. 450.—Fotófono de Graham Bell.

sin intervención de conductores eléctricos. Este aparato es el llamado fotófono, inventado en el año 1880 por Graham Bell, y cuyo principio es el siguiente: En la estación de recepción de la línea fotofónica se halla un teléfono de construcción semejante á los de Bell, pero que, en lugar de núcleo magnético, lleva una barra de hierro dulce, y cuyas espirales de inducción están interpuestas en el circuito de una pila de corriente constante. Forma parte de este circuito un trozo de *selenio* (un cuerpo semejante al azufre), que posee la particularidad, descubierta por Hittorff en 1852, de sufrir cambios en su conductibilidad eléctrica bajo la influencia de los rayos luminosos. En el momento en que sobre este trozo de selenio hay proyección de luz, varía, por consiguiente, la intensidad de la corriente que recorre el circuito, guardando relación estos cambios con el grado de la iluminación.

Ahora bien; por medio de aparatos de espejos se puede dirigir exactamente

la luz desde lejanas estaciones al punto donde se halla el selenio; y si suponemos que en el punto de origen la membrana frente á la cual se habla fuera una especie de espejo dirigido en tal forma hacia el punto correspondiente de la otra estación, sus vibraciones producirían cambios de iluminación del selenio, cuyas duraciones é intensidades corresponderían á las vibraciones sonoras que las habían originado; estos cambios, á su vez, darían origen á otros proporcionales en la intensidad de la corriente y podrían, por tanto, hacerse sensibles á nuestro oído en virtud de las vibraciones de la membrana del teléfono receptor.

Pero á pesar de ser tan admirable este invento, no ha penetrado actualmente todavía en la vida práctica, según ya dijimos antes. El inventor Bell ha construído recientemente un aparato, que representamos en la fig. 450, y con el cual parece que se han practicado experimentos fotofónicos afortunados sobre una distancia de 213 metros, pero que, sin embargo, no ha llegado á adquirir importancia práctica. En nuestra figura, la parte de la derecha representa la estación de término con las dos boquillas *M' N;* la corriente de la pila pasa por el trozo de selenio *F*, que es iluminado por el espejo *B*, situado en la otra estación, y que opone, en virtud de esta iluminación, una resistencia variable al paso de la corriente. La luz, que varía con las vibraciones de la membrana del teléfono parlante *O D*, situado en la estación de origen, se transmite al espejo *B* mediante un aparato al cual pertenece el foco de luz *A*.

LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

INSTRUMENTOS RÍTMICOS.—Castañuelas.—Tamboril, tambor, etc.—Timbales.—Campanas y campanólogos.—Instrumentos melódicos.—El arpa y su invención.—Arpas egipcias.—El arpa de David.—El arpa de pedal.—Arpa de Eolo.—Laúdes, guitarras y cítaras.—El piano y los instrumentos análogos á él.—Historia.—Tímpano, espineta, clavicímbalo.—Descubrimiento del pianoforte por Christofali.—Schröter y Silbermann.—Perfeccionamientos sucesivos por Stein, Streicher, etc.—Construcción del pianoforte, la caja y el mecanismo.—Cordaje.—Macitos y apagadores.—Timbre.—El violín é instrumentos análogos.—Su historia.—Teoría del violín, viola, violoncelo y contrabajo.—Florecimiento de la construcción del violín en Italia.—Su propagación á Alemania por Stainer-Mittenwald.—Los instrumentos de viento.—Trompetas y sus análogos.—Su disposición y teoría.—Bocina y trompa.—Empleo de las llaves y válvulas.—Sax y Cerveny.—Flautas, clarinete, fagot.—Sistema de Böhme.—El órgano.—Historia.—Su disposición.—Registros.—Combinación de voces.—Modelos notables de órganos.

Los indios, que en sus cultos concedieron á la música un lugar muysu perior al que hasta entonces había ocupado, se atribuyeron el descubrimiento de los instrumentos musicales. En la colección de los *Cuentos del papagayo*, que en Oriente goza de una popularidad no menor que la de nuestras *Mil y una noches*, se refiere de la manera siguiente la historia del

pájaro sabio. «Los indios creen que el brahmán *Sâz-Perdâz* había encontrado en un bosque, entre las ramas de un árbol, los intestinos, desecados por el aire, de un mono que saltando entre rama y rama se había abierto el vientre. Estos intestinos habrían sido las primeras cuerdas tensas que, cuando el viento las impulsaba, oscilaban y sonaban, produciendo sonidos agradables. Sâz-Perdâz fijó su atención en esto y construyó entonces una especie de lira, cuya forma, así como la tensión de sus cuerdas, fué modificada y perfeccionada posteriormente de mil modos. Pero la opinión más probable es la de que fué la flauta el primer instrumento musical conocido, á cuyo descubrimiento debió ya dar ocasión, en una antigüedad muy remota, el pico prolongado y con una serie de pequeños orificios circulares del pájaro *kyknos*, pues siempre que este pájaro verificaba una aspiración, su pico producía sonidos variados y maravillosos.»

De cualquier modo que esto sea, tiene importancia para la solución fisiológica de la cuestión el observar que, en todos los pueblos, las primeras producciones musicales en los regocijos parecen surgir en forma de sensaciones rítmicas, pues en los grados más inferiores de cultura encontramos casi exclusivamente instrumentos de tal género, los cuales permiten acompañar á la danza mediante golpes que producen un ruido característico.

LOS INSTRUMENTOS RÍTMICOS

Desde una tosca tabla de madera sobre la cual golpean con mazas de la misma sustancia los negros salvajes, hasta los tambores y castañuelas, cuyo empleo, aunque limitado, no desprecia la misma música moderna europea, existe una serie de instrumentos de este género, cuyo estudio detallado sería aquí poco oportuno, ni siquiera como introducción al de los demás. Ocupan el lugar inferior entre los instrumentos musicales propiamente dichos, y no pueden servir por sí solos para la expresión de sentimientos delicados. Pero como en toda música el ritmo tiene importancia propia al lado de la melodía y la armonía, y aun constituye un factor inseparable de ésta, la aplicación de sus órganos conserva, por otra parte, cierto interés.

El tiempo no ha podido introducir ningún perfeccionamiento esencial en la forma muy primitiva de estos instrumentos, y seguramente que al comparar los que se hallan actualmente en uso con los empleados en la antigüedad, casi parecería como si se observara un retroceso sobre el particular. Un gran número de estos instrumentos existen para nosotros solamente como objetos históricos, como el *kemkem*, ó sonajero *de Ísis*, de los antiguos egipcios. Sin embargo, no tenemos ningún fundamento para deplorar una pérdida que ha sido ocasionada por el refinamiento mismo del gusto. Hoy día sólo se sirven aún en su música, de una riqueza especial, de los toscos instrumentos indígenas aquellos pue-

blos que han podido conservar sin mezcla sus particularidades nacionales. La música popular española emplea en sus danzas, como un instrumento característico, las *castañuelas*, que suspendidas, como es sabido, mediante una cinta entre los dedos, se hacen sonar golpeándolas entre sí. Junto á éstas encontramos también la *pandereta*, un aro de madera cubierto con una piel tensa y provisto generalmente en los bordes de cascabeles, etc., para marcar el ritmo en los bailes populares. Los tambores en sus diferentes formas: el *tamboril* (alto y estrecho), el *redoblante* (ancho y bajo), y el *bombo*, son parecidos al *pandero*, sólo que forman un cuerpo completamente cerrado de madera ó latón, provisto por arriba y por abajo de membranas tensas.

FIG. 451.
El antiguo *kemkem* egipcio.

Los *platillos*, planchas metálicas algo abovedadas y muy duras; el *triángulo*, la *media luna*, empleada en la música genízara, y el *tamtam*, son instrumentos metálicos rítmicos dignos de mencionarse. El último de ellos tiene la forma de una gran concha débilmente abovedada, con los bordes adelgazados, que juega con el *gong*, especie de bombo elíptico, un papel muy importante en la música nacional china.

FIG. 452.—*Tamtam* en el palacio del emperador de la China.

Ninguno de los instrumentos citados hasta ahora se señalan por un sonido determinado sobresaliente. Su acción sonora está caracterizada por la producción simultánea de un número muy grande de sonidos parciales inarmónicos, y por lo mismo su valor musical es muy pequeño. Por otra parte, la música más moderna vuelve á caer en el uso de semejantes instrumentos, y el deseo de producir efectos sonoros sorprendentes no sólo ha señalado un lugar en las orquestas á las *campanillas*, *lira*, etc., sino que algunos compositores parecen proponerse utilizar, como medio de excitar el interés, hasta el silbido y el ruido de una locomotora, el chasquido del látigo, y otros por el estilo. ¿Podrá llamarse á esto un adelanto?

Ocupan un grado inmediato, superior al de los anteriores, ciertos instrumen-

tos parecidos á aquéllos, pero á los cuales corresponde un sonido determinado, y que, por lo tanto, pueden usarse en combinaciones musicales melódicas y armónicas. Los *timbales* son instrumentos semejantes á los tambores, formados por un cuerpo hueco hemisférico de cobre, sobre el cual hay una piel tensa. Las *campanas* forman placas curvas y están constituídas, como es sabido, por aleaciones metálicas especiales. Su construcción origina un arte particular del «fundidor de campanas,» al cual dedicaremos nuestra atención en el tomo IV.

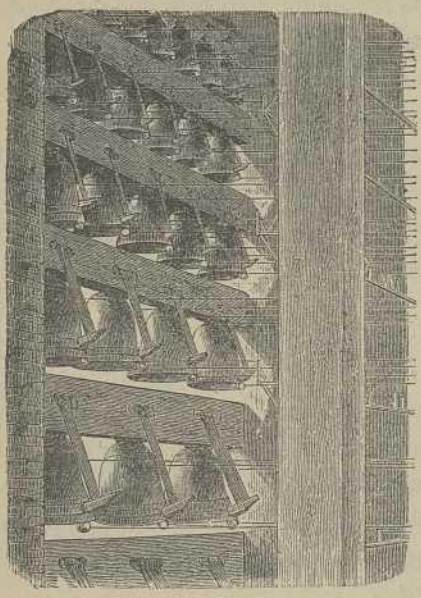


FIG. 453.—Campanario.

El origen de las campanas es muy remoto, no siendo, como muchos suponen, una invención cristiana. En latín, á más de *campanæ*, se llamaban también *nolæ*, y esto, según creen algunos, porque en Nola se fundieron campanas por primera vez, ó bien porque el bronce traído de este punto era considerado como el mejor. En el siglo IX se servían ya los pregoneros públicos de una pequeña campana, el *tintinnábulum*, y se comprende que un instrumento tan sencillo fuera construído pronto en las formas y tamaños más variados. Los manuscritos de siglos muy lejanos nos dan ya dibujos de campanas, y su uso. El sonido fundamental dominante de una campana depende del diámetro de la boca, del grueso de sus paredes, de su coeficiente de elasticidad (rigidez), y, finalmente, de su peso. Pero junto con este sonido fundamental, se producen en toda campana gran número de armónicos, de los cuales muchos actúan también desfavorablemente. Con esto, y con los sonidos resultantes ó pulsaciones, de los cuales se oyen efectivamente los más graves al prolongarse el sonido de la campana, se consti-

FIG. 454. - Campanario.

tuye en cada caso un timbre y zumbido particular. Como quiera que el metal es muy duro y una labor sobre el torno después de construída la campana exigiría mucho gasto y grandes cuidados, el problema de obtener directamente, al fundirla, el sonido que se desea al mismo tiempo que un timbre agradable y un

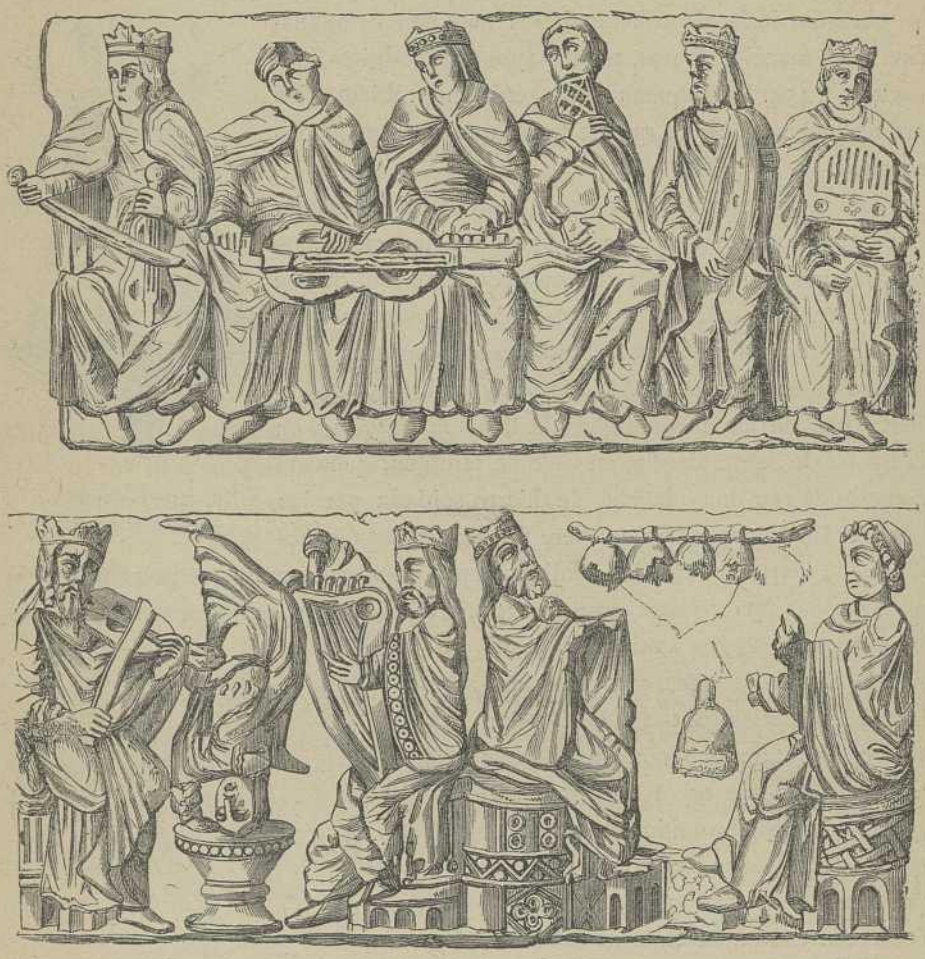


FIG. 455.—Descripción de una ejecución musical, según bajo-relieve del siglo XI.

zumbido bien perceptible, constituye una obra de arte. Antiguamente había más afición que hoy á reunir en un instrumento gran número de campanas de sonidos diferentes bien determinados, los *campanarios*, y á ejecutar, golpeando en la forma correspondiente dichas campanas, trozos musicales. En la iglesia de San Jorge, en Boscherville (Normandía), se encuentra un bajo-relieve originario del siglo XI, que representa una sociedad musical con instrumentos variados, tales como estaban entonces en uso. En la fig. 455 damos una imagen de esta interesante escultura, á la cual nos referimos con frecuencia en el curso de

este capítulo. Entre las figuras que están dibujadas en ella, se encuentran dos, las últimas de la parte inferior, que aluden á un campanario; la piedra ha sido precisamente en este punto más sensible á la acción destructora del tiempo; pero, por lo que ha quedado y por la sencillez del juego de este instrumento, fácilmente podremos completar en nuestra imaginación lo que falta.

Acerca de la disposición de los mayores campanarios y su manejo, damos, para mayor claridad, las figuras 453 y 454. En pequeña escala, existen también en las orquestas campanarios que se tocan mediante pequeños macitos.

FIG. 455.—El *Saufang*, campana del siglo VI.

Las mayores campanas se encuentran en Alemania, exceptuando algunas de Rusia; entre aquéllas citaremos la campana imperial, de 1.000 quintales de peso, que se fundió en memoria de la victoria de los alemanes de 1870 á 71, con los cañones cogidos á los franceses, y se suspendió en la catedral de Colonia, y la fig. 455 representa una de las más antiguas, la llamada *Saufang*, en la iglesia de Santa Cecilia, en Colonia también, que está constituída por una plancha de hierro soldada por los bordes. En Inglaterra se prefiere á las campanas grandes y de fuerte sonido, las combinaciones de varias campanas pequeñas, y de aquí que las torres poseen con frecuencia campanarios con una serie completa de campanas cuyos sonidos determinan la escala diatónica, y á veces también la cromática. El toque de éstas no se verifica tampoco con las pausas acompasadas que entre nosotros, sino que los diferentes sonidos se combinan entre sí en todas las combinaciones posibles, de suerte que en tanto se recorre la escala, en tanto se hacen arpegios en tercias, sextas, etc., y muchas veces se forman verdaderas sociedades de campaneros que recorren el país haciendo oir su repertorio. Pero la falta de regularidad de estas combinaciones no permite atribuirles el nombre de arte ó música. En lugar de las campanas, se usa con el mismo objeto, desde hace algún tiempo, grandes barras metálicas, particularmente de acero fundido. Su construcción y afinación es mucho más fácil de conseguir, y por otra parte su suspensión entraña menos dificultades y gastos, puesto que se les hace sonar, no ya por oscilaciones, sino por simples golpes. Los campanarios nos conducen directamente á ocuparnos de un instrumento que actualmente casi sólo se encuentra en manos de los artistas

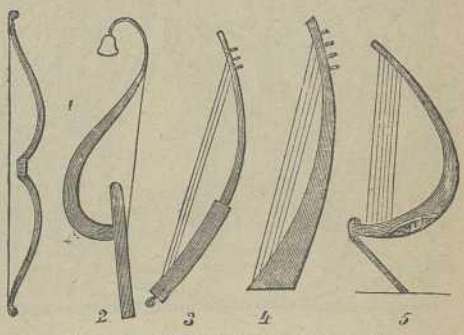


FIG. 457.—Formas más antiguas del arpa.

ambulantes de las ferias ó de algunos clowns de nuestros circos. Nos referimos á uno que consiste en varillas de madera seca de pino, de longitud desigual, y que, golpeándolas, dan sonidos correspondientes á sus longitudes, y así permiten ejecutar trozos musicales, aunque en límites muy estrechos.

LOS INSTRUMENTOS MELÓDICOS

Los instrumentos más perfectos, de los cuales vamos á ocuparnos ligeramente, se diferencian de los antes citados en que su mecanismo permite al artista que los maneja producir combinaciones de sonidos, dentro de límites más ó menos extensos. En nuestra breve reseña seguimos el plan de pasar desde los instrumentos musicales más sencillos hasta los más complicados y de resultados más complejos; así, hemos comenzado este estudio por el campanario y el instrumento de varillas de madera á que nos hemos referido en las anteriores líneas, si bien lo limitado de su uso autoriza para excluirlos de entre los instrumentos musicales propiamente dichos.

Los instrumentos melódicos se dividen en unos que poseen para cada sonido en particular un cuerpo sonoro especial, bien sea éste una cuerda, bien una columna de aire de cierta longitud, y otros en los cuales un mismo cuerpo sonoro puede engendrar una serie completa de sonidos, á voluntad del ejecutante, por medio de cambios en las condiciones de longitud, tensión, etc., de dicho cuerpo.

Los primeros, á cuyo grupo pertenecen, por ejemplo, el arpa, el piano, el órgano, etc., ofrecen, bajo el punto de vista de su capacidad de expresión musical, cierta limitación en comparación con los segundos, violines, trompas, etc.; sin embargo, sería un error que atribuyéramos por esta condición puramente física una inferioridad á sus efectos; sólo el arte de su manejo, el gusto, y, sobre todo, el sentimiento del músico, es capaz de dar á un instrumento vida y alma; si aquél no ejecuta «con amor,» el instrumento más perfecto será siempre un simple sonajero.

Pero como en este sitio hemos de atender menos á lo estético que á lo físico de los instrumentos, puede servirnos de guía aquel punto de vista, y de aquí que empecemos á considerar las formas más sencillas, en las cuales pueden reunirse para formar el instrumento musical cierto número de cuerdas más ó menos tensas.

El *arpa* es, sin duda, el más sencillo entre todos los instrumentos de cuerda, por cuanto el sonido de sus cuerdas es fijo. Cada nota corresponde á una cuerda especial, y el efecto se obtiene poniendo en vibración, pulsándolas con los dedos, las cuerdas cuyo sonido se quiere producir. La disposición de las cuerdas de diferente longitud, determina una forma triangular especial del instrumento;

de suerte que las cuerdas más cortas, que dan sonidos más agudos, están extendidas hacia el vértice del ángulo; las más largas, los bajos, se hallan hacia la parte de la abertura anterior. En el brazo superior tiene una especie de clavijas, por cuya rotación se puede aumentar ó disminuir la tensión de las cuerdas, y afinarlas entre sí armónicamente. La parte inferior del instrumento consiste generalmente en una caja hueca de resonancia para reforzar el sonido; y el lado anterior del triángulo está formado por una columna, cuya resistencia sostiene la tensión de las cuerdas.

Desgraciadamente, este antiguo instrumento, caracterizado por efectos musicales extraordinariamente bellos, está reemplazado hoy día, en gran parte, por otros varios más modernos. En su forma más perfecta se encuentra hoy sólo excepcionalmente en algunas orquestas de teatros y de conciertos; en su primitiva y sencilla forma se observa alguna vez en manos de algunos pobres músicos ambulantes; pero no ocupa un lugar constante en las orquestas ni como instrumento familiar. No sucede lo mismo en Escocia, donde el arpa bíblica de David se conserva como instrumento nacional, con toda su primitiva importancia, en las fiestas populares y de familia.

La sencillez de su construcción y la brillantez de los sonidos que tiene un arpa regularmente construída, justifica ciertamente el que encontremos en este instrumento un recuerdo de casi todas las civilizaciones. Los hebreos parece que conocieron el arpa, aunque su uso no se generalizó mucho entre ellos. Consignaremos de una vez, para lo sucesivo, que la historia de los instrumentos musicales está sujeta á grandes incertidumbres, lo cual procede principalmente de la nomenclatura, que tiene una importancia no despreciable. Un mismo instrumento se halla citado en diferentes textos, ya con un nombre, ya con otro, y á veces para un mismo objeto se encuentran hasta diez denominaciones diferentes; así como otras veces se emplea la misma denominación para instrumentos de construcción completamente diversa, de suerte que cuando á estos nombres no acompañan descripciones detalladas, ó al menos algunos puntos de referencia que nos permitan formar idea sobre la naturaleza del instrumento de que se trata, hay que recibir con gran cautela las historias antiguas de los mismos. Los datos más seguros son los que proporcionan las pinturas y esculturas antiguas, ú otras semejantes representaciones figuradas. La disposición del arpa descansa sobre un principio tan sencillo, que apenas si es posible hablar, á propósito de ella, de un inventor y de una época determinada del invento; y de aquí la necesidad en que nos encontramos de incluir en el número de los dioses á los antiguos mitos á quienes se atribuye la invención del arpa, pues su época se halla tan lejana, que no ha sido posible adquirir un conocimiento inmediato de su personalidad. Censorino, que tomó sin duda de autores griegos la fábula de la invención del arpa, refiere que Apolo observó por primera vez la plasticidad y belleza del sonido que dejaba oir, cuando vibraba, la cuerda del arco de su hermana Diana, y

que de intento extendió varias de estas cuerdas, unas al lado de otras, para obtener por su combinación un efecto armonioso. Esta fábula muestra con gran belleza cómo un hombre ingenioso, por la aplicación inteligente de una simple observación natural, puede prestar á la humanidad un servicio importante. Dejamos á un lado el que se dé ó no crédito á la relación anterior sobre semejante origen; pero si comparamos entre sí las arpas egipcias más antiguas, clasificándolas de modo que formen una serie sucesiva, desde las más sencillas á las más complicadas, se manifiesta la posibilidad de atribuir verosimilitud á aquel cuento. Por la representación de algunos instrumentos de esta clase (véase la figura 457), cuyos originales se conservan en el Museo del Louvre, intentamos dar á nuestros lectores una prueba patente de lo dicho. Francisco Bianchini ha tratado de llenar el vacío que queda entre la forma auténtica más antigua (número 3) y la cuerda del arco de ballesta, admitiendo que se encontraron instrumentos semejantes á éste en un antiguo sarcófago. Para nosotros, el que esto sea así ó no lo sea, no tiene otro valor que el de una mera curiosidad.

Los antiguos egipcios, en cuyos monumentos encontramos representadas en primer término el arpa, daban á ésta diferentes formas, según el objeto á que la destinaban. Las más pequeñas (por ejemplo, 3 y 4), eran utilizadas como instrumentos de marcha, y con este fin, colocadas en posición horizontal, verosímilmente mediante una correa sostenida sobre el hombro izquierdo, eran tocadas con ambas manos. El número de las cuerdas en los instrumentos de mayor tamaño era considerable, creciendo sucesivamente con el transcurso del tiempo, á medida que el arte musical se perfeccionaba y enriquecía. Lo mismo sucedió en cuanto al aspecto exterior y á la construcción total del instrumento, al cual se fué concediendo cada vez más atención, y los dibujos de instrumentos, así como los originales que han llegado hasta nosotros, nos muestran el alto grado de habilidad y buen gusto con que sabían trabajar los constructores de aquella época. En particular, eran construídos con todo el arte posible los destinados á ser manejados por los sacerdotes en sus cultos. El cuerpo se tallaba, pintaba y decoraba con figuras simbólicas con gran riqueza, y aun se doraba y á veces recubría de pieles finas. En el sepulcro de Sesostris se halla la imagen de un sacerdote tocando el arpa; este instrumento tiene trece cuerdas. La parte anterior lleva la cabeza de una figura divina, adornada con el loto sagrado (véase la fig. 458).

Sería natural suponer que de los egipcios se hubiera transmitido el arpa á los hebreos. Sin embargo, no existe ninguna otra prueba que la presunción, pues ni quedan ejemplares de la antigua *Biblia judaica*, en los cuales pudiéramos encontrar un testimonio de esta opinión, ni las referencias escritas nos pueden ofrecer una seguridad completa sobre el particular. Todas las noticias del libro de Job, etc., sobre el arpa de David, se explican igualmente y aun mejor con respecto á otros instrumentos, y el nombre elegido al hacer la traduc-

ción no puede en modo alguno ser garantía de la exactitud del concepto. Es casi seguro que, dado el íntimo comercio que existió entre Egipto y el Asia Menor, debió adquirirse un conocimiento recíproco y exacto de todas las producciones artísticas é industriales de ambos países; pero no existe, sin embargo, prueba alguna de que los dos instrumentos *kinnor* y *nebel*, cuyos nombres se tradujeron en la *Biblia vulgata* por *arpa*, correspondieran real y verdaderamente al arpa egipcia, y, por consiguiente, hay que dejar la cuestión sin resolver, si no queremos admitir lo que sospechan algunos, que los judíos no encontraran atractivo en el timbre del sonido del arpa, y por esa razón no se hiciera de uso general.

FIG. 458.
Sacerdote egipcio tocando el arpa.

Entre los griegos, por el contrario, hay que admitir como cierto el uso del arpa é instrumentos semejantes á ella, si bien no hay que identificar directamente con nuestra arpa actual la *lyra*, la *kíthara*, y otros instrumentos de cuerda por el estilo. Multitud de imágenes, particularmente en las ruinas de Pompeya y otras ciudades del Sur de Italia, en donde se habían propagado principalmente las costumbres y cultura griegas, nos ofrecen pruebas de lo dicho. La lira parece haber sido el más antiguo de estos instrumentos, y se conservó hasta el siglo X, aunque con algunas modificaciones. El número de sus cuerdas fluctuaba entre tres y ocho. Ordinariamente tenía cinco. Más cuerdas, lo cual determinaba también una forma algo distinta en el instrumento, tenía el *salterio*, que se sostenía sobre ó entre las rodillas, y cuyas cuerdas eran pulsadas con los dedos, lo mismo que en la lira. El número de cuerdas parece que estuvo comprendido entre diez y veinte. Se diferenciaba el salterio de la lira en que la caja de resonancia limitaba al instrumento por la parte superior, como muestra la fig. 459, que está trazada según un dibujo contenido en un manuscrito del siglo IX. Otra forma muestra la fig. 460, de un instrumento del siglo XII, en el cual puede ya verse al precursor de nuestras guitarras, si tomamos como caja de resonancia la parte redonda, sobre la cual están extendidas las cuerdas. El salterio cambió todavía más su forma en el transcurso del tiempo; recibió hasta treinta y dos cuerdas, y los pintores y poetas contemporáneos no perdían ocasión de celebrarle por su extraordinaria armonía, que le convertía en el instrumento más adecuado para los conciertos religiosos. En el siglo XIV el ejecutante lo apoyaba sobre el cuerpo, y dos apéndices salientes descansaban sobre los brazos, dejando libres ambas manos para poder herir las cuerdas mediante pequeños palillos. Tal vez el instrumento llamado *dolcenulos*, que apareció en el siglo XIV como precursor del piano, no fuera

otra cosa que un salterio con un cuerpo resonador en forma de caja, de un tamaño considerable. Es notable que en monumentos puramente romanos no encontremos ningún ejemplo de él, y es lo cierto que el arpa estuvo en uso más bien en las comarcas meridionales, pobladas por colonias griegas, mientras que el gusto restringido de los romanos, en general poco aficionados á las delicadezas artísticas, se satisfacía por completo con la trompeta pequeña, pero guerrera.

FIG. 459.—Salterio del siglo IX.

Más hacia el Norte, en los bosques germánicos, encontramos ya entonces, como hoy todavía en las altas montañas poco pobladas de Escocia, al arpa como el instrumento propiamente nacional y religioso, usado por los bardos para acompañar sus canciones. Su timbre, celestial y etéreo, hacía al arpa apropiada cual ningún otro instrumento para que sus sonidos envolvieran flotantes las nebulosas figuras del pasado, presentadas en relieve por los poetas, ó bien para conducir la mirada á través de los tiempos futuros, previstos por su inspiración. Sin el arpa nada hubieran podido decir Ossián y Fingal. Por la parte septentrional de los Alpes se hallaba sumamente generalizada.

FIG. 460.—Salterio del siglo XII.

Como puede reconocerse en los dibujos antiguos, el arpa del siglo IX se diferencia muy poco de la moderna en la forma de su construcción, conservando el instrumento aquella figura más sencilla y, por decirlo así, más natural. Con el aumento de las cuerdas, que no bastaban en su primitivo corto número para satisfacer los progresos del arte musical, vinieron anejas algunas tentativas de cambio de forma, que tenían por objeto conseguir que continuara siendo portátil el instrumento, cuyo perímetro iba en aumento. Hasta en el siglo XII se encuentran en los manuscritos antiguos dibujos que representan las configuraciones más variadas, y á veces más raras, del arpa. Unas ve-

ces tienen la caja triangular, otras cuadrangular, y algunas redonda; ya descansan sobre la espalda con un travesaño cuyo extremo adquiere la forma de seres fantásticos y monstruosos, ya las más ligeras se sostienen alrededor del cuello por medio de una correa, como, por ejemplo, las arpas de los músicos ambulantes de la Edad Media.

En el siglo XVI el uso del arpa cedió ante el de otros instrumentos. Los instrumentos de cuerda preferidos en Italia y España, guitarras, cítaras, mandolinas, etc., la reemplazaron como instrumento para la ejecución aislada, y solamente allí donde su uso estaba profundamente arraigado en las costumbres nacionales, como en las Islas Británicas, conservó todo su antiguo predicamento. El arpa escocesa, todavía hoy en uso, es un instrumento bastante primitivo, que apenas podría satisfacer nuestras necesidades musicales. En cambio se usan muy frecuentemente en Inglaterra y Francia arpas caracterizadas por una construcción muy completa, y en tal forma hay que contar á este instrumento entre los de sonidos más agradables y armoniosos.

Las artes han llevado en estos últimos tiempos al grado más alto la perfección de la sencilla arpa. Como quiera que el antiguo instrumento sólo tenía una escala diatónica, y sólo permitía, por tanto, combinaciones melódicas sumamente limitadas, lo cual oponía un gran obstáculo á su empleo en nuestra música actual, se hicieron diferentes tentativas para poner remedio á esta deficiencia. No había lugar al establecimiento de la escala cromática por la introducción de nuevas cuerdas, por efecto de la limitación que la forma y manera de usarlo establecía en el tamaño del instrumento. De aquí que en un principio se pensara, como hicieron los arpistas de las iglesias, en hacer girar, mientras se toca, la clavija de alguna cuerda, para elevar medio tono la altura del sonido que le correspondía en la afinación fundamental del instrumento. Con este objeto se adaptaron clavijas movibles en el clavijero superior. La magnitud de la rotación necesaria se aprendía rápidamente por la práctica. En los tiempos más primitivos se acortaba la cuerda mediante una simple presión con el dedo. Pero ya en 1720 el célebre arpista de Donnauwörth, Hochbrücker, inventó un mecanismo que era puesto en movimiento por un pedal, y en virtud del cual las cuerdas se acortaban en la porción correspondiente por la parte del clavijero. Con esto se originó el arpa de pedales; disposición que permitió un perfeccionamiento extraordinario de este instrumento. Pronto se esparció por toda Europa y fué modificado rápidamente por artistas y constructores de instrumentos (fig. 461). Particularmente Sebastián Ehrhardt, un alsaciano que después se estableció en París y fundó allí la célebre fábrica de instrumentos que todavía existe bajo el nombre «Erard,» perfeccionó el mecanismo del pedal del arpa, inventando una disposición extraordinariamente ingeniosa, por medio de la cual, con un solo pedal puede sucesivamente elevarse la afinación dos semitonos, de modo que hoy día puede contarse á este arpa de pedal de Erard entre los instrumentos más

perfectos que existen. Por otra parte, desde el invento de Hochbrücker había transcurrido un intervalo de cien años, durante el cual el instrumento de que hablamos había tenido una aceptación general. Hoy está casi completamente abandonado, lo cual tal vez hay que atribuirlo á que desgraciadamente el alto precio de las arpas de pedal de Erard, que con frecuencia asciende á 4 ó 5.000 pesetas, se opone á su generalización.

El timbre del sonido de esta clase de instrumentos, aparte de las diferencias que determina la sustancia de que están formadas sus cuerdas (metal ó tripa), depende también especialmente de la forma y manera de poner dichas cuerdas en vibración. Esto puede hacerse con los dedos, como en el arpa y guitarra, ó bien con una uña metálica (como en las cítaras), ó golpeándolas con una pieza en forma de martillo (como en el piano), etc. Cuantas mayores desigualdades muestre el movimiento de la cuerda, tanto más considerable es el número y la intensidad de los armónicos superiores, y el timbre se hace más seco y chillón, y en esto está la causa por la cual una cuerda herida por la uña de los bandurristas, suena de un modo diferente que la de un arpa herida con las yemas de los dedos. En efecto: en el primer caso, el vértice que forma la cuerda en el punto herido por la uña es más agudo, y pueden subsistir por esto sobre la cuerda por uno y otro lado diferentes ondulaciones, que son causa de numerosos armónicos. En los instrumentos semejantes al piano corresponde á este caso el de que la cuerda sea golpeada por un mazo duro, metálico, de canto delgado, que retrocede en cuanto choca con la cuerda, mientras que el choque con una cabeza de martillo ancha y de fieltro, no permite la subsistencia de vibraciones tan variadas en la cuerda y sí sólo las de la cuerda en su conjunto y los primeros armónicos.

FIG. 461.—Arpa de pedales.

Al arpa se asocia un instrumento de cuerda característico, al que hace sonar el impulso del viento: éste es la llamada arpa de Eolo. «El arpa de Eolo es un instrumento que comienza á sonar, expuesto al viento, como los árboles cantores de los cuentos árabes. Los sonidos se parecen á las voces de un coro lejano que suavemente se refuerza y apaga después, y, sobre todo, parece más bien una fantasmagoría armónica de naturaleza etérea que una obra humana de arte.» Así describe Matthisson la acción de este sencillo instrumento, que está formado por una caja de resonancia hueca, lisa, colocada verticalmente, sobre la cual se hallan extendidas de seis á doce cuerdas de tripa, unas al lado de las otras, y todas afinadas al unísono. Cuando se somete este instrumento al viento de modo que éste roce con las cuerdas en el sentido de su longitud, entran éstas

en vibración; y como quiera que según la intensidad de las sacudidas la cuerda puede dar su sonido fundamental, y además, dividiéndose en partes alícuotas vibratorias, una serie de sonidos armónicos sucesivos, estos efectos de armonía se originan de un modo irregular y sorprendente en alto grado, produciendo cierto encanto á todo aquél que no tiene ningún antecedente sobre el particular.

Las *guitarras y cítaras* representan toda una clase de instrumentos de cuerda, consistentes en una caja de resonancia circular, provista de un orificio, sobre la cual están tendidas cuerdas de metal ó de tripa, que se hacen entrar en vibración hiriéndolas con los dedos, ó bien por medio de una punta metálica. A la caja hueca sigue un mango alargado, en cuyo extremo se hallan las clavijas de las cuerdas, y que sirve para hacer dar á las cuerdas sonidos más altos que sus sonidos fundamentales, para lo cual se rebaja su longitud pisándolas con losdedos. Esta porción alargada del instrumento lleva una serie de pequeños travesaños, los *trastes*, que dan exactamente las longitudes de las cuerdas correspondientes á las diferentes notas de la escala musical. Antiguamente se llamaba *laúdes* á toda clase de instrumentos de este género, y según la tradición, fué una concha de tortuga abandonada sobre el terreno por una avenida del Nilo lo que dió ocasión á su descubrimiento ó invención. Los habitantes de aquel país extendieron cuerdas sobre el escudete de la tortuga, y atraídos por el efecto obtenido, trataron después de reproducirlo empleando cuerpos huecos de madera y otros materiales. Esta relación, no sólo significa que todo este grupo de instrumentos es originario del Oriente, sino también que los más antiguos de entre ellos deben ser aquellos cuya caja hueca de resonancia es piriforme. En efecto; los instrumentos en forma de pera estaban en tiempos pasados mucho más generalizados que los demás, alcanzando su uso todavía hasta fines del siglo pasado. Sus cuerdas se tendieron después sobre un puente, como en los violines. Hoy todavía poseen los indios, persas y árabes gran número de formas de laúdes y guitarras que se aproximan bastante á la forma primitiva. La fig. 462 nos da un ejemplo de lo dicho. Pero entre nosotros han adquirido más aceptación los instrumentos con cajas planas, por la facilidad de su construcción. El número, antes muy grande, de estos instrumentos, se ha reducido considerablemente, y de la mayor parte de ellos sólo nos queda el nombre. El laúd, la mandolina, etc., pertenecían á este grupo. Solían ser de forma elíptica y emitían un sonido débil y agradable.

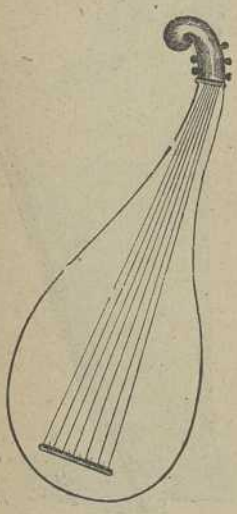


FIG. 462.—*Chelys* de los indios.

Los laúdes más antiguos tenían sólo pocas cuerdas; durante largo tiempo estuvieron en uso los de cinco cuerdas; éstas se afinaban para dar las notas

do, fa, la, re, fa. Más tarde se aumentó este número todavía en dos cuerdas por cada lado, y sucesivamente hasta adquirir los laúdes catorce cuerdas. Las superiores cantantes llevaban las melodías; las inferiores, utilizadas en los cantos dobles ó coros, servían para los efectos de armonía.

La llamada *mandolina, mandora, mandurina*, etc., análoga á la anterior, fué usual, particularmente en el Sur de Italia, Nápoles y en España; sin embargo, también fué conocida en Alemania, como prueba la serenata del *Don Juan*, que fué escrita por Mozart para la mandolina napolitana.

La guitarra no fué en su origen otra cosa, según queda dicho, que una imitación de aquel instrumento de vientre abovedado. Su construcción le permitió adquirir un precio bajo, y por esta razón adquirió rápidamente una difusión bastante considerable; pero por lo mismo también se tenía en menos estima, y Prætorius, que la cita en 1627 con el nombre de *quinterna* ó *chiterna* como un instrumento italiano, habla de ella bastante despreciativamente, diciendo que «sólo la usaban para rasguear los *ziarlatini* y saltimbanquis, cantando al mismo tiempo villancicos y otras canciones estrambóticas.» Según sus descripciones, las guitarras de entonces tenían ya casi la misma forma y disposición que las actuales, y cinco cuerdas, generalmente de tripa.

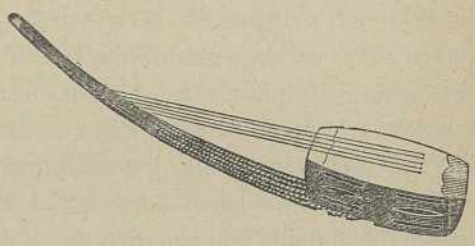


FIG. 463.—Cítara de los Schekiani.

Parece ser que la guitarra haya sido esparcida por todo el resto de Europa, á partir de España, donde la introdujeron los moros. En Africa varias razas de negros se sirven de instrumentos semejantes, como el que nos muestra, por ejemplo, la fig. 463. En Alemania fué introducida la guitarra en 1788, y particularmente muy puesta en uso por la condesa Amalia de Weimar, siendo construídos la mayor parte de estos instrumentos por el instrumentista de Weimar, Otto, el cual en 1797 le adicionó, á instancias de Naumann, maestro de capilla de Dresde, una sexta cuerda, el *mí* más bajo, de modo que las cuerdas de aquella guitarra daban las notas mi_1, la_1, re_2, sol_2, si_2, mi_3. La aceptación entusiasta que en un principio encontró en Alemania este instrumento, decayó, sin embargo, bien pronto, volviendo á ponerse en moda repetidas veces, y sufriendo diferentes alternativas en el transcurso del tiempo.

La cítara es usual principalmente en países montañosos. Probablemente es el instrumento de fondo plano más antiguo conocido en el centro de Europa, y parece ser que en Dinamarca fué durante largo tiempo el instrumento popular. Desde allí fué llevado por los mineros á Suiza y se extendió gradualmente por toda la parte montañosa de Alemania. Su nombre ha dado ocasión á que se deduzca su origen, así como el de la guitarra, de la antigua *kithara* griega;

pero esta empresa es infructuosa, pues es notorio que los antiguos no conocían en sus instrumentos de cuerda ninguna clase de traste, y que la *kithara* era más bien un instrumento semejante al arpa, que se empleaba simplemente para servir de tipo de afinación. La cítara, por el contrario, aunque en un principio se usó también con un solo sonido, se aproximaba más bien al monocordio y es un instrumento armónico, por lo cual ya no puede ser su forma actual más antigua que la época del descubrimiento de la armonía.

El principio según el cual está construída la cítara, es el mismo que el de la guitarra. Su cuerpo consiste propiamente en un triángulo rectángulo cuyo lado mayor oblicuo se vuelve hacia el ejecutante. El número de las cuerdas ha ido aumentando desde dos hasta treinta y una, á medida que la armonía musical ha sido más exigente en la riqueza de sus combinaciones. Dichas cuerdas se hallan sobre un largo mástil, que está dividido, como en la guitarra, por medio de trastes, y se pisan con los dedos de la mano izquierda, mientras son pulsadas con los de la mano derecha. Las cuerdas superiores (generalmente son catorce) sirven para llevar el canto y están formadas de ordinario por alambres metálicos de latón ó acero. Vienen á quedar las más próximas al artista, y son heridas mediante un anillo con una uña que se adapta al dedo pulgar. Las cuerdas más bajas son sencillas cuerdas de tripa. Para tocarle, ó bien se coloca el instrumento sobre las rodillas, ó bien encima de una mesa.

Además de esta cítara existe otra de una forma particular, cuyas cuerdas se hacen sonar por medio de un arco, y que por lo mismo se disponen sobre una superficie curva.

PIANO É INSTRUMENTOS ANÁLOGOS

Estos instrumentos, cuyas cuerdas son puestas en vibración por medio de choques con un martillo ó macito, datan, por su origen, de varios siglos atrás. Se ha creído siempre que la primera ocasión para el invento fué el monocordio, que se utilizaba ya en el siglo XI en los conventos. Guido de Arezzo, para encontrar más rápidamente un sonido determinado, colocó pequeños listones de madera, movibles mediante teclas, en los puntos correspondientes del monocordio. Sin embargo, esta innovación no tiene ninguna importancia, pues la cuerda del monocordio se toca de un modo completamente diferente que en los instrumentos como el piano, toda vez que en aquél se acorta la cuerda más ó menos, mientras que en éstos cada sonido corresponde á una cuerda que está siempre afinada para la misma nota.

La invención de la *tecla*, *clavi*, de donde recibieron estos instrumentos el nombre de *clavicordio*, es muy antigua. Refieren que los antiguos hebreos tenían instrumentos *(maschrokita* y *magrepha)*, que eran tocados por medio de teclas, así como el órgano hidráulico de los griegos; y algunos datos hacen suponer

que los mismos hebreos hicieron ya sonar las cuerdas por medio de trozos de cañón de pluma adaptados á teclas especiales. Sin embargo, estas referencias son muy inciertas y no es posible comprobar con seguridad el uso de teclas en forma de palanca como las empleadas en instrumentos de este género, antes del siglo XI.

Los más antiguos instrumentos de esta clase servían sólo para dar el tono á los que cantaban, y tenían escasamente la extensión de una octava. Las teclas mismas tenían ya entonces la misma forma de doble palanca que se ha conservado hasta la actualidad, uno de cuyos extremos era pulsado por el dedo y el otro llevaba una punta, ó más bien un trozo de hierro en forma de cuña, que chocaba con la cuerda por su extremo más ancho, dirigido hacia arriba. Estas pequeñas cajas de música crecieron gradualmente hasta tener veinte teclas; la afinación era la de la escala diatónica: los semitonos fueron introducidos más tarde: el *do* y el *fa* sostenido en el siglo XIV, el *re* y el *sol* sostenidos, cien años después; el *si* existía ya desde un principio.

El progreso del clavicordio, como se llamó á este instrumento (y de cuyo nombre procede el del piano, en alemán *klavier*), caminó paralelamente al de los demás instrumentos de cuerda, ejerciendo particularmente gran influencia sobre él, el timpanón, instrumento muy estimado. El fraile benedictino Lucinio (Nachtigall) nos dió en su obra sobre música (del año 1536) una representación de este último. Según ella, consiste en una caja rectangular, casi cuadrada, cubierta por cinco cuerdas de tripa de igual longitud, las cuales se sujetaban mediante clavijas, y eran golpeadas con macitos recubiertos de lata ó cuero. Según participa Miguel Prätorius, que dió un dibujo de este instrumento en el año 1619, tenía 16 cuerdas y era también tocado con los dedos. Posteriormente se adicionó mayor número de cuerdas y se construyeron éstas de acero, de suerte que en el siglo XVIII alcanzó una extensión de tres octavas, y tuvo bastante aceptación bajo el nombre de *cimbal* ó *timpanón pérsico*. Todavía hoy se ve alguna vez este instrumento, completamente anticuado, si bien su aparición en nuestros países es ya muy rara, y sólo ocurre en manos de músicos ambulantes y pordioseros. El timpanón mismo parece ser el sucesor directo de un antiguo instrumento griego, el *simikion*, ó, según se llamó más tarde, *simikon*, que ya se mencionó en el siglo II de nuestra Era. Según la descripción del gramático Pollux de Naukrates, consistía en una caja en cuya tapadera había tendidas treinta y cinco cuerdas, las cuales eran pulsadas con palillos. En la Edad Media se aumentó el número de las cuerdas.

Junto al timpanón puede considerarse también á la *espineta* como un precursor de nuestro *pianoforte*. Éste apareció ya en el siglo XIV, teniendo la forma de un trapecio. Estaba formado también por una caja cuadrangular, cubierta de cuerdas tendidas á lo largo. Los sonidos se originaban mediante golpes por teclas en forma de tenedor, llamadas *palmulas*, en cuyo extremo posterior tenían

una especie de muñeca. Ésta se proveyó posteriormente con púas de pluma de cuervo ó avestruz puntiagudas, que ya no golpeaban á la cuerda, sino que la rozaban, *pizzicato;* de aquí recibió este instrumento, llamado también *slavicymbalum*, el nombre de espineta (de *spinula*, punta).

En los siglos XVII y XVIII era muy usual la *espineta*, y tenía una extensión hasta de cuatro octavas, recibiendo diferentes nombres en los distintos países. Su sonido no debió, sin embargo, producir gran entusiasmo, pues en un libro del año 1791, *Los poetas musicales*, se califica de *pueril* el instrumento.

La fig. 464 nos da una idea de cómo estaban construídos los antiguos pianos. En éstos no siempre correspondía una sola nota á cada cuerda, sino que, para mayor economía, se hacía servir muchas veces á una misma cuerda para dos sonidos, lo cual iba unido necesariamente al mecanismo primitivo en que el estilete golpeador, ó macito, formaba un todo unido fijamente á la palanca de la tecla. En tal caso, cuando la tecla se mantenía fija en su posición inferior, el macito formaba en la cuerda un verdadero traste, y sólo dejaba oscilar la parte que se hallaba al otro lado de él; el sonido tenía que ser, pues, más alto que cuando oscilaba la cuerda en toda su longitud. De modo que un choque rápido, instantáneo, del macito, daba el sonido correspondiente á toda la cuerda; y una pulsación prolongada, el correspondiente á la cuerda acortada por el macito; pudiéndose, por la colocación apropiada de éste, conseguir que el segundo sonido fuera un semitono más alto que el primero. Los pianos provistos de este mecanismo se llamaban *ligados;* los *libres* eran aquellos en que cada sonido tenía su cuerda correspondiente. Estos últimos son, sin duda, los más antiguos, y los *ligados* se originaron sólo como una modificación de aquéllos.

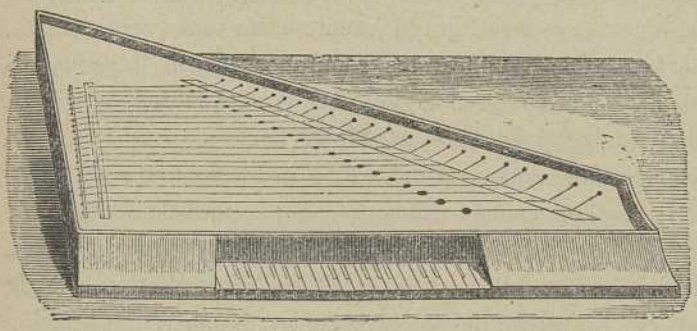


FIG. 464.—*Clavicymbalum* del año 1520.

Todo aquel que pueda llegar á concebir la manera cómo se ejecutaba en un piano ligado, no podrá menos de felicitarse en su interior del destino que nos ha libertado de esta forma molesta del instrumento.

La diferente longitud de las cuerdas condujo pronto á la forma que recibió el nombre de *pianos de cola,* y Prätorius representa ya un instrumento de éstos, cuya figura es completamente idéntica á la de nuestros pianos de cola actuales. Los pianos de cola parecen haber sido instrumentos bastante generalizados en

el siglo XVI. El constructor de instrumentos Domenico Pesaro construyó uno de éstos, cuyos sonidos podían ofrecer tres timbres diferentes.

Había instrumentos, cada uno de cuyos sonidos era producido por la pulsación simultánea de cuatro cuerdas, una de las cuales daba la octava baja de la nota dominante, otra la quinta. La pulsación se producía, como en la espineta, por medio de púas de pluma unidas á macitos, más tarde por medio de pequeñas púas de metal doradas, más costosas. El empleo de las plumas de cuervo se conservó en uso hasta fines del siglo pasado en los instrumentos de este género, y todavía refiere Celter cómo emplumó un clavicordio en el campo el año 1790. Y para evitar la resonancia de las cuerdas se apagaba su vibración por medio de tiras de paño entrelazadas, método que sólo satisface para instrumentos de sonidos muy cortos.

Una modificación curiosa de estos pianos de cola fué el *tympanon de Nurenberg*, semejante á aquéllos en su forma exterior y provisto también con cuerdas, y precisamente cuerdas de tripa, pero completamente diferente de aquél en la forma de originar los sonidos; pues sus cuerdas no eran ya puestas en vibración por medio de choques con macitos, sino que contra cada cuerda ejercía presión una ruedecita giratoria, y esta fricción prolongada daba origen á un sonido de timbre semejante al del violín. El movimiento de las pequeñas ruedecitas se sostenía por una especie de volante situado fuera de la caja del instrumento y movido por medio de los pies; ahora, al pulsar cada tecla, venía á comunicarse la presión de la ruedecita á la cuerda correspondiente. Este instrumento fué inventado por Hans Haydn, en Nurenberg, el año 1610; estuvo en uso en Alemania todavía hasta principios de este siglo, y recibió diferentes perfeccionamientos, así como varios nombres; pero respecto á estos últimos hay que observar que la terminología de los antiguos constructores era muy rica y, por tanto, muy incierta sobre este particular. Los diferentes modelos de instrumentos fueron modificados de mil modos y perfeccionados en su mecanismo por efecto de nuevas invenciones y adiciones; y como era natural, provistos de nombres nuevos sucesivos, y habría que citar una multitud de nombres de constructores, cada uno de los cuales podría tener pretensiones sobre un invento propio especial. Pero la mayor parte de estos inventos no son, en el fondo, más que nimiedades, y sería un derroche de espacio y de tiempo el intentar tal enumeración.

El instrumento más antiguo que recibió específicamente el nombre de *piano*, al mismo tiempo que se llamaba también *clavecino* y *clavicordio*, y cuyas cuerdas eran heridas por medio de púas, tenía á principios del siglo XVII una extensión, á lo más, de cuatro octavas y un tercio. Los semitonos eran dados por teclas superiores, y para afinar este instrumento se seguía en tiempo del hábil organista Andrés Werkmeister (1698) el camino, hoy todavía considerado como excelente, de los intervalos de quinta, pues los intervalos menores daban soni-

dos resultantes demasiado graves. No hay que comparar este antiguo piano con los actuales instrumentos, y no sólo en cuanto á la belleza y plasticidad de los sonidos, sino tampoco en cuanto se refiere á su tamaño, á su elegancia y accesorios. La sustitución (debida á Pascal Taskin en París, 1768) en las teclas de las púas de cuervo, poco duraderas, por trocitos de piel de vaca, apenas produjo gran adelanto bajo el punto de vista del timbre del sonido. Los clavicordios eran instrumentos musicales pequeños, ligeros, que no corresponderían en modo alguno á nuestros gustos. Refiere Mozart que en una visita á un convento italiano los frailes llevaban continuamente consigo el clavicordio para que pudiera recrearles á cada momento y en todos sitios, ejecutando en él. El precio no excedía, por término medio, de unas 112 á 115 pesetas. Pero precisamente esto fué causa de que el instrumento adquiriera gran difusión y que encontremos repetida nuestra frase «un piano en cada casa» cien años antes por Schubert, que dice en su *Estética del arte musical:* «El piano es tocado y pulsado por todo el mundo, el noble y el plebeyo, el torpe y el hábil, hombres, mujeres, niños y niñas, y forma parte de lo que se llama buena educación.»

Los obstáculos principales que no podían vencerse con estos instrumentos, eran la falta de gradación en la intensidad de los sonidos, así como también de una acción apagadora que evitara la resonancia de las cuerdas. En cuanto á lo primero, el *tympanon*, que se tocaba mediante macitos movidos directamente con la mano, permitía ya, sin duda, alguna variación, y esto condujo á Bartolomeo Christófali, de Padua, á la idea de reunir en un instrumento las ventajas del *tympanon* con las del clavicordio, combinando los macitos con teclas por medio de las cuales aquéllos chocaran contra las cuerdas, retrocediendo rápidamente. Esta separación del macito, del cuerpo de palanca de la tecla, es lo que distingue esencialmente al moderno *pianoforte*, del antiguo clavicordio; y Christófali, que puso en práctica por primera vez este pensamiento, consiguió efectivamente con su instrumento la deseada gradación en la intensidad del sonido, que dió ocasión al nombre característico del nuevo instrumento. Y como quiera que su nuevo mecanismo fué conocido ya en 1711 por medio de grabados y descripciones impresas, mientras que hasta mucho después no aparece nada semejante, es forzoso considerarle como el primer testimonio del invento de nuestro actual *pianoforte*, con su condición especial característica.

Naturalmente, es difícil demostrar hoy si el organista citado con frecuencia, José Gottlob Schröter, nacido en Hohenstein (Sajonia), y que presentó en 1721 dos modelos á la corte de Dresde, en los cuales los macitos que chocaban contra las cuerdas por encima en el uno y por debajo en el otro, eran puestos también en movimiento por medio de teclas; si la idea de su invento, no realizado, según propia confesión, hasta 1717, fuera tal vez debida al conocimiento de la tentativa verificada por Christófali, y cuya Memoria se había traducido ya en aquella fecha del italiano, ó bien si, como también es posible, había na-

cido espontáneamente en él. En favor de esta última hipótesis habla la imperfección del mecanismo de que se sirvió en sus modelos.

No parece que se llegara á construir tampoco ningún instrumento según el modelo de Schröter, pues éste carecía de medios para ello y la corte sajona no tomó la cosa con bastante interés. En cambio el pianoforte de Christofali fué llevado á la práctica ya en el año 1711, y poseyó entonces, como principales piezas constituyentes, dobles palancas, resorte de escape y un apagador independiente para cada macito. Este mecanismo, que se presenta señaladamente en la historia del instrumento en cuestión, tiene, como innovación, todavía más importancia que otras experiencias verificadas por los franceses en los años sucesivos, y que hoy mismo se citan muchas veces para adjudicar á Francia la prioridad del invento del piano moderno. En Alemania no fué construído éste hasta 1728, por el célebre constructor de órganos Silbermann, que se había en cierto modo apropiado y aun modificado en algún detalle el invento de Schröter. Sin embargo, no alcanzó entonces el éxito de los instrumentos italianos; era difícil de tocar y tenía las notas altas muy débiles. Sólo después de la intervención del hábil organista José Andrés Stein, de Augsburgo, discípulo de Silbermann, se hicieron patentes las ventajas, y desalojó el mecanismo de macitos, á los muñones con púas de los antiguos pianos de cola. El mecanismo de Schröter, de donde partió Stein, era algo diferente del de Christófali, puesto que el eje del macito se hallaba sobre una pequeña horquilla elástica de latón que se atornillaba al extremo de la tecla, á fin de que pudiera tener gran movilidad, de suerte que el macito estaba sostenido por la tecla misma, mientras que en el sistema de Christófali estaban separados el uno de la otra, como después vino á hacerse otra vez.

Los instrumentos de Stein tenían tres cuerdas para cada nota, y se cotizaban á precios muy elevados para aquellos tiempos. Por ejemplo, recibió el constructor por uno que fué enviado á Mainz, 100 luises de oro y un tonelito de vino del Rhin. Este hombre notable murió en 1792 y dejó dos hijos, Andrés y Nanette, á los cuales había instruído en su arte, de suerte que la hija manejaba el cepillo y la sierra, etc., como un hombre. Después casó Nanette con el profesor de piano Streicher, de Viena, y fundó aquí un taller de construcción de pianos, en el cual más tarde tomó parte activa también su marido. Los pianos de cola que salieron de este taller, los Streicher, eran considerados entonces, con justicia, como los mejores, y sobre todo fundaron la gloria de que han gozado largo tiempo los instrumentos de Viena. El tiempo transcurrido desde la aparición del pianoforte hasta el año 20 de este siglo, fué bastante fecundo en innovaciones de todos géneros é ideas sobre el perfeccionamiento de este instrumento musical, que hoy pertenecen en su mayor parte al terreno de las curiosidades destinadas á no pasar á la posteridad. Andrés Stein combinó los antiguos *colas* con el pianoforte, haciendo de ambos un instrumento, y cons-

truyó también algunos con registro de flauta. Un mecánico de Berlín, Hohlfeld, construyó en 1757 un piano-violín; se construyeron instrumentos con clavijero doble y triple, y con un número de registros y modificaciones extraordinariamente grande, que llegó en algunos casos hasta 100 y hasta 250. El *dittanaklasis* de Math Müller, en Viena, era un instrumento que se colocaba vertical, y que tenía un clavijero y un sistema de cuerdas por cada lado. Juan J. Schnell trató por el año 1790, y no sin éxito, de hacer sonar las cuerdas del pianoforte por medio de corrientes de aire conducidas á través de tubitos de latón. Su instrumento, llamado *anemocordio*, producía, según parece, una música sumamente agradable, y excitó extraordinaria admiración en París. Naturalmente, se prestaba sólo para piezas musicales melódicas, de aire lento, y para acompañar al canto. También se intentó una especie de conciliación de lo antiguo y lo moderno, por un artista que construyó un instrumento en el cual podía ponerse en juego, á voluntad, un pianoforte ó un clavicordio por medio de un pedal.

Accesorios semejantes se han conservado por largo tiempo anejos al pianoforte, y todavía se ven hoy alguna vez instrumentos de este género, antiguos, en los cuales puede ponerse en juego toda la música genízara con sus tambores, platillos, campanillas, registro de fagot, de arpa, etc. En estos últimos tiempos se prefiere la sencillez, y abandonando todas estas nimiedades se busca más bien el mérito del instrumento en la duración, belleza é intensidad del sonido, y sobre todo en la perfección del mecanismo, en cuanto á la comodidad y suavidad posibles de su juego. El pianoforte tiene generalmente sólo dos pedales, uno para levantar los apagadores, el otro para desviar el mecanismo, de suerte que los macitos sólo den contra una ó dos de las tres cuerdas que corresponden á cada nota, y se produzca así un sonido más débil.

En Inglaterra se introdujo el mecanismo Schröter-Silbermann por un obrero del establecimiento que había fundado en Strasburgo, á principios del siglo pasado, el mayor de los hermanos Silbermann, Andrés, y que continuaron sus cuatro hijos hasta 1753. Sin embargo, se generalizó muy poco. Sólo cuando el suizo Tschudy se estableció en Londres, asociándose allí con el joven escocés Broadwood, obtuvo mejor éxito.

La necesidad de hacer retroceder los macitos inmediatamente después que hayan tocado á las cuerdas, condujo al invento del escape, que fué hecho por Stodard, un discípulo de Broadwood, y por el fabricante de pianos alemán Becker. Consiste en un mecanismo que tira hacia fuera de la pieza transmisora del choque al macito, cuando la cabeza de éste se halla próxima á la cuerda, y facilita así su retroceso, librándola de la presión de aquélla. Esta adición al mecanismo de los macitos es en realidad el adelanto más importante hecho desde Christófali. Pero el progreso de la industria moderna llegó además á obtener pianos en los cuales una misma nota podía hacerse sonar repetida y rápidamente, mediante choques sucesivos, lo cual sólo es posible cuando el macito puede

ser tomado por la pieza impulsora y precipitado de nuevo hacia la cuerda, en cualquier momento de su retroceso, de suerte que cuando el dedo se ha elevado sólo un poco sobre la tecla ya pisada, y la pisa de nuevo, el sonido aparece otra vez instantáneamente y con toda seguridad. Este nuevo invento, la repetición, fué practicado por el constructor de instrumentos de Strasburgo, Sebastián Ehrhardt, que, como ya hemos mencionado antes, emigrado en París, dió á conocer gloriosamente su nombre en forma de «Erard,» unido á instrumentos de excelentes cualidades. Las mejoras que ha recibido el pianoforte en la época moderna, no son ya tan caracterizadas. En lo más importante, este instrumento es tan perfecto desde hace un cuarto de siglo, que los progresos, más que á cambios marcados en la esencia de su construcción, se refieren al perfeccionamiento de detalles aislados de los procedimientos industriales, á la mejor preparación de los materiales, á la solidez y economía de la construcción, en cuanto lo complicado de la fabricación permite.

Broadwoods, en Londres; Erard y Pleyel, en París; Bösendorfer, en Viena; Steinway, en Nueva York; Blüthner, en Leipzig; Bechstein, en Berlín, y otros, son nombres que van gloriosamente enlazados á la historia del pianoforte, por más que no á todos se deban inventos capaces de formar época en la misma.

En nuestro inmediato estudio de la disposición y modo de estar constituído el pianoforte, nos ocuparemos todavía de los esfuerzos verificados por unos y otros en ciertos sentidos. Este instrumento se ha hecho objeto de una gran industria, y en su construcción se trata de grandes cantidades. De aquí resulta que ciertos inventos que no presentan gran mérito de por sí y pueden pasar casi completamente inadvertidos para la teoría del instrumento, pueden poseer, sin embargo, una gran importancia práctica. Puesto que el número de los pianos que salen diariamente de las grandes fábricas constituye una verdadera legión, y la duración de uno de estos mecanismos es bastante larga, hay para asombrarse de la aceptación que encuentra por todas partes esta producción. Sus centros principales son las ciudades de Londres, París, Nueva York, Viena, Berlín, Leipzig, Stuttgart, Dresde, Breslau y otras, en las cuales se han desarrollado grandes fábricas, en las que se adopta hasta en los menores detalles la división del trabajo, de modo que el verdadero constructor del instrumento no construye casi ninguna de sus partes constituyentes, sino que éstas le son ofrecidas por fábricas dedicadas especialmente á ello, y su propia obra consiste casi exclusivamente en la elección, en la colocación adecuada, en su cuidadosa combinación, y, finalmente, en un acomodamiento elegante del conjunto.

Deben ofrecer interés todavía á nuestros lectores algunos detalles sobre el mecanismo interno de este instrumento, que contribuye más que ningún otro al cultivo y difusión de la buena y de la mala música, la cual, á su vez, ha engen-

drado una literatura propia, en que se apoyan otras importantes ramas de comercio, y que, por tanto, constituyen un objeto de interés en la historia de la civilización.

LA CONSTRUCCIÓN DEL PIANO

Podemos pasar muy de ligero sobre la construcción de la *caja* exterior, pues es éste un trabajo de carpintería exclusivamente, y tiene poca influencia sobre la naturaleza física del sonido. Por la forma de la caja distinguimos principalmente tres clases de pianos: los de *cola*, forma antigua, en la cual el cuerpo del instrumento se prolonga estrechándose, como indica su nombre; los de *mesa*, y los *verticales* ó *pianinos;* todos contienen, sin embargo, las mismas partes esenciales.

Ciertamente que la diversidad de la configuración externa determina también diversas disposiciones de sus partes internas, y acaso, en rigor, efectos particulares en cada clase. Pero no obstante, hoy ya se ha conseguido perfeccionar de un modo digno de admiración las formas más sencillas de este instrumento, como de media cola y vertical, comunicándoles todas las ventajas que antes sólo podían atribuirse al piano de cola, como la forma que respondía á todas las exigencias musicales. Los pianos verticales han adquirido, por lo mismo, gran aceptación en tiempos modernos, y se hallan sumamente generalizados entre nosotros. El marco de hierro en el cual se fijan todas las cuerdas tiene que resistir, por consecuencia de la gran tensión de cada una de ellas, una fuerza considerable, que en los pianos de cola, de concierto, de cuerdas triples, se calcula próximamente en 150 quintales métricos. Semejante fuerza tiende á reducir el espacio intermedio, y debe ser refrenada y equilibrada por la resistencia de dicho marco, pues la más pequeña flexión, siquiera fuera sólo en el ancho de un cabello, produciría ya una desafinación claramente perceptible. Ahora bien; es sabido que la conservación de la afinación es una de las primeras condiciones que debe llenar un buen instrumento. Otro de los materiales más importantes para esta parte fundamental de la obra lo constituyen maderas de diferentes clases, escogidas y completamente secas, que se dejan expuestas al aire, varios años antes de usarlas. Ciertas maderas duras, que no se secan nunca perfectamente cuando se emplean en forma de troncos ó planchas gruesas, son aserradas en tablas delgadas ó en trozos tales que se acerquen algo por su forma á la de las piezas que se quieren construir. También, muchas veces, antes de usar las maderas secadas ya al aire libre, se ponen en una cámara donde se les quita el último resto de humedad, mediante una temperatura suficientemente elevada. Las maderas duras empleadas generalmente para este uso, son el roble, haya, arce, pino tierno y abeto. Muchas veces se combinan entre sí dos ó más clases de maderas. El marco no debe estar compuesto, en efecto, de piezas grandes,

sino en lo posible más bien de láminas pequeñas, en las cuales generalmente se alternan capas de madera dura y de madera blanda. La unión entre todas estas piezas, á más de su más cuidadosa ensambladura en las esquinas, se produce por medio de una cola buena, que viene á constituir por sí misma una parte importante de la masa del instrumento, puesto que su misión es unir en un todo inseparable las diferentes piezas.

Al encolarlas se calientan también las piezas de madera y se conserva el todo fuertemente comprimido, mediante prensas, ó por otros medios, hasta que esté completamente seco. Como quiera que en el transcurso del tiempo se va haciendo cada vez mayor la tensión de las cuerdas, y por consiguiente se exige una resistencia del marco también cada vez mayor, es forzoso atender á estos correspondientes refuerzos. Además de las tradicionales barras longitudinales y transversales de madera, con las cuales se reduce la luz del marco, se emplean por esta causa tirantes de hierro, en un principio en número sólo de uno ó dos, pero después en número sucesivamente mayor, pues á medida que se perfeccionó la construcción de este instrumento, fué introduciéndose más y más el hierro en ella. No sólo se colocaron grandes tirantes de hierro, sino que las clavijas de las cuerdas se colocaron sobre una plancha de hierro atornillada al marco. Por último, se han fundido de una sola pieza el marco, clavijero y las barras transversales, alcanzando así el máximum de solidez y resistencia. Sin embargo, la densidad comunicada al instrumento con la introducción del hierro, ejerce sobre el sonido una influencia nada favorable, pues le hace más duro y picado.

Los dos sistemas de construcción, llamados de Viena é Inglés, se distinguen entre sí en la construcción de la caja, elección de las maderas y en la labor y enlace de las partes constituyentes; el último reune, á una mayor limpieza y elegancia en el trabajo de los detalles, tanta solidez, á lo menos, como el anterior.

En cuanto al piano de mesa, son menos favorables en él las circunstancias para la firmeza de la tensión de las cuerdas, pues aquí el enclavijado de éstas penetra profundamente en la caja y ocupa el sitio que podría ser aprovechado para dar sujeción y firmeza al conjunto. De aquí que el fondo de la caja tiene que ejercer la mayor parte de la resistencia contra la tensión de las cuerdas, y tiene que estar construído, por tanto, con gran cuidado, así como se exige tambien éste en la elección del material. Según la mejor regla, se hace encolando tres capas de madera superpuestas, de las cuales la más interna y más fuerte es de madera de roble, con las fibras colocadas en la misma dirección en que las cuerdas están tendidas; las dos más externas son de abeto, con las fibras paralelas.

En los pianos de mesa se distinguen unos que tienen el clavijero inmediatamente detrás del teclado, algo oblicuo, con objeto de que haya sitio para todas las cuerdas que van desde él á la plancha de suspensión, colocada hacia

la derecha; el cordaje se extiende, pues, próximamente, desde el vértice anterior de la izquierda, al vértice posterior á la derecha. El clavijero, que siempre es un cuerpo sólido de madera dura, sólo puede colocarse en este caso en uno de los ángulos citados de la caja; y como ha de ser atravesado por las clavijas, tiene que ser hueco en toda su longitud; de aquí que lleve un tirante de hierro apropiado para sujetarle. En otros instrumentos se halla atrás el clavijero, encolado fuertemente en toda su longitud con el marco; esta disposición deja un espacio mayor para las cuerdas que corren desde las clavijas hacia delante y á la izquierda.

También se ha dado á la caja de los pianos de cola una forma simétrica, haciéndola triangular (Blüthner, en Leipzig) en vez de trapezoidal, y de suerte que la bisectriz del ángulo en la cola, le divida en dos partes iguales. Pero la forma simétrica no es una condición de tanto valor que haya necesidad de ceñirse forzosamente á ella.

La base del piano es el resonador. Es el que da al instrumento su sonoridad, pues una cuerda tensa que no tenga en su proximidad ningún cuerpo que pueda resonar, vibrará seguramente cuando se la pulse de un modo perceptible á nuestra vista; pero el oído no será impresionado, ó lo será muy débilmente. Sólo cuando las vibraciones de la cuerda se transmiten por medio del puente á la plancha de resonancia, y las partículas de ésta son puestas, por tanto, en vibración, se origina un sonido bastante intenso y perceptible. Ahora bien; una plancha cualquiera no es propia para resonador; por el contrario, la elección de la madera y su trabajo exige el mayor cuidado.

El resonador consiste en una plancha de madera delgada, cuya forma corresponde á la del instrumento y su cordaje, la cual está completamente lisa por encima, y por la cara inferior lleva encolados varios listones de madera, diversamente dirigidos, en los cuales se apoya. Por encima hay un solo listón de madera bien fuerte, colocado de modo que venga á caer cerca del traste, donde están fijas las cuerdas por su extremo, y cuyo listón se extiende paralelamente por delante de éste, siguiendo sus mismas inflexiones y accidentes de forma. Este es el puente, sobre el cual se apoyan las cuerdas fuertemente, equilibrándose en él una parte de su tensión. Como material para el resonador, sirve generalmente madera de pino escogida, exenta de resina; pueden, sin embargo, emplearse también otras maderas, como cedro, alerce, abeto y pino de Flandes. Se han hecho ensayos también con planchas metálicas, particularmente de acero y cobre, y, por último, de pergamino tenso; pero no dan tan buenos resultados como las de madera, y además son mucho más caras. Las planchas metálicas engendran sonidos huecos y chillones. Generalmente se toman para el resonador láminas lisas de madera, cuyas fibras son rectilíneas. El que estas fibras estén dirigidas en la pieza (una vez colocada) paralelamente á las cuerdas transversalmente ú oblicuamente á las mismas, de cuyos tres modos se colocan,

no parece tener influencia alguna sobre la cualidad del sonido; lo más importante es que la madera tenga las fibras espesas, lo cual es señal de una dureza y densidad considerables, ó bien que estén claras, muy separadas entre sí, y por consiguiente la madera tierna. La primera suerte es propia para debajo de las cuerdas de los tiples, la segunda para la región de los bajos. Además, el resonador se hace más delgado en la parte que corresponde á los bajos, y más grueso en la que corresponde á los sonidos agudos. Y en cuanto á este grueso del resonador, aparte de que va siempre disminuyendo desde los tiples hasta los bajos, es proporcionado al tamaño del instrumento, de suerte que en un piano de cola siempre es mayor que en los pianos menores. Los espesores usuales oscilan entre 1 cm. y $^3/_8$ cm. Los travesaños situados por debajo del resonador de 1 á 3 centímetros de grueso, están destinados á dar á aquél la inmovilidad necesaria, al mismo tiempo que una elasticidad uniforme en todos sus puntos. Sobre el número y dirección no hay ninguna regla fija; sólo en cuanto á la última se aconseja que las fibras del resonador estén en cruz con ellos, si es posible. Así, cuando dichas fibras están dirigidas al través, los listones marchan á lo largo, y en este caso hacen falta menos de éstos, pues el borde del resonador ofrece mayor apoyo contra el marco.

No se ha llegado todavía á poner en claro por completo, teóricamente, la manera de obrar del resonador. Entran en juego á un tiempo muchos factores, y la determinación de su acción física ofrece grandes dificultades. La circunstancia misma de que la madera de los tallos de los vegetales no es una materia homogénea en su estructura, dificulta esencialmente la cuestión, y de aquí que hasta hoy siga siendo la experiencia la única guía para la práctica de la construcción de los pianos.

Hasta estos últimos tiempos ha satisfecho el considerar como un dato empírico la forma del resonador, y en general todo cuanto pertenece al cuerpo del instrumento, de suerte que no se pensaba en introducir ninguna innovación sobre el particular, y todos los esfuerzos en favor del adelanto de esta industria en cuanto á dicha caja, estaban limitados á la elección de los materiales y al cuidado en la labor de éstos, mientras que el mecanismo ha experimentado innumerables transformaciones. Hoy, por el contrario, parece que se considera como suficiente la perfección del mecanismo y que se dedica preferentemente la atención á aquellas partes del instrumento que producen por sí mismas el sonido. En la Exposición de Viena de 1873 llamaba la atención un piano de cola con un resonador abovedado, que mostraba por vez primera puesto en práctica un nuevo principio en relación con aquel fin. El invento pertenece al fabricante de pianos vienés Federico Ehrbar, y fué ya iniciado por él con motivo de la Exposición de Londres de 1862. Según esta idea fué construído también en Pesth, en 1871, por Beregszaszy, un resonador abovedado, expuesto en Londres, pero sin el piano; la prueba de la importancia práctica de este pensamiento no

ha sido ofrecida hasta muy recientemente por su primitivo autor. La belleza de timbre y sonoridad del piano de cola de Ehrbar ha sido encomiada en alto grado por el conocido escritor musical Hanslick; y si el tiempo ejerce sobre este instrumento una influencia favorable, como sobre el violín, lo cual no es imposible, esta modificación puede iniciar una nueva época en la historia del piano.

La madera para los resonadores, los listones, clavijero, etc., es escogida por agentes especiales en los países en que abunda esta primera materia, particularmente en los bosques de Bohemia, Baviera, etc.; después es aserrada y preparada en forma de haces de tablas, é introducida en el comercio. Para proteger por largo tiempo contra cualquiera influencia de la temperatura esta madera empleada en la construcción de instrumentos, se ha hecho uso recientemente de diferentes sistemas de preparación, de entre los cuales haremos mención especial de uno, sobre el que se ha expedido en 1881 patente en Alemania, y que consiste en un tratamiento particular, por el oxígeno calentado y ozonizado por medio de la electricidad, que endurece la madera del resonador, le da mayor resistencia, y, en una palabra, le comunica todas las ventajas de una madera añeja conservada durante largo tiempo.

EL MECANISMO

Las partes movibles, el sistema de palancas que sirve para transmitir el choque á las cuerdas, son desde luego las más interesantes é importantes del pianoforte, y las que han sido objeto de las experiencias y ensayos de la mayor parte de los inventores y perfeccionadores; de aquí que el número de los mecanismos en uso, ó susceptibles de ser usados, es muy considerable, de suerte que sólo podemos mencionar aquellos que parecen necesarios para una idea general del objeto. Las múltiples variaciones se refieren exclusivamente á la parte posterior del mecanismo, á los macitos y apagadores, pues las teclas son esencialmente piezas sencillas, y su colocación apenas ha variado desde los primeros tiempos de la invención.

Las teclas se hacen de madera blanda, lisa, sin torsión, como la de pino y otras; por su principio, son palancas de primer género, en las cuales lo más importante es el centro ó eje de rotación; la longitud de los brazos de la palanca puede ser diversa, y está en relación con la forma del instrumento y la colocación de las cuerdas. El centro de rotación para las teclas está sobre un listón, en el cual hay enclavados unos clavitos lisos que atraviesan la tela por un orificio que lleva ésta. Para las teclas negras más cortas, los clavitos correspondientes se hallan colocados más hacia delante. De la posición de estos centros de rotación de las teclas depende principalmente la dureza ó suavidad de la pulsación pro-

pia del instrumento; y, por último, de esta misma posición del punto de apoyo, y del espacio que queda por bajo de la tecla para su descenso, cuando es pisada por los dedos (que es próximamente de $^3/_4$ de cm.), se deduce el valor de la elevación del extremo posterior de la tecla, y por consiguiente también la de la pieza transmisora que se halla en presencia de aquél, y que comunica el impulso al macito. Tenemos, pues, aquí toda una serie de valores que están enlazados entre sí, y deben guardar cierta armonía si ha de conseguirse en buenas condiciones la pulsación de las cuerdas. El mecanismo más antiguo es el sistema de palancas de Christófali, cuya disposición nos muestra la fig. 465. En ésta, *a b* es la parte posterior de la tecla, que al levantarse eleva también el extremo *c* de la palanca *c d*, giratoria alrededor del punto *e*, al mismo tiempo que separa de la cuerda *h i* al apagador *g*. La lengüeta *f* se apoya contra un alambre aplastado, *k*, y es retenida por el resorte *l*. El macito propiamente dicho, *m*, se mueve alrededor de su nuez, *n*, que se halla sobre el soporte *o p*; son unos cordoncitos cruzados, entre los cuales se colocan los macitos. Se reconoce desde luego, por una observación superficial, la conveniencia de este mecanismo, que resalta más si se compara con el inventado posteriormente por Schröter.

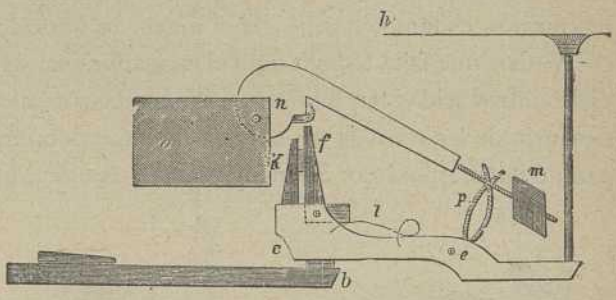


FIG. 465.—Mecanismo de pianoforte, sistema Christófali.

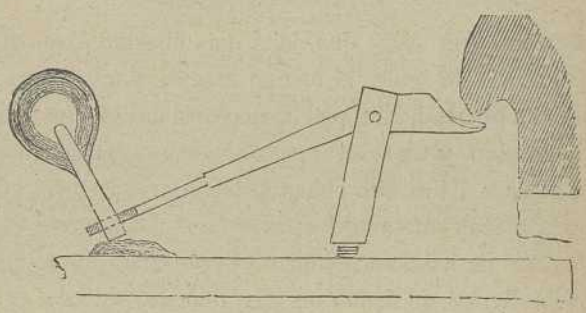


FIG. 466.—Mecanismo de Schröter, perfeccionado por Silbermann.

El antiguo mecanismo de Schröter, tal como fué aplicado á los instrumentos de la época por Silbermann de Strasburgo, después de una pequeña modificación, está representado en la fig. 466. La pieza *a b* es el extremo posterior de la tecla, sobre la cual se halla el macito *c*, con su sostén *d*. Cuando este extremo se eleva, por efecto de la presión ejercida en el extremo anterior, el extremo saliente *e* de la palanca rotatoria alrededor de un clavo situado en el sostén *d*, tropieza con el borde del tope fijo en su presencia *f*, y el macito *c* tiene, por consecuencia, que girar, levantándose bruscamente en alto. La pulsación de la tecla misma está limitada por la parte inferior de dicho tope, *g*, revestido de

una capa blanda. Como quiera que el brazo de palanca del macito *c* es mucho mayor que el del extremo *e*, el camino y la velocidad de dicha cabeza será también mayor en la misma proporción. En los instrumentos actuales, la relación entre el ascenso de la tecla bajo el dedo del ejecutante, y el camino recorrido por el macito, es como 1: 8; y lo mismo que el camino recorrido por la cabeza del macito, es también ocho veces mayor la velocidad de su movimiento.

Vemos que falta todavía aquí el apagador, una de las innovaciones más esenciales introducidas tan discretamente por Christófali. El apagamiento de la resonancia de las cuerdas se obtenía de un modo imperfecto por medio de una tira de paño esponjoso. Stein en Alemania perfeccionó el mecanismo de Schröter, y la traslación de la industria á Viena por su hijo dió ocasión al nombre de *mecanismo vienés*, que en gran parte se ha conservado hasta nuestros días. Stein inventó y colocó, en lugar del tope fijo y sólido *f* (fig. 466), el escape elástico *g* (fig. 467), que daba más libertad al macito, y por otra parte la pieza *i* que servía de guía al mismo macito, para evitar que oscilara por efecto de aquella libertad. El tope elástico está unido á un listón por medio de una tirita de pergamino, y un resorte metálico le empuja continuamente hacia dentro contra la pieza *e*. El macito choca al levantarse la tecla por la misma combinación que en el mecanismo anterior; pero aquí el obstáculo cede, y al llegar á cierta altura, después de haberse verificado la pulsación de la cuerda por el macito, el extremo posterior en forma de pico de éste, resbala en virtud de la inclinación adquirida, con lo cual el macito retrocede, por más que la tecla permanezca todavía levantada. Ahora bien; esta retención en alto de la tecla produce el único efecto de mantener levantado el apagador, y permite, por consiguiente, la duración del sonido producido por la cuerda. El tope es solicitado hacia su posición primitiva en virtud del descenso del macito, pero tropieza con la superficie inferior y curva del pico *e*, la cual le hace retroceder cuando la tecla desciende de nuevo por su extremo posterior hasta que llega á colocarse, por debajo de la cabeza del tope *g*, el pico *e* del macito. Se nos presenta, pues, el funcionamiento de este escape en forma de un juego continuo de su cabeza, colocándose alternativamente por encima y por debajo del pico *e*, en que termina el macito. En todo mecanismo posterior se encuentra un escape de este género, es decir, una disposición de cualquiera forma, en virtud de la cual el macito, después de chocar contra la cuerda, retrocede inmediatamente por sí mismo; su

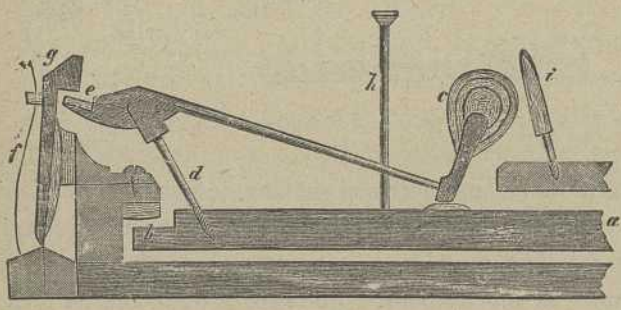


FIG. 467.—Mecanismo vienés.

utilidad salta á la vista. Pero el macito recibe también de la cuerda con la cual choca, un impulso de retroceso, que podría dar ocasión á un nuevo rebote contra su apoyo, por lo cual existe también precisamente un receptor del macito, pequeño tope de superficie blanda y colocado con alguna inclinación, el cual le quita su velocidad por el roce de ambas superficies blandas y ásperas, ó también por medio de cierta presión sobre la cabeza del macito. Cuanto más fuerte se pulsa la tecla, tanto más fuertemente choca el macito á su retroceso en el interior de este aparato receptor.

La idea de Christófali de separar el macito de la tecla, de modo que gire alrededor de un soporte especial fijo, comunicándosele el impulso por medio de una pieza intermedia en combinación con el movimiento de la tecla, si bien había sido tomada en consideración en Alemania (y hay algunos que suponen que Silbermann inventó por sí sólo esta modificación), prosperó, sin embargo, principalmente en Francia é Inglaterra, aunque en manos de obreros alemanes, y se propagó después este mecanismo como de nacionalidad inglesa, por más que ningún inglés hubiera tenido participación esencial en su desenvolvimiento.

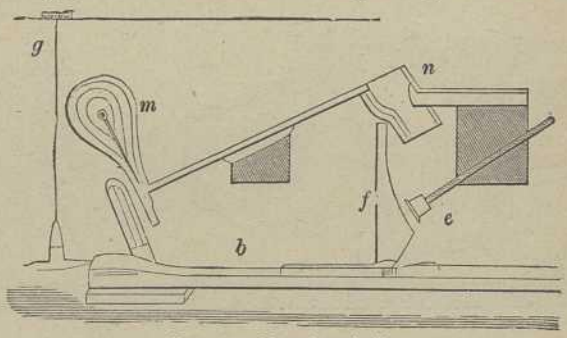


FIG. 468.—Mecanismo inglés.

Así, pues, el llamado mecanismo inglés se distingue esencialmente del vienés en que los macitos se hallan recostados sobre un listón fijo por sus extremos ensanchados, de forma cónica. La pieza transmisora *f* (fig. 468) se halla vertical sobre la tecla *a b*, y al subir comunica al macito un choque rápido por delante del centro de rotación *n*, el cual le lanza hacia arriba; en cuanto este choque ha tenido lugar, el macito queda libre de la acción de la pieza *f* después de haber alcanzado la altura deseada, y cae, volviendo á su posición primitiva, sobre el receptor. El escape forma siempre un obstáculo fijo, que obliga á la pieza transmisora á que se incline lateralmente después de haber verificado cierta elevación, de modo que su extremo deje de aplicarse contra el macito. De aquí que dicha pieza de transmisión sea desviada sobre la tecla, en las construcciones en pequeño, muchas veces tan sólo por medio de una tirita de pergamino, pero generalmente por medio de un orificio y un clavo. Un pequeño resorte solicita á dicha pieza constantemente, tendiendo á mantenerla en posición vertical, y determina el retroceso á esta posición, después de haber obrado aquel mecanismo de escape. En los buenos instrumentos se encuentra una disposición en la cual, por medio de unos tornillos, se puede colocar más alto ó más bajo el punto de contacto de la pieza transmisora en cuestión con la tecla, puesto que tiene evi-

dentemente gran importancia el poder regular exactamente la altura del salto que dicha pieza verifica. Nuestra figura muestra una disposición usual del mecanismo inglés. El escape lo forma una varilla terminada por una cabeza, *e*, que se atornilla oblicuamente en el listón donde están colocados los macitos, y se comprende que al levantarse la pieza *f* tropiece oblicuamente con la cabeza de aquélla y sea desviada á la izquierda, de modo que su extremo superior abandona al macito.

Sacando ó metiendo el tornillo del escape, se encuentra el punto en que suceden mejor y más rápidamente el choque y el escape. Sobre el extremo posterior de la tecla se apoya una palanca antagonista, que lleva el apagador *g*. El escape de la pieza de transmisión del choque al macito puede tener naturalmente, y tiene también en realidad, otras diferentes formas, cuyo estudio, sin embargo, nos llevaría demasiado lejos.

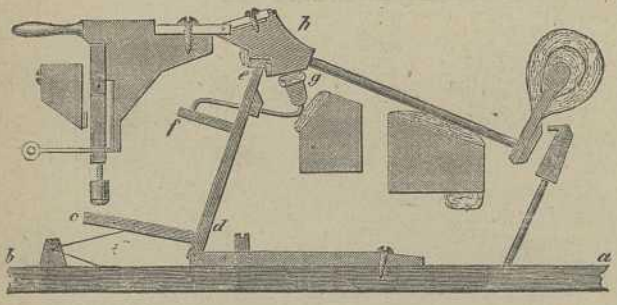


FIG. 469.—Mecanismo de repetición.

Un progreso reciente en el pianoforte, grandemente encomiado, por más que algunos no quieren reconocer su mérito, es el llamado *mecanismo de repetición*, ó doble escape; la idea surgió en el taller de Erard, en París, y la novedad se hizo célebre por Francisco Listz. En efecto, en todos los mecanismos ordinarios es preciso que la tecla se levante por completo, después de haber sido pulsada una vez, antes de que se la pueda pulsar de nuevo, pues la pieza transmisora, desviada por el mecanismo de escape, tiene que volver á colocarse en su posición primitiva para que pueda comunicar su movimiento al macito. El mecanismo de repetición, por el contrario, permite herir rápida y sucesivamente una misma cuerda, cuando su tecla tan sólo ha podido elevarse dos ó tres milímetros. Con esto se ofrece á los pianistas una gran facilidad, esencial para la ejecución de *trémolos* rápidos y repetición de una misma nota.

El mecanismo de repetición de Erard es un conjunto de piezas que no estaban muy bien combinadas; desde entonces se han ideado otros más sencillos, que realizan el mismo objeto, uno de los cuales representamos en la fig. 469. Vemos en este mecanismo, representado en reposo, la pieza de transmisión en forma de palanca angular *c d e*, provista además en la parte superior de un nuevo brazo *f*, en el cual se inserta un resorte de acero encorvado, que por el otro extremo se aplica contra la superficie inferior del cuerpo central del macito, por medio de una cabeza almohadillada. En la ejecución ordinaria con el instrumento,

funciona el mecanismo como todos los demás; nada tiene que hacer la cabeza del resorte, por más que marcha siempre junto al macito, siguiéndole en sus movimientos de sube y baja. Pero si el ejecutante retiene la tecla de modo que la pieza intermedia permanezca sin acción directa transmisora por la influencia del mecanismo de escape, el macito retrocede sólo un pequeño trozo y queda descansando sobre el resorte *g*, el cual ejerce provisionalmente el papel de un apoyo y de una palanca, pues es bastante fuerte para amortiguar el movimiento del macito y bastante elástico para transmitir, por intermedio de la almohadilla *g*, los pequeños impulsos comunicados á la tecla, de modo que, aunque débiles, se pueden transmitir á las cuerdas pulsaciones rápidas y en rápida sucesión.

En la práctica se obtienen mecanismos de este género con arreglo á las ne-

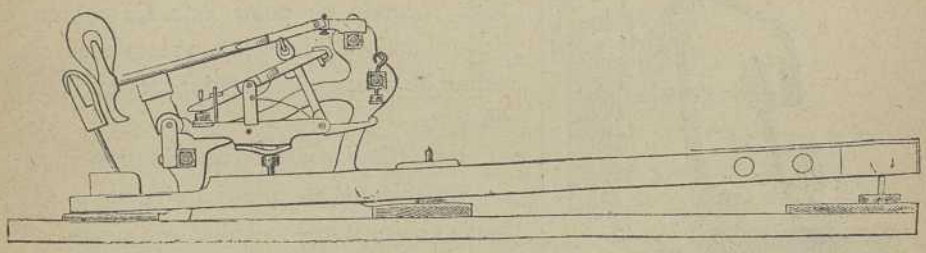


FIG. 470.—Mecanismo de un piano de cola, de Erard.

cesidades á que deben responder en cada caso; pero estas modificaciones, que podrán cambiar su aspecto, no alteran en lo más mínimo su esencia. La figura 470 nos muestra el mecanismo de un piano de cola, de Erard, tal como se construyen modernamente.

Con lo dicho quedan descritos, si bien á grandes rasgos, los perfeccionamieutos realizados en el pianoforte. Moscheles, Liszt, Thalberg, Rubinstein, Bulow, Tausig y los demás grandes pianistas, no hubieran sido posibles si el instrumento no hubiese ya poseído un alto grado de perfección; ellos han mostrado todo el partido que podía sacarse del pianoforte, y al mismo tiempo han dado también ocasión á nuevas mejoras. Así, con el transcurso del tiempo, el piano se ha transformado completamente. El carácter de su sonido es hoy esencialmente distinto del primitivo, y no se ejecutan ya las antiguas composiciones, incluso las de Beethoven, pues sin duda fueron concebidas para otros efectos de sonoridad que los que ofrece nuestro sistema actual. En los instrumentos verticales, en que el golpe del macito tiene que producirse en otra dirección, generalmente en la horizontal, hay necesidad también, naturalmente, de otra disposición del mecanismo. En este caso suele suceder que los movimientos son algo perezosos, pues el peso no puede, como en el caso anterior, ser aprovechado como fuerza útil para algunos de ellos, y hay que recurrir, como sucede en ciertos sistemas, á hacer aplicación de pequeños contrapesos de plomo. Hay un

número bastante considerable de mecanismos en que los macitos pegan contra las cuerdas horizontalmente; de entre ellos escogemos y representamos en la fig. 471 uno de los más sencillos, cuya construcción y modo de obrar puede comprenderse por lo que antecede, y que se distingue principalmente por una bonita disposición del apagador: *a b* es la parte posterior de la tecla; *c d* la pieza de transmisión. El macito *f* gira alrededor del núcleo *e*. El apagador va unido á uno de los brazos de la palanca angular *g h i*, y es separado de la cuerda por medio de varilla *l*, que á su vez es elevada por el extremo posterior de la tecla, cuando se pulsa ésta. En cuanto el dedo abandona á la tecla, un resorte, *m*, comprime de nuevo al apagador contra la cuerda *n n*.

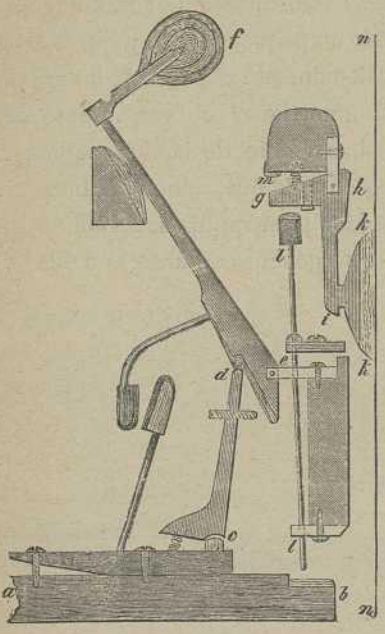


FIG. 471.—Mecanismo de pianos verticales.

Por último, existen también gran número de mecanismos en que el golpe se produce hacia abajo. Éstos se hallan con sus teclados correspondientes sobre las cuerdas. La elevación de la parte posterior de tecla no se utiliza, pues, como un choque producido hacia arriba, sino como una acción sobre el brazo posterior de la palanca del macito, cuya parte anterior desciende. En lugar de la pieza de transmisión de los mecanismos anteriores, hay aquí una que desde la tecla hacia abajo, pone á ésta en comunicación con el macito; es decir, con una especie de apéndice de éste, que se halla en la parte posterior del centro de rotación, bien constantemente, bien con alternativas de escape. El constructor de pianos, Greiner, perseguía particularmente el problema del mecanismo de este género, y en la fig. 472 damos una imagen de la disposición que adoptó. La cuerda *a b* es abandonada por el apagador *c* en cuanto el extremo posterior de la tecla *d e* se eleva. Con ella se levanta también la pieza transmisora *f g*, terminada inferiormente en un gancho de alambre, *h*, y el apéndice *i* del macito, en el que á su vez se adapta el gancho, recibe un impulso que lanza á dicho macito contra la

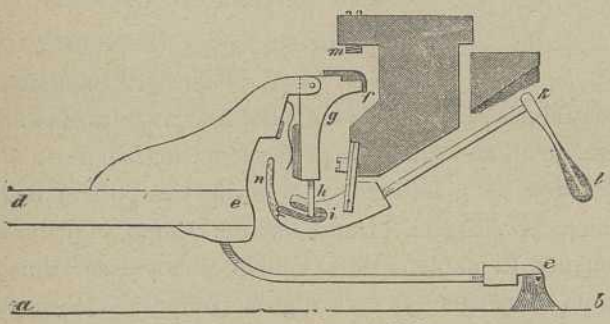


FIG. 472.—Mecanismo de Greiner.

cuerda. El escape resulta aquí de que la pieza *f g*, unida á la tecla, tropieza con un tornillo, *m*, y es rechazada por él cuando alcanza cierta altura, si bien al descender vuelve á su posición mediante un resorte. También el macito retrocede en cuanto ha dado con la cuerda, en virtud de un resorte especial ú otro mecanismo. El cuerpo *n*, que se ve en el extremo de la izquierda del cuerpo del macito, es una especie de receptor de fieltro. Ahora bien: al hacer aplicación de uno ú otro de estos mecanismos, las ventajas que pueda ofrecer el sistema elegido sobre los otros no son todavía una garantía completa para la obtención de un instrumento real y verdaderamente bueno; pues como el mecanismo es independiente para cada nota en particular, se exige además la mayor exactitud, la sensibilidad más exquisita en la mano y el oído más educado, para combinar todos estos miles de piezas en un conjunto uniforme.

Cuando consideramos ligeramente un mecanismo de piano, como, por ejemplo, el representado en la fig. 472, se nos ocultan la mayor parte de las partes que lo constituyen y no se juzga la cuestión tan complicada como lo es en realidad. El número de las piececitas distintas de diferentes clases, hilos de acero y latón, teclas, fieltro, badana y pergamino, que forman parte del mecanismo de un gran piano de cola, adaptado á los sistemas más sutiles y perfectos, puede llegar á exceder de 3.000; cada una de ellas tiene que haber sido construída á mano con el mayor cuidado, é igualmente instalada y adaptada en el instrumento. Se emplean diferentes maderas para las diversas piezas, según se muestran adecuadas para ellas por sus propiedades. La una se elige porque sus barritas no saltan; la otra precisamente por los años que tiene; la otra por su dureza, por su tenacidad ó por su blandura, etc. Las más usadas son las de manzano, peral, tilo, también de mahagón ó anacardo, cedro ó madera de Pernambuco y del Brasil, y parece casi milagroso que maderas y alambres, á veces tan débiles, resistan lo que tienen que resistir en un pianoforte. Pero en esto precisamente es en lo que se conoce la maestría del constructor: en el conocimiento y elección acertada de los materiales, así como en dar á todas las partes del instrumento la forma y proporciones adecuadas, ordenándolo todo de modo que nada se oponga al movimiento libre y desembarazado de sus miembros.

Los *macitos* de los instrumentos modernos no son, como los martillos de los antiguos clavicordios, de un cuerpo metálico duro, sino que en relación con la mayor longitud de las cuerdas, y para quitar la dureza de timbre al sonido, cuya intensidad está considerablemente aumentada, se revisten con sustancias blandas, por medio de las cuales el movimiento se comunica á la cuerda principalmente en su conjunto. y no pueden originarse en tan gran escala como en el clavecino, aquellas vibraciones parciales que corrían á lo largo de la cuerda, sirviendo para engendrar los armónicos superiores, que daban al sonido un timbre chillón y desagradable. Verdad es que con esto el sonido resulta más opaco, pero también más lleno, más redondo. En cuanto al apagamiento del sonido, es

evidente que tampoco puede obtenerse en buenas condiciones más que con sustancias blandas. Así, el armado de los macitos y apagadores es una de las labores más importantes de la construcción del piano y exige los mayores cuidados y el empleo de materiales adecuados para que el sonido no pierda nada de su primitivo carácter. Antes, cuando no se conocían para este objeto más que la piel de cordero y tejidos de algodón, eran inevitables algunos de los defectos aludidos. Verdad es que se empleó también la piel de ciervo para el armado de los macitos, y que esta sustancia hubiera satisfecho á todas las necesidades; pero hoy no se la puede obtener ya en tanta abundancia. De aquí que constituyó un gran adelanto lo que se hizo primero en Francia: aprender á construir fieltros especiales para macitos y apagadores, cuyo uso se extendió por casi todas partes con el tiempo. En Inglaterra fué imitada pronto la fabricación de estos fieltros, y Alemania tuvo que comprarlos largo tiempo de ambos países; pero últimamente aprendió á hacérselos también ella misma.

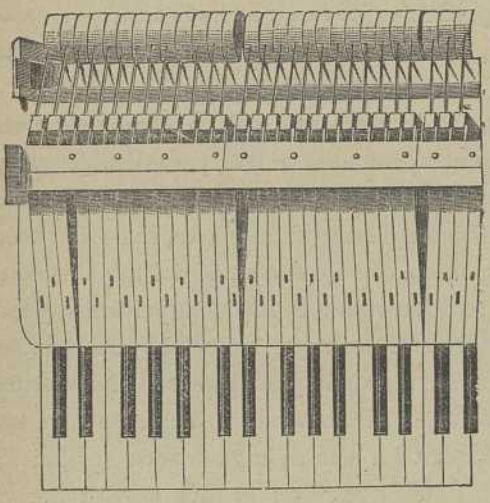


FIG. 473.—Disposición del teclado y los macitos.

El fieltro de macitos se presenta en láminas de 1 á 1 $^{1}/_{2}$ metros de longitud por $^{2}/_{3}$ á $^{3}/_{4}$ de anchura; en el espesor va disminuyendo desde 14 á 6, desde 4 á 2 milímetros. Posee una gran finura y suavidad, y consta de lana pura ó mezclada con algo de algodón, que puede ser sustituído, con ventaja, por pelo de conejo.

El grueso y redondez de la cabeza del macito, así como su blandura, son máximos en las notas más graves y disminuyen hacia la derecha, en la misma proporción que la longitud y el grueso de las mismas cuerdas. Sólo la capa más externa del revestimiento está formada por fieltro de primera clase; para que haga almohadilla por debajo, se usa una clase de fieltro inferior. Los pedacitos de fieltro se sujetan en su sitio con cola, y tanto más tirantes, cuanto más delgados son. Para las notas agudas se emplea hoy también el revestimiento de cuero.

Mientras que así las sustancias blandas que forman el macito y el apagador se ponen en contacto con las cuerdas, y por una parte contribuyen á la generación del sonido, mientras por otra le apagan, hay colocadas en otros muchos sitios piezas de paño ó de piel, con objeto de no dejar que se produzca ningún otro sonido, de suerte que el juego del mecanismo sea completamente

mudo. Así, pues, donde quiera que deban tocarse dos partes duras del mecanismo, se coloca una capa de paño ó cosa semejante para apagar el ruido ó sonido que pudiera engendrarse; por ejemplo, en las teclas, en la parte anterior é inferior donde tropiezan con el listón correspondiente al pulsarlas, en el centro donde la ranura por que atraviesa el clavito está también forrada de tela, y en el extremo posterior, tanto por la superficie inferior como por la superior: en el escape, así como en el codillo del cuerpo del macito, contra el cual juega la pieza transmisora del movimiento de la tecla, son necesarios también naturalmente buenos armados en blandos. Del mismo modo están revestidas las paredes de la llamada cápsula, en la cual penetra el eje alrededor del cual gira el cuerpo del macito. Los macitos caen sobre una almohadilla, y en virtud de la complicación del mecanismo, hay todavía varios sitios más, donde debe ser amortiguado por un intermedio blando el movimiento entre partes duras. En los modelos mejores se llevan estas precauciones hasta el extremo de que se revisten los orificios finos por los cuales pasa un alambre para levantar, por ejemplo, el apagador. Los receptores de los macitos están siempre recubiertos de una piel, de suerte que aquí se ponen en contacto dos superficies blandas, como corresponde al objeto de contener instantáneamente el macito en su movimiento.

EL CORDAJE

Llegamos á tratar por fin del cordaje, la parte más importante del instrumento, respecto á la cual son sólo auxiliares secundarios todas las demás partes. Las modificaciones introducidas desde hace unos cincuenta años en las cuerdas, están limitadas á la clase y bondad del material, así como al diámetro de los alambres. Los antiguos constructores de pianos empleaban en sus cuerdas más delgadas, el alambre de hierro en los bajos, y el de latón en los tiples; este último fué ofrecido de mejor calidad en Nurenberg, mientras que en el hierro adquirió ventaja Berlín. Hoy día se emplea casi exclusivamente el acero fundido, mejora en el material que procede de Inglaterra. Durante largo tiempo fueron aquí Webster y Horsfall los únicos proveedores de material para cuerdas buenas de piano; pero después, no sólo han sido igualados, sino aventajados en mucho estos productos por Miller, en Viena, y desde fines del año 1850 por Pöhlmann, en Frankenhammer. Un piano cola de Broadwood con cuerdas de Miller, tocado durante diez años en 460 conciertos, perdió en este tiempo sólo una cuerda. Hoy hay más abundancia de fabricación de buenas cuerdas, que de fieltro bueno para macitos.

El sonido de una cuerda depende, como es bien sabido, de la longitud de su parte vibrante, de su grueso y de la tensión. Sin embargo, la experiencia ha enseñado, ya hace mucho tiempo, que estos tres factores no pueden combinarse

entre sí á voluntad, sin limitación, sino que para obtener sonidos de intensidad máxima y buen timbre, tienen que guardar, por el contrario, cierta relación. La cuerda sólo suena intensamente y con un sonido puro, cuando está sometida á una tensión próxima á la necesaria para hacerla saltar; de aquí que las cuerdas mejores son las más tenaces. Ahora, no pudiendo obtenerse el mejor sonido con un grado cualquiera de tensión, es preciso acomodar al conveniente los otros dos factores, grueso y longitud. De aquí que es una cuestión importante la medición exacta de las longitudes de las cuerdas, que tienen que supe-

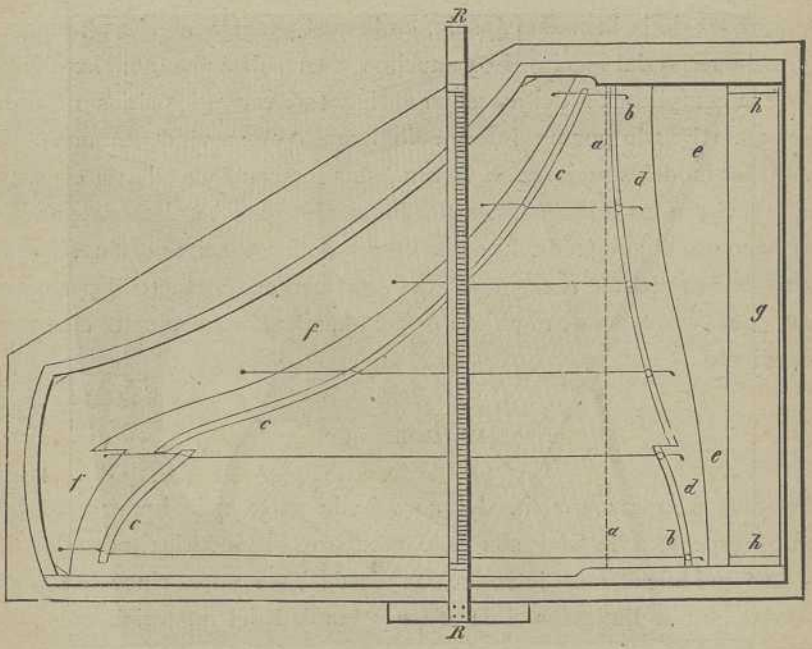


FIG. 474.—Distribución de la caja de un piano de cola.

ditarse á la forma y construcción especial del instrumento. Cada grado de espesor, longitud, densidad y tensión de una cuerda, entraña una cualidad especial del sonido. Si dos cuerdas de igual longitud y grueso están sometidas á diferentes tensiones, de modo que el sonido de la una sea la octava del de la otra, el más alto de ambos sonidos será tal vez claro y agradable, pero el más grave, en cambio, resonará débil y oscuramente; por otra parte, si para obtener aquellas dos notas en octava se hiciera diferir á las cuerdas sólo en su longitud ó en su grueso, la diferencia entre las cualidades de los sonidos no sería seguramente tan considerable como en el primer caso, pero no se conseguiría tampoco así la intensidad uniforme deseada. El oído ejercitado de constructores de instrumentos llega á percibir distintamente la diferencia entre dos cuerdas de diferente número, de los doce ó veinte que suelen entrar en uso, y trata de hacerla desaparecer, variando la vestidura exterior de los macitos. Lo usual es hacer

disminuir desde los bajos hacia los altos la longitud y el grueso de las cuerdas, y también, aunque en menos escala, la tensión. Se dan para este objeto ciertas reglas; pero en todo caso la experiencia es la que encuentra los valores precisos, permaneciendo el oído como la guía decisiva é insustituíble.

Por lo que antecede se comprende que los constructores de pianos deberían estar completamente familiarizados con la Física, á lo menos con las leyes de la acústica, movimiento ondulatorio, elasticidad, etc., para poder por sí mismos hallar la respuesta á los problemas que entraña aquel instrumento; pero des-

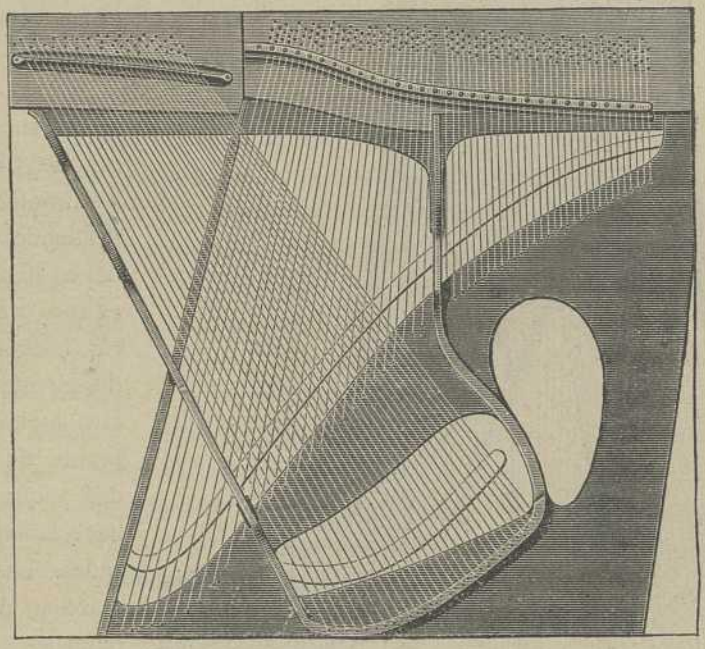


Fig. 475.—Disposición de cuerdas cruzadas en un piano de Steinway.

graciadamente la mayor parte se limitan á copiar indefinida y empíricamente algún ejemplar tomado como tipo ó modelo.

La forma de cola del resonador y la posición de los clavos sobre él, está determinada por las longitudes de las cuerdas, que no pueden seguir en su disminución una marcha regular, toda vez que no existe un grueso especial de cuerda para cada nota. La longitud propiamente dicha de la cuerda es la comprendida entre los clavos sobre que se apoya en sus extremos; uno en el puente del resonador, y otro situado en el clavijero; efectivamente, dicha porción es la única que puede vibrar.

Nuestro grabado (fig. 474), tomado del tratado de construcción de pianos de Blüthner y Gretschel, nos da la distribución de la caja de un piano de cola, lo que se llama un molde. En dicha figura, *a a* señala la línea, en la cual chocan

los macitos á las cuerdas; *b b* es el puente del clavijero; *c c* el resonador, compuesto de dos partes; *d d* el clavijero; *e e* la cuña, una plancha gruesa de madera que se halla inmediatamente detrás del teclado, delante del clavijero; *f* es la lámina en que se fijan los extremos de las cuerdas, y por *h h* están representados los dos límites laterales del marco del teclado. La división de las teclas está dada sobre el listón rayado, colocado sobre la caja, *R R*.

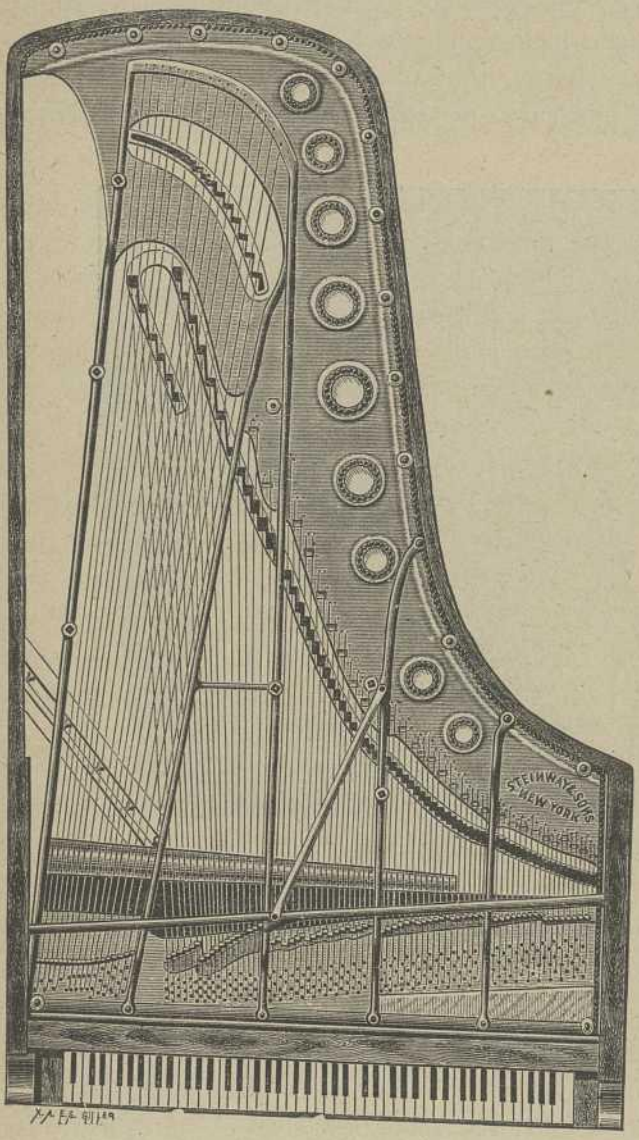


FIG. 476.—Armadura de hierro y cordaje de un piano de cola de Steinway.

En este esquema se han suprimido, en gracia á la claridad, los tirantes de hierro destinados á sostener en su posición recíproca, y á la distancia conveniente, los dos puentes que limitan la longitud vibrante de las cuerdas, y que se hallan hacia las cuerdas centrales. Las cuerdas marchan en este caso paralelas entre sí. En estos últimos años se ha generalizado el uso de la superposición de unas á otras cuerdas *cruzadas*, disposición empleada particularmente por Steinway, si bien antes fué intentada por varios otros. En la Exposición de Viena, más de la tercera parte de los pianos expuestos eran ya de cuerdas cruzadas. Esta disposición consiste en que, á partir de los tiples, en que la dirección de las cuerdas permanece paralela á la del golpe del macito, aquéllas se ensanchan á lo largo del puente del resonador de derecha á izquierda, en forma de un abanico. Por el contrario, las cuerdas reves-

tidas de las octavas más graves, se hallan sobre las otras un poco más altas, cruzadas, ensanchando de izquierda á derecha, é insertas sobre un puente especial que corre paralelo con el otro. Resulta de esta disposición que queda cubierta una superficie mayor del resonador y que el espacio comprendido entre las cuerdas es mayor, por todo lo cual el sonido es más fuerte. Esta ventaja se hace perceptible también, particularmente en los *pianinos*, á los cuales Steinway ha aplicado del mismo modo el sistema de cuerdas cruzadas (fig. 475).

Todas las cuerdas no constan sólo de un alambre simple de acero; en las notas graves el cuerpo de acero de la cuerda está generalmente revestido, esto es, rodeado en forma de espiral por un alambre delgado, que se aplica fuertemente al primero. La materia de que están constituídos estos revestimientos es un hilo delgado de cobre, ó bien sólo en las primeras octavas de cobre, y en las restantes de hierro. El aumento de peso que la cuerda recibe con la adición de este alambre la obliga á oscilar más lentamente, y, por consiguiente, á dar un sonido más grave. Este revestimiento produce, por tanto, el mismo efecto que si su masa formara parte integrante de la cuerda misma; y si, por ejemplo, añadimos de este modo á la cuerda un peso igual á tres veces el suyo propio, permaneciendo iguales todas las demás condiciones, suena una octava más baja que la misma cuerda sin revestir. Otra ventaja esencial de este revestimiento consiste en que, mediante él, quedan suprimidos una porción de sonidos resultantes ó pulsaciones que perjudican en las cuerdas sencillas, especialmente en las notas graves.

Es evidente que siendo dobles ó triples las cuerdas correspondientes á cada nota, adquiere el sonido mayor intensidad; de aquí que hoy tengan cuerdas dobles todos los instrumentos, aun los más pequeños, mientras que los pianos de cola están provistos de triple cordaje, excepto en los bajos, en donde basta con el doble (fig. 476).

EL TIMBRE

El punto en que el macito choca con la cuerda no es en modo alguno indiferente. Si la cuerda fuera golpeada en su centro, no podrían subsistir naturalmente todos aquellos armónicos, á los cuales corresponda un nodo en este sitio, toda vez que el punto en que el macito pulsa á la cuerda adquiere precisamente la máxima amplitud vibratoria. Ahora bien; como el timbre de un sonido se origina por la coexistencia con el sonido fundamental de algunos ó varios de sus armónicos, de los cuales en ocasiones llega casi á exceder alguno al fundamental en intensidad, es claro que la falta de toda una serie de armónicos, como es la del 2.º, 4.º, 6.º, 8.º, etc., ha de tener una influencia esencial en el timbre del sonido de dicha cuerda, pues si llamamos do_1, por ejemplo, la nota fundamental, en vez de la serie completa de armonicos *do*, *sol*, *do*, $mí_1$, sol_1,

do_2 re_2 mi_2 sol_2 si_2 do_3, se tendría en este caso sólo los *sol*, mi_1 re_2 si_2. Y efectivamente, en virtud de lo dicho, una cuerda pulsada en su centro tiene un sonido hueco, gangoso, que varía, sin embargo, en cuanto se hiere en otro punto cualquiera de su longitud, en el tercio, por ejemplo, en cuyo caso son el 3.º, 6.º, 9.º, etc., armónicos los que faltan, y, por consiguiente, los *do*, *sol*, mi_1, sol_1, do_2, mi_2, etc., los que subsisten. Ahora bien; los armónicos superiores, los que están por encima del 8.º, son los que no armonizan con la nota fundamental y las de su acorde perfecto, y cuya falta, por tanto, no sólo favorece al timbre del instrumento, sino que contribuye á la pureza de los sonidos. Eligiendo bien el punto en que el macito choque con la cuerda, se puede conseguir muy satisfactoriamente esta eliminación de armónicos, y los fabricantes de pianos han hecho dar al macito contra las cuerdas centrales en un punto, entre el 7.º y el 8.º de la longitud de dicha cuerda, sabiendo que por este medio el sonido adquiría el carácter más agradable, aunque sin darse cuenta conscientemente de la razón de este hecho. Helmholtz, en su obra ya citada, refiere esta industria empírica á sus fundamentos científicos, siendo de desear que los constructores de instrumentos dediquen suficiente atención á los resultados de semejantes investigaciones y procuren adquirir los conocimientos necesarios para ella, como el auxiliar más poderoso de su trabajo.

Terminada en apariencia la artificiosa y difícil construcción de uno de estos instrumentos, y hasta afinado éste ligeramente, queda, sin embargo, todavía mucho que hacer en él. Entonces entra el repaso é igualación del mecanismo, así como de los sonidos. En primer término, son repasadas exactamente todas las piezas de la macetería y de los apagadores, probando cada uno de sus miembros para ver si funciona bien ó necesita reparación. Hay que comprobar y conseguir con todo cuidado que las teclas vuelvan todas á la posición primitiva con igual fuerza de reacción, para lo cual llevan unos contrapesitos; la potencia de los resortes, la altura á que se levantan las piezas transmisoras y los macitos, la precisión del mecanismo de escape; en una palabra, todo cuanto se refiere al movimiento silencioso de los órganos del instrumento, debe ser puesto en el mejor orden antes de pasar á considerar las mismas cualidades sonoras. También en éstas se hallan algunas desigualdades que corregir; así que pueden aparecer sonidos oscuros ó duros, chillones ó defectuosos en general, siendo las causas de estos defectos, las cuales no se reconocen muchas veces tan fácilmente, debidas á circunstancias sumamente variadas y distintas. Las reparaciones en los fieltros y el cambio de algunas cuerdas deben bastar para vencer los defectos; cuando no sucede así, hay que deducir la existencia de faltas más importantes. Los defectos de construcción ó del material en las diferentes partes del conjunto pueden manifestar una influencia desastrosa; pueden tener, por ejemplo, defectos ocultos el puente, el resonador, el marco, el clavijero, etc.; deben buscarse como enemigos traidores los puntos escondidos en que la cola no

ha prendido, ó en que se ha producido una pequeña raja, etc., reparándolo á fin de evitar malos resultados. Por último, pueden todavía ser buenos los sonidos tomados aisladamente, pero no unirse en un efecto total homogéneo, en cuyo caso hay que repasar de nuevo escrupulosamente los fieltros y apagadores.

Así, pues, con el concurso de la labor mecánica, el arte y la ciencia originan esta interesante obra en que entran como partes constituyentes productos procedentes de los tres reinos de la naturaleza y de casi todas las partes del mundo, y que, bien manejada, constituye un precioso adorno de las casas, pudiendo llegar á ser un amigo fiel, sociable y comunicativo, tan útil en la alegría como en el dolor; por esto nos hemos ocupado de ella tan detenidamente.

ADIÁFONO

Entre las invenciones más modernas sobre construcción de instrumentos, aparece como curiosa en extremo la del *adiáfono*, ideado por Fischer y construído en Leipzig por Fischer y Fritzsch. Exteriormente es semejante al piano vertical, y tiene de común con el piano el mecanismo de macetería; por la naturaleza del sonido es, sin embargo, completamente diferente, tanto del piano como del órgano. El pensamiento, base de la construcción del adiáfono, consiste en el problema de hacer un instrumento con diapasones como órganos sonoros, adquiriendo así la ventaja, que no es posible alcanzar con el piano, de que los sonidos sean á un tiempo prolongados, gratos y de una pureza absoluta en su afinación.

Basta, para su descripción, seguir nuestro dibujo (fig. 477), que lo representa en corte transversal. El diapasón *c*, de acero, que obtiene su apoyo en *n* por medio de la prolongación movible, cuyas partes están formadas respectivamente de metal y madera, está suspendido mediante la pieza *f*, de madera, de la barra *k*, y tiene además otros puntos de apoyo en las dos barras *o*. Sus vibraciones, desarrolladas por el choque del macito *b*, no se hacen perceptibles con toda su intensidad, hasta después que se comunican al resonador por medio de la pieza *e*, que obra como un resorte muy sensible, y fija á un listón *i*, que se apoya sobre el resonador. Esto tiene lugar en virtud de que en la elevación de la parte posterior de la tecla *a*, la pieza de transmisión *e* es comprimida contra la prolongación del mango del diapasón, abriendo así el camino para la transmisión de las vibraciones del resonador, por medio de la palanca *d*, cuyo extremo se apoya en la barra *g*, y de la pieza intermedia *l*, que se encuentra sobre ella. Por consecuencia de la circunstancia de que esta combinación del diapasón con el resonador resulta en un momento posterior al choque del macito, pero que no puede apreciarse por nuestro oído, se quita al choque del macito esa brusca inicial, que se mani-

fiesta, por ejemplo, en las campanas. Pero además resulta de dicha construcción la particularidad ventajosa de que el ejecutante que siente la duración de las oscilaciones del diapasón, es dueño de producir sobre ellas una graduación del sonido, como no la permite ningún otro instrumento de teclas. El apagador *m* tiene por objeto hacer cesar por completo las vibraciones del diapasón, apenas perceptibles después de haberse transmitido por la pieza *e*. Por medio de un pedal se puede producir la prolongación de los sonidos graves que forman la base del acompañamiento.

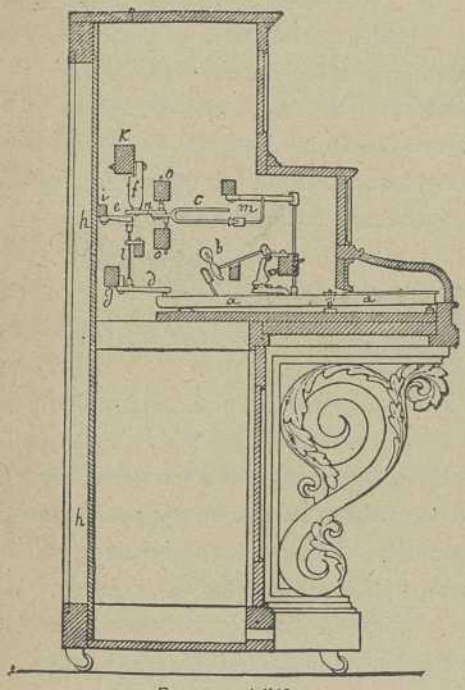


FIG. 477 —Adiáfono.

La ventaja del adiáfono está, aparte de la invariabilidad de la afinación, en la pureza y plasticidad de sus sonidos, que le hacen particularmente apropiado, como instrumento de acompañamiento al canto para las escuelas de éste, etc. Se puede, tocándolo de cierta manera, comunicar cierto movimiento á cada sonido, como en los instrumentos de arco. De todos modos, sólo puede tener aplicación apropiada en la música ligada, y sus sonidos tampoco pueden ser muy intensos, si bien en interés de este instrumento, realmente ingenioso, es de desear que se llegue á hacer posible dar más intensidad á los sonidos del adiáfono y hacerle también propio para aires musicales más vivos (*allegro*, *presto*, *scherzo*, etc.).

EL VIOLÍN É INSTRUMENTOS ANÁLOGOS

El violín es, de todos los instrumentos de cuerda, el más perfecto en sus condiciones acústicas y musicales, pero también el que ofrece las mayores dificultades en su teoría.

Es digno de notarse que el apogeo en su construcción no se halla en nuestra época, sino un par de siglos atrás, y que desde 1600 á 1680 los progresos de las ciencias físicas y musicales no han sido acompañadas de un semejante progreso á propósito de la construcción del violín. Este consiste en una caja sonora hueca, sobre la cual hay extendidas varias cuerdas tensas. La forma de la caja y la clase de las cuerdas son diferentes en los diversos países de la tierra, en los cuales todos, casi sin excepción, ha surgido el violín apenas han alcanzado

un pequeño grado de cultura. Pero en todas partes ha habido coincidencia respecto á la forma y manera de engendrar los sonidos, frotando las cuerdas con un arco en que están extendidas crines de caballo, hechas adherentes por medio de la colofonia, así como en la manera de subir el sonido acortando la cuerda, para lo cual se la pisa á lo largo de una especie de mango provisto de trastes.

Las figuras 478 y 479 nos muestran dos violines árabes. Se encuentra el violín entre los indios como instrumento de acompañamiento, de la misma manera que era usado en la Edad Media por los cantores ambulantes. La palabra francesa aplicada á los violines de tres cuerdas, usados entonces por los farsantes, *rabel* ó *rebek*, procede de la palabra árabe *rabib*, que significa una especie de lira. La palabra violín (*violon* en francés) procede de la italiana y española *viola*, *viula*, y ésta de *vitula*, usada en la Edad Media, y que en latín es el nombre de la diosa de la alegría del triunfo.

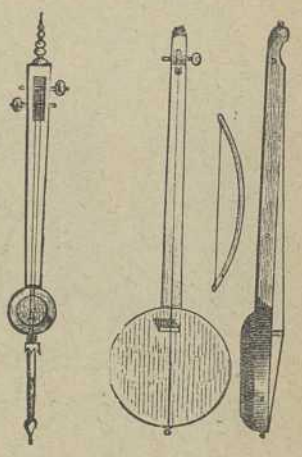


FIG. 478. FIG. 479.

Violines árabes.

Antes del siglo V eran poco conocidos en Europa los instrumentos de arco. Según parece, se usaban desde mucho antes en los pueblos del Norte, y se extendieron por el resto de Europa desde la irrupción de los bárbaros. Pero hasta entonces representaban en la música un papel muy secundario, y su construcción mereció, aun mucho tiempo después, escaso interés y arte. Ya en el siglo XII cambió varias veces de forma y de nombre, y el adelanto producido en su ejecución fué seguido también de perfeccionamientos en la construccion del instrumento

La más antigua de estas formas perfeccionadas parece ser la que se llama *crout* en manuscritos antiguos, cuyo palabra está enlazada con el nombre de otro instrumento análogo, *rote* ó *rota*, y está sacada, de todos modos, de la latina *crotta*. El *crout*, del cual parece que se sirvieron los bardos del Norte, tenía un cuerpo sonoro alargado, más ó menos ensanchado por ambos extremos, un cuello que unía á éstos y en el que existían dos agujeros que permitían á la mano izquierda pisar las cuerdas, y por consiguiente modificar los sonidos. El número de las cuerdas fué en un principio tres, que se extendían sobre un puente. Más tarde aumentó á cuatro y hasta seis; pero de éstas, dos resultaban inútiles. El músico las frotaba con un arco recto ó encorvado, que estaba provisto de una cuerda metálica ó de un haz de crines de caballo. El *crout* no continuó en uso desde el siglo XII en adelante. Fué sustituído por el *rote* ó *rota*, que se tocaba principalmente en el siglo XIII, y parece haber sido inventado con la intención de producir una reunión de cuerdas que fueran frotadas y otras que fueran pulsadas. El resonador era más ancho por abajo, donde se fijaban las

cuerdas, que por arriba, por donde cogía, y tenía cuatro orificios de comunicación del sonido. El cuello era independiente y se aproximaba ya más á la forma actual del violín.

Pero como la caja era lisa y las cuerdas no parece que estuvieran colocadas sobre un puente, debía ofrecer grandes dificultades hacer sonar una cuerda sola, y el instrumento obedecía probablemente al propósito de dar un acompaña-

FIG. 480. — *Crout* del siglo IX, según una miniatura antigua.

FIG. 481.—El rey David tocando la rota (según una vidriera de la catedral de Troyes)

miento armonioso por grupos de terceras, quintas y octavas, á una melodía cantada ó ejecutada con otro instrumento.

El hecho de que las diferentes formas de instrumentos subsistieran largo tiempo unas al lado de otras, y de que aparacieran ya modificaciones diversas antes de que encontraran general aceptación, y, por tanto, fueran completamente desterradas las construcciones antiguas, se comprende fácilmente tratándose de una época en que, por efecto de un comercio todavía poco desarrollado, todo se conservaba por sí mismo. Así, pues, vemos ya en el siglo XI, en la serie de las once figuras musicales que existen sobre el capitel de la iglesia de San Jorge, en Boscherville, y que está representada en la fig. 455, que la primera toca un instrumento de tres cuerdas, como una viola, sostenido entre las rodillas con ta-

llados en ambos lados, y cuatro orificios de comunicación con el resonador en forma de cuartos de luna, y otra un instrumento de cuatro cuerdas como un violín. Salta á la vista la coincidencia con la fig. 483. El tránsito hasta la forma, la más perfecta al parecer, que han adquirido hoy los instrumentos de arco, se ha ido verificando de un modo completamente gradual. La segunda figura de la serie parece tocar un instrumento de cuerdas de la forma de los que todavía se ven algunos, como juguetes, y en los cuales una figura ó un par de danzarines son puestos en movimiento por medio de un manubrio y al mismo tiempo, en virtud de un rozamiento que la rotación del manubrio determina sobre unas cuerdas de tripa, se origina un sonido raquítico y desagradable.

Fig. 482.—Tocador del *rebek* en el pórtico de la iglesia Saint-Julien-des-Ménétriers, en París.

De todos modos, los instrumentos antiguos eran de una construcción más perfecta y proporcionaban también efectos superiores que los indicados, por lo cual se puede suponer que en ellos era ya permitido variar la longitud de las cuerdas por medio de trastes. En la última Exposición de París se intentó poner de nuevo en auge esta forma, bajo el nombre de *piano quatuor*, lo cual, sin embargo, sólo se consiguió en pequeña proporción. El *piano quatuor* tenía un teclado y un cordaje. Las cuerdas eran tocadas al picar las teclas correspondientes por unos cilindros rotatorios situados inmediatamente delante de ellas, y que por el rozamiento originaban un sonido semejante al de los instrumentos de arco; de aquí el nombre. La rotación era producida por medio de pedales.

Antes de la Revolución existía todavía en la iglesia de Notre-Dame, en París, en la portada del lado inferior, una figura, que se consideraba como del rey Chilperico. Procedía también del siglo XI y tenía en la mano un violín, cuya preciosa forma permite ya deducir una gran perfección en la industria de su construcción. Del mismo modo es conocida una figura del siglo XII en la abadía de Saint-Germain-des-Près, en París, que alude á una viola de cinco cuerdas. En una miniatura del siglo XIV, de la Biblioteca Nacional de París, y en una figura labrada en la misma fecha en el pórtico de la capilla Saint Julien-des-Ménétriers (véase la fig. 482), se observa que el *rebek*, usual por entonces, corresponde casi por completo á un violín de tres cuerdas, y que poseía ya el caracol de nuestro actual violín. De aquí que debamos referir á esta época la historia del violín en su constitución actual.

Por otra parte, todos estos instrumentos son tan idénticos en su esencia al violín, y en el desenvolvimiento de su uso común para reforzar ó acompañar á la melodía ejecutada en el violín han marchado tan de la mano con éste, que

podemos considerar como historia de éste la de los principales instrumentos de este género, y viceversa.

El arte del violinista se elevó principalmente en la filarmónica Italia, en donde su ejercicio en las iglesias no pudo menos de promover esencialmente el progreso de la música instrumental. Allí, pues, alcanzó también este instrumento el período más brillante de su historia. Los primeros violines con cuatro cuerdas fueron construídos por un tal Testori; pero la obra de éste era, sin embargo, todavía bastante tosca, y el sonido débil. El sucesor de Testori, Andrés Amati, de Cremona, levantó rápidamente el arte de construir violines á un alto grado de perfección, de suerte que su gloria se extendió hasta lejanos países, y con ocasión de instrumentos que le habían sido encargados por Carlos IX, los violines italianos llegaron á alcanzar gran ventaja sobre todos los instrumentos análogos. Su hijo, ó sus hijos, Antonio y Henricus Amati (tal vez ambos nombres corresponden á una misma y única personalidad), se dedicaron toda su vida al mismo negocio que su padre, y consiguieron que los instrumentos más perfectos que han existido pudieran ser atribuídos á su aplicación y constancia. Los años desde 1594 hasta 1625 próximamente representan el intervalo de tiempo en el cual produjeron, según se admite, los instrumentos más perfectos los Amati. El considerable éxito alcanzado fué causa de que se creara en la familia de los Amati una fabricación en grande de violines, y que además también se construyeran en diferentes puntos, por cuenta del mismo Amati, violines á los cuales este sólo daba la última mano y ponía su marca de fábrica. En la pequeña ciudad bávara de Fuessen trabajaban entonces seis constructores de violines para la fábrica de Cremona.

Esta excesiva producción no podía influir favorablemente en la bondad del producto, y así, vemos hacia mediados del siglo XVII, recaer la fama en otro constructor de violines, Andrés Guarnerio, el cual primero, y después su hijo José, se dedicaron en Cremona, hasta comienzos del siglo XVIII, á la construcción de instrumentos de arco. De éstos aprendió el arte Antón Stradivario, y los tres son, en nuestro concepto, competidores rivales, igualmente dignos y sucesores legítimos de los Amati en la época de su apogeo. Un discípulo de Nicolás Amati de Cremona, y del igualmente célebre Vimercati, de Venecia, Jacobo Stainer, de Absam, en el Tirol, propagó la construcción de los violines por Alemania.

Pero con Stainer se cierra ya la época clásica de este arte. Después de los maestros citados, la construcción de violines ha continuado siendo, tanto en Italia como fuera de ella, una rama de industria activamente cultivada, y en tiempos posteriores han sido construídos también instrumentos muy buenos, algunos sin duda excelentes, á pesar de lo cual los constructores modernos no se han elevado á tan gran altura en la perfección del conjunto, como sus predecesores. No hay que creer, sin embargo, que antes se pagaran mejor que hoy los

buenos violines: por el contrario, se han alcanzado para éstos, precios que no obtuvieron los Amati y Guarnerios. Parece como si el secreto de las proporciones, la elección de las maderas, la talla de las diferentes piezas, su acoplamiento, la armadura, hasta el encolado, todo lo cual habían inventado los antiguos constructores de violines por un instinto especial, hubiera quedado perdido, y que, en general, los éxitos sean ya sólo debidos en cierto modo á la imitación de aquella forma de construcción. Pero también inapreciable belleza de los Amati, Guarnerios, Stradivarios, etc., es en parte un producto del tiempo.

FIG. 483.—Antiguos músicos alemanes con violines y bajos, según un grabado de Amman.

Los violines ganan en cualidades con la edad, de suerte que el mismo instrumento que hoy se considera como excelente, no podría tal vez merecer tales pretensiones cien ó más años antes; y recíprocamente, instrumentos que hoy, á pesar de su intachable producción, distan mucho de los violines antiguos en cuanto á la belleza y plasticidad del sonido, es posible que dentro de cincuenta años se conviertan en instrumentos magníficos. Pero, como en los vinos, parece que también en los violines el tiempo para llegar al apogeo de la perfeeción es determinado, y pasado éste, retroceden de nuevo en la belleza del sonido; así puede explicarse que hoy se prefieran generalmente los violines de Guarnerio y Stradivario á los instrumentos de Amati, que tienen cincuenta años más. Por más que hoy se pueda emplear tanto ó más cuidado y habilidad en la elección de los mejores materiales, no dejará naturalmente de obtenerse alguna

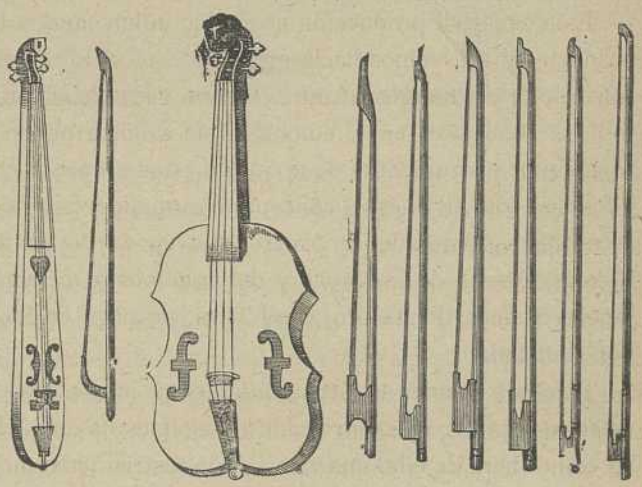


FIG 484. Violines y arcos antiguos. FIG. 485.

ventaja; pero parece que nunca se obtienen aquellos resultados de los célebres constructores de violines citados. Sin embargo, los instrumentos mismos de los antiguos maestros, demuestran lo complejo de la cuestión. Las divergencias que presentan entre sí son tan notables, que los violinistas prácticos están en condiciones para adivinar con seguridad el constructor de cada uno de estos instrumentos antiguos, por sólo su aspecto exterior. Si bien hay que considerar á Amati como autor de la mejor forma, los otros no pueden, sin embargo, ser considerados como meros imitadores. Las modificaciones en los detalles demuestran que éstos construían sus instrumentos espontáneamente, según otros, principios, apoyados sobre su experiencia propia, y se inclinaron, en virtud de consideraciones particulares, á su sistema especial de construcción.

FIG. 486.—Forma clásica del violín.

En la figura 484 están representados algunos violines antiguos, tales como Mersenne nos los ha ofrecido en su «Armonía universal.» El instrumento mayor procede de la segunda mitad del siglo XVI, y se ve que esta forma se ha conservado casi invariable desde aquella época hasta su estado actual. (Véase la figura 486.) El más pequeño es uno de los llamados violines de bolsillo (*Pochette*); por su pequeño tamaño podía ser transportado fácilmente por los maestros de baile en los bolsillos de las anchas casacas, entonces en uso. Pero si la forma del violín no ha cambiado esencialmente, en cambio el arco ha experimentado una transformación gradual que, á partir de principios del siglo pasado, le condujo á la forma actual, á través de las representadas en la fig. 485.

PARTES COMPONENTES Y TEORÍA DEL VIOLÍN

La caja de resonancia está compuesta de varias piezas, á cada una de las cuales corresponden propiedades determinadas. La tapa, abovedada, se hace de abeto blanco ó avellano; el fondo del violín, así como las paredes laterales y el marco, son ordinariamente de madera de acebo. La bondad de la madera, y particularmente de la que se emplea en la tapa, tiene la mayor influencia sobre la belleza del sonido, pues sus condiciones de elasticidad son, sin duda, las que le dan plenitud y redondez. El acierto en la elección es, por tanto, uno de los principales problemas para el fabricante de violines, y se refiere que los antiguos maestros elegían ellos mismos sus maderas en el bosque, y para este fin habían recorrido los bosques de los montes más lejanos. Las capas leñosas deben guardar una gran regularidad en su superposición y no hallarse ni demasiado próximas, ni demasiado separadas entre sí. En el interior de la caja está pegada una barra de madera de pino á lo largo, de modo que venga á caer precisamente

bajo el pie izquierdo del puente. De este modo está unida fijamente y en una forma particular y característica, la cuerda más grave, ó sea el *sol*, con la tapa del violín. Las cuerdas agudas están apoyadas en una barrita cilíndrica vertical llamada el *alma*, colocada entre la tapa y el fondo, bajo el pie derecho del puente. La tapa contiene los ya citados orificios, en forma de S, que tienen la más grande influencia para la producción del sonido, por más que obran de un modo completamente distinto á como se creía antes, esto es, poniendo en comunicación el aire interior con el exterior. Las cuerdas se extienden encima á lo largo de la tapa; están sujetas por el extremo inferior de un pequeño listón, y son conducidas sobre el puente de superficie abovedada á distancias próximamente iguales entre sí. Se obtiene la longitud conveniente por medio de una especie de mango, un trozo de madera adaptado al cuerpo del violín, y en cuyo extremo superior se introducen las clavijas. Este mango sirve como traste, sobre el cual la mano izquierda, al pisar las cuerdas, disminuye su longitud vibrante, y eleva en la misma proporción la altura del sonido que producen. El mango se termina por el llamado caracol; las cuerdas están ordenadas de modo que á la izquierda se hallan las más gruesas, densas y revestidas de hilo metálico, correspondientes á los sonidos más graves, y á la derecha, por el contrario, las más finas. La afinación de izquierda á derecha es *sol*, *re*, *la* y *mí*. Por lo demás, esta afinación no es siempre la misma. Barbella, por ejemplo, lo afinaba en la siguiente forma: *la*, *re*, *fa sostenido*, *do sostenido*; Lolli, *re*, *re*, *la mí;* Paganini, *la bemol*, *mí bemol*, *sí bemol*, *fa*, etc., etc.

La viola se distingue del violín por tener un cuerpo algo mayor; falta en ella la cuerda más alta de aquél; en cambio tiene una más grave que las del violín. Todavía es mucho mayor el violoncelo, que por lo mismo no puede ser sostenido sobre el hombro para tocarle, sino que se apoya sobre el suelo y se sostiene entre las rodillas. Desde los tiempos más antiguos se han construído ya instrumentos semejantes al violín de diferente tamaño y distinta altura de sonido, y en particular era muy estimada en el siglo XVII la *viola di Gamba*. Correspondía á un tamaño intermedio entre nuestra viola y violoncelo, y servía, principalmente, en los conciertos, para acompañar al violín. El violoncelo, en su forma actual, fué inventado por Antonio Tardín, un sacerdote de Tarascón, hermano de un maestro de capilla, célebre por entonces, á principios del siglo anterior. En un principio llevaba cinco cuerdas, que daban las notas *do*, *sol*, *re*, *la*, *re;* la quinta, *re*, fué pronto suprimida. En Francia fué introducido el violoncelo en tiempos de Luis XIV, y en 1720 hizo su aparición en las orquestas.

El *contrabajo* (fig. 487) es el instrumento de arco de mayor tamaño; tiene las cuerdas más gruesas, el pisar las cuales supone ya una fuerza considerable, y en los contrabajos monstruos que suelen construirse con frecuencia, pero que responden más bien á la curiosidad que á una necesidad real del arte, se verifica el acortamiento ó la pulsación de las cuerdas por medio de mecanismos es-

peciales. En la música, el violín ejecuta la melodía; la viola, el violoncelo y el bajo sirven para producir el acompañamiento armónico, en el cual el último de los instrumentos citados da el sonido fundamental.

Los violines italianos se diferencian de los alemanes en que son unos cuatro centímetros más largos, y algo más estrechos que éstos. Los mejores violines de Amati, tienen la tapa muy abovedada, hasta una altura de tres centímetros; son esbeltos, elegantes, y no tienen esquinas muy salientes; los bordes tienen una curvatura bastante pronunciada y agradable. Los orificios de la tapa se hallan más próximos entre sí, por efecto de la menor amplitud de ésta. El fondo es generalmente de madera de acebo, ondulada, y está encolado con una cola clara de ambar, de color amarillo rojizo. Se encuentran, sin embargo, también algunos instrumentos, particularmente de Nicolás Amati, que difieren algo de los citados en cuanto á las dimensiones, y que tienen también una cola de color más claro. Los violines de Stradivario tienen la tapa mucho menos abovedada, escasamente una mitad, mientras que los de Guarnerio se aproximan más por su forma al tipo de los de Nicolás Amati. Stainer fué todavía más allá en la curvatura de la tapa, y la hizo tan pronunciada, que, puestos sus violines horizontales, podía mirarse por bajo de la tapa á través de los agujeros de ésta en forma de *S*.

Fig. 487.—Contrabajo.

Es difícil decir qué partes del violin y de los instrumentos de cuerda análogos á él, intervienen en la formación de un buen sonido. Los matices son tan variados y de una riqueza tan grande, que apenas puede ponerse en claro la influencia de todas y cada una de las múltiples partes componentes, sobre el producto que resulta en conjunto. Savart ha tratado de desarrollar la teoría del violín según principios físicos, pero con éxito casi nulo, pues el instrumento en forma de caja que constituyó con seis planchitas rectangulares, y que Savart consideró como un violín en principio, no puede, sin embargo, compararse por ningún concepto con este instrumento. Las leyes de las placas vibrantes, tales como en la física se deducen de experiencias sencillas, experimentan en el violín tal complicación por la forma particular que se le da, la curvatura de la tapa, la abertura de los orificios en *S*, el espesor de las maderas, la sujeción de los bordes, las barritas extendidas dentro y fuera de la caja en distintos sentidos, la distribución variable de la tensión transmitida por las cuerdas, etc., que, por más que todos estos factores están sujetos naturalmente á leyes sencillas,

el producto final no puede abarcarse fácilmente en una fórmula simple. Del mismo modo actúan también la caja, el fondo y el mango. Pero á ninguna de estas piezas puede atribuírseles una influencia decisiva, por lo cual no ha podido hacerse observación alguna que entrañe una consecuencia indefectible para la teoría del violín por medio de aparatos de investigación, en los cuales se ha suprimido y reducido á un valor insignificante una ú otra de estas piezas componentes del instrumento. Bien entendido que por esto no puede decirse que las ciencias físicas sean incapaces de dar la explicación y el fundamento de este instrumento musical; por el contrario, sus deducciones pueden proporcionar á los fabricantes ventajas esenciales para el éxito de su industria, sólo que se hace necesario considerar el violín como un producto ya obtenido, é indagar *à posteriori* las causas de sus propiedades especiales.

El violín es como un instrumento espiritual, un organismo cual si tuviera esencia vital; tiene su cuerpo sus nervios y su alma; cada una de estas entidades depende de un modo natural de las otras, pero ninguna de ellas se deja aniquilar por las demás, y en su influencia vital se compensan y equilibran recíprocamente entre sí.

La condición especial de timbre, propia de los instrumentos de arco, depende, según Helmholtz, de que la nota fundamental resalta con intensidad especial mayor que en las cuerdas del piano y guitarra, heridas cerca de su extremo, mientras que los primeros armónicos son relativamente más débiles, y sólo se hacen perceptibles con claridad distintiva los armónicos superiores, desde el sexto hasta el décimo próximamente; originando la cualidad característica del timbre de todos los instrumentos de arco, un sonido pronunciado, penetrante. Los fabricantes modernos de instrumentos, entre los cuales se distinguen particularmente Vuillaume, en París; Padewet, en Carlsruhe; Grimm, en Berlín; Otto, en Colonia, y Lemböck, en Viena, en cuanto á la construcción de los violines, y entendiendo sus intereses, han procurado más bien imitar los modelos antiguos, que dirigirse por principios modernos; y su éxito es la prueba más elocuente de que éste es el único camino conveniente á nuestro alcance.

Se han construído diferentes clases nuevas de violines: unos de latón, otros de plata, unos con cuerpo elíptico, otros esférico, con cuerdas metálicas, etc., etc.; pero aun cuando se hayan podido producir de este modo instrumentos utilizables, no son ya violines, sino mecanismos sonoros, de propiedades completamente distintas y sin importancia. Si se quiere engendrar el sonido del violín tal como tan grata impresión nos produce en los antiguos instrumentos de este género, no queda otro recurso que producirlo por los mismos medios y exactamente de la misma manera que lo hicieron por primera vez, y lo más afortunadamente, Amati, Guarnerio y Stradivario.

La fabricación de violines en Alemania juega un gran papel, sobre todo en Mittenwald. Se trabaja aquí bastante en ella y la obtención de buenos instru-

mentos, con suma economía, así como el gran crédito que ha resultado de ello, le han proporcionado tal importancia, que debemos dedicar todavía alguna atención á esta industria.

Su origen se remonta al siglo XVI, y está enlazado con la destreza del antiguo maestro Stainer. Jacobo Stainer, nacido el 17 de Julio de 1627 en Absam (Inthal), entró de muchacho en el taller de un constructor de órganos; pero por debilidad corporal cambió pronto este oficio por el más fácil de la construcción de violines, que entonces florecía en Cremona, donde existían, como ya queda dicho, varios establecimientos de este género. Stainer, pues, vino á entrar por recomendación en el taller de Nicolás Amati, con cuyos procedimientos se identificó tanto, que Amati deseaba que hubiera permanecido siempre á su lado y que se hubiera casado con su hija. Este parece que fué el motivo por que Stainer escapara ocultamente, yendo á parar al taller de Vimercati, en Venecia. Después regresó á Absam, su país natal, y fundó allí, en la primera mitad del año 1640, un taller propio de construcción de violines, favorecido por los abundantes bosques de excelente madera que existían en la proximidad, y entre los cuales él escogía con gran cuidado los avellanos que crecían en las laderas de los montes de Labarsch y Gleirsch. Entre los discípulos y auxiliares que su fama le atraía, existió un tal Agidio Klötz, de Mittenwald, pequeña ciudad que dista pocas horas al Norte de Absam.

Este Klötz, cuyos instrumentos se consideran hoy casi iguales á los de Stainer, volvió á Mittenwald y dedicó á su hijo á construir violines, enviándole á Italia para que se perfeccionara en su arte, al mismo tiempo que pudo aleccionarse con la más provechosa experiencia. En Italia visitó el joven Klötz los talleres más célebres, deteniéndose particularmente largo tiempo en Cremona y Florencia. A comienzos del año 1680 regresó á su patria con el proyecto de convertir á Mittenwald en el Cremona de Alemania. Lo completo de su educación le permitió conseguir que echaran raíces entre sus discípulos, los principios racionales, según los cuales era cultivada en Italia la fabricación de instrumentos de cuerda, debiéndose realmente á sus enérgicos esfuerzos que aquella comarca, entonces casi empobrecida, se reanimara, volviendo á florecer, de suerte que hoy, después de unos doscientos años, deba bendecir como á su salvador, á aquel hombre, á quien, por otra parte, las posteridad musical en general concede sólo un recuerdo mezquino.

En su discreta historia sobre los instrumentos musicales de la Exposición industrial de Munich de 1855, Schafthäutl ha puesto por primera vez en claro el notable origen de la fabricación de Mittenwald, y nosotros lo seguimos en esta reseña, como á la fuente casi única de ilustración sobre el particular.

Con razón llama á Klötz un ángel en medio de la desgracia. En efecto, la circunstancia de que los comerciantes venecianos, ofendidos por el duque Segismundo, no hubieran visitado durante dos siglos próximamente la célebre feria

anual de Botzen, fué un beneficio para Mittenwald, que pudo así ocultar en este tiempo su verdadero estado de decadencia. Sin embargo, en el año 1679 recobró otra vez Botzen su antigua feria, é inmediatamente surgió una nueva vía comercial entre las de Finstermünz, Fernstein y Reutte; pero con esto se agotaron las fuerzas vitales de Mittenwald, y sólo una industria nueva y robusta, como la creada por Klotz y su hijo José, podía salvar á la comarca de su total ruina.

El primer procedimiento comercial intentado por los constructores de violines fué la buhonería, tan usual en otros tiempos, de modo que aquéllos iban de casa en casa con sus violines sobre la espalda, y los sencillos montañeses se contentaban con un beneficio insignificante. Pronto, sin embargo, el cambio en las costumbres comerciales hizo necesaria una organización más racional del negocio. Ciertos comerciantes, los llamados *editores*, reunían poco á poco los productos, ofreciéndolos á un precio medio muy bajo, y de ese modo se han desarrollado esas marcas tan importantes, que hoy envían á todas las partes del mundo los violines de Mittenwald. Maravilla la fabulosa baratura de las clases inferiores; pero siempre están bien construídas. Un violín de 2 florines (unas 5 pesetas), es ya muy bonito; los más baratos cuestan á 9 marcos (45 rs.) la docena. A más de Mittenwald, existen también establecimientos importantes de fabricación de violines en Markneukirchen y Klingenthal, en Sajonia; Gohlis, cerca de Leipzig; en Graslitzy Schönbach, en Bohemia, y en Meirecourt, en Francia.

INSTRUMENTOS DE VIENTO

La historia de los instrumentos de viento está íntimamente ligada á la de la música. En los primeros albores de la música sólo se usaban pocos sonidos, y los inventores más antiguos de instrumentos tenían que resolver con éstos un problema relativamente fácil.

El instrumento que mejor caracteriza este estado de infancia de la música es la llamada *flauta del dios Pan*, ó pastoril, reunión de varios tubos sonoros, cerrados, que difieren en su longitud, de modo que el más largo, el que da el sonido más grave, está situado en medio, y hacia ambos lados se ordenan en serie los más cortos y de sonidos más agudos. Todavía la encontramos entre nosotros como un juguete, y se sopla en ella como en el tubo de una llave, dirigiendo una corriente de aire perpendicularmente á la boca, de modo que choque contra el borde de ésta.

Pero bien pronto se observó y utilizó el acortamiento que experimenta la columna de aire que vibra en un tubo cerrado, cuando se le ofrece ocasión para salir al exterior antes de llegar al fondo del tubo. Así, pues, si se hacen á lo lar-

go de un tubo cerrado diferentes orificios, al soplar en el tubo se producen, destapando cada uno de ellos, diferentes sonidos, que corresponden á tubos abiertos cuya longitud fuera igual á la distancia desde la boca del tubo hasta el orificio destapado. Estos orificios fueron abiertos desde un principio, de manera que pudieran mantenerse tapados generalmente con los dedos, y destapando uno ú otro, se podía así dar origen al sonido correspondiente. Nuestras flautas, clarinetes, fagots, etc., son ejemplos de instrumentos de esta clase, cuyo primitivo origen podríamos observar, ya en el tubo de caña de los pastores, como en el antiquísimo *tscheng* de los chinos.

Toda la serie de los instrumentos de viento se divide en tres clases principales: primera, aquellos que solo dan un sonido único, lo mismo si correspondan á tubos abiertos que á cerrados, y que encontramos representada en el órgano; segunda, la de aquellos que, teniendo una longitud constante, dan sonidos diferentes, por la diversa fuerza de la corriente de aire, como la trompeta, el cuerno de caza, etc., los cuales tienen boquillas en forma de embudo; y tercera, la de aquellos en los cuales se obtiene la diferente altura del sonido por el alargamiento ó acortamiento respectivos de la columna de aire vibrante. Entre estos últimos existen diferencias esenciales, según que el objeto se consiga por un cambio real en la longitud del tubo sonoro, ó por medio de orificios en las paredes laterales de éste. Una consideración más detenida nos conduce por nuevos derroteros hacia nuestro fin de estudiar separadamente, cuando menos, cada uno de los más importantes instrumentos de este género.

TROMPETAS Y CUERNOS

Los instrumentos de viento más antiguos fueron, por lo pronto, de tal género, que con ellos sólo se producía un pequeño número de sonidos bien determinados: así, por ejemplo, tubos abiertos, que permitían dar un sonido único, ó bien otros en los cuales podían producirse ciertas modificaciones por medio de orificios sobre los cuales se aplicaban los dedos. A estos últimos correspondían, sin duda alguna, aquellos instrumentos que se designaban en la antigüedad bajo el nombre de *flautas*, pero que no tenían nada que ver con nuestra flauta actual. sino que más bien coincidían, por su disposición y modo de usarlos, con los clarinetes y oboes.

La trompeta y el cuerno, idénticos en sus primitivas formas, y cuyos modelos naturales fueron los cuernos de buey, conchas de moluscos, etc., parece que deben ser considerados como los instrumentos más antiguos de todos. En la *Iliada* encontramos comparado el sonido de los combates con el sonido de las trompetas (*salpinx*); y aunque no nos ha quedado ninguna representación gráfica perteneciente á aquella época, la claridad de la comparación permite formarse

alguna idea de la naturaleza del instrumento. Los griegos emplearon ya para sus trompetas, además de los tubos rectos, los encorvados, puesto que ninguna influencia tiene sobre el carácter del sonido el que las vibraciones de la columna de aire tengan lugar en línea recta ó hayan de recorrer un camino arqueado. Desde la boquilla, el tubo se ensanchaba en forma cónica, y se extendía finalmente en una boca circular de perímetro más ó menos considerable. En época posterior se hizo distinción de diferentes instrumentos por su forma externa, dándoles, en virtud de ella, diferentes empleos. Con las trompetas rectas y largas, por ejemplo, se llamaba al pueblo á los sacrificios. Al orificio ancho anterior se le daban diferentes configuraciones, y en particular la de animales caprichosos, como en la trompeta céltica *carnon* ó *carnis* (fig. 488). Sobre la columna de Trajano, en Roma, se encuentran representados estos instrumentos. La trompeta paflagónica termina en una cabeza de buey; la médica, en una especie de campana, así como la etrusca. Los romanos se servían en la guerra de la trompeta, que recibió entre ellos generalmente una forma curva que la hacía semejante á nuestro cuerno de caza, y la llamaron *tuba* (fig. 489). Nuestros actuales cuernos de caza, que están encorvados casi en círculo, de modo que, pasando por debajo del brazo izquierdo del que los toca, viene á caer el pabellón por encima de la cabeza, casi enfrente de la boquilla, nos recuerdan también una variedad usual en aquellos tiempos (*lituus*), empleada particularmente por la caballería. Un bajo-relieve de Pompeya nos representa uno de estos tocadores de *lituus*, ó *buccinator* (fig. 490), que anunciaba con su instrumento el momento en que los gladiadores pasaban de la lucha armada al pugilato. Una imagen semejante se halla en el Museo de Berlín.

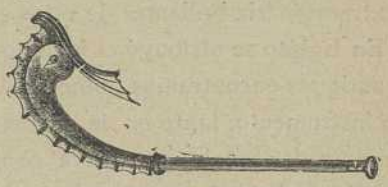


FIG. 488.—Trompeta céltica.

FIG. 489.—Tocador romano de la *tuba*.

FIG. 490.—*Buccinator* romano.

La brillante sonoridad de todos los instrumentos correspondientes á este grupo les hace principalmente útiles para festividades ó exhibiciones públicas al aire libre. Entre los romanos era una prerrogativa, tenida en gran estima, el ser enterrado al son de trompetas; las gentes vulgares tenían que contentarse con el toque de flautas. Ennio pinta en sus célebres hexámetros:

At tuba terribili sonitu tarantara dixit:

y Virgilio en estos otros:

At tuba terribilem sonitum procul aere canoro,

la extraordinaria brillantez de estos sonidos.

En Egipto se atribuyó el invento de las trompetas á Osiris, y en monumentos antiguos encontramos numerosas representaciones, que muestran el uso de este instrumento, tanto en la guerra para la marcha de las tropas, como también para dar señales y para la comunicación entre los pueblos. Del Egipto adquirieron los hebreos el conocimiento de la trompeta, á la que dieron un papel muy importante en sus ceremonias religiosas. «Te doy dos trompetas de gruesa plata, que tú usarás para llamar al pueblo, y cuando deba partir el ejército; los hijos de Aarón, los sacerdotes, deben hacerlas sonar,» se lee en el cuarto libro de Moisés; y, según la descripción, parece ser que en la toma de

FIG. 491.—El cuerno de oro.

Jericó estuvieron también en uso instrumentos análogos á las trompetas, construídos de cuerno de vaca. La forma de estos instrumentos pertenece probablemente á una época muy antigua; la encontramos representada casi exclusivamente sobre los monumentos que nos han quedado de aquellos tiempos. La forma encorvada en un semicírculo aparece por primera vez entre los egipcios y lidios.

Los chinos se sirvieron de instrumentos de cobre, cuya invención remontan al tiempo de Fu Hies (2.950 años antes de Jesucristo). La fig. 491 nos muestra el cuerno de oro, un instrumento metálico cuya superficie está profusamente adornada. En los indios encontramos instrumentos semejantes, también mencionados desde los tiempos más remotos. Entre los diferentes pueblos se ha modificado gradualmente la forma de estos instrumentos por consecuencia de distintos conceptos estéticos; con lo cual, y con el empleo de otros materiales para su construcción, se ha llegado á cambiar, no sólo su aspecto exterior, sino también los efectos de sonoridad, de tal modo, que las diferentes formas tienen muchas veces poco de común con la ordinaria, que llamamos propiamente trompeta; sin embargo, el principio en que se fundan todos estos instrumentos es el mismo.

En los instrumentos de este género vibra una columna de aire de mucha mayor longitud que grueso, que por efecto de la diferente intensidad del soplo puede ser conmovida diversamente y dividida en más ó menos partes alícuotas vibrantes, de donde se originan los sonidos de la escala diatónica. Y en este

principio incluímos, no sólo á la antigua trompeta, propiamente dicha, sino también al cuerno ó bocina.

Como quiera que los primeros sonidos que se originan en estos instrumentos distan mucho entre sí, pues el segundo es la octava, el tercero la duodécima, y el cuarto la segunda octava del sonido fundamental, los armónicos que se hallan bastante próximos para satisfacer todas las exigencias de la música son ya de orden muy elevado, y para producirlos con la fuerza é intensidad que son de desear, es necesario dar al tubo una longitud de seis metros, y entonces suena en *mí bemol*. Pero este sonido, así como su primer armónico, la octava alta, no se utilizan, y sí solo los superiores *si*$_1$ *bemol*, *mi*$_1$ *bemol*, *sol*$_2$ *si*$_2$ *bemol*, *re*$_3$ *bemol*, *mi*$_3$ *bemol*, *fa*$_3$, *sol*$_3$, *la*$_3$ *bemol*, *la natural*, *si*$_3$ *bemol*. Esta gran longitud impone la forma encorvada del tubo, cuya forma, por otra parte, es causa de dificultades bastante serias en su construcción.

Sería casi imposible soldar en tal forma una lámina de metal de longitud semejante á la de los tubos de los cuernos y trompetas, sin que se produjeran pliegues y burbujas que influyen muy perjudicialmente en el sonido. Pero se consigue aquel fin construyendo primeramente un tubo recto que se suelda y trabaja á martillo con el mayor cuidado en toda su longitud, se rellena con plomo fundido, y al solidificarse por enfriamiento este cuerpo, que forma con el tubo una masa compacta y unida, se dobla en la forma deseada. Las desigualdades que se producen en este caso pueden corregirse fácilmente con el martillo, y después, finalmente, se funde otra vez el plomo calentándolo.

Al hablar de los cuernos antiguos encorvados nos referimos principalmente á los que estaban doblados en semicírculo. En el cuerno de búfalo, el verdadero cuerno de caza de los cazadores, y el correspondiente *bugle* inglés (de *bugle*, toro silvestre), se han conservado todavía estas formas antiguas. Por el contrario la curvatura en un círculo completo y en elipse ha estado en uso desde principios del siglo XVI.

En la música desempeñan un importante papel los instrumentos de viento sin orificios laterales. Hasta el tiempo de Händel, en que la armonía era mucho más sencilla que en la actualidad y los compositores conocían un número relativamente pequeño de efectos de orquesta, se destinaban las trompetas, con los violines, á llevar el canto. Caracterizaba especialmente á aquellas su brillante timbre sonoro. «La trompeta es un instrumento magnífico en manos de un buen maestro que sepa manejarla con corrección y arte,» decía Miguel Prætorius á principios del siglo XVII. Pero después se empleó más por su afinación, y sus voces vinieron, por tanto, á quedar más bien entre los sonidos medios. Con esto ha sufrido un marcado retroceso el arte de las trompetas, de suerte que hoy son pocos los que pueden con derecho abrigar la pretensión de conseguir los efectos que conseguía Händel. Particularmente parece haberse perdido el arte de producir con facilidad los sonidos más agudos de la trompeta hasta tal punto que ya

Mozart, al instrumentar el *Mesías*, de Händel, tuvo que repartir entre diferentes instrumentos los pasajes de trompeta.

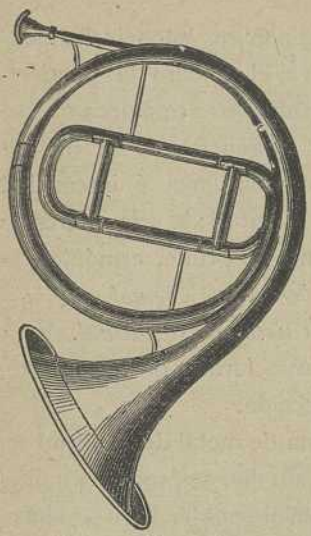


FIG. 492.—Trompa de caza.

El desarrollo progresivo de la armonía musical, en virtud del cual ya no se contentó con la escala diatónica, dió lugar á tentativas para poder alargar ó acortar, á voluntad, la columna de aire en el interior del instrumento, y engendrar así los sonidos cromáticos comprendidos entre los de aquélla.

En la trompa de caza, que tiene un pabellón muy ancho (fig. 492), se podían modificar hasta cierto punto los sonidos en cuanto á su altura, introduciendo en aquél el puño; pero en las trompetas no era aplicable este medio, y había que buscar otros caminos para conseguir el mismo fin. Para variar el sonido fundamental del instrumento; por ejemplo, para transformar un cuerno en *do* en un cuerno en *mi bemol* ó en *fa*, etc., se usaban trozos adicionales, que se adaptaban bajo la boquilla y aumentaban en la suya la longitud del tubo. Según Prætorius, en 1600 sólo existía una trompeta de campo en *re*, vulgo *tarantara*.

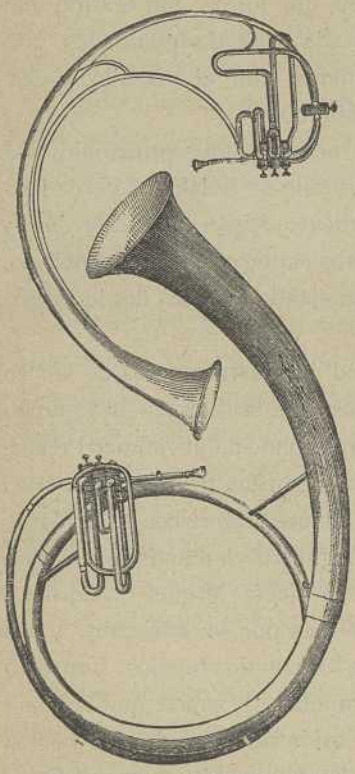


FIG. 493.—Trompas de llaves, de Sax.

«Sólo desde hace muy pocos años (escribía en 1619) se ha prolongado en las justas y torneos de los príncipes y señores de la corte, ó bien se le ha adoptado una pieza en arco, que baja un tono su nota más grave en *modum hipojonicum*.»

Sin embargo, nunca podía servir esto más que para producir un cambio en toda la afinación; no podía aspirarse así á dar los semitonos comprendidos en un canto. Se consiguió primeramente este objeto por medio de los tubos movibles á frotamiento, que enchufaban justamente unos en otros, y que al sacarse alargaban la columna de aire vibrante, y al introducirse la acortaban, elevando el sonido fundamental.

Por este medio se originó de la trompeta el serpentón. En principio, ambos instrumentos son completamente iguales, y si en el serpentón se fija la posición de los tubos entre sí, no se tiene en realidad otra cosa que una trompeta de mayor longitud en el tubo

que la ordinaria, y, por consiguiente, de un sonido fundamental más grave.

En la trompa de caza se trató de hacer también aplicación de esta idea, y las llamadas trompas de invención, ideadas por Antón José Hempel, en Dresde (1754) son la primera prueba de esto. Pero era tan dificultoso el movimiento de los tubos, que se volvió á dejar á un lado este medio; con tanto más gusto, cuanto que Clagget, en Inglaterra, á fines del siglo pasado, y Enrique Stötzl de Plezy, en Silesia (1815), unieron al tubo principal del instrumento varios tubitos adicionales que se abrían en él y aumentaban la longitud de la columna de aire vibratorio, estableciéndose á voluntad la comunicación por medio de válvula ó llaves.

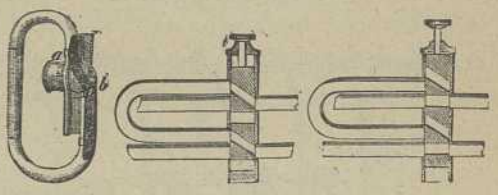


FIG. 494. FIG. 495. FIG. 496.

Combinación interna de los tubos en la trompa de llaves.

Las llaves eran puestas en juego con los dedos. Stötzl colocó primeramente en su trompa sólo dos de estas llaves, de las cuales una bajaba el sonido exactamente un semitono, y así se pudo producir la escala cromática hasta el *sol* sostenido. Para llegar á éste hubo necesidad de añadir una tercera llave, y esto es lo que hizo Müller en Maguncia en el año 1830, con lo cual quedó inventada la trompa de llaves en su actual forma.

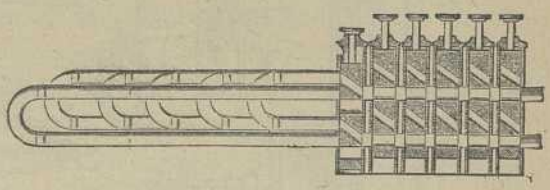


FIG. 497.—Instrumento con seis pistones.

El mecanismo en virtud del cual se ponen en comunicación entre sí las diferentes porciones de tubos, es variable. En los instrumentos alemanes consiste esencialmente en una llave de dos vías, como la que hemos descrito al tratar de la máquina neumática; mostrándonos la fig. 493 la forma de combinación interna de los tubos. La rotación de la llave se determina por medio de un pistón que está situado perpendicularmente al eje de la llave y se mueve con el dedo. Pero por este medio sólo con dificultad se consigue la movilidad fácil de las piezas, junto con su cierre hermético para el aire, y por esto Meifried, de París, se propuso emplear, en lugar de las llaves giratorias, cilindros agujereados, que se movieran sólo en el sentido de su eje; idea que llevó á la práctica Adolfo Sax, fabricante de instrumentos de viento en Bruselas, en 1833. La manera de funcionar este mecanismo se hace comprender, mejor que por otro me-

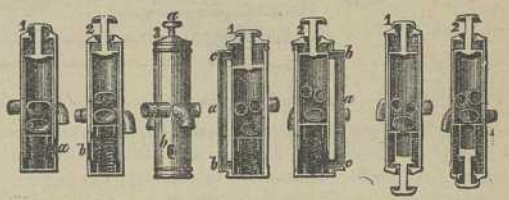


FIG. 498. FIG. 499. FIG. 500.

Mecanismo de cilindro, de Sax.

dio, por la representación gráfica, y así damos en la fig. 494 una sección, en la que la posición de los pistones es tal que quedan interceptados los dos tubos adicionales; en la fig. 495 otra en que el descenso del cilindro los tubos adicionades quedan intercalados, y en la fig. 496 la vista del mecanismo interno de un instrumento con seis pistones.

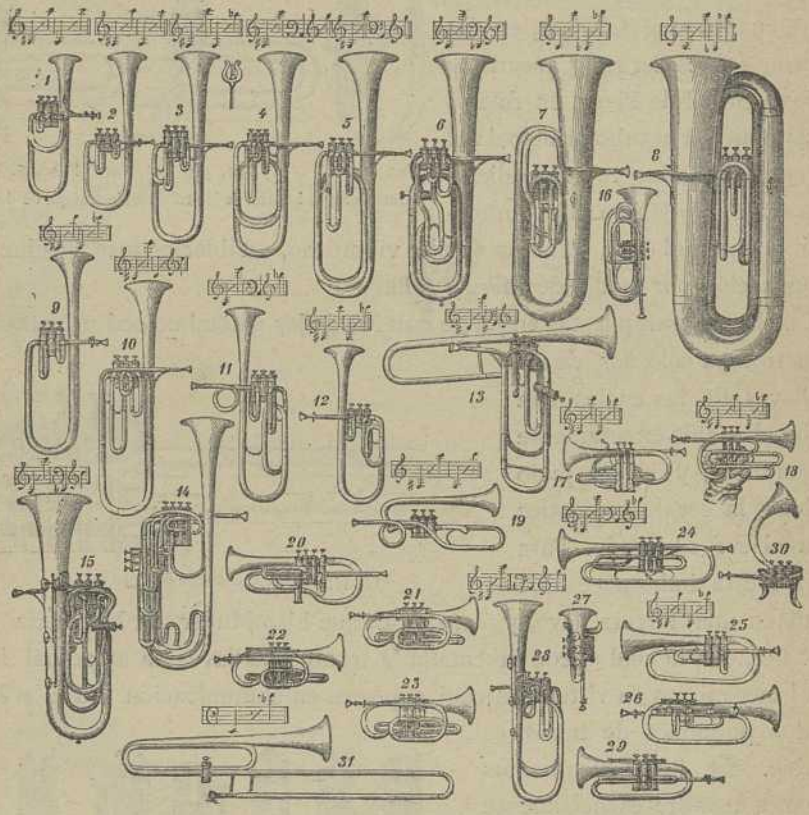


FIG. 501.—Instrumentos de viento de metal, fabricados por A. Sax, en París.

1. Saxofón (agudo).—2. Trompa soprano.—3. Antigua trompa.—4. Antigua tromba.—5. Tromba barítono.—6. Trompa bajo.—7 Contrabajo.—8. Gran contrabajo.—9. Contraalto.—10. Trombón de pistones.—11. Trompeta de cilindros.—12. Cornetín de pistones.—13. Trombón de pistones.—14 Trombón de Sax, con siete pistones.—15. Saxofón bajo.—16, 17 y 18.—Cornetín de pistones.—19. Cornetín de cilindros.—20. Saxofón.—21. Cornetín de pistones con dos llaves.—22 Saxotromba alto con llaves y pistones —23. Cornetín de pistones.—24. Trompeta de cilindros.—25 á 30. Saxofón é instrumentos de pistones con adicion de llaves.—31. Trombón.

Pero como se ve por estas figuras, la corriente de aire para atravesar los orificios de los pistones tiene que recorrer un camino bastante quebrado, por lo cual, no sólo se hace difícil el tocar el instrumento, sino que también se perjudica la pureza de los sonidos. Sax, que se había trasladado á París, sustituyó el émbolo macizo y sólo provisto de dos tubitos estrechos de comunicación, por un cilindro hueco, cuya pared llevaba los orificios correspondientes en los puntos á que concurrían los conductos, y de este modo, encontrando aquí el aire un espacio incomparablemente mayor de ensanche, el

sonido era más dulce y puro. Las figuras 497 á 500 nos dan esta disposición, vista de diferentes lados, por fuera, en sección y con distintas posiciones del cilindro, tan detalladamente, que creemos superfluo añadir más explicaciones.

Sax ha aplicado su sistema á todos los instrumentos de viento, y la figura 501 puede dar una muestra de la riqueza en formas de su colección, haciendo visibles una parte de los fabricados por él, tales como estaban colocados sobre un cuadro de gran extensión en la Exposición Universal de París. Por el tránsito de unas á otras formas y la combinación de las particularidades de varios de ellos, presentan los instrumentos un aspecto que tiene ya poca semejanza con el de la trompeta primitiva ó el antiguo cuerno. Para estos distintos productos del arte se han inventado también diferentes nombres (saxofón, barítono, trombón, etc.), de cuya enumeración tenemos que prescindir, por su extremada variedad.

De la comparación con los de Sax resulta que los instrumentos alemanes no les son inferiores bajo ningún concepto. Particularmente W. F. Cerveny, en Königgratz, ha adquirido celebridad por el perfeccionamiento sucesivo de sus instrumentos. Él fué quien abandonó el antiguo y desventajoso sistema de construcción de todos los instrumentos de metal, según el cual apenas podía darse el sonido fundamental, y dió á sus instrumentos un diámetro mayor, con lo cual hizo posible la producción pura y llena de dicha nota fundamental, lo que representa un gran progreso, pues permitió alcanzar cierta gravedad de sonidos con la mitad de longitud de tubo.

Los fabricantes alemanes de instrumentos han conservado en algunos casos las llaves en lugar del cilindro de Sax; y como el cuerpo dos veces agujereado de aquéllas suele tener poca altura, ofreciendo más bien la forma de un disco ó rueda, le llaman *radlmasckine* (que quiere decir algo así como ruedecita). Los canales interiores recorren estas llaves describiendo un arco, y de esta suerte la columna de aire está defendida contra choques violentos. La ruedecita recibió de Cerveny, no ya dos, sino hasta seis conductos, y esta disposición era utilizada por su autor para facilitar la afinación. Los tubos arqueados usuales antes, y que cada vez había que ponerlos y quitarlos, se unieron permanentemente al instrumento, estableciéndose á voluntad la comunicación por el juego de las llaves.

CLARINETE, OBOE, FAGOT, ETC.

El cuerpo vibrante que hace sonar la columna de aire en la trompeta, serpentón, trompa de caza, etc., está constituído por los labios elásticos de nuestra boca. Estos vibran en la boquilla en forma de caja, y de aquí que las dimensiones de ésta sean de gran importancia para el manejo del instrumento. Pero existe también otra clase de instrumentos, en los que el cuerpo elástico vibran-

te va unido fijamente al tubo, y consiste en una lengüeta que en sus rápidos choques sucesivos contra el orificio empuja ó debilita alternativamente la corriente de aire lanzada por aquél, ocasionando así condensaciones y dilataciones, ó sea un movimiento ondulatorio.

El tipo primordial de estos instrumentos está en el tallo hueco de la planta llamada *diente de león*, (*Leontodon taraxacum*), que los muchachos convierten en tubo sonoro comprimiendo los bordes por un extremo para formar una boca estrecha á bisel. Los clarinetes, fagots, oboes (*hautbois*) y los instrumentos análogos á éstos consisten, en general, en un tubo en parte cilíndrico, en parte cónico, que termina superiormente por la lengüeta vibratoria, é inferiormente en la boca ensanchada en forma de embudo ó pabellón. El clarinete tiene sólo una lengüeta vibrante: el oboe y el fagot tienen dos. La boquilla del clarinete es, por tanto, de mayor espesor en su parte no oscilante, mientras que los otros dos instrumentos citados poseen un pico largo y delgado en todas sus partes. Las lengüetas consisten generalmente en láminas de caña de azúcar raspadas hasta reducirlas á un espesor sumamente fino.

Cada uno de estos instrumentos vendría á dar un sonido fundamental único, prescindiendo de los armónicos; pero como con esto podría hacerse muy poco en música, el cuerpo de madera del tubo, que no podría fácilmente prolongarse ó acortarse de un modo semejante al tubo de metal del serpentón, se ha provisto de orificios en el sentido de su longitud, mediante los cuales, al destaparlos, se pone el interior en comunicación con el aire libre en aquel punto, y por consiguiente se reduce la longitud de la columna de aire vibrante. Al tocar el instrumento, estos orificios se tienen tapados con los dedos, destapándoles alternativamente, según los casos. El tubo total, con todos los orificios cerrados, da la nota más baja; abierto el que está más próximo á la boquilla se produce el sonido más agudo. Pero con estos sonidos no están agotados los efectos útiles que el instrumento puede proporcionar; por el contrario, puede también dividirse la columna de aire vibrante en partes alícuotas y originarse una serie de sonidos armónicos, como en los instrumentos de metal.

Sin duda el instrumento más antiguo de esta clase es la *gaita*, pero también es el más imperfecto. Un tubo sonoro con orificios está adaptado por su pico á un saco de cuero cerrado, que se hincha por medio de otro tubo y se deja vaciar apretando con las manos. El aire que sale á través del primero le hace sonar, y según se aprieta la bolsa más ó menos fuertemente, produce aquél un sonido más ó menos intenso. Una cajita intercalada sobre el pico le protege, sirviendo de guía á la corriente de aire. La gaita es un instrumento muy generalizado. Fué transmitida por los judíos y griegos á los romanos; hoy desempeña gran papel en la música popular, particularmente en la de los escoceses y gallegos. Los escoceses la han propagado á las colonias, y en América y Austria aún se usa con bastante afición. Su construcción es muy sencilla, ha-

biéndose conservado la misma que era ya usual en la hermosa Grecia, donde utilizaban para ello la piel de cordero curtida del lado de la carne, á la cual se dejaba, sin embargo, los pelos de alrededor de la cabeza con cuernos, sólo que debían ser cosidos y bien tapados todos los orificios.

La gaita es un instrumento muy á propósito para pastores, pero no se presta á fines musicales más elevados, en razón á su sencillez. No solamente por la pequeña extensión de su sonido, sino especialmente también por la imposibilidad de producir con él una graduación artística del fuerte al piano, fué preciso prescindir de semejante instrumento en un estado superior de cultura. Todos los instrumentos de viento sólo adquieren vida y expresión por la acción de la boca del hombre, y por consiguiente sólo aquellos á que se adaptan directamente nuestros labios podían alcanzar, en el transcurso del tiempo, mayor grado de perfección.

El oboe es un instrumento que se refiere en principio á los tubos sonoros naturales, tales como se ofrecen en los tallitos tiernos cuyos bordes han sido aplastados por un extremo, y por tanto es también uno de los instrumentos más antiguos. Entre los griegos encontramos ya el *syrinx*, que por la descripción debió ser un oboe imperfecto. El *schalmei (chalumeau*, del latín *calamus*, el tubo), es, sin embargo, el inmediato predecesor del instrumento en cuestión, en su forma actual.

El nombre oboe, ú *hoboe*, procede del francés *hautbois*, porque, construído de madera el cuerpo del instrumento, estaba destinado á llevar el canto antes de la invención del clarinete. En cuanto á su disposición, consiste en un tubo cónico, algo ensanchado por abajo. En los primitivos instrumentos, entre los cuales hay que contar también probablemente el *fistulæ* y el *tibiæ* de los antiguos, los agujeros se tapaban directamente con los dedos, y por consiguiente no podían ponerse más que ocho orificios, cuando más: así debió producirse una gran revolución cuando se vino á poner también agujeros tapados por llaves que se abrían, apretando con los dedos. Esto permitía aumentar el número de los orificios, y los instrumentos actuales tienen hasta dieciséis de estas llaves ó válvulas. Pero no sólo su manejo, sino también la construcción de los instrumentos, se sobrecargó entonces de dificultades, y, realmente, un oboe que permita producir con fuerza todos los sonidos alcanzados por estas sucesivas reformas, es hoy mismo objeto de vanas aspiraciones. Por más que se ha inventado y perfeccionado, siempre quedan una porción de sonidos, ya demasiado agudos, ya demasiado graves, y para cuya purificación, que ofrece diversas ventajas, aunque sea incompleta, debe emplear el ejecutante todos sus recursos. Los agujeros no están precisamente en los puntos donde corresponde por virtud de las leyes físicas, y sólo una reforma completa del sistema, como la realizada por Böhm, por medios completamente racionales, puede evitar los defectos cuyo sorteo ofrece tantas dificultades á los ejecutantes de estos instrumentos.

El cuerno inglés tiene la mayor semejanza con el oboe, en cuanto á su disposición y al timbre de su sonido. Esa condición gangosa, característica de éste, es debida en ambos instrumentos al empleo de dos lengüetas. La extensión del cuerno inglés es también la misma que la del oboe, desde el *do*, por semitonos octava y media, si bien los sonidos más altos no se utilizan. El cuerpo del instrumento no forma un tubo recto, sino que tiene hacia el centro un recodo. En la música más antigua llevó este instrumento el nombre de *oboi di Caccia*.

El *fagot*, ó sea el oboe bajo, es el tercer instrumento de esta serie. Alcanza desde el *si*$_1$ hasta el *sol*$_2$, y posee ocho agujeros, sobre cuya situación puede decirse en mayor escala cuanto se ha dicho del oboe. Se puede decir, con Schafhäutl, que el fagot en su forma actual es uno de los instrumentos más imperfectamente constituídos, y, sin embargo, no se puede prescindir de él por la riqueza de sus efectos sonoros. Su ejecución exige mucha maestría. El tubo del fagot tiene 2,62 metros de largo, lo cual ha determinado forzosamente su forma encorvada.

Fig. 502.—Músicos alemanes antiguos, con instrumentos de viento, según Fost Amman.

Los tres instrumentos de viento indicados han sido modificados de mil modos; se construyen con diferentes dimensiones, y se designan en cada caso con distintos nombres.

El *clarinete* es relativamente un instrumento moderno, pues fué inventado en el año 1696, en Nurenberg, por Cristobal Denner. Tiene una sola lengüeta vibrante, que es más larga y gruesa que las del oboe. El diámetro del tubo es también mayor que en este último instrumento, y con ello pierde su sonido por una parte, el carácter gangoso, y además adquiere mayor redondez.

Una consecuencia característica de su estructura es que por la adición de diferentes piezas no aparecen los armónicos de orden par, que en los demás instrumentos es muy fácil producir; y, por el contrario, el primer armónico que acompaña al sonido fundamental es el tercero, después el quinto, y así sucesivamente. De aquí que las octavas no pueden producirse con la misma posición de los dedos, y esta circunstancia hizo necesaria la adopción de un segundo sistema de orificios. Ivan Müller, que perfeccionó el clarinete, le dió trece llaves y esto bastó, sin duda, para poder tocar en todos los tonos; pero muchos sonidos

eran todavía impuros, y una reforma radical hubiera sido más esencialmente ventajosa para los artistas hábiles. Antiguamente se utilizaban en la música un gran número de clarinetes, los cuales había que alternar en los cambios de tonos. Hoy sólo se usa ordinariamente el clarinete en *do*, en *re* y en *la*.

El timbre del sonido del clarinete depende de la falta de los armónicos de orden par. En efecto, si se analiza una nota de un clarinete, por ejemplo, do_1, no se encuentran los armónicos de la serie natural *do*, *sol*, do_1, mi_1, sol_1, si_1, do_2, re_2, mi_2, etc., como sucede en el oboe mismo, en el cual solamente suenan más débiles los sonidos *do*, do_1, sol_1, do_2, etc., que los sonidos comprendidos entre ellos, sino que aquí existen exclusivamente los de la serie *sol*, mi_1, si_1, re_2 etcétera. La embocadura del clarinete se ha aplicado además en tiempos modernos á gran número de instrumentos que por su constitución corresponden más bien al grupo de los de metal, y con esto se ha facilitado una variedad riquísima, que puede apreciarse por la figura adjunta (fig. 503) de los instrumentos fabricados por Sax.

LA FLAUTA

Una nueva clase de instrumentos, por la manera de excitar la vibración sonora, es la constituída por aquellos en los cuales el aire alternativamente se condensa y enrarece en el interior de un tubo, con lo cual la columna fluida entra en vibración, no por la influencia de una lámina elástica, sino por el choque que experimenta en el borde de un orificio contra el cual se rompe la corriente. Una llave hueca contra la cual soplemos nos representa la forma más sencilla, de la cual se han servido, en la antigua flauta del dios Pan, las musas de la música en el estado primitivo del arte. Los instrumentos que se fundan en el mismo principio antes citado se designan con el nombre de instrumentos de embocadura de flauta. Por otra parte, no hay que confundir con ellos los que llevaron el nombre de flautas en la antigüedad. Ya el antiguo cuento mitológico, según el cual Palas Atheneos (Minerva) arrojó la flauta por ella inventada, maldiciendo á aquel que la levantara, porque al contemplar en una fuente de Ida su semblante desfigurado, con los carrillos hinchados de tocar aquel instrumento, pudo apreciar las burlas de que era objeto por parte de Juno y Venus, enseña que lo que los antiguos designaban con la palabra *aulos* no puede confundirse en modo alguno con nuestra flauta. Pero todavía podría mejor conducirnos á la suposición de que el *aulos* de los antiguos debía tener mayor semejanza con nuestros oboes y clarinetes, el hecho, muchas veces citado, de que los antiguos músicos, para reforzar la fuerza del soplo al tocar la flauta, se ponían alrededor de los carrillos y de la boca una especie de carrilleras de cuero. De hecho se ven también en las pinturas antiguas las llamadas flautas, como instrumentos cónicos

con tres ó cinco orificios y muchas veces provistos en su extremo inferior de un pabellón ensanchado.

Según parece, la flauta en su forma actual es una invención alemana que se originó de la llamada flauta suiza. Las músicas de regimiento consistieron en tiempos pasados en tambores y pitos. Los últimos eran instrumentos cilíndricos que en un principio tenían sólo seis agujeros. El séptimo fué introducido más tarde, y el octavo fué adicionado por el célebre flautista Quanz. El principio de la flauta es extraordinariamnnte sencillo, y esta es la causa de la pureza y belleza de su sonido que, por otra parte, lleva en sí algo de tristeza, por consecuencia de lo cual este instrumento brilló especialmente en los períodos sentimentales de los idilios de Guessner. Pero para los usos musicales esta sencillez de su estructura da por resultado algunas desventajas; pues como quiera que con sólo ocho agujeros tiene que producirse una serie por lo menos de unos treinta sonidos, se han de desarrollar por la manera de ejecutar con él las condiciones acústicas variables; de suerte que no solamente resultan con facilidad impuros los sonidos, sino que aquel fin ofrece á los ejecutantes las mayores dificultades. La construcción de la flauta puede considerarse también, por lo mismo, como uno de los problemas más difíciles de la construcción de instrumentos musicales en general; y realmente las dificultades que este problema entraña no han sido resueltas hasta los tiempos modernos por Böhme, en Munich. Böhme aumentó el número de los agujeros, poniendo catorce desde *do* hasta do_1, colocando cada uno de éstos exactamente en el punto en que debían estar, según el cálculo, y dándoles un diámetro lo mayor posible. Esto último era, sobre todo, necesario para quitar toda influencia perjudicial á la parte de la flauta situada más allá del orificio abierto, pues cuanto más pequeño es el agujero por medio del cual se pone en comunicación la columna interna de aire con el exterior, tanto más incompletamente se consigue el objeto de convertir á la flauta en un tubo abierto, cuya longitud esté limitada por la situación de dicho orificio. Como naturalmente estos catorce orificios ni podían ser alcanzados por los dedos, ni menos tenerse á un tiempo todos cerrados, Böhme los tapó con válvulas y para abrir estas adoptó un mecanismo especial.

En las flautas de los sistemas antiguos, el número, disposición y grueso de los agujeros estaba determinado por la disposición de nuestra mano; pero como las leyes de una columna de aire vibrante no podían ser alteradas para ponerlas en relación con aquella disposición, fué preciso prescindir de esta forma más sencilla, con gran perjuicio de la sonoridad, y la flauta se convirtió, finalmente, en una combinación muy complicada de porciones de tubo cónicas y cilíndricas, llena de defectos é imperfecciones, cuyo sorteo hasta cierto punto sólo se conseguía por una gran maestría en su manejo. Los semitonos que faltaban en un principio fueron producidos por un medio indirecto completamente característico, combinando, por ejemplo, la acción de los orificios inmediatos, y así se

subía ó bajaba una nota dificultosamente en este intervalo. Son estas verdaderas imperfecciones; pero no puede desconocerse que comunicaban al instrumento un carácter algo individual, que han perdido las flautas matemáticamente correctas de Böhme, y que entrañaba cierta poética sencillez primitiva, lo mismo que el sonido ronco del cuerno de caza, en relación con el cada vez más puro de la trompa de pistones. «Así como existen en el hombre debilidades que nosotros encontramos, sin embargo, simpáticas, del mismo modo existen en los instrumentos musicales imperfecciones que en manos de los maestros se con-

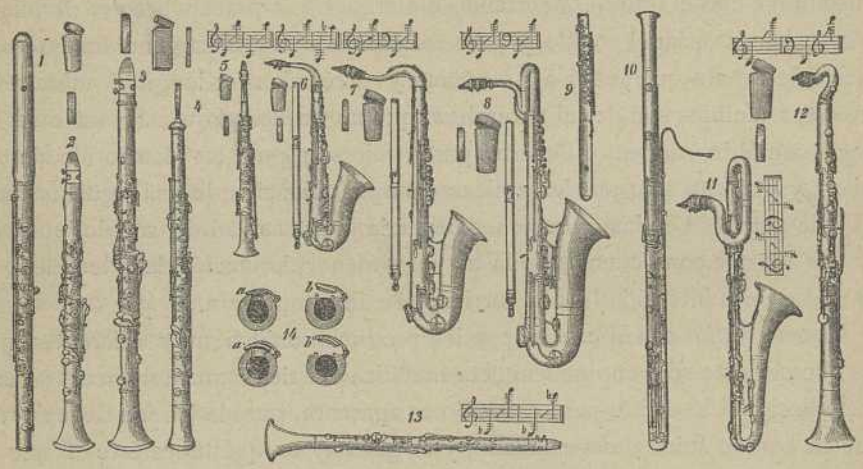


FIG. 503.—Instrumentos de viento con llaves, de Sax.

1. Flauta.—2 y 3 Clarinetes.—4. Oboe.—5 Saxofón soprano —6. Saxofón tiple.—7. Saxofón tenor.—8. Saxofón barítono.—9. Flauta.—10. Fagot.—11. Clarinete contrabajo.—12. Clarinete bajo.—13. Clarinete, sistema Sax.—14. Cierre de las válvulas.

vierten en nuevos encantos,» dice Hanslick. Sin embargo, es preciso hacerlo notar bien, sólo en manos de los maestros.

Böhme consiguió librarse de aquellos obstáculos convirtiendo la flauta en un aparato acústico sencillo, cuyos efectos pueden calcularse con toda exactitud. Separó las llaves de las válvulas que cubren los orificios, y ordenó aquéllas, para comodidad de las manos, sobre un eje longitudinal, desde el cual, mediante palancas suficientemente grandes y encorvadas, se abren y cierran los orificios. Además, también dió á todas las piezas del instrumento una labor mecánica más completa.

El sistema de Böhme ha encontrado cada vez mayor aceptación en los últimos tiempos; ha sido aplicado con el mismo éxito por su propio inventor á los demás instrumentos, particularmente á los de viento, de madera, y es de esperar que, en definitiva, excluirá por completo los antiguos sistemas. En Francia se ha adoptado ya casi exclusivamente, y su extensa aplicación ha conducido á numerosas construcciones de instrumentos con llaves, de los cuales representamos algunos de los más interesantes en la fig. 503, tales como fueron expuestos en Londres en 1862, por A. Sax.

El mecanismo de lengüeta libre pertenece á los instrumentos musicales más sencillos en principio, pues el sonido se produce en ellos por las vibraciones de una laminita metálica elástica, y es, por consiguiente, fijo y determinado para cada lengüeta, la cual no varía por una manera diversa de ejecutar, ni puede emplearse para desarrollar aquella conocida serie de armónicos como las columnas de aire vibrantes.

La velocidad de estas oscilaciones, la altura del sonido, depende de la tensión (rigidez) de la lengüeta y de su peso; dicho número se eleva con la primera y disminuye con el último. Acortando ó alargando la parte vibrante, se puede también hacer variar el sonido, y para realizar esto se utiliza generalmente una especie de clavito que se fija á la lengüeta y determina su longitud vibratoria; pero estos cambios son de tal naturaleza, que no pueden provocarse mientras se ejecute con el instrumento. Por otra parte, sólo son posibles dentro de ciertos límites, y por esto sólo pueden aplicarse para la afinación de las lengüetas entre sí. De la amplitud de las vibraciones depende la intensidad del sonido, que viene á ser así, una consecuencia de la mayor ó menor desviación de la lengüeta, y, por tanto, de la intensidad de la corriente de aire impulsora.

La trompetilla con la cual se pueden producir sonidos muy diferentes, por más que consiste sólo en una lengüeta metálica elástica, parece ofrecer ya una contradicción á lo dicho; pero ésta sólo es aparente, pues la lámina tiene en realidad un sonido único y determinado; y lo que hay es que no es éste el que se utiliza, sino los sonidos de las columnas de aire vibrante en la boca, y por consiguiente, la acción de esta trompetilla descansa sobre un principio completamente distinto.

Una lámina de acero, conmovida (y como tal podemos considerar á una lengüeta), suena muy débilmente por sí sola. Su sonido puede reforzarse poniendo la lámina en comunicación con un resonador sólido; pero también colocándola sobre una columna de aire limitada lateralmente, y cuya longitud corresponda á la misma velocidad vibratoria. Si se golpea, por ejemplo, un diapasón, se oyen inmediatamente sólo los armónicos más chillones; pero si se colocan sus brazos sobre la boca de un frasco y añadiendo agua se reduce la longitud de la columna de aire hasta el valor correspondiente, es puesta ésta en vibración por la influencia de las oscilaciones de la masa metálica, y se hace perceptible distintamente un sonido musical; ahora bien, no sólo puede hacerse perceptible el sonido único cuyas vibraciones coinciden exactamente con las del diapasón, sino que se distingan también claramente todos aquellos sonidos cuyas vibraciones coinciden en las fases extremas con las de aquél, tomadas de dos en dos, de tres en tres, de cuatro en cuatro, etc., y que corresponden sucesivamente á la octava, quinta, duodécima, etc. Resulta de aquí que todos estos sonidos deben ser más graves que el correspondiente al de las vibraciones excitadoras del diapasón, y que, á la inversa de lo que sucede en los instrumentos de viento, de

metal, en que el sonido fundamental de la columna de aire tiene que ser muy grave para que los armónicos se hallen bastante próximos entre sí y puedan ser utilizados en forma de escala musical, aquí, si se ha de producir una serie de armónicos inferiores útiles por la influencia de la lámina de acero vibrante, es preciso que el número de vibraciones de ésta sea muy elevado.

En la trompetilla sucede esto; su lengüeta vibra muy rápidamente. La columna de aire puesta por aquélla en resonancia, y que origina los sonidos perceptibles, es el aire encerrado por las paredes de la faringe y la tráquea, y por la reducción ó prolongación de esta columna se hace apropiada para emitir los diferentes sonidos, de la misma manera que el aire del frasco por la adición ó sustracción de agua de su interior. La mayor parte de las trompetillas, ó sea muchos millones de éstas, se construyen en la ciudad de Steyer.

Los *organillos bucales*, por el contrario, muestran diferentes lengüetas metálicas afinadas y colocadas sobre una lámina, de manera que pueden atravesar libremente los orificios de ésta, y entrar así en vibración cuando son separadas de su posición de equilibrio por una corriente de aire. Para poder hacer sonar cada una de ellas en particular, están situadas en cavidades especiales, en las cuales se puede soplar separadamente. En lugar de una lengüeta se colocan generalmente dos inmediatas: la una móvil hacia dentro y la otra hacia fuera, de modo que el instrumento lo mismo suena cuando se sopla que cuando se aspira el aire. El sonido es aquí producido única y exclusivamente por la lengüeta elástica, actuando, á lo más, por resonancia para reforzarlo algún tanto la lámina sobre que se halla la lengüeta. Un instrumento mucho mas perfecto es el *armonium*.

El *armonium*, llamado también aoclodion, serafina, etc., fué inventado en el año 1820 por un tal Eschenbach, en Königshofen y fué en su forma primitiva un instrumento de teclas, con un fuelle que era movido con los pies, y desde el cual partían muchos tubos de viento, abiertos, por el descenso de las teclas, y delante de las cuales se hallaban colocadas las lengüetas de acero afinadas. Los sonidos de semejante instrumento parecieron deliciosos, y pronto recibió algunas modificaciones, generalizándose considerablemente; pero se manifestó también desde el principio un defecto, sobre otros, que limitaba mucho su empleo. Efectivamente, las lengüetas no entraban en plena vibración en el mismo momento en que las chocaba la corriente de aire, sino que siempre transcurría algún tiempo antes de que el sonido adquiriera toda su intensidad; y si bien esta gradación podía ser de un efecto muy agradable para algunos trozos musicales, para todos los pasajes rápidos la unión del sonido no era bastantó precisa. Un tal Martín, en París, combinó con el citado mecanismo un sistema de macitos como los del pianoforte, de modo que la corriente de aire sólo tenía que entretener las vibraciones ya producidas desde el choque del macito. Estos instrumentos se llamaron *órganos de percusión*. Más adelante se combina-

ron diferentes mecanismos; se hizo graduable el refuerzo ó debilitación de la corriente por medio de válvulas en forma de persianas; se dirigieron los canales de modo que una sola tecla pudiera poner en vibración simultáneamente diferentes lengüetas, con lo cual se modificó esencialmente el timbre del sonido; se aumentó el número de fuelles hasta doce, uno para cada pie, y todavía se les dió una cámara especial reguladora, etc., etc.; de tal suerte, que los *armoniums* actuales, particularmente los construídos por Schiedmayer é hijos, en Stuttgart, figuran entre los instrumentos musicales expresivos más excelentes.

El *acordeón* es un *armonium* en pequeña escala, en el cual el fuelle es puesto en juego por las manos. Su disposición exterior es tan conocida, que no necesitamos decir nada acerca de ella. Las lengüetas se hallan en las dos gruesas láminas que cierran por arriba y por abajo la bolsa, que se reduce en pliegues paralelos. Los orificios en estas paredes del fuelle tienen exactamente el mismo diámetro que las lengüetas aplicadas sobre ellos, de suerte que no puede escapar nada de aire por los lados. Las lengüetas están sujetas de modo que pueden oscilar hacia ambos lados, y por consiguiente sonar tanto al comprimir el fuelle, como al dilatarlo y aspirar el aire exterior. Los conductos de aire se abren por medio de teclas que sobresalen, en forma de botoncitos, sobre unos listones salientes por donde se coge el instrumento.

En Inglaterra ha recibido este instrumento un gran perfeccionamiento, debido á Wheatstone, cambiando la forma cuadrangular por la octogonal, ampliando la extensión hasta tres octavas en escala cromática, construyéndose con la mayor exactitud posible las partes componentes internas, y recibiendo el instrumento así constituído el nombre de *concertino*, el cual se fabrica en gran escala, particularmente en Viena y Chemnitz, á precio que varían desde un florín (unos 10 rs.), hasta 90 marcos (450 rs.)

En todos estos instrumentos, en el armonium como en el acordeón, el marco en el cual están adoptadas las lengüetas hace el papel de resonador. Las lengüetas tienen una masa relativamente pequeña.

Las *cajas de música*, en las cuales no es el choque de una corriente de aire lo que hace vibrar las lengüetas elásticas, sino que éstas son separadas de la posición de equilibrio por unos clavitos, fijos sobre un cilindro rotatorio, y suenan en virtud de las vibraciones que verifican aquéllas antes de volver á dicha posición, no tienen un marco especial. Las lengüetas están suspendidas unas junto á otras y han sido talladas á sierra de una lámina de acero de grueso desigual. Para afinar estas lengüetas en los sonidos más graves se les suelda por bajo pequeñas masas de plomo; con esto aumenta el peso y la masa vibratoria, disminuyendo, por tanto, el número de vibraciones. Con objeto de que después de una vuelta completa del cilindro los clavitos no vuelvan á alcanzar las mismas lengüetas y en el mismo orden todas las veces, dicho cilindro avanza también en el sentido de su eje durante la rotación, y así son sucesivamente alcan-

zadas las lengüetas por clavitos que antes pasaban entre los intersticios de aquellas. Bajo esta base sólo es posible ejecutar grandes piezas musicales, estando ordenados los clavitos en forma de espiral alrededor del cilindro, y dejando entre las lengüetas un espacio suficientemente grande para que el clavito que en una vuelta tropieza á una lengüeta, no alcance todavía á la inmediata después de ocho ó diez vueltas del cilindro.

Ahora bien: la construcción de tales instrumentos pertenece más bien al arte de la relojería que al de los instrumentos musicales, y por tanto debemos abstenernos en este sitio de entrar en detalles sobre el particular. En Suiza, particularmente en Berna, se fabrican en gran número.

Sin embargo, no podemos menos de hacer mención de esas cajas de música automáticas, que son puestas en juego también por medio de un tambor, pero en las cuales, no sólo se emplean lengüetas metálicas para la producción del sonido, sino que existe una combinación, generalmente complicada, de todos los cuerpos sonoros imaginables. Son éstos los llamados *orchestrion*, en cuya invención y perfeccionamiento han adquirido gran celebridad, especialmente Alejandro Kaufmann, en Dresde, Rebicek, en Praga, y M. Blessing y M. Welte en Vöhrenbach, en Suiza. El último mostró en la Exposición de 1862 un orquestrión que el representante de Alemania calificó de lo más perfecto que hasta entonces se había producido en este género. La fig. 504 nos da una idea de esta obra, sumamente interesante. La máquina tenía dos motores principales, que eran puestos en movimiento por medio de dos pesas. Los clavos estaban distribuídos sobre el cilindro en ocho vueltas de espiral. Con las ciento ochenta y seis teclas que estos clavos herían ó pulsaban se hallaban en combinación los diferentes manantiales de sonido que, acoplados de mil modos, imitaban los timbres de los diversos instrumentos. Quinientos veinticuatro tubos sonoros en quince registros daban á éstos el carácter de los instrumentos siguientes: flauta, tercerola, flautín, oboe, trompeta, corno, fagot trompa. Además tenía un bombo con fuerte maza y timbales, una pequeña caja redoblante, un triángulo y unos cimbales turcos. El viento era engendrado en tres fuelles distintos. Las notas para cada trozo de música eran suministradas por tres cilindros; de suerte que con los treinta y nueve que poseía el instrumento, podían ejecutarse trece grandes piezas. La fig. 505 representa un orquestrión construído en Berlín.

El organillo de manubrio es una variedad sencilla de este aparato, que en rigor no debía contarse entre los instrumentos musicales, puesto que su manejo no exige en modo alguno educación artística. Su exportación tiene lugar principalmente á países como Rusia, en donde los habitantes de comarcas lejanas, pero que sin embargo han adquirido por los viajes algún conocimiento de la cultura europea, tienen una gran dificultad para disfrutar las sensaciones musicales, así como para adquirir la educación necesaria con objeto de satisfacer por sí propios aquella aspiración.

El *órgano*, el más grandioso de todos los instrumentos musicales, se apoya, en su estado actual, sobre el conjunto de todas las enseñanzas que pueden haberse adquirido por el estudio de los diferentes instrumentos aislados. Como

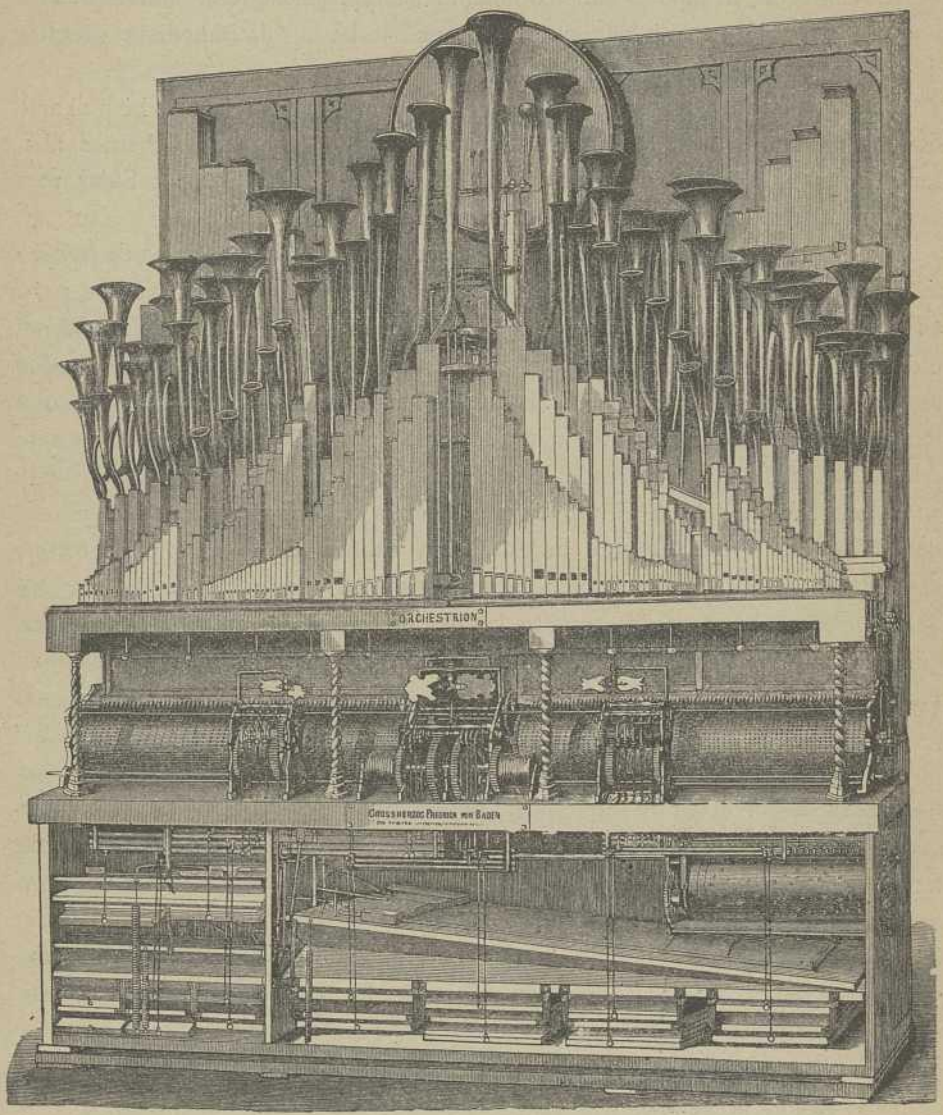


FIG. 504.—Orquestrión automático de M. Welte, en Vöhrenbach. Exposición internacional de Londres de 1862.

está destinado á dar expresión la más elevada y completa á las ideas musicales, y para realizar esto es preciso reunir los diversos instrumentos con sus particularidades especiales, hay que tener en cuenta, al construirle, la producción de todos aquellos efectos por medio de los cuales adquieren significación recíproca los diversos medios de expresión musical. La obtención de estos efectos de

timbre es el problema más difícil para el constructor de órganos; y como los recursos son también limitados, toda vez que con sólo la corriente de aire que llega á los tubos sonoros á través de los tubos conductores y procedente de los fuelles, hay que imitar, no solamente los efectos de todos los instrumentos de

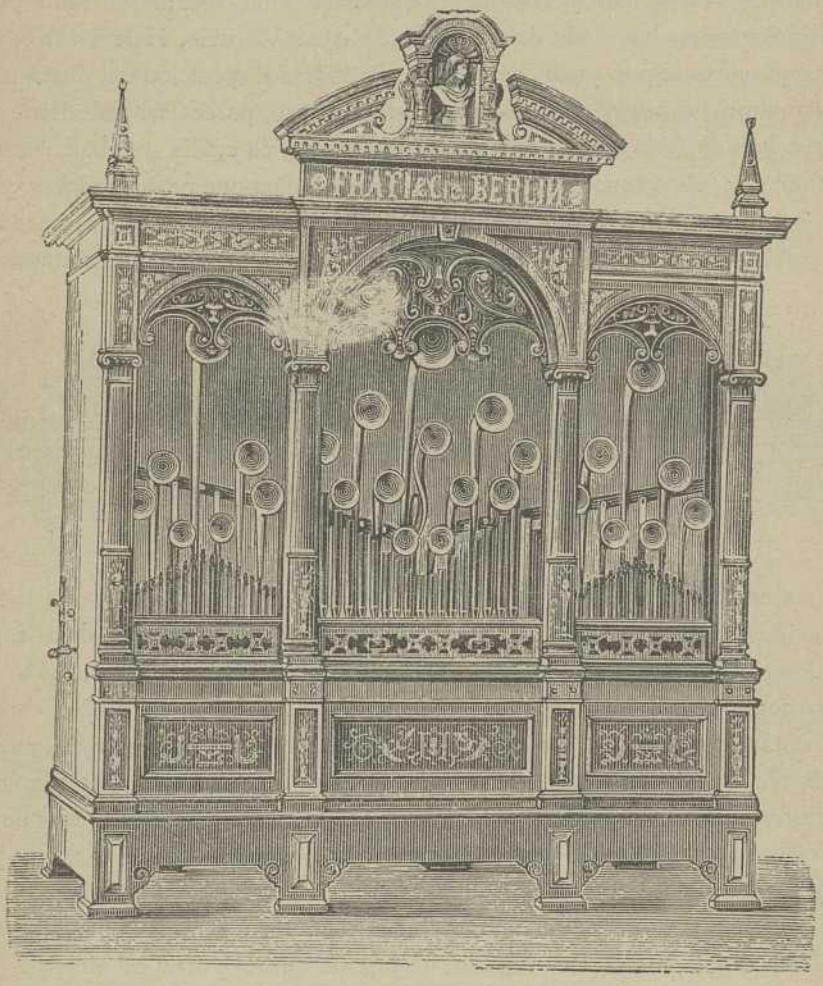


FIG. 505.—Orquestrión de Frati y compañía, construído en Berlín.

viento, sino también los de los instrumentos de cuerda, no se puede menos de experimentar gran admiración al contemplar órganos tan perfectos como el de la catedral de Ulm.

El nombre «órgano» procede de *organum* y *organon*, con cuyas palabras designaron los idiomas latino y griego respectivamente, primero todo útil ó instrumento, después, en particular, los instrumentos musicales, y por último cierta clase de instrumentos de viento. De aquí que se ha pretendido atribuir al órgano gran antigüedad, y se indica al órgano hidráulico, citado con frecuencia en

algunos manuscritos antiguos, y que ya era conocido de los griegos, como el inmediato predecesor de nuestro órgano actual. Pero una casual coincidencia en la denominación sólo puede tomarse como prueba de la identidad en los conceptos, tratándose de traductores en su mayor parte desconocedores del asunto. Por más que varios han intentado representarse semejante mecanismo por las descripciones que han dado del órgano hidráulico Vitruvio, Hero y otros, no se ha llegado á conseguir sacar en claro la verdadera disposición del instrumento que llamaron *organum hydraulicum*. Sin embargo, parece ser que desde muy antiguo han existido en uso aparatos musicales en los cuales estaban combinados fuelles y tubos sonoros de latón. Eginhard indica que un sacerdote venecia no construyó un órgano hidráulico el año 826, y el último de que se hace mención debió existir todavía el siglo XII en Malmesbury. En aquel tiempo exis-

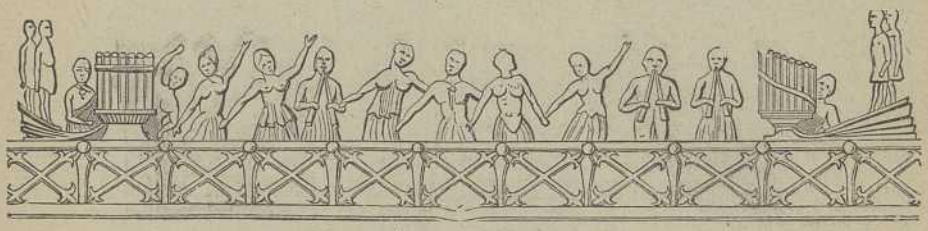


FIG. 506.—Órgano neumático del siglo IV.

tían, sin embargo, órganos neumáticos, que mucho antes ya debieron triunfar de los indefensos órganos hidráulicos. De uno de estos órganos neumáticos da una descripción San Jerónimo (de 331 á 420) y esa descripción ha sido felizmente comprobada por los relieves de una de las caras de un obelisco erigido en Constantinopla bajo Teodosio el Grande. Según este testimonio de la misma época, tenía el órgano (del cual damos en la fig. 506 una imagen según las esculturas antiguas á que nos referimos) 15 tubos sonoros, dos fuelles de piel de elefante y 12 fuelles de fragua «para imitar el trueno,» como dice San Jerónimo. En Occidente parece que el órgano no ha estado en uso antes del siglo VIII. Se refiere que en el año 757 el emperador bizantino Constantino envió al rey Pipino, entre otros regalos, un órgano que excitó la admiración de la corte occidental. Carlomagno, que recibió otro aparato semejante del mismo monarca, hizo construir varios órganos con arreglo á este modelo, que, según el testimonio de un monje de Saint-Gallen «con sus tubos animados por el soplo de su fuelle de piel de buey, imitaban el rumor del trueno, el sonido de la lira y la vibración de los cimbales.» Estos órganos eran portátiles, y todavía no tenían las grandes dimensiones que más tarde adquirieron por consecuencia de su empleo casi exclusivo en los grandes templos del cristianismo.

Dejando á un lado todas las hipótesis y lucubraciones poco fundadas, el documento más antiguo que tenemos sobre el órgano es un escrito del papa Juan VIII á Anno, obispo de Freisingen, en el cual se soli-

cita del último, que enviara á Italia un órgano y un artista que pudiera construir y tocar este instrumento. Que se inventara ó no en Grecia el arte de construir órganos, y que fuera ó no el primer instrumento de este género conocido en Occidente el *organum* que recibió como regalo del emperador de Constantinopla Pipino ó el emperador Carlomagno, dicho arte era ya practicado positivamente en Alemania por lo menos en la segunda mitad del siglo IX. En el año 951 hizo construir el obispo Elfey, para su catedral de Winchester, un gran órgano, en el cual se pusieron doce fuelles arriba y catorce abajo, que exigían, para aspirar y expulsar el aire, los esfuerzos de 70 hombres rudos. El número de tubos sonoros llegó á 400, y para tocarle eran necesarios

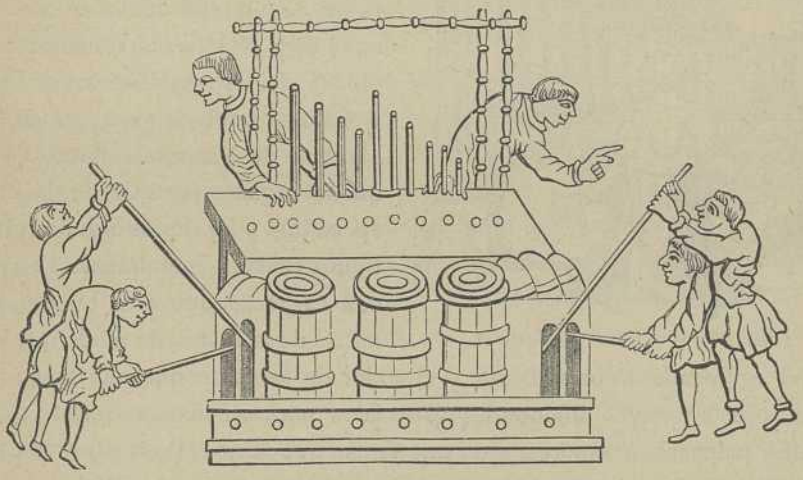


FIG. 507 —Gran órgano con depósito de viento.

dos organistas. Probablemente se necesitaba una fuerza tan considerable para hacer descender las teclas, que un hombre solo no podía ejecutar en él con destreza, pues los cantos religiosos de aquella época, para cuyo acompañamiento se usaba ya el órgano, no eran en un principio tan complicados que no bastaran los diez dedos de un solo organista, suponiendo que los órganos de entonces hubieran tenido la disposición de los actuales; pero además, según parece, el número de las teclas de este órgano era sólo de diez en total, con las cuales comunicaban 40 tubos. Se dice que este órgano tuvo diferentes registros, y que tal vez para combinar éstos se hubiera hecho necesario el auxilio de un segundo organista; pero como quiera que lo que llamamos hoy registros apenas era aún conocido en aquella época, esta suposición resulta inverosímil. Un manuscrito que se encuentra en el archivo de Cambridge y que procede del siglo XII, da una vista de un órgano de construcción semejante; tal vez sea un dibujo esquemático del mismo órgano de Winchester (fig. 507).

Una masa coral no podía ofrecer, naturalmente, ninguna seguridad en la afinación, y el juego de los antiguos órganos consistía solamente en que al can-

tar una canción se pisaba con el puño una tecla que sostenía el sonido hacia el cual tendía la masa coral. En Francia se hace mención del primer órgano de iglesia en el siglo XII. Se hallaba éste en la abadía de Fécamp. Pero es probable que también fueran conocidos ya antes órganos en gran número, pues en el siglo X estaban ya muy generalizados en Alemania, poseyendo los suyos respectivos las ciudades de Freisingen, Munich, Aquisgram, Magdeburgo, Halberstadt y Erfurt. De un folleto latino que se halla en la Biblioteca de París se ha tomado la fig. 508, que representa un órgano tal como se construían en el siglo XIV, y una miniatura del siglo XV del Espejo Histórico de Vicente Beauvais, también existente en la Biblioteca de París, nos muestra un pequeño órgano portátil de la misma época (fig. 509). Estos órganos más antiguos tenían generalmente 12 sonidos con 12 teclas que eran huecas y del ancho de la mano, de modo que tenían que ser «golpeadas» con el brazo y el codo. Es evidente que este tosco mecanismo ofrecía todavía dificultades especiales para su manejo, puesto que las válvulas, palancas, pasadores, etc., que tenían que abrir el paso para las canales de viento estaban muy lejos de poder ser fabricados con la precisión que en los órganos actuales. Es más: la unión con las teclas se establecía simplemente por medio de gruesas cuerdas ó cordones.

FIG. 508 —Gran órgano del siglo XIV.

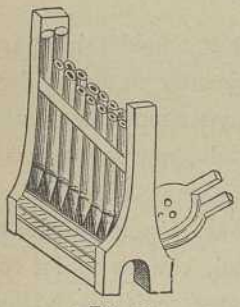


FIG. 509.
Organo portátil del siglo XV.

En cuanto á la reunión de los tubos en grupos aislados de un determinado timbre, ó sea los llamados *registros*, se cita esta palabra á proposito del órgano de Winchester; pero como en órganos posteriores no vuelve á hacerse mención de ellos, puede muy bien ser que dicha expresión tuviera una significación algo diferente que en la actualidad, según queda dicho. Parece más verosímil que cada tecla tuviera que excitar entonces una llamada *mezcla* de sonidos; todo el sistema de tubos colocado delante de ella, fueran cualesquiera sus dimensiones, comenzaba á sonar simultáneamente en cuanto se pisaba la tecla. Lo incómodo del manejo de éstas, condujo á emplear los pies para hacerlas descender, pues con ellos podía sostenerse por más tiempo el esfuerzo que con las manos. Los fuelles que existían generalmente en número de 20, 30 y aun más, adolecían también de grandes imperfecciones, y no había que pensar en una corriente

regular, permanente y uniforme. Ahora bien; la igualdad de los sonidos depende de esta corriente de aire, y por consiguiente claro está que no podía ser tampoco muy grande. No es, pues, de extrañar que se elevaran por todas partes quejas entre los interesados sobre la construcción de órganos para las iglesias.

Pero realmente con el reconocimiento de los defectos se comenzó también á corregirlos, y encontramos ya importantes mejoras en el órgano á principios del siglo XIII. En lugar de la escala diatónica antes empleada exclusivamente, se introdujo la escala cromática. En el siglo XIV se instaló en la catedral de Halberstadt un órgano que tenía ya dos teclados: uno superior para la mano derecha, en que se tocaban las notas altas, y otro inferior para la mano izquierda, correspondiente á los bajos. El primero tenía catorce sonidos diatónicos y ocho cromáticos, ó sea en total veintidós teclas. Lo que se llamaba pedal antes de la segunda mitad del siglo XV, no era otra cosa, según queda dicho, que el teclado ordinario, pero pulsado por medio de los pies, en lugar de las manos. En el año 1470, Bernhard, un músico alemán residente en Venecia, propuso añadir á las teclas existentes que eran tocadas con los dedos, ó sean *las manuales*, un segundo teclado especial, destinado á ser puesto en juego con los pies, que constituyó el pedal propiamente dicho. Las válvulas de aire eran abiertas aquí también por el juego de las teclas del pedal mediante cuerdas.

La ejecución pudo así hacerse mucho más compleja auxiliándose del pedal; pero esto fué también todo lo inventado hasta el siglo XVI, á propósito de cambios en el timbre del sonido. Ahora bien; el carácter más distintivo de los órganos actuales consiste precisamente en que permiten combinaciones extraordinariamente variadas de diferentes tubos sonoros que, puestos después en vibración simultáneamente por el descenso de una tecla, originan un efecto de timbre determinado y previsto. Esta reunión adecuada de sonidos aislados, imitando ciertos efectos instrumentales, ó sea la distribución del sistema de tubos en *registros* especiales, procede del siglo XVI. Este momento histórico debe, pues, considerarse como el más importante en el arte de la construcción de órganos, y particularmente se señaló esta época por la invención de los registros y portavientos, cuya disposición vamos á describir ligeramente.

En un órgano algo completo, el número de los tubos sonoros que corresponden todos á una misma tecla, es muy considerable. Descansan por sus pies, unos al lado de los otros, sobre las llamadas cancelas, especie de portavientos parciales, cada uno de los cuales corresponde á una tecla, y cuyo conjunto forma el llamado *secreto* de un órgano. Al pisar una tecla se abre la válvula que cierra uno de estos portavientos parciales, y el aire entraría en todos los tubos situados sobre él, haciéndolos sonar á todos, si no fuera por los registros, que verifican cierta distribución. En efecto, bajo los orificios de entrada del aire á los tubos sonoros, se hallan unas tablillas largas y estrechas, corredizas, llamadas *paralelas*, que están en comunicación con los tiradores de los registros y pueden

ser movidas por éstos en el sentido de su longitud. Estos listones llevan unos agujeros circulares en tal forma, que cuando se saca uno de dichos tiradores, los orificios del listón quedan en presencia de los de ciertos tubos sonoros, y, por consiguiente, entra el aire en éstos que corresponden al timbre del registro en cuestión, mientras que queda interceptado el paso á los restantes. Los porta viento y los mismos fuelles han sido perfeccionados diferentes veces en el trans curso del tiempo, principalmente con el objeto de evitar las grandes pérdidas de aire de que adolecían en los antiguos órganos. Pero estas reformas han sido más bien de naturaleza mecánica é interesan menos á nuestro objeto que los descubrimientos de nuevos registros, en cuya formación se presentó horizonte á los constructores de órganos para mostrar un ingenio sutil y un notable espíritu de observación.

Las *contras*, y en general los más variados efectos de timbre relacionados con el órgano, fueron introducidos en éste en cuanto se aprendió á suprimir ó incluir á voluntad, en un conjunto sonoro, voces aisladas, conduciendo pronto, por otra parte, esta facilidad cada vez mayor, á deplorables abusos y nimiedades. En este período surgieron algunos ejemplares de órganos muy notables, y particularmente adquirió tal nombradía el órgano de la iglesia del castillo de Gröningen, cerca de Halberstadt (1596), construído por David Becke, que fué revisado y tocado en su inauguración por nada menos que 53 examinadores.

Una de las invenciones más importantes de esta época es la hecha por Andrés Werhmeister, organista de Halle, del temperamento igual, por medio del cual se hizo posible el transporte de las piezas de uno á otro tono. Con esto el teclado pudo recibir alguna ampliación, pues prescindiendo de que los órganos más antiguos no tenían ni *do* sostenido, ni *re* sostenido, ni *fa* sostenido, ni *sol* sostenido, y de que el *do* sostenido era un sostenido defectuoso en el siglo XVI, después de perfeccionar este semitono, se llevó la extensión del manual hasta cuatro octavas, desde do_1 hasta do_2. El pedal adquirió la octava mayor, y aun algunas notas de la menor.

El apogeo de la fabricación de órganos en Alemania tuvo lugar á principios del siglo XVIII, coincidiendo con la época en que su música religiosa se enriqueció con las más grandiosas creaciones de Bach y Händel. Inglaterra, que se había distinguido antes por tener muchos constructores de órganos importantes, fué despojada de los mejores ejemplares de este instrumento por un decreto de 1644, el cual mandaba que fueran destruídos todos los órganos; y este decreto fué ejecutado con tal precipitación en aquel movimiento puritano, que se fundieron inmediatamente una gran cantidad de balas de fusil con materiales de tubos sonoros, y los fabricantes tuvieron que emigrar ó dedicarse á otra industria.

En los países católicos, donde los cantos religiosos no adquirieron importancia tan sobresaliente como en los protestantes, el órgano, como es natural, no ad-

quirió tampoco un desenvolvimiento tan considerable. De aquí el que aún encontremos los órganos más perfectos en las iglesias protestantes, en los cuales ameniza su culto la musa del incomparable Bach. Después de esta época sobresale brillantemente un nombre en la historia de la construcción de órganos: Silbermann, el mismo que hemos ya citado en la historia del pianoforte. Aquí, como allí, designa á las mismas personas, pero no una sola, pues existen varias del mismo apellido que se han distinguido en la construcción de instrumentos musicales.

Andrés y Godofredo Silbermann fueron hijos de un carpintero de Grafenstein, en Bohemia, de nombre Miguel Silbermann. Ambos aprendieron la ebanistería; Andrés, nacido en Grafenstein el año 1678, salió á viajar en 1700, y aprendió en Hagenau el arte de construcción de órganos, y para ejercerlo se estableció como maestro el año 1703 en Strasburgo. Tuvo nueve hijos, y sólo sobrevivieron cuatro, que después de muerto el padre en 1734 prosiguieron su industria. Trabajaron juntos hasta el año 1751, y el más joven, Juan Enrique, se dedicó á la construcción de pianos.

Godofredo Silbermann, el hermano de Andrés, se detuvo en Freiberg, de donde tuvo que escapar á consecuencia de su desordenada conducta, dirigiéndose á Strasburgo donde se estableció como constructor; pero tampoco fué muy larga aquí su estancia, refiriéndose que una tentativa fracasada de rapto de una monja, le incapacitó para permanecer allí más tiempo. Después de andar errante por diferentes puntos, se estableció finalmente en Frauenstein, en Sajonia, como maestro de un taller de fabricación de órganos; pero más tarde cambió este punto de residencia por Freiberg. Éste es el que construyó el célebre órgano «Silbermann,» por más que en su taller no trabajaban más que ocho ó diez obreros. Murió en Dresde en 1755, siendo proveedor del Gran Elector y de la corte. El número de órganos completos construídos por Andrés Silbermann y sus hijos, asciende á sesenta y cuatro, y á treinta el de los construídos por Godofredo, según Welcker de Gontershausen.

Es completamente imposible, en el limitado espacio de que disponemos, dar una idea, siquiera fuese ligera, de todos los inventos que se han producido á propósito del órgano en el transcurso de los últimos cien años. Semejante empresa exigiría previamente una descripción exacta de todos los detalles interiores de la unidad órgano, con todas sus modificaciones y perfeccionamientos hasta el día, para lo cual escasamente bastaría el espacio de un tomo voluminoso.

Más para dar á nuestros lectores una idea del principio según el cual está construído el órgano en conjunto, les remitimos á la fig. 510.

Por la compresión del fuelle, el aire se ve obligado á penetrar en el portaviento sobre el cual se hallan los tubos sonoros. Las tablillas agujereadas, correderas por debajo de los pies de estos tubos, se hallan en combinación con los tira-

dores de los registros. Cuando se saca uno de éstos, se colocan bajo los pies de ciertos tubos sonoros los orificios correspondientes, de modo que, al abrir la válvula por medio de la tecla, penetra el viento en aquellos tubos, cuya vibración simultánea determina el timbre especial del registro en cuestión.

Con objeto de evitar la dificultad y pesadez de la ejecución con el instrumento, Weigle ha resucitado una idea, ya hace tiempo emitida, y produce la apertura y cierre de las válvulas por medio del eletro-magnetismo, de suerte que el descenso de la tecla no sirva más que para cerrar la corriente eléctrica que rige la válvula correspondiente. Este «órgano eléctrico» fué expuesto en Viena en 1873. En tiempos modernos se emplean para los grandes órganos pequeñas máquinas de vapor, que concentran el aire en un depósito, según el principio de la bomba de compresión, y proporcionan así una corriente de éste, mucho más regular que los antiguos manchadores de los fuelles, cuyo esfuerzo no permitía una medida tan exacta, á consecuencia de lo variable del peso. Como quiera que los registros suponen ya un número considerable de tubos sonoros, el número total de éstos en un órgano crece de una manera pasmosa. El célebre órgano de la abadía de los benedictinos en Weingarten, terminado en 1750, tenía 6.666 tubos sonoros, 66 registros, un pedal y cuatro manuales.

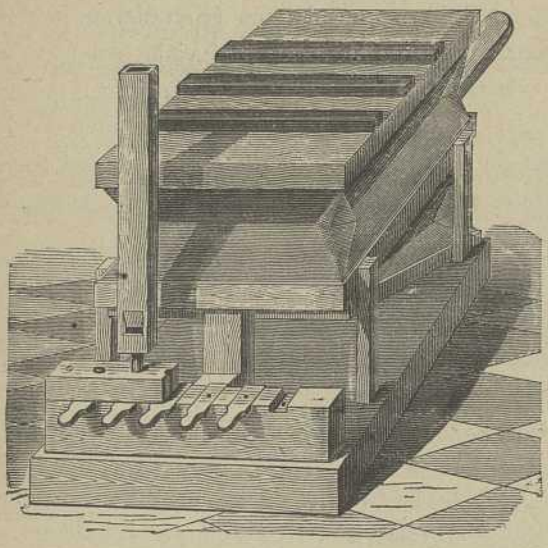


FIG. 510.—Esquema del mecanismo del órgano.

La sustancia de que se construyen los tubos de órgano es el estaño, y precisamente el más puro y mejor. Allí donde el gran coste de esta materia es un obstáculo insuperable, se sustituye con madera, que generalmente se reviste de una capa de estaño. En Inglaterra se sirven además de una composicion especial, más barata, y también del cinc en los grandes tubos.

En cuanto á la forma y dimensiones de estos tubos, se han hecho muy diversas, según las exigencias de la extensión del teclado, cada vez mayor; pero además, la constitución de los registros con diferentes tubos sonoros ha determinado también construcciones muy varias. El tubo de estaño más grande es el de la iglesia de San Nicolás, en Leipzig, construído por Ladegast, que corresponde al *mí contra* más grave, $mí_2$ (diez metros de longitud), pesa tres quinta-

les métricos, mientras que el tubito más pequeño cabe perfectamente en el hueco de un dedal. Como quiera que los tubos sonoros, cilíndricos y delgados, cuando se sopla directamente sobre ellos hacen percibir una serie de sonidos armónicos que comunican á su nota fundamental un timbre característico semejante al del violín, se hallan constituídos por tubos delgados aquellos registros de los cuales se pretende un efecto como el indicado (registro de violín, violoncelo, violón, *viola di Gamba*, etc.). En cambio, los tubos anchos no producen sino muy débiles los sonidos armónicos, y su nota fundamental resalta enérgica y llena, por lo cual se utilizan dichos tubos para el registro ordinario, ó voz principal del órgano. Los tubos de forma cónica dan débiles los primeros armónicos, mientras que sobresalen con bastante claridad los quinto, sexto y séptimo, y esta acción característica está bien marcada en los registros que contienen tales tubos cónicos. De un modo semejante se utilizan y emplean en variadas combinaciones los sonidos característicos de los tubos cerrados de diferentes tamaños.

Una combinación notable en particular es la que nos ofrecen los registros llamados *mezclas*, en los cuales están reunidos tubos que no dan todos la misma nota, sino que están afinados según los armónicos de la nota fundamental correspondiente á la tecla. Junto á los tubos de embocadura de flauta se encuentran también en el órgano las formas variadas de tubos de lengüeta, que entran á constituir aquellos registros correspondientes por su timbre á la trompa, el fagot, la trompeta, la voz humana, etc., etc.; pero además se emplean también para ciertos efectos varillas de acero, campanas y otros cuerpos sonoros.

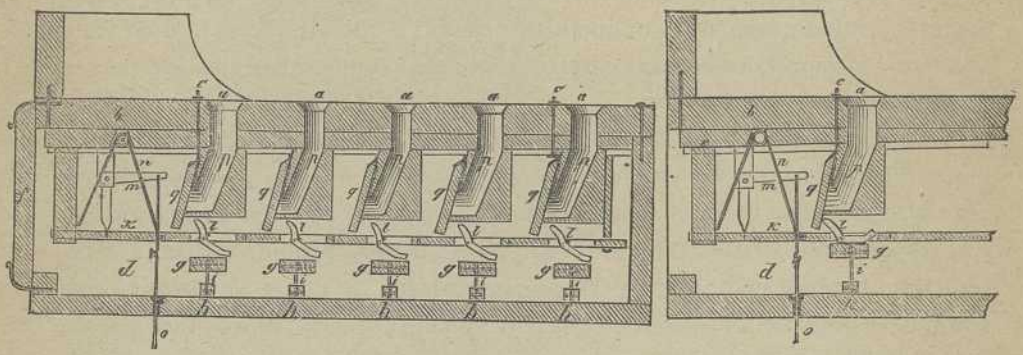
Son admirables, en primer término, los magníficos órganos que han salido de los talleres de Walcker y Compañía, en Ludwigsburgo. Esta casa, fundada por el constructor Everhard Federico Walcker, nacido en Kannstatt y fallecido en 1843, en Ludwigsburgo, llevaba construídos hasta fines del año 1841 doscientos setenta órganos, provistos de dos á cien registros, entre ellos muchos de cincuenta, sesenta y muchos más de éstos. El órgano de fama universal, existente en la catedral de Ulm, tiene cien registros, cuatro teclados manuales, dos pedales y seis mil doscientos ochenta y seis tubos sonoros, el mayor de los cuales, situado en el frente, tiene doce metros de largo y sesenta centímetros de ancho.

Entre los perfeccionamientos en virtud de los cuales ha hecho Walcker avanzar el arte de la fabricación de órganos, se señala en particular la adición de los registros de lengüeta libre, y sobre todo, del sistema de válvulas cónicas, que fué empleado en 1842 por primera vez en un órgano dedicado á Esthland.

Con arreglo á este sistema, cada tubo tiene su válvula propia, que en virtud de su tamaño proporcionado, deja pasar exactamente en el momento en que desciende la tecla, la masa de aire que satisface al objeto de producir la ento-

nación precisa, en relación con el tamaño del tubo sonoro correspondiente. Los antiguos portavientos, por el contrario, recibían su corriente total por medio de una válvula general, de la cual resultaban desigualdades en la vibración de los tubos, cuando se ponían en juego los diferentes registros.

En tiempos modernos, Randebrock ha puesto hoy en práctica una construcción, cuyo principio fué ya indicado por Röver en Stade por el año 1849, y á la cual dió el nombre de *válvulas de llave*; se distingue de los sistemas anteriores, en que hace llegar directamente el viento desde el depósito hasta los tubos sonoros, sin intermedios de cancelas ni portavientos. En las figuras 511 y 512 se ve esta construcción en corte transversal. Los canales de viento *p p* están interceptados por las válvulas *g g*, pero éstas se abren por la acción de pequeños



FIGURAS 511 y 512.—Mecanismo de llaves de Randebrock.

sopletes *l l* (llamados clavos). Estos últimos son de una vez comprimidos por medio de la barra *k*, cuando ésta se hace correr de derecha á izquierda, después que previamente se han colocado los puentecitos de los registros *g*, en la posición indicada por la fig. 512.

Si comparamos los órganos actuales, por ejemplo, el de la catedral de Ulma construído por Walcker, ó el de la iglesia de Merseburgo y el de la de San Nicolás de Leipzig, construídos por Ladegast, en Merseburgo, con los de los tiempos anteriores, aunque sea con los de la época de Silbermann, nos veremos obligados á reconocer un adelanto mucho mayor que la serie de los obtenidos durante todos los siglos pasados. El juego de las válvulas y los movimientos de las piezas correderas se verifican por la introducción de mecanismos ingeniosos y sutiles, como son las palancas neumáticas ó los llamados trakturadores eléctricos, con tal facilidad, que la ejecución en estos grandiosos y complejos instrumentos no resulta más incómoda que en un piano de concierto; pues el trabajo mecánico se ha encomendado á las corrientes galvánicas. Al bajar las teclas que cierran los circuitos se excitan pequeños electro-imanes que abren las válvulas; de este modo el teclado puede estar en cualquier sitio, y, por otra parte, puede sin dificultad aumentarse el número de los cuerpos sonoros pues-

tos en vibración por las diferentes teclas, y obtenerse esos admirables efectos que extasían y elevan nuestro espíritu.

Pero á medida que estos medios de ejecución son más abundantes, se hace también más difícil su aprovechamiento relativo en combinaciones de tanta belleza artística como es posible conseguir. Los antiguos constructores de órganos tenían bastante con dejarse llevar de un gusto delicado y un oído adecuado para completar el empirismo tradicional, fundado ciertamente en leyes naturales, las cuales no eran, sin embargo, conocidas; en lo moderno la investigación científica del timbre de los sonidos ha proporcionado un fundamento natural, sobre el cual se apoya más sencilla y seguramente la industria en cuestión, demostrándose de una manera elocuentísima la trascendencia de los estudios, que varios observadores, y muy principalmente Helmholtz, han hecho sobre este particular.

EL TERMOMETRO

Calor y frío.—Medida de la temperatura.—Termómetro de Drebbel.—Teoría del termómetro.—¿Qué es el calor?—Efectos que produce.—Capacidad calorífica.—Dilatación.—Cambios de estado físico.—Calor latente.—Meteorología y meteorógrafo.—Construcción del termómetro.—Reaumur, Fahrenheit y Celsius.—Termómetros de máxima y de mínima.—Termómetros metálicos.—El calor en la economía de la naturaleza.

«Todo el mundo conoce el termómetro, el cual parece un ser sensible que, cuando se siente desfallecer bajo el calor ó el frío, encuentra algún consuelo á sus sufrimientos dándoles expresión en forma de grados centígrados, Reaumur ó de Fahrenheit.»

Esta sentencia de Göethe no deja de tener fundamento. Hay que conceder, sin embargo, que estas comparaciones de ciertos fenómenos naturales son un

estímulo que conduce fácilmente á alejarse de la investigación de sus causas más profundas. El estudio del termómetro no entraña en modo alguno el conocimiento del *cómo* y *por qué* se verifican estos fenómenos, que afectan tan considerablemente á nuestros sentidos. Hablamos de calor y de frío, pero sin pretender someter estos conceptos á un análisis profundo, sino sólo en un sentido comparativo y superficial. Lo que á unos les parece muy caliente, á otros sólo les parece templado; y en realidad, el tránsito del calor al frío existe sólo sobre la escala del instrumento de que vamos á ocuparnos en este capítulo, y cuyo nombre le sirve de encabezamiento.

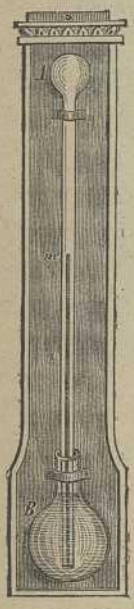


Fig 513. Termómetro de Drebbel.

El termómetro es un instrumento que, como indica su nombre, tomado del griego (θέρμη, calor; μέτρον, la medida), está destinado á medir la temperatura. Su descubrimiento se ha atribuído á muchos; pero, sin embargo, lo más fundado es admitir que el conocido lugareño holandés Cornelio Drebbel, que se había dado á conocer por varios descubrimientos mecánicos, inventó el termómetro en la primera mitad del siglo XVII. Todos los demás aparatos propuestos para el mismo objeto, ó no han pasado á la posteridad, ó bien sus referencias proceden de noticias posteriores á esta fecha, falsamente interpretadas, con objeto de vindicar para sus autores la gloria de la prioridad. Así, se dice que el inglés Roberto Fludd, de Oxford, inventó un instrumento de este género, y que el médico Sanctorius pudo medir la temperatura del cuerpo humano en 1600, por medio de un aparato especial, adecuado al objeto. También hay algunos que suponen que Galileo hubiera inventado, en 1592, un termómetro cuyo tubo estuviera abierto por un extremo y lleno de agua y de aire.

El termómetro de Drebbel (fig. 513) consistía en un tubo de cristal, *A*, abierto por un extremo, y soplado por el otro en una esferita, que se sumergía, por el extremo abierto, en un vaso, *B*, con un líquido coloreado (disolución azul de una sal de cobre). El aire se calentaba previamente en el interior de la esfera *A*, de modo que saliera en parte del tubo, y que en las condiciones normales de temperatura la presión atmosférica elevara el líquido en su interior hasta determinado punto, *m*. Una temperatura más elevada daba por resultado el descenso del líquido en el tubo, por consecuencia de la dilatación del aire en la esfera superior. Para temperaturas inferiores á la media subía, por el contrario, la columna líquida. Esta disposición recibió multitud de modificaciones. El depósito de líquido fué unido al tubo, haciendo terminar á éste, por debajo, en una esfera que recibió un pequeño orificio en su parte superior. Becher encorvó el tubo por debajo, y le llenó en parte con mercurio, sobre el cual hizo flotar una figurilla que señalaba por medio de una aguja su posición sobre una escala. Esta figura fué puesta también en comunicación con un aparato de relojería, de modo que

su descenso impulsaba á éste; y como los cambios de temperatura no cesan nunca, se tenía así un movimiento sin interrupción *(perpetuum movile physico-mechanicum)*.

La forma del termómetro usada hoy todavía, y también la más conveniente, fué introducida por la *Academia del Cimento* de Florencia. Desde entonces consistió el instrumento en un tubo vertical, ensanchado por debajo de una esfera, y cerrado por arriba, que contenía en su interior espíritu de vino, quedando en parte vacío. Esta disposición no ha sufrido hasta el día ninguna alteración especial; sólo que, en lugar de espíritu de vino, se emplean otros líquidos, particularmente el mercurio. Este último fué usado ya durante la primera mitad del siglo pasado por los tres conocidos físicos cuyos nombres van asociados á la mayor parte de los termómetros usuales; primero, por G. D. Fahrenheit (nacido en 1686 en Dantzig, fallecido en 1736 en Holanda) hacia el año 1714; después por R. A. Reaumur (nacido en 1683 en La Rochelle, Francia, y fallecido en 1757 en París), y por A. Celsius (nacido en 1701 y fallecido en 1756 en Upsala). Más adelante volveremos á ocuparnos de estos perfeccionadores del termómetro. Los tubos de los termómetros están suspendidos verticalmente, y de ordinario fijos sobre una tablilla con una escala, en la cual se indican los grados de temperatura por el estado de la columna de mercurio, variable con la temperatura misma. Ahora bien: esta división es diferente en los diversos termómetros, pero en todos ellos completamente arbitraria; de aquí que la distinción entre calor y frío que depende de aquélla, carezca de todo fundamento positivo. Para mejor inteligencia del aparato, consideramos oportuno estudiar á grandes rasgos lo más esencial sobre los efectos del calor.

Acerca de la *naturaleza del calor*, desde los tiempos más remotos se han formado los filósofos opiniones muy diferentes. Como quiera que todos los fenómenos físicos van acompañados de manifestaciones caloríficas, hace mucho tiempo que los sabios le consideraron como el agente principal de la naturaleza, y hasta en los tiempos más primitivos, los conceptos sobre la esencia de las cosas, sobre la forma y causa de sus transformaciones, y, en una palabra, sobre todo el mundo sensible, han estado subordinados al concepto formado sobre la esencia del calor; y este concepto variable ha ejercido siempre una influencia incontrastable sobre las teorías y métodos de toda la física cuando llegaba á tener general aceptación.

En la antigüedad se tomó al calor, y con él al fuego, por un elemento, una esencia sutil y etérea, diferente de la masa material de los cuerpos, sin darse más razón acerca de sus propiedades concretas. Bacón de Verulamio fué el primero que admitió como causa de los fenómenos caloríficos, ciertos movimientos ondulatorios de las últimas partículas de los cuerpos, y Newton adoptó la misma hipótesis á lo menos para aquel estado de los cuerpos en el cual entran en incandescencia, y así emiten luz por efecto del calor. Pero por otra parte se

hizo más cómodo para la explicación de ciertos fenómenos el admitir una materia calorífica especial, cuya hipótesis fué arraigándose más y más en sus sucesores y adquirió una expresión definitiva en las teorías sobre el fuego de Boerhawe y Euler. Se admitió, pues, una sustancia calorífica especial, una materia del fuego, cuyo acceso ó cuya pérdida transformaba á los cuerpos en sus diferentes estados caloríficos, y al mismo tiempo les comunicaba luego propiedades químicas; suposición que recibió una confirmación aparente en la oxidación de los metales por incandescencia ó calcinación, y reinó largo tiempo, conduciendo á teorías químicas erróneas.

Hoy no puede caber la menor duda de que el calor, lo mismo que la luz, consiste en vibraciones comunicadas á las partículas más pequeñas de los cuerpos por diferentes causas. La transformabilidad del calor en luz, y, profundizando más, la íntima conexión que hace aparecer á todos los cambios físicos como manifestaciones de una misma fuerza, nos inclina á admitir para todas ellas una forma esencial común: el movimiento ondulatorio. De aquí que cuando consideramos los cuerpos bajo el punto de vista de su manera de conducirse para con el calor, encontramos propiedades completamente análogas á las que hemos tenido ocasión de observar á propósito de la luz, de la electricidad, etc. Unos cuerpos adquieren rápidamente el calor y lo transmiten también rápidamente por toda su masa; otros, por el contrario, oponen una resistencia mayor ó menor á la propagación del mismo: *buenos* y *malos* conductores del calor respectivamente. Al primer grupo pertenecen los metales, el vidrio, la porcelana, las rocas, etc.; al segundo el aire seco, la madera, el cuero, fieltro, los tejidos de hilo, etc. El calor se transmite de unos á otros cuerpos, no sólo por el contacto directo de éstos, sino que es radiado también á través del espacio vacío, de modo que el éter propaga las ondas caloríficas. Los rayos caloríficos se reflejan y refractan como los rayos luminosos, según demuestran los espejos ustorios y las lentes convergentes.

EFECTOS DEL CALOR

Estos son sólo posibles cuando cuerpos desigualmente calientes se hallan en comunicación recíproca. Podemos admitir que los rayos caloríficos marchan siempre del cuerpo más caliente al más frío. Al llegar al equilibrio final, poseen los cuerpos una temperatura intermedia entre sus temperaturas iniciadas; pero según la masa y la cualidad de ellos, las cantidades de calor ganadas ó perdidas por cada uno no son iguales. Supongamos, por ejemplo, cierta cantidad de calor capaz de producir, sobre un kilogramo de agua, una elevación de temperatura de diez grados; para calentar los mismos diez grados un kilogramo de mercurio, bastaría tan sólo la trigésima parte de aquella cantidad de calor.

Pues bien; al enfriarse ambos líquidos dan también, naturalmente, tanto calor como habían absorbido para calentarse, y el efecto total es también treinta veces menor para el mercurio que para el agua. Esta facultad de absorber calor se llama capacidad calorífica. La capacidad calorífica del agua es, pues, treinta veces mayor que la del mercurio.

El calor actúa en cierto modo contra la cohesión, puesto que separa los átomos entre sí. Con esto se aumenta el volumen de los cuerpos, y esta acción se suele expresar en forma del principio general frecuentemente citado; el calor dilata los cuerpos, el frío los contrae; en cuya expresión se sobrentiende en el primer caso un incremento de calor, y en el segundo una pérdida de él. Si calentamos una esfera de metal que pasa justamente á través de un anillo á la temperatura ordinaria, aumenta su diámetro, de suerte que el anillo no le deja ya pasar por él hasta que por el enfriamiento se reducen de nuevo sus dimensiones; y cuando todo el exceso de calor ha sido radiado, cae la bola por sí sola á través del anillo, como antes de calentarla.

Del mismo modo que los cuerpos sólidos, sufren también los líquidos y gases esta influencia dilatante del calor, y la reciben en tanta mayor proporción, cuanto más movibles son sus átomos. De aquí que los gases crecen extraordinariamente de volumen, en lo cual se funda la disposición del termómetro de Drebbel. El termómetro de alcohol de la Academia de Florencia, y nuestro termómetro ordinario de mercurio, nos muestran la dilatación de los líquidos, y en los cambios de volumen de los cuerpos sólidos se fundan los *pirómetros*, que sirven para medir las temperaturas elevadas; por ejemplo, para vigilar las reacciones que se producen en la fabricación de la porcelana, etc., etc.

A más de estas acciones sobre el volumen de los cuerpos, tienen importancia muy especial, por lo sorprendentes y por su trascendencia para la vida práctica, las que se traducen por cambios en el estado de agregación de los cuerpos. Un trozo de hielo calentado, se funde y se convierte en agua. Al mismo tiempo se conserva constante su temperatura en el mismo grado, hasta que se haya fundido todo el hielo y por más que se le suministre continuamente muchas cantidades de calor. Cuando todo el hielo se ha fundido, comienza á ascender su temperatura de nuevo, hasta que se inicia la transformación del agua líquida en vapor de agua. El agua entra entonces en ebullición por las burbujas de vapor que se desarrollan en su seno, y conserva esta temperatura en tanto que haya agua líquida.

La observación que hemos podido hacer igualmente al fundirse el hielo y al hervir el agua, es que el calor suministrado á la masa se ha invertido exclusivamente en conducir al cuerpo del uno al otro estado de agregación, mientras restaba hielo sólido, ó agua líquida: esta misma observación podría ser comprobada sobre un gran número de cuerpos. En todos ellos, como en el mercurio, cinc, azufre, fósforo, etc., que permiten un cambio semejante, tiene lugar una

absorción de calor, el cual permanece en el cuerpo, inapreciable para toda otra percepción, en tanto que dura el nuevo estado. Si quisiéramos emplear una tosca imagen, diríamos que el agua líquida era una combinación de hielo y calor, é igualmente el vapor de agua una combinación de agua líquida y calor. Este calor, contenido en los cuerpos de un modo imperceptible, y llamado calor latente, vuelve á quedar libre y á ser apreciable cuando los cuerpos, retrocediendo, pasan del estado gaseoso al líquido, ó del líquido al sólido. Cuerpos que se vaporizan rápidamente, ó, lo que es lo mismo, pasan rápidamente del estado líquido al gaseoso, absorben con este motivo grandes cantidades de calor, y sustrayendo éste de los cuerpos inmediatos, pueden así enfriarles considerablemente.

Por este medio podemos congelar el agua, colocando un vaso lleno de ella bajo el recipiente de una máquina neumática, y mediante repetidos golpes de émbolo, alejamos rápidamente el vapor de agua á medida que se produce, de modo que no cese su formación en la superficie del líquido. Podemos sentir sobre nuestra mano la acción refrigerante del alcohol que se evapora rápidamente, y sabemos que en tiempo de grandes calores se rocían con agua los suelos de nuestras habitaciones, con objeto de dar ocasión al calor excesivo para enlazarse con aquélla, de modo que se nos haga imperceptible, convirtiéndola en vapor. Recíprocamente aparece el calor puesto en libertad en el cambio opuesto del estado de agregación, cuando el vapor de agua flotante en la atmósfera se condensa en gotitas ó se convierte en vesículas líquidas ó agujas de hielo, suspendidas en el aire, en forma de nubes.

El cambio de los estados de agregación, ó sea la transformación de cuerpos sólidos en líquidos, y de líquidos en gases, es, sin duda, el efecto más transcendental del calor. Él hace posible por toda la superficie de la tierra la vida orgánica, tal como existe actualmente. La alternativa de las estaciones, toda la serie de fenómenos meteorológicos, los crepúsculos matutino y vespertino, las nubes con sus sombras, las tormentas, la lluvia, etc., dependen de que el vapor de agua está contenido en el aire, y, según el grado de calor, su cantidad resulta excesiva, ó bien no basta para saturarle.

Pero ¿qué es el vapor? He aquí el primer asunto de que tenemos que tratar. En parte ya hemos dado la respuesta á esta pregunta, pues conocemos la tendencia de muchos líquidos á dilatarse continuamente, y de dicho estado líquido pasar al gaseoso. Estos gases son los llamados vapores, y no hay que confundirlos con la niebla; pues mientras que esta última consta de gotitas aisladas, flotantes en el aire, y forman nubes visibles, aquéllos son completamente homogéneos en toda su masa, incoloros y transparentes. Sólo algunos pocos cuerpos forman vapores coloreados, pero el vapor de agua no puede reconocerse con la vista en el aire ordinario; en cuanto se hace visible, deja de ser vapor y se convierte en nube ó niebla. Si se deja salir vapor por la válvula de seguri-

dad de una caldera, sólo es percibido por nuestra vista en forma de humo, á cierta distancia (próximamente un centímetro de la boca del tubo); inmediatamente, junto á esta boca, se manifiesta un espacio claro y transparente, ocupado, sin embargo, por el vapor propiamente dicho, antes de condensarse en forma de humos ó niebla.

El vapor de agua está contenido siempre en el aire; pero como que se condensa en agua líquida por la acción del frío, de aquí que el aire frío sólo puede contener de él menos que el caliente. A cada grado de temperatura corresponde una cierta cantidad de vapor, con la cual el aire está *saturado*.

Si se produce más vapor, ó bien se enfría el aire saturado, se condensa el exceso (nieblas y nubes); pero hasta llegar al estado de saturación, ninguna resistencia se opone á la tendencia de los líquidos á evaporarse. Un viento seco, como el que suele llegarnos de los desiertos de África, absorbe ávidamente la humedad del suelo y de las plantas, y determina, por lo regular, un tiempo despejado y seco. Por el contrario, el viento cálido SO., que se ha saturado de vapor de agua sobre el Atlántico, abandona su excedente en nuestras regiones más frías y produce generalmente lluvias. La determinación de la riqueza del aire en vapor de agua es, por tanto, uno de los problemas más importantes de la meteorología. Si el aire tiene menos vapor de agua del que puede admitir por su temperatura, es seco; si tiene más, es húmedo. Ahora bien; el reconocimiento y la medida de las diferentes gradaciones ha dado origen á la invención de instrumentos especiales, llamados

HIGRÓMETROS Ó HIGRÓSCOPOS

Existen en la naturaleza orgánica una porción de cuerpos que poseen la cualidad de condensar en sus poros el vapor de agua existente en el aire y aumentar con esto de volumen. Los pelos, la ballena, la pluma, la madera, la paja y otros cuerpos análogos se llaman, en virtud de esta propiedad, cuerpos higroscópicos. En la propiedad de atraer el agua se fundan esos aparatos con los cuales se reconoce el estado de humedad del aire, y hasta cierto punto los cambios del tiempo con relación á este meteoro. Todos conocen esos higróscopos que se construyen á miles en Nurenberg, y en los cuales hay una cuerda de tripa suspendida verticalmente en el interior de una pequeña casilla, y que va unida á un disco de cartón horizontal, sobre el cual se hallan colocadas dos figurillas, un hombre y una mujer. Cuando por consecuencia del aumento de la humedad se arrolla la cuerda en cierto sentido, se asoma el hombrecillo á su ventana con su paraguas; cuando el aire se hace más seco, por el contrario, se desarrolla la cuerda, y el disco hace salir por la otra á la dama con el abanico.

Otros aparatos análogos se construyen en gran número con diferentes for-

mas y materiales los más diversos. Sin embargo, ninguno de ellos puede considerarse digno de valor científico real, y por tanto basta con mencionarlos ligeramente. El primer higrómetro que tiene condiciones de aparato de medida fué construído por Saussure. Consiste esencialmente en un largo cabello humano, *c* (fig. 514), hervido con potasa y suspendido por el extremo superior á un punto fijo, y por el inferior á la periferia de una polea, *o*. Cuando el cabello se acorta por el aumento de la humedad del aire, la polea, y la aguja que va á ella unida, verifican una rotación en sentido correspondiente. Si el cabello se relaja, un pequeño contrapeso, *p*, cuyo hilo se apoya también en la polea y mantiene siempre tenso el cabello, obliga á la polea y á la aguja á girar en sentido contrario. Para encontrar los dos puntos extremos de la escala recorridos por la aguja se introduce el instrumento primeramente bajo una campana, en la cual el aire se ha desecado por completo, mediante procedimientos químicos, señalando con el cero el punto donde se detiene la aguja en estas condiciones de la extrema sequedad. El grado de humedad máxima se obtiene bajo otra campana cuyo interior está bañado continuamente con agua destilada. El intervalo entre ambos puntos extremos se divide en cien partes iguales, ó grados. Semejante á éste es el higrómetro de Deluc, en el cual, en lugar del cabello, se utiliza un trocito de ballena.

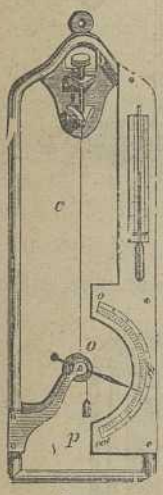


FIG. 514. Higrómetro de cabello, de Saussure.

Pero todavía los instrumentos de esta clase no son verdaderos higrómetros, es decir, aparatos medidores del estado higrométrico, pues sólo muestran, y esto irregularmente, los cambios, sin decir el valor numérico de dicho estado. La ciencia de la meteorología necesitó instrumentos que dieran directamente el agua contenida en el aire; que nos enseñaran cuántas partes de agua en peso están contenidas en un metro cúbico de aire y en un momento determinado. Para conseguir esto era preciso antes conocer más exactamente la naturaleza de las nieblas, ó humos; era preciso saber, sobre todo, que el aire sólo puede admitir una cierta cantidad de humedad á cada grado de temperatura. Si se pone un cuerpo sólido frío en contacto de un aire caliente, se empaña, según decimos; esto es, se recubre con una tenue capa de rocío. Este rocío es aquella porción de agua que ha tenido que abandonar el aire que rodea el cuerpo y que ha sido enfriado por él. Por efecto de este enfriamiento, cuanto más húmedo es el aire, tanto más pronto produce en él el rocío, el cual llega siempre á producirse, aun en el aire más seco al parecer, con tal que el cuerpo se enfríe suficientemente. Ahora bien; si se averigua hasta qué temperatura hay que enfriar un cuerpo para que se empañe, y á qué temperatura desaparece el rocío, la media entre ambas temperaturas nos da el llamado punto de rocío; esto es, el grado de temperatura en el cual el aire estaría precisamente saturado de hu-

medad. En la determinación de este punto se funda el higrómetro de Daniell. Consiste en un tubo encorvado que termina en dos esferitas (fig. 515). La esfera *a* está en parte dorada ó platinada, con objeto de poder reconocer mejor el rocío; contiene en su interior un pequeño termómetro, y está á medio llenar de éter. La esfera *b* está envuelta por un trozo de lienzo fino. Todo el aparato está vacío de aire y lleno de éter. Ahora bien; si se dejan caer algunas gotas de éter sobre la esfera *b*, la evaporación rápida de aquél enfría á ésta, se condensan en el interior de *b* los vapores, disminuye su tensión y surgen nuevos vapores de la esfera *a*. Esta última va también enfriándose sucesivamente por consecuencia de esta formación de vapores, de suerte que, por último, aparece en su superficie exterior la capa de rocío que la empaña. El termómetro situado en el interior de la esfera nos dice la temperatura á que tiene esto lugar; otro termómetro suspendido exteriormente sobre el pie del aparato, muestra la temperatura real del aire atmosférico. Ahora, por la diferencia entre ambas temperaturas se puede calcular el estado higrométrico del aire en el momento de la experiencia, teniendo en cuenta la altura del barómetro. Con objeto de evitar la repetición de los cálculos, se utilizan de ordinario tablas, por medio de las cuales se consigue el mismo resultado sin gran trabajo.

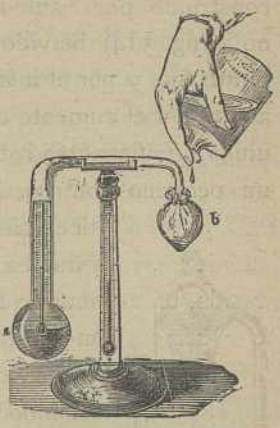


FIG. 515.—Higrómetro de Daniell.

Un instrumento semejante, y muy usado, es el psicrómetro de August (fig. 516). Consiste en dos termómetros iguales, suspendidos el uno al lado del otro; la esfera del uno está envuelta en un trapito que pende sobre un vaso con agua, de modo que se conserva constantemente húmedo. Si el aire estuviera completamente saturado de humedad, no podría ya evaporarse agua alguna, y, por consiguiente, tampoco emplearse en ello ninguna cantidad de calor; en tal caso, ambos termómetros señalarían la misma temperatura. Pero si el aire admite todavía vapor de agua, el termómetro húmedo desciende tanto más rápida y considerablemente, cuanto más distante se halla la atmósfera, en aquel punto, de su estado de saturación. Pues bien; por la diferencia entre ambas columnas termométricas puede determinarse el estado higrométrico del aire.

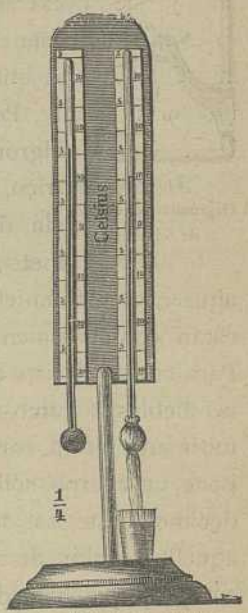


FIG. 516.—Psicrómetro de August.

METEOROLOGÍA Y METEORÓGRAFO

Los cambios en el estado de nuestra atmósfera, por lo menos en aquellos puntos que tienen una influencia directa sobre el tiempo, descansan casi por completo en las variaciones de la temperatura, en el reposo ó movimiento del aire, y en la posibilidad de recibir en su seno vapores de agua ó desprender agua condensada. Por efecto de estos cambios se originan alteraciones locales en la presión y el estado higrométrico del aire; y como este elemento está dotado de una movilidad tan grande y transmite en todas direcciones cualquier presión, tendiendo hacia el equilibrio en todas sus partes, aquellas diferencias ó perturbaciones en el estado de equilibrio dan origen á lo que llamamos vientos, lluvias, nieves, nubes, etc. El calor obra en contra de la presión, por cuanto dilata el aire; pero, por otra parte, favoreciendo la evaporación del agua, contribuye á aumentar la presión. En esta doble acción encontramos ya una causa suficiente para alteraciones de una multiplicidad infinita, del mismo modo que la rotación de la tierra alrededor de su eje introduce un factor todavía más importante y que impide un estado permanente de equilibrio en la atmósfera; pues no solamente caen de continuo sobre puntos distintos los rayos de calor emitidos por el sol hacia la tierra, y cuyos rayos son ya una causa de movimiento en el aire, sino que también la disminución de la velocidad rotatoria desde el ecuador hacia los polos ejerce asimismo una influencia considerable sobre las corrientes no interrumpidas que se originan entre los polos y el ecuador por efecto del calentamiento desigual. Los cambios de posición de la tierra respecto al sol, que se repiten periódicamente, van, pues, acompañados, como es natural, de ciertos fenómenos atmosféricos, cuya sucesión en conjunto tiene lugar con gran regularidad.

Las estaciones del año, el día y la noche se reproducen siempre con sus caracteres generales, relativos á las condiciones variables de temperatura. Y para un planeta que poseyera una forma esférica matemáticamente exacta y una distribución estrictamente simétrica entre la superficie cubierta de agua y la terrestre ó seca, en semejante tierra se repetirían, en una sucesión exactamente regular, los diferentes estados del océano aéreo. Pero en las condiciones reales de nuestro planeta las cosas suceden de muy distinto modo. Las circunstancias locales y temporales que ejercen influencia sobre la manera de obrar del calor solar son de tan diversas formas, que los resultados posibles en el tiempo, alcanzan una variedad infinita.

Llamamos, en efecto, tiempo ó clima al conjunto de los estados atmosféricos que reinan durante un intervalo de tiempo mayor ó menor, en determinada comarca. La rama especial de las ciencias físicas que se ocupa en la investigación

de los climas y cuanto á ellos se refiere, es decir, del conjunto de fenómenos que tienen lugar en la atmósfera, constituye la Meteorología.

De lo dicho debemos deducir que los termómetros, barómetros y psicrómetros son los instrumentos principales para las observaciones meteorológicas; á ellos se agregan los pluviómetros, para determinar la cantidad de agua condensada depositada en un cierto espacio y durante un cierto tiempo; las veletas para la dirección del viento, los anemómetros para medir su intensidad, los electróscopos y electrómetros para hallar el estado eléctrico del aire, los ozonómetros, y otros varios instrumentos.

Desde hace mucho tiempo es conocida la influencia de los climas sobre sus habitantes, no sólo sobre los hombres en particular, sino sobre las condiciones de comarcas y pueblos enteros. Los últimos años han demostrado hasta qué extremo tan hórrible pueden llegar las devastaciones por inundación; pero prescindiendo de esta clase de acontecimientos, existen objetos importantísimos de la industria humana, cuyos resultados dependen de lo favorable ó desfavorable del tiempo. La explotación de la tierra vegetal, la viticultura, la caza, la navegación y la pesca en primer término, así como toda la serie de industrias que se apoyan en éstas ó que toman como primeras materias las ofrecidas por las primeras, como la molienda de granos, etc., están en el caso citado.

Los labradores, los molineros en los que el factor de su trabajo son los molinos de viento, y los navegantes, han dedicado, por lo mismo, siempre gran atención al presagio del tiempo. De ellos proceden todas esas innumerables reglas sobre el particular, generalmente expresadas en forma axiomática, y que constituían toda la meteorología anterior al siglo XIX. Pero, por lo regular, estos principios empíricos, establecidos por experiencia y sólo aceptables, en el caso más favorable, para condiciones locales, carecen de toda relación con las causas finales de los fenómenos; cuyas causas, tratándose de los atmosféricos, sólo pueden encontrarse por la investigación del estado general de la atmósfera.

Generalmente no existe tal investigación en las reglas vulgares sobre el tiempo, como, por ejemplo, las profecías de centenares de años de los llamados Calendarios, que son un absurdo. Pero en todo caso, la Meteorología, la física de la atmósfera, no tiene nada de común con esto; para ella los fenómenos existen sólo como acciones de fuerzas cuya naturaleza, intensidad y sentido trata de determinar por métodos adecuados, para constituir así una base absoluta, un material de hechos comparables, en virtud de los cuales puedan discutirse racionalmente los fenómenos que han de tener lugar más adelante, y deducir de esta discusión consecuencias sobre los resultados probables. De todos modos, como que estos resultados, ó sea el tiempo, depende de la acción combinada de factores tan diversos, y en tan diverso número, cuya apreciación cuantitativa por do quiera es absolutamente imposible, sólo podemos hablar de consecuencias probables, que es lo que puede alcanzar la Meteorología en cuanto á la previsión

del tiempo. Con todo, las ventajas prácticas que ofrece el progreso de la Meteorología como ciencia, son sumamente considerables. Para demostrar esto no necesitamos más que mencionar que por la investigación de las leyes del viento, por el reconocimiento de que el huracán es una corriente giratoria alrededor de un punto central, que avanza con cierta velocidad, se ha dado á los navegantes la posibilidad de eludir esa región peligrosa, dirigiendo el buque de modo que se aleje de aquel centro en cierta dirección radial. Para alcanzar la posibilidad de ver, en conjunto, el estado de la atmósfera, Alejandro Humboldt fué el primero en dirigir excitaciones á fin de conseguir el establecimiento de una red de estaciones meteorológicas, cuyas mallas se van haciendo cada vez más espesas por el establecimiento de nuevos puntos de observación. Todos los Estados civilizados han contribuído á esta empresa, y de tiempo en tiempo se han celebrado Congresos meteorológicos, en los cuales se han discutido las cuestiones relativas á los métodos de observación, así como á la apreciación de los resultados obtenidos. Para la designación de los fenómenos meteorológicos se ha introducido una especie de vocabulario gráfico, que representamos en la fig. 518.

FIG. 517.—Anemómetro de la estación para observar las tempestades, sobre el *Santis*.

No hay para qué decir que los procedimientos por los cuales se miden estos fenómenos meteorológicos coinciden en todas las estaciones, y esta coincidencia, no sólo se refiere á la disposición de los instrumentos, sino también especialmente á las horas fijas del día en que se registran los valores observados. En efecto; la observación no suele ser continua, sino que basta para los principales elementos atmosféricos, como son la temperatura, la presión y la humedad, hacer observaciones á ciertas horas del día, con las cuales se obtiene, con suficiente exactitud, los valores medios. Por la reunión de los datos comunicado

por las diferentes estaciones, se obtiene una imagen sintética, aproximada, del estado atmosférico correspondiente á todo el territorio observado. Ahora bien; para deducir consecuencias prácticas inmediatas, es necesario poder apreciar instantáneamente este conjunto, para que resalten ó se desprendan con oportunidad las acciones de causas separadas entre sí por grandes distancias, sobre nuestro propio clima. Para este fin están unidas telegráficamente dichas estaciones con un punto central, que en España es el Observatorio astronómico y me-

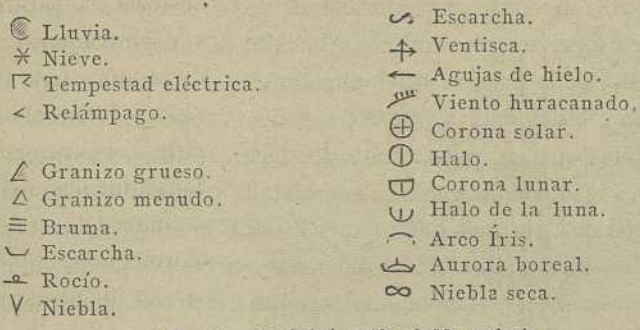


FIG. 518.—Vocabulario gráfico de Meteorología.

teorológico de Madrid, al cual comunican aquéllas inmediatamente sus observaciones, y donde son todas coleccionadas y publicadas.

Pero con sólo la observación á ciertas horas no se adquiere nunca una idea completa sobre el estado atmosférico y sus variaciones. De aquí que desde hace mucho tiempo se ha intentado que los instrumentos señalen por sí mismos la marcha casi incesante de sus indicaciones, y se han propuesto para este objeto diferentes medios, como, por ejemplo, una punta movida por el instrumento, cuya posición se señala sobre una tira de papel que pasa lentamente por delante de ella, ó bien la obtención de imágenes fotográficas de una columna movible sobre un papel preparado al efecto, y también pasando lentamente en presencia del instrumento mismo.

Imaginemos, por ejemplo, un corcho flotante sobre la superficie del mercurio en la rama abierta y más corta de un barómetro de sifón, cuya superficie se eleva y desciende de un modo análogo que en la rama larga, é imaginemos que el corcho lleve unido un lapicero, el cual señale sobre una tira de papel que corre delante de él: veremos expresados los cambios de altura de la columna de mercurio en una curva continua, cuyos puntos más altos corresponderán á las alturas barométricas mínimas, y recíprocamente. También podría haberse hecho pasar directamente por detrás de la superficie del mercurio un papel preparado fotográficamente, que sería ennegrecido por la luz en todos los puntos en que ésta no fuera interceptada por el mercurio del tubo, etc., etc.

El célebre astrónomo de Roma, Padre Secchi, construyó de un modo in-

geniosísimo un instrumento que, puesto en movimiento por un aparato de relojería, dibujaba en forma de curvas, y por el procedimiento conocido, todos los fenómenos meteorológicos. Este es el *meteorógrafo* automático, que en la última Exposición celebrada en París excitó la admiración general; desde entonces ha sido instalado en muchos Observatorios cual obrero infatigable. Una de las caras de este aparato (bastante voluminoso) mostraba, además del mecanismo de relojería, los cuadros gráficos de la altura barométrica, del termómetro seco, del termómetro húmedo y las horas que había llovido, así como la cantidad de esta lluvia. La otra cara mostraba las indicaciones de la fuerza del viento y su dirección; un segundo termómetro para medir el calor de los rayos solares, y un comprobante del valor de la presión y del pluviómetro. Los cuadros de la primera cara corrían durante dos días y medio; los de la segunda durante diez días; unos y otros tenían que ser, pues, renovados después de este respectivo espacio de tiempo. Pero durante el intervalo se completaba por sí mismo la imagen de los procesos atmosféricos, sin más que un mecanismo de relojería sumamente ingenioso, una combinación de numerosas palancas y engranajes, realizada con la mayor perfección mecánica, y las manifestaciones electro-magnéticas de una pila galvánica, por medio de las cuales eran puestas en acción telegráficamente las piezas indicadoras.

CONSTRUCCIÓN DEL TERMÓMETRO

La primera y más importante precaución que hay que tomar para la construcción de un termómetro es la elección de un tubo apropiado, de un diámetro constante en su interior, lo cual es raro encontrar, por efecto del método especial de obtención de dichos tubos. Este tubo se funde por un extremo mediante la lámpara de esmaltar, soplando en dicho extremo una esfera, y se deja abierto por el otro extremo. Inmediatamente se expulsa de su interior, calentándolo, toda la humedad que pudiera existir aún, y después se sumerge el extremo abierto en un vaso de mercurio. Al enfriarse el tubo y la esfera, el aire contenido en su interior se reduce á menor volumen y la presión atmosférica obliga al mercurio á penetrar en el espacio enrarecido, así engendrado. De este modo no se llena por completo la esfera; pero tampoco es esto necesario, pues con objeto de expulsar el último resto de aire, conviene invertir el tubo y calentar en su interior el mercurio, hasta tanto que sus vapores llenen toda la capacidad del aparato, y entonces se coloca de nuevo el extremo abierto dentro del mercurio. Fácilmente puede presumirse cuánto mercurio se debe dejar entrar para poder mejor proceder á la formación de la escala. Se deja un poco más del necesario, pues este exceso se hace salir en forma de vapor por el extremo abierto, entre tanto que se funde y cierra éste para tener más seguridad de que no subsiste en el interior la menor porción de aire. Al enfriarse el aparato, el mercurio se con-

densa y contrae en la esfera y deja sobre sí, en el tubo, un espacio vacío, en el cual se dilata libremente al elevarse la temperatura. Con objeto de determinar los dos puntos fijos de su escala, se coloca el tubo termométrico así preparado, primeramente en una mezcla de agua y hielo, dejándolo allí hasta tanto que la columna de mercurio permanezca inmóvil en su interior (fig. 519); este punto se señala como temperatura de *fusión del hielo*, ó 0°. A continuación se somete el tubo, durante algún tiempo, á la acción de los vapores de agua hirviendo, y se señala la altura de la columna de mercurio como correspondiente á la temperatura de *ebullición del agua* (figura 520). El espacio entre estos dos puntos se divide en partes ó grados, que pueden ser ciento, según Celsius (el físico sueco antes citado), ú ochenta, según el francés Reaumur; de modo que señalando siempre con cero la temperatura del hielo, la de ebullición del agua estará representada por 80° Reaumur ó 100° Celsius. En virtud de lo dicho, 4° Reaumur equivale á 5° Celsius, cuya relación permite pasar de una á otra escala. Los grados de calor sobre la temperatura de fusión del hielo se designan como positivos con el signo de +; los llamados grados de frío, ó sea por debajo de aquella temperatura, como negativos, con el signo —.

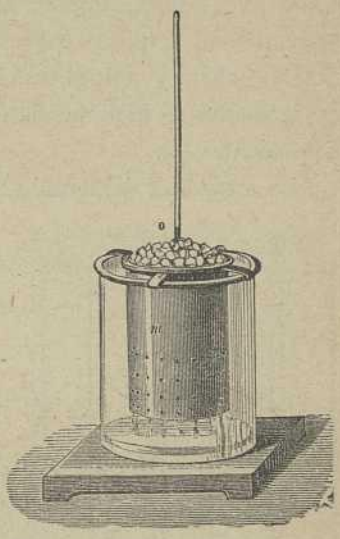


FIG. 519.—Determinación del cero de la escala termométrica.

Algo más incómoda es la graduación de Fahrenheit, que principalmente está en uso en Inglaterra, donde este sabio vivió largo tiempo, y además casi exclusivamente en el Norte de América. Fahrenheit puso el cero para su termómetro, no en la temperatura de fusión del hielo, sino en la que él creía la más baja posible, y que obtuvo con una mezcla refrigerante especial. La longitud del tubo desde este punto hasta el correspondiente á la ebullición del agua, la dividió en doscientas doce partes; no distinguió, pues, grados de calor, ó positivos, ni grados de frío, ó negativos; en su escala, el punto de fusión del hielo corresponde á los 32°, y, por consiguiente, los 180° de Fahrenheit, desde los 32 hasta los 212, equivalen á los 80° de Reaumur y á los 100° de Celsius, quedando, por consiguiente, expresada la relación entre las

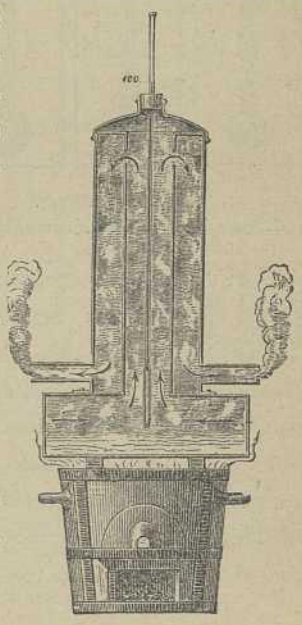
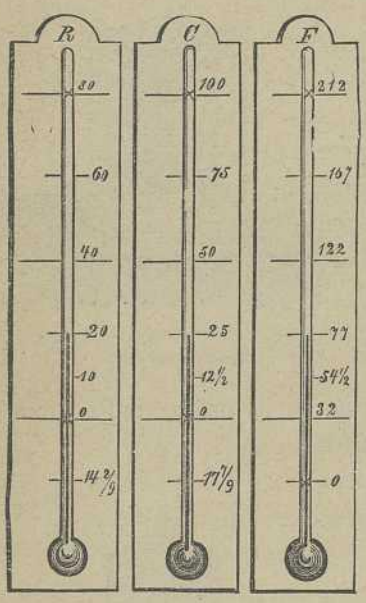


FIG. 520.—Determinación del punto de ebullición del agua en la escala termométrica.

tres escalas por los cocientes 4 : 5 : 9. Pero cuando se quiere referir á las escalas de Reaumur ó de Celsius un número de grados según Fahrenheit, que es como se dan generalmente las determinaciones de temperaturas inglesas y norteamericanas, hay que comenzar por restar treinta y dos del número de grados de Fahrenheit, y multiplicar el resto, bien por la fracción $^4/_9$ para pasar á grados de Reaumur, ó bien por la fracción $^5/_9$, lo que nos da los grados centígrados equivalentes (1).

La armadura del termómetro puede ser muy diferente, según los fines de cada caso. Aquellos instrumentos que deben servir para determinar temperaturas de líquidos, están contenidos en tubos de vidrio cerrados, los cuales, cuando no llevan grabada directamente la escala sobre el vidrio, la llevan escrita en una tira de papel, sujeta en su interior.



FIGURAS 521 á 523.
Comparación de las escalas termométricas.

Los mejores termómetros son, como todos los aparatos físicos de precisión, instrumentos bastante costosos, no sólo porque su construcción ofrece grandes dificultades, aparte de un gran cuidado y exactitud, sino también porque la elección y reconocimiento del tubo es muy dificultosa y ocupa mucho tiempo, pues ya hemos dicho que los tubos de constitución homogénea, cilíndricos y del mismo diámetro en toda su longitud, son muy raros, y no se tiene á mano ordinariamente su obtención. Con el tiempo varían también estos instrumentos, pues el vidrio se contrae, aunque lentamente, y de aquí que se eleve el cero, y con él todos los demás grados de la columna de mercurio. Para observaciones exactas hay que tener en cuenta estas circunstancias, y corregir por el cálculo los errores; pero, sobre todo, conviene comprobar de tiempo en tiempo el instrumento, sumergiéndole de nuevo en hielo fundido y en agua hirviendo. Los mejores instrumentos alemanes son los construídos por Gruner, en Berlín; pero el precio de un termómetro normal alcanza con facilidad el valor de ciento diez pesetas, ó más, mientras que un termómetro ordinario se compra por sólo una peseta. Un buen termómetro puede servir para corregir otros muchos.

(1) Así, por ejemplo, en las noticias sobre el tiempo, procedentes de un periódico inglés, se lee que «en el verano de 1884 se tuvo en aquel país una temperatura extremadamente elevada de 104º Fahrenheit, á la sombra.» Según las reglas dadas (104—32=72; $72 \times {}^4/_9 = 32$, y $72 \times {}^5/_9 = 40$): esta temperatura equivale, pues, á 32º Reaumur y 40º centígrados.

Los límites de la escala termométrica son más ó menos extensos, según el uso á que se destina el aparato; y mientras los termómetros para uso doméstico deben señalar, por ejemplo, tanto la temperatura de ebullición del agua como las temperaturas más bajas del invierno, las escalas de los termómetros de que se sirven los médicos para la determinación de la temperatura del cuerpo humano sólo tienen que abarcar unos pocos grados por encima y por debajo de la temperatura media (próximamente 36° centígrados.)

Para hallar por medio del termómetro la temperatura de un cuerpo, es necesario que éste envuelva á la esfera y á una parte del tubo de aquél, adaptándose lo más exactamente posible y á través de una superficie suficientemente grande, hasta que el mercurio no suba ni baje más. Al mismo tiempo es preciso que no actúe ningún foco perturbador de calor; de aquí que en investigaciones delicadas no debe aproximarse el observador mucho al aparato. Para averiguar la temperatura del aire se coloca el termómetro á la sombra, pero no expuesto á las corrientes.

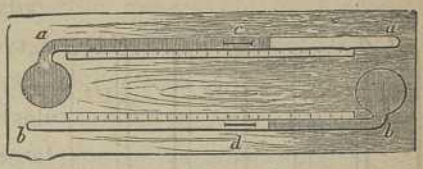


FIG. 524.—Termómetros de máxima y de mínima.

Para ciertos fines de observación se han construído diferentes termómetros, llamados registradores, es decir, dispuestos de tal modo que permitan reconocer después el valor mínimo ó máximo que han señalado desde la útima observación. Se llama también á estos termómetros de máxima y de mínima. El más conocido es el de Rutheford (fig. 524). Dos termómetros, uno de mercurio para máximas y otro de alcohol para mínimas, se hallan fijos sobre una tablilla en posición horizontal; en el primero se halla un pequeño cilindro de hierro, que el mercurio empuja ante sí al dilatarse, pero no influye en nada sobre él al contraerse; queda así señalada la posición extrema del mercurio, hasta que, mediante un imán, se haga retroceder al índice de hierro, dejándolo en contacto con el extremo de la columna. En el termómetro de alcohol existe también un índice ligero; pero éste es de vidrio, y tiene una cabecita, ó sea un ensanchamiento en cada extremo. En tanto que este índice está rodeado por todas partes de alcohol, permanece en reposo, por más que el alcohol avance; pero cuando se contrae el líquido pasando el extremo de la columna por donde había quedado el índice en el primer caso, éste es arrastrado por ella, pues no puede atravesar la película determinada por la tensión superficial en el límite de la masa de alcohol. El punto donde la cabecita anterior del índice de vidrio queda estacionaria, muestra la temperatura mínima experimentada entretanto por el aparato.

La circunstancia de que no todos los metales se dilatan ó contraen homogéneamente, sino que los unos lo hacen más y los otros menos, ha conducido á la construcción de un termómetro metálico. El principio fundamental de éste estriba en que cuando se reunen diferentes láminas metálicas en el sentido de su

longitud, bien soldándolas, bien por medio de tornillos, el conjunto así formado no puede conservar siempre la misma forma, sino que con los cambios de temperatura se dobla ó se desdobla. Si se han unido, por ejemplo, un barra de cinc y otra de cobre, formando una barra recta á la temperatura media, esta doble barra se encorvará al ascender la temperatura, de suerte que el cinc, que es el más dilatable, venga á formar la cara exterior del arco. Lo contrario sucede por el enfriamiento, pues acortándose el cinc más que el cobre, es éste último el que queda al exterior, correspondiéndole el mayor radio. Las oscilaciones del extremo libre de la barra pueden utilizarse para hacer girar una aguja y señalar las divisiones de una escala.

El termómetro metálico de Breguet consiste en una cinta metálica en espiral, que está fija á un pie por su extremo superior, del cual pende libremente. La cinta metálica está compuesta de tres capas unidas entre sí: una de plata, otra de oro y otra de platino; la media de oro sirve sólo para enlazar á las otras dos. La plata y el platino se conducen de muy distinto modo por la acción del calor, y esto deja sospechar que el extremo inferior libre de la espiral no permanecerá siempre en un mismo punto, sino que se arrollará ó desenrrollará continuamente en más ó en menos. Ahora bien; estas rotaciones son transmitidas á una larga aguja, que sirve como indicador sobre un arco graduado. Dando á la aguja una gran longitud, puede utilizarse una de estas láminas metálicas, formadas por dos metales distintos, soldados en el sentido de su longitud, para hacer visibles pequeñas diferencias de temperatura; por ejemplo, desde una torre, mediante una esfera como la de un reloj.

EL CALOR EN LA ECONOMÍA DE LA NATURALEZA

Cuando penetramos en el interior de nuestra tierra, observamos un crecimiento constante de la temperatura terrestre, que alcanza á un grado centígrado por cada treinta metros próximamente. Las aguas de los pozos artesianos que surgen de las profundidades más considerables, muestran igual elevación en su temperatura, y todo esto hace suponer que la causa de los manantiales más calientes y del estado de fusión de las lavas volcánicas, está sólo en la mayor ó menor profundidad desde donde nos son enviadas estas emanaciones terrestres. Ahora bien; aunque el crecimiento de temperatura en las grandes profundidades tiene lugar más lentamente que en las capas inmediatas á la superficie terrestre, nos conduce con una seguridad muy grande á la deducción de que existe una región en que, si no fuera por la presión enorme á que se halla expuesta, la masa terrestre perdería el carácter de solidez que muestra en su superficie, y que desde este punto hasta el centro de la tierra se hallaría en estado de fusión ígnea. Se parecería, según esto, á una gigantesca gota de materia fundida, envuelta en una capa sólida, relativamente tenue.

Todos los demás astros nos dan, por su forma esférica, un testimonio de la misma constitución. El movimiento rotatorio que los caracteriza á todos, es la causa de la alteración de su forma esférica regular. Pero esto supone, en general, un estado de fluidez de toda la masa, de modo que debemos imaginar á todos los astros como habiendo pasado por el estado de fusión ígnea.

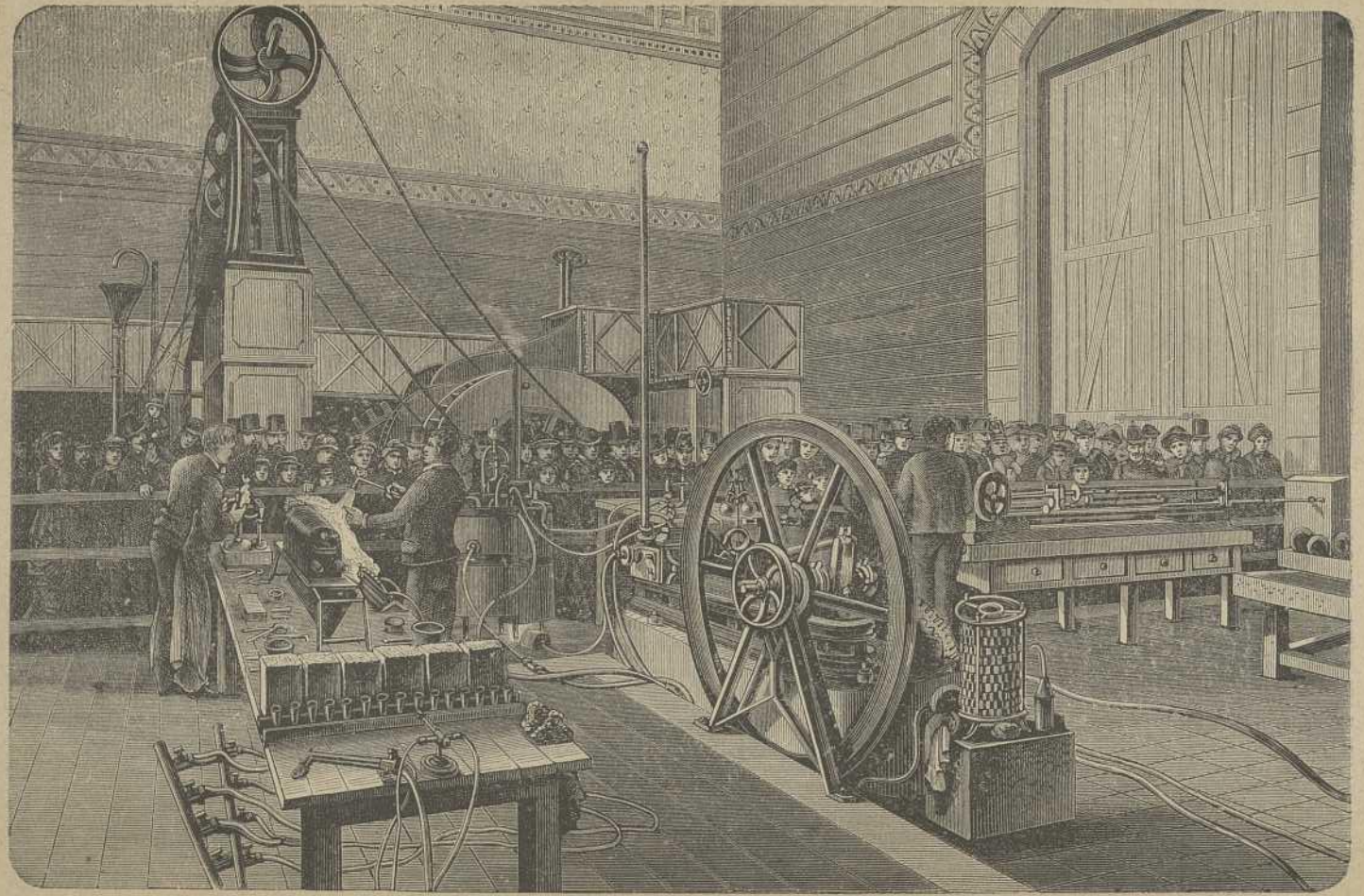
La procedencia de esta inmensa cantidad de calor para producir tal fusión parece concebirse considerando el que dejan libre las reacciones químicas y la condensación de la materia. La materia del universo llenaba, antes de la formación de los astros, el espacio infinito en forma de una masa nebulosa sutil, en la cual los elementos constituyentes flotaban, aislados todos, con sus fuerzas atractivas y repulsivas. En diferentes sitios vino á destruirse el equilibrio en que se conservaban recíprocamente estas tensiones, y aparecieron en el seno de aquella inmensa bruma, aglomeraciones parciales de materia limitadas á espacios más ó menos grandes. Dentro de estas aglomeraciones, las partículas elementales obedecieron á sus afinidades recíprocas, se reunieron formando cuerpos compuestos, y desarrollaron con esto, por la condensación y aproximación de los átomos, aquellas enormes cantidades de calor, en virtud de las cuales los cuerpos más densos, recién formados, adquirieron el estado de masas gaseosas incandescentes, y después, por un enfriamiento sucesivo y una nueva condensación, el estado de fusión, en el cual flotaron en el espacio, vacío ya, del primitivo polvo cósmico. Deberíamos admitir, en tal caso, que estas acciones, originadas en general por la destrucción de un estado anterior de equilibrio, fueron acompañadas de movimientos rotatorios en torbellino, y buscar en esto la causa de los movimientos conservados por aquellos cuerpos.

El espacio interplanetario, es decir, el espacio que envuelve nuestro sistema solar, es frío, mucho más frío que las temperaturas más bajas originadas en nuestros inviernos. Se presume, como resultado de diferentes observaciones, que la temperatura del espacio interplanetario no sea superior á —54°, si bien tampoco, probablemente, muy inferior á ella. Ahora bien; existe una tendencia incesante en las fuerzas naturales á producir un equilibrio entre sus acciones recíprocas. El calor es radiado, desde los cuerpos más calientes á los más fríos, en todas direcciones. Por consecuencia de esto pierden continuamente los astros en fusión ígnea una parte del calor que en ellos reside, y la temperatura de su masa desciende tanto más rápidamente, cuanto menor es su volumen. Como la radiación es más rápida en la superficie, se enfría la masa desde ésta hacia el interior, y las capas superficiales, cuya condensación avanza, creciendo á expensas de la esfera líquida primitiva, llegan á formar una costra sólida. Esta marcha se produce muy rápidamente en los astros de pequeño volumen, de modo que la luna representa ya hoy una esfera completamente condensada, un verdadero esqueleto sólido, mientras que en las grandes masas tiene una duración mayor este proceso, y en el astro rey de nuestro sistema, el sol, vemos clara-

mente que no ha llegado siquiera el momento en que se solidifique tan sólo la superficie, en cuyo caso hubiera perdido la energía radiante que posee, y que es propia de una masa en fusión ígnea. Entre el Sol y la Luna se hallan los planetas todavía fundidos en su interior, pero ya solidificados en su superficie. Desde hace más de dos mil años no han cambiado sensiblemente las condiciones caloríficas de la tierra. Durante este tiempo, y según demuestran las observaciones astronómicas más exactas, tampoco ha experimentado el diámetro terrestre ninguna alteración perceptible en su longitud, como hubiera sucedido si el calor terrestre interior hubiera disminuido en conjunto tan sólo la centésima parte de un grado.

Hasta cuándo se podrá conservar este estado de equilibrio, y qué extensión debemos atribuir al intervalo de tiempo que abarcamos en la frase «nuestro período,» es evidente que no ha de ser eterno; si bien, como hemos indicado en la Introducción al presente tomo, excede los límites de lo que el hombre puede concebir. El conjunto de nuestro sistema solar, no sólo no paga al frío espacio infinito, eterno pretendiente de sus favores, los réditos de un capital, sino que disipa su capital mismo, el cual podrá ser muy grande, pero nunca es inagotable. El sol tiene tambien, por último, que solidificarse en su superficie, de suerte que no podrá ya confiarse en la protección calorífica que hoy presta todavía á los planetas, y esto ha de ser acompañado de una condensación general, si bien sólo al cabo de una eternidad de tiempo. Por la pérdida del movimiento de la Luna y la caída de ésta sobre la Tierra, ésta adquirirá de nuevo una enorme provisión del calor; y del mismo modo por la caída sucesiva de los planetas sobre el astro central podrá elevarse la temperatura de éste, prolongando su vida durante una nueva porción de tiempo; pero en todo caso éstas no serán más que prórrogas, y al cabo tendrá que llegar una época en que toda la materia se haya reunido en un punto, los soles mismos se hayan confundido entre sí, y esta materia sólo subsista aglomerada por la acción atractiva de las fuerzas moleculares.

¿Qué efectos finales determinarán entonces todas esas fuerzas que hoy conservan y desarrollan la próspera vida del universo? ¿En qué quedarán convertidas las ondas luminosas? ¿En qué la fuerza eléctrica? ¿Habrá desaparecido, sin dejar huella, la causa de los fenómenos magnéticos? ¿Dónde se habrán perdido las inmensas cantidades de calor? La respuesta á estas preguntas dice: todas estas manifestaciones externas particulares, luz, electricidad, atracción, magnetismo, habrán llegado á hacerse homogéneas, á convertirse por completo en una de estas formas, el calor, y á repartirse, mediante la radiación, por todos los puntos materiales del espacio infinito. En toda su inmensidad reinará una temperatura uniforme; nada será más frío ni más caliente, nada más claro ni más oscuro; habrá cesado todo movimiento, todo cambio, toda lucha; por doquiera el reposo, la quietud más inalterable, y, por consiguiente, también habrá cesado toda vida, pues sólo de los conflictos nace algo nuevo.



Exposición de inventos modernos en la sala de máquinas del Museo de Artes y Oficios en París.

EL VAPOR

y el descubrimiento de

LA MÁQUINA DE VAPOR

El calor como manantial de fuerza.—Principio de la máquina de vapor.—Historia del descubrimiento.—Su verdadera antigüedad.—El barco de Blasco de Garay.—Salomón de Caus.—El marqués de Worcester.—Papín y su marmita.—Máquina de vapor de Savery.—Newcomen.—James Watt y su máquina de doble acción.—El paralelogramo.—Máquina de alta presión.—Máquinas con expansión.—Partes constituyentes de la máquina de vapor.—Su gobierno.—Caja de distribución.—Excéntrica.—Máquina con cilindro oscilatorio.—La caldera.—Flotador y válvula de seguridad.—Máquinas competidoras de las de vapor.—Historia y disposición de los motores de gas y de aire caliente.—Máquina de petróleo.

PASEMOS desde las orillas planas de un río, que describe lentamente su tortuoso camino, y cuyos valles están animados por ricas alquerías, bulliciosas aldeas é industriosas ciudades, á los terrenos montuosos y escarpados de los lados, cuyas colinas estarán tal vez coronadas por molinos de viento, é internémonos más en los accidentados valles de la cuenca, recorridos por algún afluente. Iremos encontrando sucesivamente un cauce cada vez más estrecho, y al mismo tiempo saltos de agua cada vez más considerables. En un principio nos acompañaría el alegre ruido de los molinos hidráulicos, á los cuales se lleva el

trigo desde las llanuras; después, pronto oiríamos en su lugar el ruido sordo, característico de los grandes talleres de aserrar madera; y, por último, más adelante nos saludaría el más fuerte del martillo, que por lo mismo se hace perceptible desde larga distancia. Habríamos llegado á presencia de una de estas herrerías, que se encuentran con frecuencia en las partes más escabrosas de las montañas, con objeto de explotar allí mismo los minerales existentes, y cuyo transporte ofrecería considerables dificultades. En las alturas se ven grandes escombreras, y por todas partes suenan los monótonos golpes de campana, procedentes de las minas esparcidas por alrededor, é indicando que los trabajos de extracción prosiguen sin interrupción; música que pasa completamente inadvertida para los que se ocupan en los trabajos de aquellas alturas. Y sin embargo, allí se ponen en juego miles de fuerzas. Grandes ruedas reciben el choque de masas de agua que se precipitan y giran bajo su acción; rápidas correas transmiten la fuerza á numerosos árboles y máquinas especiales. Además, por los tubos de chimenea, que sobresalen en virtud de su altura, surgen á intervalos nubes blancas y esponjosas de vapor de agua que, adoptando formas fantásticas, se deshacen contra las cimas de negros pinos. En efecto, por muy potente que fuera el salto de agua, su aprovechamiento no bastaría para alimentar todas las necesidades mecánicas que reinan en aquellas empresas tan arduas. Martillos de cientos de toneladas de peso forjan las masas de hierro incandescentes, y por medio de una sola vuelta, grandes cilindros comprimen los bloques de hierro, reduciéndolos á barras cada vez más delgadas, y lo estiran en láminas ó varillas.

Si nos fijamos en uno de estos talleres y le comparamos con la risueña Naturaleza que rodea los países llanos con todos sus atractivos, ¡cuánta diversidad en apariencia! Y, sin embargo, ¡cuánta identidad en el fondo! Pues si buscamos en su origen todas las manifestaciones de la fuerza, encontramos que todas están determinadas por una misma causa: el calor. La luz y el calor solar hacen crecer las plantas y sus frutos, y sostienen con ellos las fuerzas del hombre y los animales. Por otra parte, los rayos del sol en su carrera sobre la superficie de la tierra calientan y dilatan también desigualmente las capas de aire situadas sobre ella. Ahora bien: las que se hacen más ligeras se elevan, las más frías y densas se dirigen hacia abajo, y este movimiento interrumpido, ó sea el viento, es utilizado por nosotros en los molinos para hacer girar las alas. El calor es el que dilata el agua en la superficie de la tierra, y la eleva á las más altas regiones de la atmósfera, donde se condensa en nubes por la mezcla de capas de aire frías con otras cálidas y húmedas, de las nubes se precipita sobre las faldas de las montañas, y desde aquí, atraída por la gravedad, vuelve á las profundidades en innumerables pequeñas venas. Todo el trabajo que puede llevar á efecto esta agua en su descenso por los planos inclinados de las faldas de los montes, hasta los mares, ó, lo que es lo mismo, su fuerza viva, no es otra

cosa que una consecuencia, una nueva forma del calor solar, en virtud del cual el agua fué primeramente llevada desde la superficie de la tierra á las altas regiones en forma de vapor.

Toda fuerza es calor, como todo calor es fuerza. Podemos convencernos por nuestros propios ojos de la transformación del calor en trabajo mecánico, recordando la acción dilatante del calor. En el Conservatorio de Artes y Oficios de París se habían agrietado las paredes, y la grieta crecía de día en día, de suerte que se ofreció con esto un peligro muy grande al edificio. La aproximación recíproca de las superficies de separación era un problema difícil, pues la resistencia que había que vencer era muy considerable. Sin embargo, la reparación tuvo lugar con gran éxito. Se unieron los dos trozos de pared por medio de barras de hierro, y mediante lámparas colocadas por debajo, se elevaron éstas al rojo incipiente. Entonces se sujetaron fuertemente contra las paredes los extremos salientes, y al enfriarse arrastraron tras sí con gran energía á aquéllas, aproximando sus bordes. Las superficies de la grieta se adaptaron de nuevo entre sí, de modo que en su conjunto las paredes no parecían haber sufrido ninguna alteración; pues bien, sólo calor se había invertido para la realización de este trabajo.

Y el vapor, que como por encanto pone en movimiento los más enormes martillos de hierro, no posee tampoco fuerza ninguna propia especial, como no existe ésta en el agua por sí misma. No hace otra cosa que transmitir la acción mecánica del calor. Es sólo un órgano intermedio, pero tan adecuado, que antes que en él no se pensó nunca en otro que se le aproximara siquiera, bajo este concepto.

El vapor llega con sus brazos de hierro á las entrañas de la tierra; él comunica sus encantos á la luz del cielo y da al metal fundido formas variadas al infinito. Como al conjuro de un hechicero, surge de la masa informe el esbelto buque de hierro; el vapor le construye, le coloca en su elemento, y por medio de él consigue éste abordar á sus rivales de madera, cuyas quillas de encina necesitaron siglos para adquirir la correspondiente tenacidad. El vapor muele la harina para el pan que comemos, hila el algodón y la lana para nuestros vestidos, los teje, é imprime el rico esplendor de las flores á la creación más sencilla. Miles de ruedas son movidas por el vapor, cada una de las cuales podría triturar á un hombre con sólo su choque; y sin embargo, la mano del niño más débil es suficiente para suspender esta poderosa fuerza motriz. La invención de la imprenta dió al espíritu humano el medio para triunfar de la ignorancia y la superstición; el descubrimiento de la máquina de vapor nos ha puesto en condiciones para vencer los obstáculos que en otros tiempos parecían oponer una barrera infranqueable para nuestras fuerzas físicas. Aquélla dió alas al espíritu humano; ésta á su cuerpo.

Al mirar una máquina de vapor encontramos muchas veces un objeto pe-

queño, trabajado con elegancia y hasta retocado con coquetería, del cual apenas parece creíble que puedan resultar los poderosos efectos mecánicos que en realidad se verifican. Como por encanto se mueve la varilla del émbolo hacia arriba y hacia abajo eu uniforme vaivén; una rueda del volante gira dando vueltas, al parecer ociosamente. Toda la maquinaria recibe su movimiento de un árbol principal. Por medio de ruedas y engranajes, de correas, tambores ú otros aparatos, es transmitida la fuerza y distribuída por todas partes donde hay necesidad de ella, con frecuencia á distancias considerables, lo mismo por lo alto que por lo bajo, en el ángulo que á su alrededor.

»¿Con cuántos caballos de fuerza trabaja la máquina?» preguntamos. Quince, veinte, treinta ó aún más, se nos responde; y á propósito de locomotoras y máquinas de buques, oímos hablar con frecuencia de mil y más caballos de fuerza. Y todos estos enormes efectos mecánicos parecen surgir del modo más simple; de un poco de agua y un poco de carbón; el agua se convierte en vapor, y el vapor empuja ante sí á un émbolo: éste es el sencillo medio por el cual se consiguen tan grandiosos resultados.

PRINCIPIO DE LA MÁQUINA DE VAPOR

La presión atmosférica que con gran fuerza está gravitando sobre la superficie de toda masa líquida es la causa de que, en ciertas circunstancias, no se transforme inmediatamente en vapor toda el agua de la Naturaleza. Esta presión puede ser contrarrestada por el calentamiento del agua, y en el momento en que queda por completo vencida, tiene lugar el desarrollo del vapor con una actividad extraordinariamente grande. El líquido entra en una agitación intensa por efecto de la formación de burbujas en el seno de su masa; en una palabra, hierve. La fuerza expansiva del vapor que se eleva de una vasija abierta, debe hacer equilibrio á la presión de la atmósfera. De esta suerte se obtiene pues, siempre vapor, con sólo la tensión de una atmósfera. El vapor de agua que se eleva de una masa de agua en ebullición no está más caliente que esta misma; sabemos ya que una gran parte del calor suministrado existe latente en aquél, permitiéndole ocupar un espacio mucho mayor que el que antes adoptaba el agua en estado líquido. Cuando el vapor se convierte de nuevo en agua, queda también libre otra vez el calor latente de vaporización. Si ahora llenamos una vasija vacía de aire y de capacidad de 1.700 decímetros cúbicos, con vapor de agua á la temperatura de 100°, éste ejercerá, como ya sabemos, una presión sobre las paredes de la vasija igual á una atmósfera; y como el aire ejerce una presión igual por la parte exterior, tiene que subsistir el equilibrio. Si tomamos ahora 5 ½ decímetros cúbicos de agua á la temperatura de congelación y los introducimos por un mecanismo especial en la vasija llena de vapor, pierde éste

instantáneamente su tensión; su calor latente, que le sostenía en el estado gaseoso, se transmite al agua fría, que con esto adquiere una temperatura más elevada; pero el vapor mismo se convierte, por la pérdida de su calor latente de vaporización, en agua líquida, y si hemos practicado bien la experiencia, obtendremos, finalmente, en la vasija, en lugar de 5 ½, 6 ½ decímetros cúbicos de agua, pero no á la temperatura de 0°, sino á la de ebullición.

En este experimento aprendemos á un tiempo varias cosas. En primer lugar, vemos que el calor absorbido por el vapor no se ha perdido, sino que vuelve todo él á quedar en libertad, y en tal estado le encontramos en el agua calentada á sus expensas, pues se ha demostrado que el calor necesario para transformar completamente en vapor un decímetro cúbico de agua á 100°, es también suficiente para calentar 5 ½ decímetros cúbicos de agua desde 0 á 100°. Por último, vemos también que el vapor, después que por enfriamiento se reduce nuevamente á agua, ocupa un espacio 1.700 veces menor. Según esto, y recordando que la vasija estaba completamente cerrada, se deduce que debe quedar por la condensación del vapor un espacio de 1.693 ½ decímetros cúbicos, á más del ocupado por el agua líquida, en el cual no estará contenida sustancia alguna, ni aire, pues éste había sido expulsado previamente por el vapor. Falta, pues, ahora la resistencia interior contra la presión atmosférica exterior, y, por consiguiente, las paredes de la vasija reciben exclusivamente esta presión exterior de fuera á dentro.

Si la vasija estuviera construída de suerte que una porción cualquiera de sus paredes pudiera correrse hacia el interior, sería impulsada en tal sentido con una fuerza tanto mayor, cuanto mayor fuera la superficie exterior ofrecida por la misma. Y si concebimos ahora la vasija constituída por un tubo ancho, cerrado por abajo é interceptado por arriba por un émbolo movible á frotamiento, tendremos ya, en lo esencial, la máquina de vapor atmosférica, de que hablaremos más adelante.

El vapor á 100°, aislado en una vasija, este es, no ya en contacto con agua, se conduce por la acción del calor, exactamente como el aire ó cualquiera otro cuerpo gaseoso; á cada elevación de temperatura tiende á dilatarse nuevamente, y de aquí que ejerce contra las paredes de la vasija presiones también crecientes. Pero si en una vasija completamente cerrada existen á un tiempo contenidos vapor y agua, como en las calderas de las máquinas de vapor, varían algo las circunstancias, como también veremos.

El punto de ebullición de un líquido depende, según se ha indicado, no sólo de la naturaleza del líquido, sino también de la resistencia que el vapor formado tiene que vencer para adquirir la libertad. De aquí que el agua hierve á más baja temperatura en las altas montañas, porque allí la presión del aire es menor, y bajo la máquina neumática puede ya hacerse hervir el agua á una temperatura no más que templada. De esto se deduce que si se aumenta la resisten-

cia, será, en cambio, precisa una temperatura superior á la normal para producir la ebullición, ó sea el cambio al estado de vapor del agua. En una caldera cerrada por todas partes, de la cual el vapor no tiene salida, éste y el agua se hallan á 100°, ó sea á la temperatura de ebullición á la presión atmosférica. Si permanece constante la temperatura, la presión también permanece la misma, y cesa la formación de vapor mientras la caldera siga cerrada. El espacio libre de la caldera ha recibido todo el vapor que puede contener á aquella temperatura; está saturado. Pero este estado no puede subsistir en cuanto se continúa calentando. Ahora bien; es preciso que primero se caliente el agua por encima de los 100° para que se forme nueva cantidad de vapor; pero el agua más caliente da también vapor más caliente y á mayor tensión, pues cuanto más vapor tenga que reunirse en un espacio cerrado, tanto más comprimido estará y con tanta mayor fuerza reaccionará contra las paredes de la vasija y la superficie del líquido. La tensión del vapor se hace, pues, mayor, y este crecimiento es muy rápido; si dicha tensión era igual á una atmósfera á los 100°, á los 120° es ya de dos atmósferas; á los 144° de cuatro; á los 200°, de 16 atmósferas.

Recordemos ahora que el vapor á la tensión de una atmósfera obra sobre cada centímetro cuadrado de superficie con una fuerza de 1 kilogramo 33 gramos; y si multiplicamos esta fuerza por 4, 8, 16, etc., se concibe fácilmente de qué esfuerzos tan enormes es capaz el vapor de agua comprimido, y qué efectos mecánicos podrá realizar una máquina cuya caldera mida, por ejemplo, 20 metros cuadrados de superficie, sólo con una tensión de tres atmósferas (30.990 kilogramos por metro cuadrado).

Si medimos el calor empleado por la cantidad de carbón necesaria para su generación, encontramos que este consumo de carbón está en proporción fija y determinada para cada caso, según la tensión y la superficie de la caldera, etc., siendo indispensable para la teoría de estas máquinas dirigir una ojeada hacia este íntimo enlace.

Para elevar de 0° á 100° la temperatura de cierto volumen de agua, es siempre necesaria la misma cantidad de calor; para engendrar ésta, empleando carbón de condición idéntica, tendríamos que invertir también siempre la misma cantidad de carbón. Por otra parte, sabemos que una cantidad determinada de calor produce siempre la misma cantidad de trabajo mecánico, sea actuando por dilatación ó en cualquier otra forma; así, la cantidad de calor necesaria para elevar en 1° centígrado la temperatura de un kilogramo de agua, corresponde á una fuerza mecánica capaz de elevar un peso de 424 kilogramos á la altura de un metro; ó lo que es lo mismo, un peso de un kilogramo á la altura de 424 metros. Si fuera posible transformar en fuerza mecánica todo el calor producido, sin pérdida alguna, un kilogramo de carbón puro permitiría, por su combustión, elevar un peso de un quintal métrico á la altura de 33,75 kilómetros, mientras que este mismo calor originado por su combustión, podría

sólo elevar un grado centígrado la temperatura de 8.086 kilogramos de agua.

Hemos tomado como unidad de medida para estimar los trabajos mecánicos, la elevación de pesos. Es sabido que así lo hace la mecánica práctica, y que las unidades *libra*, *pie*, *kilográmetro*, etc., no significan otra cosa que magnitudes de fuerzas que pueden respectivamente elevar el peso de una libra á la altura de un pie, el peso de un kilogramo á la altura de un metro, etc.

Nuestras máquinas de vapor, por más que parezcan tan grandiosos sus efectos, están muy lejos de permitir aprovechar todo el efecto mecánico posible con el calor engendrado por la combustión del carbón empleado. Esto procede principalmente de que una gran parte del calor es absorbido y disimulado por el agua al vaporizarse, y en su estado latente queda perdido para la utilización que se persigue. De aquí que el perfeccionamiento del modo de ser de la máquina de vapor constituye un objeto de la mayor importancia económica. Y si bien, á pesar de la incesante explotación actual, los temores de aproximarnos á un agotamiento completo de nuestra riqueza en fuerza disponible, ó sean las minas de hulla, lignito y turba, distan mucho de ser tan apremiantes como algunos aparentan, ofrecen á lo menos la ventaja inmediata de que no nos permiten contentarnos con un efecto útil de 18 á 20 por 100, como es el que se consigue solamente en nuestras máquinas de vapor mejor construídas.

Si á pesar de ello los resultados de la máquina de vapor son todavía los más económicos, depende esto, en parte, de una falsa estimación. Tasamos la fuerza partiendo de conceptos arbitrarios, como es el valor variable del oro y de la plata, y no como debiéramos, tomando por punto de partida el verdadero efecto útil, y refiriéndolo todo á él. El carbón, equivalente aquí á fuerza mecánica, es la única moneda racional. Cuando se haya reconocido esto, se procederá de un modo distinto; mientras esto no suceda, seguiremos contentándonos con los resultados ya obtenidos, sin hacer los esfuerzos debidos para mejorarlos.

HISTORIA DEL DESCUBRIMIENTO

A propósito de la máquina de vapor, como de todos los demás inventos de importancia, se ha creído que nunca se retrocedía bastante en la antigüedad para descubrir sus últimas trazas, ó, mejor, sus primeras semillas. Hay (más bien había antes) una clase de historiadores para los cuales todo lo grande no podía menos de haber existido en los primitivos tiempos, ó á lo menos podía haber sido en ellos conocido é inventado por alguno.

Según ellos, habría que atribuir á la máquina de vapor la edad de unos dos mil años. Se reunieron con cuidado todas las noticias que, siquiera en cierto modo, pueden interpretarse en tal sentido, dirigiéndolas con gran esfuerzo á ofrecer una prueba que precisamente resultó completamente contraria á aque-

lla apreciación de la cuestión. Que los antiguos griegos y romanos conocieron el vapor como nosotros; que no les era tampoco desconocida completamente la fuerza mecánica del vapor de agua, esto no se duda en modo alguno; pero que no fué inventada por ellos la *máquina de vapor*, ó sea la utilización sistemática de la fuerza expansiva del vapor, con objeto de realizar los más diversos trabajos mecánicos, esto es igualmente cierto y evidente por sí mismo á los que miran la cuestión con imparcialidad. Una observación casual, un encuentro imprevisto, no es un descubrimiento científico. El verdadero descubrimiento se hizo más tarde, como fruto natural de esfuerzos anteriores; fué dado á luz por el tiempo y amamantado por las necesidades de la época. Todas las experiencias que se citan relativas á la antigüedad y hasta el siglo XVIII para atribuir á ellas el origen de la máquina de vapor, no tienen valor alguno para el más trascendental de los descubrimientos modernos. Veamos algunas de aquellas experiencias.

La aplicación más antigua de la fuerza del vapor, aunque no sirviera tampoco para ningún objeto práctico, se atribuye al conocido matemático de la antigüedad, Arquímedes de Siracusa (nacido 287 años antes de Jesucristo). La referencia en cuestión procede probablemente del texto árabe de un manuscristo del antiguo maestro, perdido para la posteridad, y del cual dió noticia á sus contemporáneos Leonardo de Vinci (nacido en 1452). El aparato de Arquímedes sería, según esto, una especie de cañón de vapor, llamado «bronce tonante,» que lanzaba una bala fuera de un tubo corto con una prolongación en forma de canal, en cuanto se dejaba entrar en el tubo, contra la bala, el vapor contenido en una vasija fuertemente calentada. Un aparato semejante para lanzar los proyectiles fué construído también dos siglos antes de Jesucristo por el entonces conocido físico Ktesibios de Alejandría (según refiere Filón de Brizancio), llamado «tensor de aire,» en el cual, en lugar del vapor de agua, empleaba aire comprimido. Este Ktesibios emprendió también más tarde experiencias con su discípulo, muy nombrado, Herón de Alejandría (nacido 120 años antes de Jesucristo), sobre el aprovechamiento del vapor de agua para mover algunos cuerpos, según nos ha comunicado el mismo Herón en su obra *De los aires*. A este grupo pertenecen, por ejemplo, las llamadas bolas bailadoras, que son lanzadas de un tubo y sostenidas flotantes por el vapor de agua que entra en dicho tubo contra ellas, procedente de una vasija donde se produce; por último, á una figura metálica se le hacía dar vueltas por medio del vapor expulsado á través de una trompeta adaptada á la figura. Algo más práctico que el de todos estos juguetes parece haber sido el objeto de otra experiencia. Era éste la utilización de una figura de bronce que representaba un sacerdote, la cual vertía agua de un cántaro, sobre un platillo colocado al borde del altar, después que se había encendido el fuego del holocausto. En efecto, éste calentaba el altar hueco, y lleno en parte con agua, por lo cual la ten-

sión del vapor impelía al agua á salir por un tubo que se abría en la figura.

Pero el más conocido es el quinto aparato de Herón, la llamada esfera rotatoria (fig. 525). Consiste en una esfera hueca de metal, apoyada por un lado en un pivote y por el otro en comunicación con un tubo acodado, *G F E*, que la une con la vasija *A B*, que lleva agua. Si ahora llega á la esfera vapor á gran tensión, procedente de la caldera *A B*, dicho vapor se ve obligado á salir por los tubitos laterales acodados *H* y *K*, y la esfera es impelida por la presión sobre las paredes opuestas á los orificios, haciéndola girar en sentido contrario de la salida del vapor, como las turbinas. Esta esfera de vapor de Herón podría, pues, ser considerada con el mismo, si no con más derecho, como la primera invención de las turbinas.

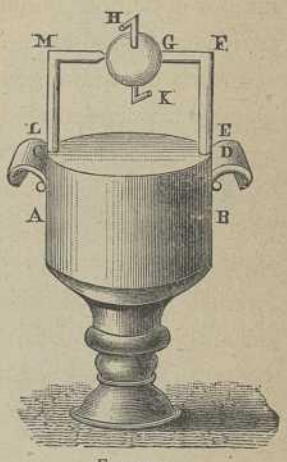


FIG. 525.
Esfera rotatoria de Herón.

Otro juguete de vapor se nos refiere del tiempo de los emperadores griegos. Un tal Zeno dió en cierta ocasión un convite á sus amigos en una habitación que casualmente caía encima de la habitada por Anthemios, con el cual Zeno no se hallaba entonces en la mejor armonía. Pero Anthemios les preparaba una mala partida, y encendió un fuego vivo bajo una caldera con agua que tenía suspendida de antemano, y por medio de tubos hizo llegar el vapor contra el techo, de suerte que temblara el edificio, y los invitados, suponiendo un terremoto, se lanzaran á la calle dominados por el terror. Esta historia es más inocente aún que las anteriores, puesto que se sabe que la llegada del vapor contra el techo de una habitación no podía hacerle temblar.

Mucho mayor y más duradero interés que las citadas monerías de vapor ha atraído sobre sí un juguete análogo, pero probablemente posterior, que nos fué descrito por el hábil arquitecto y mecánico del tiempo del emperador Augusto, Vitruvio. Nos referimos á la llamada fuente de Eolo (*aeolípila*), una esfera hueca dem etal que por su calentamiento previo y enrarecimiento consiguiente del aire contenido, aspira por un pequeño orificio cierta cantidad de agua, y después, por un nuevo calentamiento, arroja por dicho orificio un chorro de vapor. Se ha confundido muchas veces esta aeolípila con la esfera giratoria de Herón, antes descrita. Con la fuente de Eolo se han practicado experiencias durant ela Edad Media, y aun en tiempos modernos, por muchos sabios, la mayor parte de las veces con el fin teórico de hacer visible la transformación de uno en otro elemento. También el conocido naturalista Jerónimo Cardano (nacido en Pavía en 1501) se ocupó (en 1557) de la fuente de Eolo, y le comunicó perfeccionamientos para la aspiración como para la proyección del vapor. El arquitecto francés Filiberto Delorme (nacido en 1515) llegó á pensar en dar

á aquel juguete un objeto útil: el de evitar los incendios de las chimeneas.

Pero la idea del empleo verdaderamente práctico de la fuerza del vapor seguía tan lejos de la mente de aquellos físicos, cuanto que no tenían siquiera el concepto de la verdadera naturaleza del vapor de agua. Los mecánicos de la antigüedad no veían en él más que un aire, que se originaba del agua por el fuego, y no podían, por consiguiente, tener aspiraciones á una utilización importante y en gran escala de la tensión del vapor de agua.

Todavía tienen menos valor para la historia propiamente dicha del descubrimiento de la máquina de vapor, una serie de fábulas que, surgidas del orgullo nacional, atribuyen este invento á diferentes personas, particularmente al español Garay, al italiano Branca, y al francés De-Caus. El capitán de barco español, Blasco de Garay, que tal vez por una mala inteligencia del director de Archivos, González, ha sido alabado por la supuesta impulsión de barcos mediante una máquina de vapor construída en 1543, hizo en realidad varias experiencias sobre un nuevo método de impulsión de los buques, pero sólo mediante ruedas de paletas, qne eran movidas por medio de manubrios. Juan Branca, conocido como constructor de la iglesia de Loreto, verificó únicamente experiencias de un modo semejante á como lo había hecho Herón; según refiere en su libro *Las máquinas*, de 1629, hizo dar contra una pequeña rueda de paletas el surtidor de la fuente de Eolo, y puso así en movimiento un tosco mecanismo. Por último, el arquitecto é ingeniero Salomón de Caus (nacido en Dieppe en 1576), de quien sólo aparecen en su obra de 1615, sobre las causas de las fuerzas motrices, algunos juguetes automáticos semejantes en su mecanismo á la figura del altar de Herón, de que hemos hablado antes, ha sido proclamado, sin saberlo ni quererlo, como inventor de la máquina de vapor y aún más como mártir de su descubrimiento (fig. 526). De-Caus no sospechó siquiera el descubrimiento en cuestión, ni sufrió por su causa el encerramiento en una casa de locos, que se le atribuye.

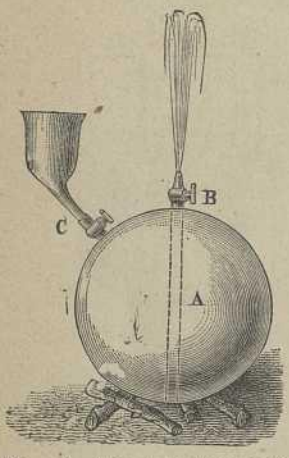


FIG. 526.—Aparato de vapor de De-Caus. (*A*, tubo en el interior de una esfera de cobre. *B*, surtidor de vapor ó agua caliente. *C*, embudo y llave para llenar de agua el globo.)

Todavía recordaremos á un inglés, el marqués de Worcester, á quien sus compatriotas han intentado, durante mucho tiempo y con mucha formalidad, atribuir el invento aludido. Se trata aquí de una aplicación del calor para la elevación de agua; pero la experiencia para la solución de este problema está envuelta en una descripción tan confusa, que hasta hoy no ha podido ser entendida por nadie. En el libro del marqués de Worcester, dado á luz en 1663, titulado *Cien descubrimientos*, se encuentra la siguiente descripción del supuesto aparato inventado por él: «Yo he inventado un medio admirable y poderoso para elevar el

agua por medio del fuego, no con una bomba aspirante, en la cual, como es sabido, la altura de la aspiración está limitada, sino en otra forma en que sólo con tal que la vasija pueda tener bastante resistencia, la altura hasta la cual puede elevarse el agua es ilimitada. Ahora, después que yo he encontrado la forma y manera de hacer mis vasijas bastante fuertes para que pudieran resistir á la presión interior, llenaba una vasija tras otra alternativamente con agua fría y obtenía por la aplicación del vapor una fuente que daba sin interrupción un surtidor de 40 pies de alto. Un volumen de agua transformado en vapor me lanzaba por este medio 40 volúmenes de agua fría, y sólo se necesitaba de un hombre que no tenía otra cosa que hacer que dar vuelta á dos llaves para conducir, bien vapor á la vasija llena, bien agua fría á la vaciada. Además, era preciso sostener siempre un fuego vivo por debajo.»

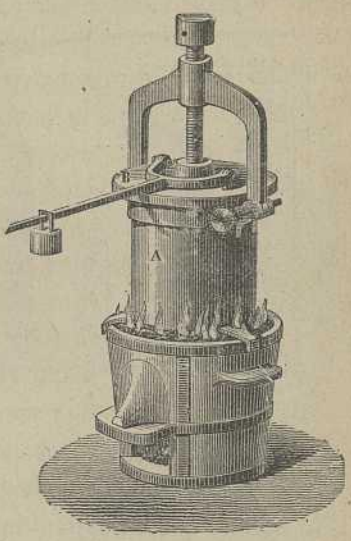


FIG. 527.—Marmita de Papín.

Dudamos mucho que el marqués haya construído nunca el aparato aquí descrito por él, de otro modo que en su cabeza. Cuando él, sin embargo, en un escrito posterior pretende fundar sobre aquella confusa descripción su gloria como inventor de la nueva máquina motriz, significa esta pretensión exactamente lo mismo que la de aquél que, contando cuentos, hablara una vez de un carro que se movía sin caballos, y luego por ello quisiera apropiarse la honra de haber inventado la locomotora.

Un acontecimiento mucho más importante en la historia de la máquina de vapor se nos ofrece, en cambio, con la aparición de Dionisio Papín, cuyo nombre es conocido generalmente, pues ¿quién de nosotros no ha oído hablar de su marmita, que se halla en muchos grandes establecimientos para preparar con residuos de huesos y de carne sopas muy alimenticias? La fig. 527 nos representa uno de estos aparatos. Consiste en una marmita de hierro, *A*, de paredes gruesas, cuya tapadera puede atornillarse en *B*, herméticamente. Cuando se calienta la marmita llena de agua, carne, huesos, etc., y completamente cerrada, el vapor á gran tensión lanza con fuerza al agua dentro de los poros de las sustancias contenidas en la marmita, y extrae de ellas los principios alimenticios de un modo mucho más completo que por la ebullición ordinaria.

Papín, pues, el inventor de este aparato de cocción, un francés nacido en Blois en 1647, que se ocupó durante mucho tiempo en trabajos de física en Inglaterra y también en Italia, y que inventó en el primero de estos países la citada marmita en 1680, fué llamado por el príncipe Carlos de Hesse, protector de la cien-

cia, para que ejerciera el cargo de profesor en Marburgo, y allí emprendió nuevas experiencias sobre la aplicación práctica del vapor de agua. A él debemos el paso más transcendental en este camino; el reconocimiento de la verdadera naturaleza del vapor de agua, y el empleo de éste como medio de transmisión de la fuerza para fines de utilidad. En efecto, descubrió la propiedad del vapor de condensarse en agua por el enfriamiento. Llegó al pensamiento de empujar hacia arriba, dentro de un cilindro, un émbolo macizo como los de las bombas aspirantes ordinarias, pero sin válvulas, y entonces enfriar súbitamente el vapor para transformarle de nuevo en agua. Pero como el vapor ocupa un espacio mil setecientas veces mayor que el agua, debía originarse, por esta súbita condensación, un vacío bajo el émbolo, y la presión atmosférica que se ejercería sólo sobre la superficie superior, debía obligarle así á descender dentro del cilindro. Papín describió su idea en una obra propia, y hasta dió un modelo de su máquina; pero la cosa no tuvo más trascendencia, porque había sido iniciada en Alemania, donde ya entonces sólo encontraba aceptación casi exclusivamente aquello que procedía del extranjero.

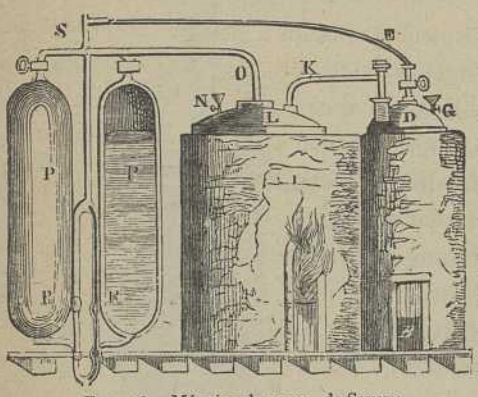


FIG. 528.—Máquina de vapor, de Savery.

Pero ocurrió que el capitán inglés Tomás Savery, que había recibido noticia de la Memoria de Papín, compró é inutilizó todos los ejemplares de la misma que pudo procurarse, y al año siguiente apareció con un invento propio, que no era otra cosa que una combinación hábil de la máquina del marqués de Worcester y de la de Papín. La patente de la primera máquina de Savery es del año 1698. Encontramos con tanta frecuencia en la historia de los descubrimientos locuras, por decirlo así, tan infundadas, que no nos parece completamente segura la historia de la destrucción de los libros de Papín, por Savery; la hemos mencionado, sin embargo, para manifestar nuestros recelos en contra de su exactitud. De todos modos, vemos que desde este momento la máquina de vapor ha encarnado en un ser; la idea había echado raíces, y podía ya hacerse una mejora aquí ó allá sin que hubiera que suponer una usurpación.

La máquina de vapor de Savery, cuyas partes principales están representadas en la fig. 528, constaba de dos calderas, *L* y *D*, cada una de las cuales tenía su propio hogar, y dos cilindros de vapor y de agua, *P P*. Antes de calentar los hornos, se llenaban por medio de los embudos con llave *N* y *G*, la caldera *L*, hasta los dos tercios de su altura, y la caldera *D*, por completo, cerrando entonces herméticamente ambos embudos. Después se calentaba en *B* la caldera, y en cuanto se habían formado los vapores, se abría la llave del cilin-

dro *P*, que está dibujado en sección; el vapor salía de *L* por el tubo *O*, á la parte superior del cilindro *P*, y desalojaba el aire allí contenido, que, á través de la válvula *R*, escapaba por el tubo *S*. En cuanto el cilindro *P* estaba lleno de vapor, lo cual se reconoce en que se calienta su fondo, se cierra la llave de comunicación y se abre la correspondiente del otro cilindro, *P*, con lo cual el vapor desaloja también el aire de éste. Entretanto se conduce una corriente de agua fría sobre el cilindro, con lo cual el vapor contenido en el mismo se condensa al estado de agua, y, por consiguiente, adopta un espacio mucho menor que antes, dejando vacío el resto de la capacidad del cilindro. Pero este vacío es inmediatamente ocupado, pues la presión atmosférica obliga á penetrar en él al agua del depósito situado bajo *M*, á través de la válvula situada en el cilindro, por bajo de *R*. En cuanto este cilindro está lleno de agua, se abre su llave de vapor y penetra éste desde *L* sobre aquélla, comprimiéndola y obligándola á salir como antes al aire, por la válvula *R* al tubo de elevación, desde el cual luego fluye. El segundo cilindro existe sólo para trabajar alternativamente con el primero y producir así una elevación de agua interrumpida, pues mientras en el uno entra el agua, en el otro es desalojada por el vapor, y recíprocamente. Los tubos *E*, que vemos en nuestro grabado, establecen comunicación entre el tubo de elevación *S* y la caldera *D*, llevando á ésta el agua necesaria para mantenerla constantemente llena. Ésta, á su vez, sirve para mantener llena la *L*, pues exactamente en la forma del aparato inventado por De-Caus, en *B* se engendra por el fuego tanto vapor, que el agua es transportada desde *D* á *L*, á través del tubo *K*.

Como se ve, la máquina de Savery se distingue de la de Papín en un punto completamente esencial; le falta, en efecto, el émbolo que Dionisio Papín había inventado. Por lo demás, la máquina descrita ofrecía poco trabajo útil, pues durante la expulsión del agua de los cilindros se desarrollaba una condensación perjudicial, de modo que apenas si pudo ser empleada para fines industriales, y casi exclusivamente se la utilizó para poner en juego surtidores de fuentes.

En el año 1705 adquirió Papín detalles sobre la máquina de Savery, por intermedio del célebre matemático Leibnitz. Entretanto ya se había ocupado en perfeccionar su propio invento, y desde entonces se propuso con mayor entusiasmo mejorar el pensamiento de Savery. Con tal objeto interpuso un émbolo entre el vapor y el agua, y, á lo menos en parte, evitó con esto la condensación del vapor. Llegó á aplicar la máquina perfeccionada á la propulsión de pequeños buques de vapor, con los cuales hizo en 1707, sobre el Fulda, experiencias afortunadas. Sus planes de emigrar otra vez á Inglarerra, para perfeccionar allí su invento y realizarlo en mayor escala, quedaron truncados por la muerte, que le arrebató á poco de llegar á este país. Hoy se han apoderado otros de la ingeniosa idea de Papín, y tratan de aplicarla con un sentido más práctico.

El cerrajero Newcomen y el cristalero Cowlay formaron con el mismo Sa-

very una sociedad para introducir en la vida práctica la llamada máquina atmosférica. En 1705 ya se extrajo agua con esta máquina en las minas de Cornwall. En rigor, la máquina Newcomen era más bien una máquina atmosférica, según queda indicado, que de vapor propiamente dicho; pero por lo mismo forma la línea de separación entre el primitivo invento y la máquina de vapor completa, tal como salió de manos del inmortal James Watt.

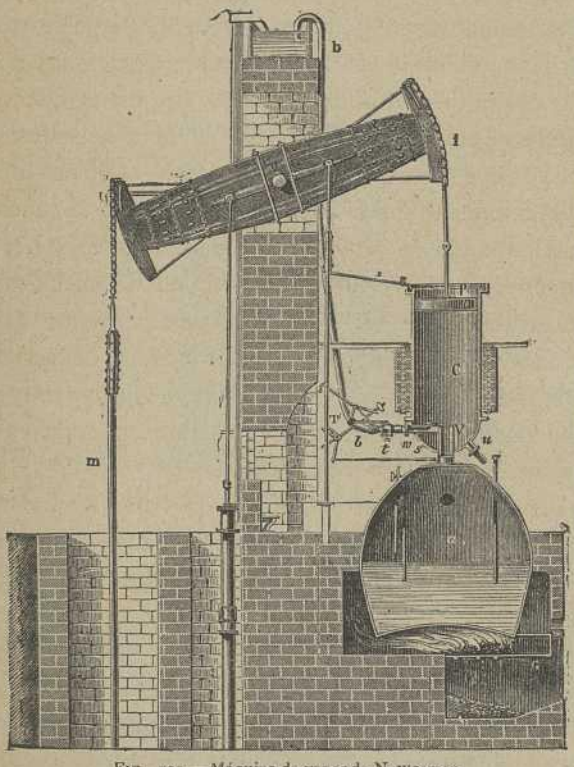


FIG. 529.—Máquina de vapor de Newcomen.

En la máquina de Newcomen (figura 529), la parte principal es el cilindro de vapor *C*. Este cilindro está cerrado por abajo y abierto por arriba, y lleva un émbolo macizo, *F*, que ajusta herméticamente contra sus paredes; pero puede moverse á frotamiento á lo largo de éstas, y cuya varilla se une mediante una cadena al extremo de una especie de balancín ó palanca de primer género, *i*. Éste se apoya en su centro *o* sobre una pared ó una pilastra. Del otro brazo de este balancín pende también, por medio de una cadena, la varilla *m* del émbolo de una bomba que eleva el agua de un pozo. Los extremos del balancín están construídos en forma de círculo, con objeto de conservar una dirección vertical constante á las dos varillas de los émbolos. El fondo del cilindro *c* tiene tres orificios, *u*, *v* y *w*, que pueden ser interceptados por llaves ó válvulas. Bajo el orificio central *v* está el tubo de vapor que conduce á éste desde la caldera *a*, situada bajo el cilindro, contra la parte inferior del émbolo; de modo que cuando la válvula en *s* está abierta, la corriente de vapor impele al émbolo y su varilla hacia arriba dentro del cilindro. Por efecto de esta elevación, así como del peso de la varilla *m*, se introduce ésta con su émbolo en el cuerpo de bomba, pasando el agua á través de la válvula correspondiente á llenar éste por encima del émbolo. Ahora, cuando el émbolo del cilindro de vapor llega al punto más alto de su carrera, y este cilindro queda, por consiguiente, completamente lleno de vapor, se abre la llave *t*, que mantenía interceptado un tubo *b*, el cual establece comunicación entre el depósito de agua *d* y el cilindro *c*.

Abierta esta llave, penetra una corriente de agua fría bajo el émbolo *P* y condensa el vapor allí existente, fluyendo toda el agua á través de la válvula *u*. De este modo queda bajo el émbolo un espacio vacío, que ya no opone resistencia á la presión atmosférica que se ejerce sobre la superficie exterior del émbolo con fuerza de un kilogramo, próximamente, por centímetro cuadrado. Este émbolo se ve, obligado á descender y, por tanto, la varilla *m* y el agua que se encuentra sobre el émbolo de la bomba ascienden por el otro lado. Según esto, la fuerza que puede desarrollar la máquina depende completamente del tamaño del émbolo, ó lo que es lo mismo, del diámetro del cilindro. En un principio Newcomen mojaba el cilindro exteriormente para condensar el vapor en su interior. Pero cuando en cierta ocasión sucedió que la máquina comenzó de pronto á funcionar por sí sola con extraordinaria rapidez, se investigó la causa y se encontró que el émbolo había dejado de ajustar contra las paredes y permitía la entrada de alguna porción del agua vertida encima de él. Esta feliz casualidad fué causa de que desde entonces se hiciera por la parte interior del cilindro el rociado con agua fría, método de condensación que se conservó después. Por otra parte, en la caldera *a* se halla la válvula de seguridad, cuyo mecanismo ya hemos mencionado en otro lugar, la cual se abre en cuanto se hace demasiado grande la tensión en el interior de aquélla.

Nuestros lectores habrán visto, por la descripción anterior, que las llaves en *s* y *t* y la del tubo *u* que determinan el juego regular de la máquina, tenían que ser abiertas y cerradas alternativamente por un operario, lo cual exigía una gran exactitud y puntualidad si la máquina había de poseer una marcha uniforme. Esta ocupación era tan importante como fastidiosa, y no es de extrañar que los operarios á quienes correspondía, y la realizaban desde fuera por medio de un sistema de palancas, *T*, no la encontraran nada agradable. Así le ocurría á un muchacho, Humphrey Potter, que estaba encargado de dar vuelta á las llaves de una máquina en Cornwall. Vivaracho é inteligente como era, sintió la necesidad de librarse de aquella ocupación mecánica y monótona que se le había encomendado, y se puso á discurrir con este objeto. Pronto consiguió arreglar su mecanismo con cuerdas que ató á las diferentes llaves, y que más adelante se sustituyeron por tirantes, mediante los cuales la máquina misma abría y cerraba con la mayor exactitud y en el momento oportuno las llaves en cuestión. Este invento de un muchacho era de una importancia incalculable, puesto que hacía su marcha independiente de la atención insegura de un vigilante, instituyendo en máquina propiamente dicha, lo que hasta entonces sólo merecía, en rigor, el calificativo de artefacto.

Después del perfeccionamiento de Humphrey Potter, en 1718, vinieron también en Inglaterra el de Desaguilliers, que introdujo en uso las válvulas de seguridad, ya propuestas por Papín en 1705; el de Fitzgerald, que mediante ruedas dentadas y escapes, transmitió el movimiento oscilatorio del balancín á

un árbol con un volante (1758); el de Brindley, que introdujo una alimentación automática de la caldera, y también más adelante varios otros, debidos á Fischer de Erlach, en Alemania. Pero de todos modos, adolecía aún la máquina de dos grandes defectos: uno, que por consecuencia de los enfriamientos repetitidos del cilindro, mediante su rociado con agua, se perdía mucho calor; y otro que su aplicación seguía limitada á las bombas, y no podía todavía ser utilizada en general como motor para los fines más diversos. Pero con la aparición de James Watt se señala un revolución completa en su manera de ser, en virtud de la cual recibió alto grado de perfección esta máquina, todavía hasta entonces bastante incómoda é insuficiente.

FIG. 530.—James Watt.

James Watt (fig. 530), nacido en 1736 en Greenock (Escocia), se dedicó desde la niñez, y por inclinación natural, á ejercitar su ingenio y habilidad mecánicas. Se cuenta que á los seis años se ocupaba ya de los problemas de Euclídes, y que no utilizaba sus juguetes sólo para recrear con ellos su vista, como otros chicos, sino para descomponerlos, con ayuda de una coleccioncita de útiles de carpintería que le había regalado su padre, recomponerlos y aun construirlos en formas nuevas, en virtud de las observaciones hechas. Llegó á construir una pequeña máquina eléctrica, con la cual reproducía todas las experieneias conocidas por entonces sobre electricidad, llenando de admiración á sus contemporáneos. Watt no era como esos niños que se apoderan con ansia de todos los objetos sin pensar en el alma que domina las formas externas, en la idea que existe en el fondo de cada uno de ellos. Él buscaba por todas partes la causa de todos los fenómenos, y esta incesante preocupación de investigar, le hizo sospechar muchas veces que fuera un hombre dotado de gran genio. No brillaban en su espíritu ciertamente grandiosos pensamientos; pero todo aquello que caía en sus manos era descompuesto por él en sus partes componentes, mostrándole á un tiempo su origen y su destino.

Después de pasar algunos años bajo la dirección de un pequeño mecánico

de su ciudad natal, pasó al taller del mecánico Morgán, en Londres. En el viaje invirtió doce días. ¿Quién había de sospechar que, por virtud de su descubrimiento, había de llegar á hacerse el mismo viaje en doce horas? En Londres sólo permaneció un año, después del cual regresó á Glasgow, y más tarde (1756) fué empleado como mecánico en la Universidad para la reparación de los instrumentos y aparatos físicos. Por aquella época brillaba el célebre estadista Adam Smith; éste encontró agradable el trato de Watt, y le visitó diariamente. Varios amigos de Smith fijaron su atención en el joven y aplicado mecánico, y pronto se hizo el establecimiento de Wat sitio de reunión de sabios y estudiantes. Un contemporáneo que estuvo en relación muy íntima con Watt, y aficionado á los estudios matemáticos y físicos, refiere lo siguiente:

«Fuí presentado á Watt por unos conocidos, esperando encontrar en él un simple operario, y creyendo en un principio haber hallado tan sólo esto mismo. Pero ¡cuál sería mi sorpresa cuando, mediante un examen algo más profundo, reconocí en él un verdadero sabio que, no teniendo más edad que yo, podía, sin embargo, ilustrarme sobre cualquier asunto de mecánica ó de física sobre el cual pudiera interrogarle! Me creía desde luego aventajado en mis estudios, encontrando que Watt se hallaba á una altura muy superior á la mía, y lo mismo ocurrió á mis compañeros. Watt nos resolvía todas las dificultades que le presentábamos, y estaba siempre en disposición de instruirnos; pero para él cada uno de estos problemas era, sin embargo, objeto de nuevos estudios, en los cuales no descansaba hasta convencerse de la insignificancia del asunto, ó bien hasta hacer en él cuanto podía hacerse. Unidas estas cualidades á la mayor modestia y belleza de sentimientos, hacían que todos sus conocidos se interesaran por él y le tuvieran gran cariño.»

Según parece, Watt comenzó á ocuparse detenidamente de la esencia y aplicaciones del vapor de agua por los años 1762 y 1763, en que hizo varias experiencias con la marmita de Papín; pero hasta el año siguiente no se decidió á emprender el camino que había de conducirle á su gloria. En el gabinete de la Universidad existía un modelo de una máquina de vapor de Newcomen, que se utilizaba para aclarar las explicaciones de la cátedra. Este modelo se inutilizó, ó, mejor, no había marchado todavía bien, y se dió á Watt el encargo de ponerle en juego. Resolvió tal encargo de un modo completamente satisfactorio; pero su aplicación no se limitó á esto. En el año 1764 abandonó su plaza de la Universidad para trabajar como ingeniero civil y desarrollar con más libertad su idea favorita. Su mirada penetrante había conocido bien pronto en dónde residia la causa que hacía defectuosa la acción de la máquina de Newcomen. Según ya sabemos, dicha máquina recibía agua á temperatura muy baja para condensar el vapor bajo el émbolo, y originar un espacio vacío en lo posible. Pero como que el agua fría era lanzada en el interior del cilindro, se ofrecía, para el golpe de émbolo inmediato, la dificultad de que el vapor se enfriaba y conden-

saba por el contacto con las paredes laterales, y la superficie del émbolo, enfriadas ya por el agua introducida, antes de que hubiera realizado toda su acción, lo cual entrañaba una considerable pérdida de fuerza.

El reconocimiento de esta circunstancia condujo á Watt á introducir un aparato especial de condensación exterior al cilindro, ó sea el *condensador*, al cual era conducido el vapor para su enfriamiento, después que había realizado en el cilindro todo su efecto. Con este invento, concebido ya en 1765, adquirió Watt un nombre á mediados del año 1769. La patente que obtuvo en este año se refería á una máquina de vapor de simple acción, á la que se había adaptado un condensador independiente, con inyector, una bomba neumática y un émbolo de vapor perfeccionado. En el mismo año adquirió también una patente sobre un cilindro cerrado con juego automático. Por efecto de que Watt utilizaba mejor la fuerza de vapor, obtuvo una economía tan grande en combustible, que realizaba con un quintal de carbón el mismo efecto para el cual antes se exigían cuatro quintales. Un segundo é importante adelanto, introducido también por Watt, fué el de hacer descender al émbolo del cilindro de vapor, no ya por la presión atmosférica, sino por la misma fuerza de vapor. Consiguió esto haciendo entrar al vapor alternativamente por debajo y por encima del émbolo, y produciendo el espacio vacío que se exigía para este juego, por medio del condensador inventado por él. Al cabo de tres años había completado Watt este invento, antes de conseguir llevarle á la práctica en tan gran escala como se exigía para convencer á los prácticos de su utilidad. Hasta que Watt contrajo asociación con el doctor Roebuck, en la cual el último debía percibir siempre las dos terceras partes de las utilidades líquidas, no tuvo el inventor los medios necesarios para construir una gran máquina de prueba, cuyos resultados fueron completamente satisfactorios.

Pero la sociedad con Roebuck duró poco, pues ya á los pocos años sus relaciones se resintieron en alto grado. Entonces comenzó de nuevo una época de prueba para el pobre Watt, hasta que, por último, en 1773 se unió á Matías Boulton, en Soho, cerca de Birmingham, en cuyo establecimiento industrial, de gran importancia, encontró, tanto los elementos técnicos como el capital de que necesitaba para la realización de sus planes.

Realmente el establecimiento de Soho pertenecía ya entonces á la categoría de los más importantes, sin que pudiera por esto ser comparado con los talleres de nuestro tiempo. La grandiosa fábrica de máquinas que resultó por la cooperación de Watt fué durante largo tiempo la madre de casi todas las máquinas de vapor empleadas en Inglaterra, América y Europa, habiéndose conservado hasta hoy la gloria de aquel establecimiento. Con los dueños, pues, de estos talleres se asoció Watt para la explotación de su patente, cuya duración había prolongado por diecisiete años. Pero el inventor se dedicó entonces, por completo, al perfeccionamiento de las máquinas de aquella fábrica, en todas sus partes.

Como quiera que las máquinas de vapor construídas hasta entonces se utilizaban principalmente para la elevación del agua en la minería, se suspendía, según queda mencionado, inmediatamente al balancín, el émbolo de la bomba, en el extremo opuesto que el émbolo del cilindro de vapor. Pero así no era posible evitar ciertas irregularidades é inseguridades en su marcha, y Watt se empeñó desde un principio en eliminar dichas desigualdades, que tenían lugar principalmente al cambiar de sentido el movimiento oscilatorio del émbolo. Lo consiguió también, de una manera muy completa, transformando el movimiento rectilíneo del émbolo en movimiento circular, haciendo girar, por medio de la máquina, una rueda de hierro, muy pesada, *el volante*, que, una vez puesta en movimiento, le conserva largo tiempo, aunque cese la fuerza motriz, en virtud de las leyes mecánicas de la inercia. Con esto se llenaron las pausas durante las cuales la máquina cambiaba su movimiento de una en otra dirección, y por consiguiente, en rigor, no trabajaba (puntos muertos), y la marcha de la máquina, antes interrumpida con frecuencia por choques sumamente violentos, se hizo completamente uniforme y tranquila. Entonces se colocaron en comunicación con el árbol del volante aquellas partes que estaban destinadas á transmitir la fuerza de la máquina á sus diferentes formas de aplicación.

El origen de otras desventajas subsistentes en las máquinas de entonces, residía en que no era posible sostener el fuego siempre uniforme. La generación del vapor, y por tanto su ingreso en el cilindro, no podían tampoco conservarse constantes, y de aquí que la máquina trabajaba con una generación de vapor de intensidad variable y con velocidad variable también.

Watt trató de evitar este inconveniente introduciendo una válvula giratoria (válvula de garrucha) en el tubo que conducía el vapor de la caldera á la máquina, la cual debía ser movida á cada momento por un obrero especial, según la intensidad de la corriente de vapor. Pero pronto se manifestó que la más pequeña distracción de este obrero podía poner en peligro toda la máquina, y se pensó en que la máquina misma regularizara también este trabajo. El inventor sujetó, pues, al mango de la válvula una palanca unida, á su vez, con el *regulador* ó *moderador* inventado por él, de suerte que cuando la máquina marchaba demasiado rápida, es decir, cuando el suministro de vapor era excesivo, el regulador cerraba cuanto era necesario la válvula en cuestión, abriéndola, por el contrario, de nuevo cuando el acceso de vapor era insuficiente. En la pág. 144 hemos visto, al tratar de la fuerza centrífuga, el principio en que se funda la acción de este regulador.

En sus primeros perfeccionamientos, Watt tenía todavía siempre por modelo la máquina atmosférica de Newcomen. Tales máquinas eran propias sólo para mover una bomba, pero no para producir un trabajo regular, destinado á ser metamorfoseado esencialmente por la industria. Watt celebró este triunfo con la invención de la máquina de vapor de *doble efecto*, cuya primera idea data

del año 1774, según ya hemos mencionado, en la forma como está representada en la fig. 531, pero que en rigor corresponde más bien á la fecha de 1782. Por su belleza, así como por lo conveniente de su forma, hay que considerarla como una máquina tipo. Antes de entrar en su descripción, podemos hacer notar que para efectuar la acción del vapor por ambos lados del émbolo, el cilindro tenía que estar cerrado por ambos extremos, y no como antes, que podía verse desde encima su interior. Pero como al mismo tiempo el émbolo tenía que comunicar con el exterior, se hizo en la tapadera superior del cilindro un orificio circular, por el cual debía pasar la varilla del émbolo, ajustando tan herméticamente con sus paredes, que no pudiera escapar por allí la menor porción de vapor. Para obtener este cierre se emplea una trenza gruesa de cáñamo ó estopa engrasada, colocada sobre la tapadera del cilindro y fuertemente comprimida dentro de un tubo corto, á través del cual pasa la varilla del émbolo, sin tocar siquiera las paredes metálicas, con lo cual, siendo muy lisa dicha varilla, el rozamiento se reduce á un valor sumamente pequeño. Esta disposición se llama *caja de estopas*. Desde la caldera *K* (figura 532) penetra el vapor por el tubo *D D*, en el espacio *S*, para ser conducido desde aquí, ya encima, ya bajo el émbolo *C*, mediante el movimiento oscilatorio de la *válvula de distribución*, que estudiaremos después en particular, como

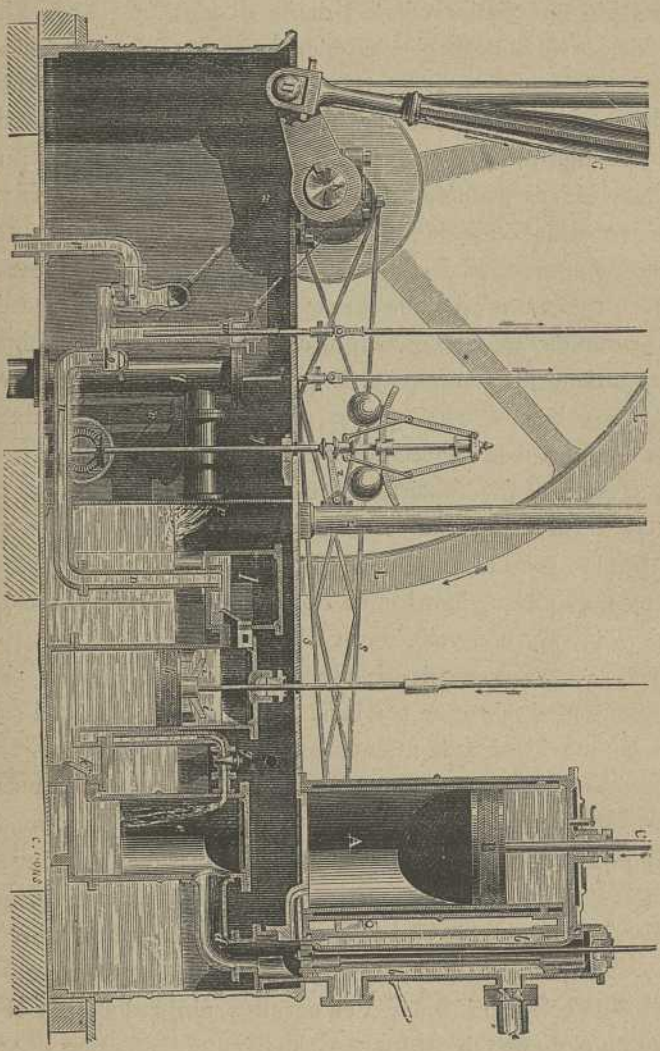


Fig. 531.—Máquina de doble acción, de Watt.

todas las partes principales de la máquina de vapor. En el primer caso, el vapor impulsa al émbolo hacia abajo; en el segundo le eleva de nuevo, y en esto consiste el juego del émbolo, fácilmente inteligible. La fecunda soberanía de la máquina, que regulariza ella misma su marcha, se provee por sí sola de agua y recoge, condensándolo, el vapor ya empleado. Desde luego distinguimos en *K*, dentro del tubo de vapor *D*, la válvula de garrucha, que, según es necesario, deja pasar más ó menos vapor al cuerpo de bomba, y cuya posición está determinada por medio del regulador de bolas que se ve á la derecha sobre el árbol principal, cerrándose la válvula por la ascensión de éstas cuando es excesiva la velocidad, por medio del sistema de palancas *h f g a b c*, abriéndose, por el contrario, cuando la marcha se hace más lenta. Sobre el mismo árbol principal se halla la llamada *excentrica E*, cuya varilla corre por debajo de la caja de distribución al otro lado de la máquina, transmitiendo á dicha válvula el movimiento de vaivén por medio de una palanca angular. El movimiento del émbolo, engendrado en el interior del cilindro, se transmite por medio de su varilla, que atraviesa á frotamiento suave la tapadera del último al extremo del balancín *B B'*, situado en la parte superior y movible como el fiel de una balanza. Del otro extremo del *balancín* pende la *biela v*, que

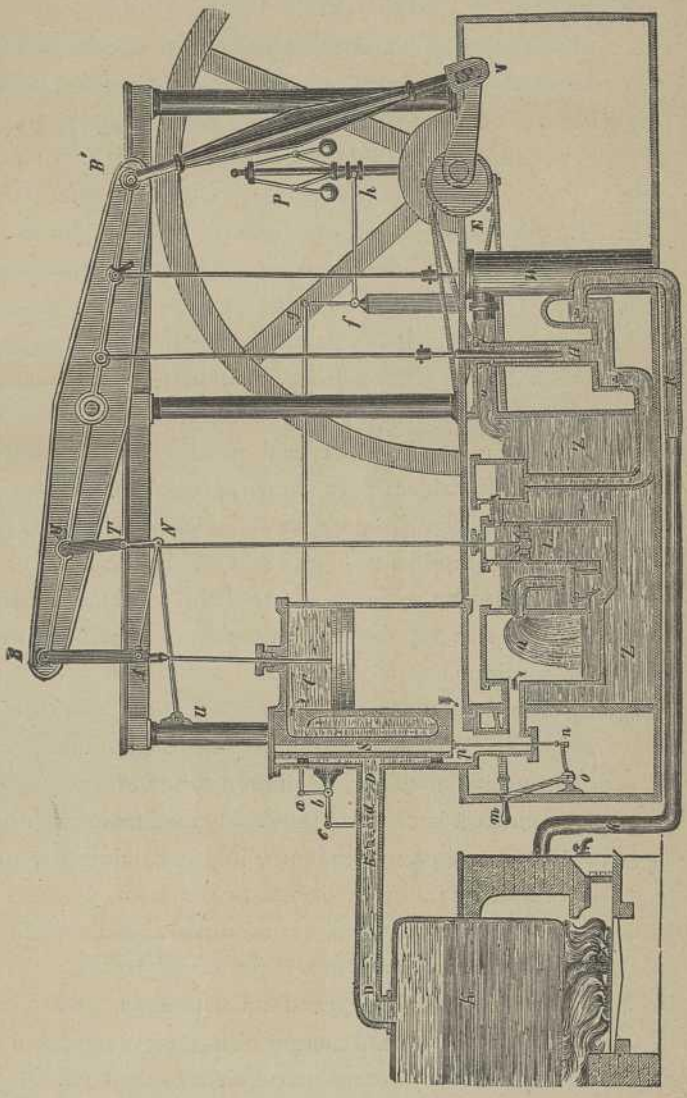


FIG. 532.—Máquina de Watt de doble acción vista esquemática).

se articula en la parte inferior con la manivela del árbol principal, y así hace dar una vuelta completa á dicho árbol con la rueda del volante, por cada oscilación del émbolo. Desde el citado árbol del volante se transmite la fuerza motriz así generada, mediante correas ú otros medios, á los puntos donde quiere utilizarse.

Los aparatos situados en la parte inferior de la máquina están destinados á la condensación del vapor empleado, ó sea á su transformación en agua líquida. Los espacios *Z Z* se llaman *cisternas*, y contienen agua, que es renovada continuamente por la llamada bomba de agua fría *V V*. En el condensador *q* se deposita el vapor procedente del cilindro á medida que penetra en forma de surtidor. Este condensador, no sólo está rodeado de agua fría, sino que ésta penetra en su interior con cierta presión, debida á la mayor altura del nivel exterior. El agua que cae del condensador es extraída incesantemente por la bomba inmediata *L*, la cual se llama *bomba de aire*, porque se encarga también de expulsar el aire contenido siempre en el agua y que se desprende en burbujas cuando se la calienta. El agua caliente proporcionada por la bomba de aire penetra en una caja, de la cual puede fluir en tanto que no sea extraída y enviada á la caldera para alimentar ésta por la pequeña bomba impelente intermediaria *H*, llamada *bomba de alimentación* ó *de agua caliente*. Podemos seguir en la figura el camino que se ve obligada á tomar esta agua hasta la caldera y observamos también en él que dicho conducto está provisto de un pequeño depósito de aire regulador, que tiene por objeto transformar el flujo intermitente en continuo.

A la izquierda de la máquina, junto á la caldera, vemos el extremo de la varilla de la excéntrica provisto de un manubrio, siendo fácil reconocer cómo, mediante la palanca angular *m o n*, adquiere un movimiento de sube y baja la varilla vertical *p*, unida á la caja de distribución. Cuando la máquina, estando en reposo, debe ser puesta en movimiento, hay que comenzar por dar un impulso inicial por medio del manubrio á la palanca angular y varilla de la válvula de distribución del vapor, con lo cual entra en marcha la máquina y cuida ya en lo sucesivo de gobernar su propio movimiento.

Todavía merece mención especial un detalle: el llamado paralelogramo de Watt, un mecanismo interesante, cuyo objeto es mantener á la varilla del émbolo en la posición conveniente. Como quiera que esta varilla pasa á frotamiento por la caja de estopas del cilindro, y por consiguiente no puede vacilar lateralmente mientras que por otra parte tiene que ir unida al balancín, cuyo extremo describe en su movimiento como es natural un arco de círculo, se hacía necesario encontrar un intermedio entre el movimiento rectilíneo del uno y el movimiento curvilíneo del otro; problema que Watt resolvió con elegancia mediante una combinación de palancas que, para mayor claridad, representamos en una figura especial (fig. 533).

Sean *C B* y *O D* dos brazos ó palancas giratorias alrededor de goznes en *C* y *O*. Cuando la varilla del émbolo *Q M* se mueve en sentido vertical, los extremos *B* y *D* describen en el espacio los arcos señalados por líneas de puntos. La porción media *B D*, que une aquellos extremos, no impide el movimiento de sube y baja, puesto que puede tomar á cada instante la posición adecuada entre ambos extremos, para lo cual está articulada en ellos, pudiendo girar alrededor de ambos. Si, por ejemplo, la palanca de la derecha se eleva hasta *B'*, la de la izquierda se halla en *D'*, y el trozo que los une tiene la posición señalada por la línea *D' B'*. Una cosa análoga tiene lugar en el descenso, viniendo á tomar en el límite dicho trozo la posición *C'' B''*. El centro *M* de la pieza de unión se mueve siempre en una recta vertical, ó á lo menos difiere muy poco de ésta, obteniéndose así la guía buscada para la varilla del émbolo. No falta más que concebir bajo *C B* la mitad del balancín, y bajo de *O D* una palanca cuyo centro de rotación se fija en cualquier otro punto de la base de la máquina, para que quede explicada en este esquema la acción del paralelogramo de Watt. En efecto: penden del balancín de la máquina de vapor dos barras como *M*, que son unidas por debajo mediante una tercera barra transversal articulada, y de aquí se origina la forma de un paralelogramo que ha dado nombre al aparato, cuyo paralelogramo cambia de forma continuamente, según la posición del balancín, y al cual va unida generalmente, á más de la varilla del émbolo del cilindro de vapor, la del émbolo de la bomba de aire. La concepción del juego del paralelogramo supone un genio especial, y hasta las personas más profanas reciben, al mirarle, la impresión de una idea ingeniosa.

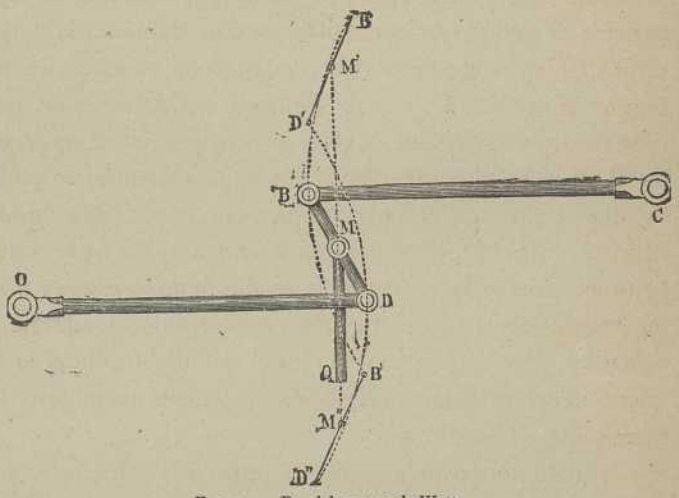


FIG. 533.—Paralelogramo de Watt.

En la máquina de vapor es evidentemente condición indispensable la aplicación exacta de la superficie lateral del émbolo contra las paredes del cilindro. En las máquinas de baja presión este ajuste se obtiene rodeando al émbolo de una gruesa capa de cáñamo; pero en las máquinas de alta presión, que trabajan á una temperatura mucho más elevada, se emplea el ajuste metálico, es decir, de metal con metal, y el émbolo está formado, en la parte que toca á las paredes del cilindro, de una porción de piezas superpuestas cuyo conjunto aparece

como un solo anillo, y que son impelidas continuamente de dentro á fuera contra las paredes del cilindro por resortes colocados en la parte interior. Queda sobrentendido que las paredes de este cilindro y las de la superficie anular del émbolo han de corresponder entre sí lo más exactamente posible.

Mediante todos estos perfeccionamientos, la máquina de vapor llegó á ser un mecanismo capaz de conservar la marcha uniforme de un reloj, aun realizando los efectos mecánicos más considerables. Watt, no sólo hizo más potente al joven gigante, sino también más dócil y fácil de domar. Inmediatamente, pues, se combinaron con ella las diferentes máquinas destinadas á producir los trabajos más variados y enérgicos, y en virtud de esta combinación adquirió la industria en general un desenvolvimiento lo más rápido é inesperado.

Al caducar la patente Watt-Boulton, en el año 1800, deshizo el primero la Sociedad y vivió consagrado á sus estudios y al cuidado de su salud, hasta el 25 de Agosto de 1819, en que alcanzó el reposo eterno á la edad de ochenta y tres años. Durante su vida tuvo ciertamente períodos difíciles, que rara vez faltan en la vida de los genios; pero en cambio gozó la dicha de contemplar por sus propios ojos el éxito inmenso de su descubrimiento. En contraposición al no menos genial Papín, que por efecto de su carácter débil y vacilante no llegó á conquistar suelo firme, pues le faltaba una aspiración fija y determinada, Watt poseyó en primer término un carácter abierto y enérgico, al cual se debe que prosiguiera sus esfuerzos con una constancia y sangre fría admirables, y que adquiriera una sólida y duradera posición social, que le permitía cultivar con fijeza y abundancia de elementos, tanto la ciencia en general, como su especialidad mecánica.

En medio del rico tesoro de conocimientos variadísimos que poseía, no sólo mereció Watt el atributo de sabio profundo, sino que era también uno de los hombres más simpáticos y de más hermosos sentimientos. Las personas más distinguidas solicitaban su trato ilustrado y digno. Pero el pueblo inglés le honró cumplidamente, pues albergó su estatua de mármol, labrada por Chatrey, en la abadía de Westminster, en Londres, el recinto más honorífico de Inglaterra; justificando esta gloria con la consideración de que James Watt fué un hombre que consagró su poderoso ingenio, educado muy joven en las investigaciones científicas, al perfeccionamiento de la máquina de vapor, y, por tanto, ensanchó los horizontes de la prosperidad material de su país, acrecentó en general la fuerza disponible para la humanidad, elevándose, por consiguiente, á un puesto sobresaliente entre los hombres más célebres de la ciencia y los mayores bienhechores de la humanidad.

Después de la época de Watt ha experimentado todavía la máquina de vapor tan múltiples perfeccionamientos aislados, que sólo podremos mencionar con algún detalle los más importantes.

Si comparamos con la antigua máquina de Watt (fig. 531) una máquina de

las de construcción moderna, como, por ejemplo, la que nos muestra la fig. 534, encontraremos tal vez alguna mayor elegancia en la disposición, una construcción más sencilla; pero apenas podremos descubrir ningún invento nuevo que afecte á la esencia de esta clase de máquinas, por más que han recibido alguna mayor extensión sus principios fundamentales.

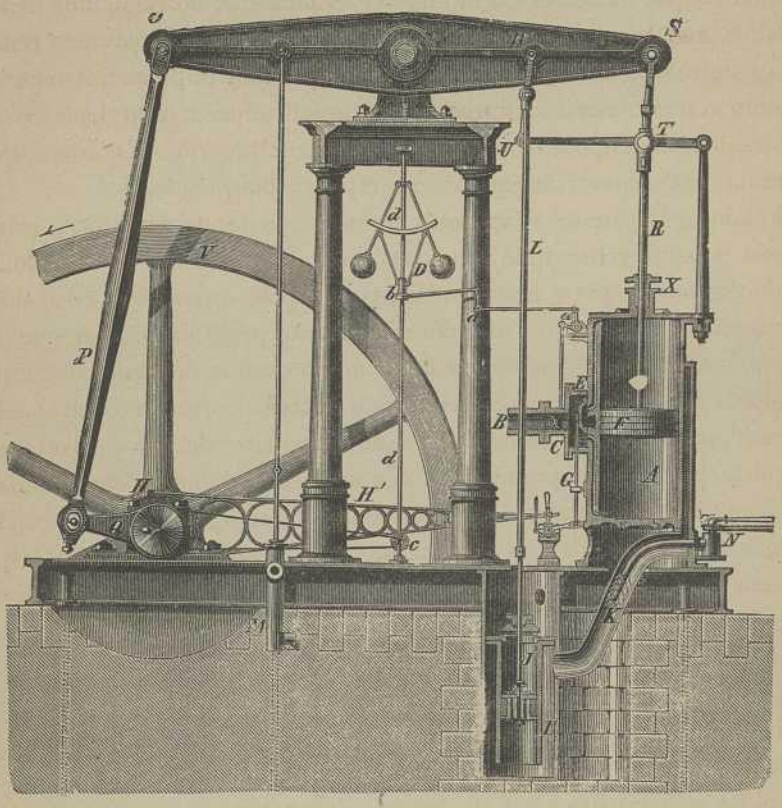


FIG. 534.—Máquina de vapor de construcción moderna, sistema Watt.

A. Cilindro de vapor.—*F*. Émbolo.—*X*. Caja de estopas.—*R*. Varilla del émbolo —*S*. *T*. *U*. *W*. Paralelogramo.—*S*. *O*. Balancín.—*P*. Biela.—*Q*. Cigüeña.—*V*. Volante.—*H*. Excéntrica.—*H'*. Tirante de la excéntrica.—*G*. Palanca de la caja de distribución.—*B*. Tubo de vapor.—*C*. Válvula de garrucha.—*E*. Caja de distribución.—*D*. Regulador de bolas.—*aa*. Palancas del regulador.—*b*. Anillo corredizo.—*I*. Condensador.—*J*. Bomba neumática.—*K*. Surtidor de agua fría.—*N*. Tubo de aspiración.—*M*. Bomba de alimentación.

Se halló que el vapor, engendrado bajo una alta presión, adquiría también una fuerza expansiva, que creciendo en proporción con la resistencia podía también producir efectos más considerables. En las máquinas usuales hasta entonces actuaba el vapor engendrado a una temperatura de 100° centígrados sólo con la fuerza de 1.033 gramos sobre cada centímetro cuadrado de la superficie del émbolo; y si bien se consiguió alguna vez un efecto algo mayor, de todos modos se exigía siempre para obtener mayores efectos, bien emplear superficies de émbolo muy considerables, y por consiguiente cilindros muy anchos, ó bien, lo que equivale á lo mismo, poner en acción varias máquinas de vapor

juntas. Ahora, cargando con mayores pesos la válvula de seguridad de la caldera, por ejemplo, en proporción á dos, tres, seis, ocho kilogramos por centímetro cuadrado, podía engendrarse vapor con dos, tres, seis, ocho atmósferas de tensión. Este vapor obraba, pues, con esta misma tensión superior sobre el émbolo de la máquina, originándose de este modo las máquinas de alta presión, que permitían efectos mecánicos muy enérgicos con émbolos de diámetro relativamente pequeño. Según el valor de la tensión del vapor se llaman estas máquinas de dos, tres, seis, ocho atmósferas. Las máquinas de alta presión fueron inventadas en 1802 por Trevithick, y puestas en práctica muy poco después particularmente por Humphry Edwards, en América. Arturo Woolf utilizó la circunstancia de que el vapor á alta presión no produce todo su efecto de un solo golpe, sino que puede actuar sucesivamente á medida que se dilata, si no siempre con la presión inicial, por ejemplo, de tres ó cuatro atmósferas, á lo menos con una presión restante de dos ó una atmósferas. Para ello colocó junto al pequeño cilindro de la máquina de alta presión un cilindro mayor de baja presión, al cual conducía, por encima de su émbolo, el vapor utilizado bajo el émbolo del cilindro de alta presión, y recíprocamente, obteniendo así un segundo efecto que agotaba toda la fuerza expansiva del vapor antes de conducir éste al condensador. Por lo demás, la idea de hacer obrar al vapor sucesivamente sobre dos émbolos no es de Woolf, sino que procede de Hornblower, quien la introdujo en la industria en 1792.

Sin embargo, más sencillo era, conforme se ha comprendido en época moderna, dar lugar en un mismo cilindro á la expansión del vapor y evitar así el segundo cilindro con todos sus accesorios. Esto es lo que se verifica hoy muy comúnmente en las máquinas de *expansión*, en las cuales no se espera á suspender la entrada del vapor en el cilindro á que el émbolo haya verificado toda su carrera, sino que se cierra la llave cuando éste se halla á la mitad ó á la tercera parte del camino, dejando que el vapor obligue al émbolo á completar aquél, en virtud de su fuerza expansiva, después de lo cual se lleva al condensador el vapor ya dilatado.

Estas son las máquinas de expansión actuales. Pero como en las fábricas varían las circunstancias á que hay que satisfacer en el trabajo, sucede á veces, por ejemplo, que se utiliza menos fuerza, y para estos fines se han inventado las máquinas de expansión variable, en las cuales puede tener lugar instantáneamente la interrupción de la llegada del vapor á voluntad en cualquier fracción de la carrera del émbolo, obteniéndose con esto el gasto preciso de vapor, y por consiguiente una gran economía de combustible. Últimamente se deja cambiar á la máquina misma el momento en que comience la expansión, según la fuerza adquirida por ella, de modo que en el momento en que en un telar comienza á funcionar, por ejemplo, una nueva máquina, la cantidad de vapor utilizada hasta entonces es insuficiente, pero inmediatamente la máquina misma, por su deten-

ción instantánea, hace que aumente el acceso de vapor al cilindro, adquiriendo así la fuerza necesaria para realizar la cantidad de trabajo ahora exigida.

La construcción de la máquina de alta presión es todavía más sencilla que la de los modelos que hemos estudiado anteriormente, en lo que se refiere á la condensación del vapor y la provisión de agua fría necesaria para ello, lo cual ha caído ya en desuso. En las locomotoras se hacía indispensable esta simplificación, pues no podían llevar consigo el agua fría para producir constantantemente esta condensación. En las máquinas fijas, por el contrario, se emplea ó

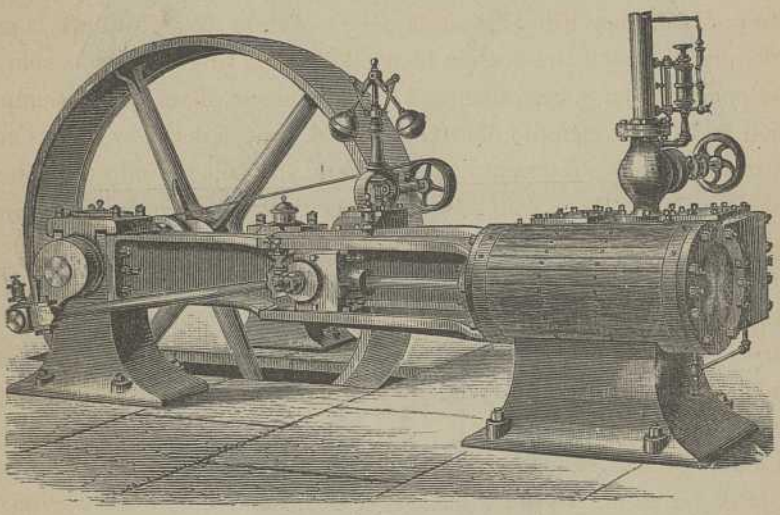


FIG. 535.—Máquina horizontal de vapor.

no el condensador, según las circunstancias, y con frecuencia aconsejan éstas aprovechar la ventaja de recobrar el calor latente contenido en el vapor, originándose sistemas especiales de construcción, como, por ejemplo, el representado en la fig. 535.

Como quiera que en las máquinas de alta presión el vapor tiene que vencer, para salir, la resistencia del aire, é invertir en esto la fuerza de una atmósfera, resulta que una máquina que funcione con una tensión de cuatro atmósferas sólo puede desarrollar la fuerza correspondiente á tres, mientras que cuando se adiciona el condensador es utilizable también esta última atmósfera en su mayor parte, puesto que en este caso no actúa la resistencia del aire exterior como un obstáculo especial que haya de ser vencido por el vapor á su salida.

SISTEMAS DE MÁQUINAS DE VAPOR

Si queremos clasificar los aparatos comprendidos bajo la denominación de máquinas de vapor, tenemos que distinguir en primer término las máquinas sin

émbolo. Estas, entre las cuales se cuentan los primeros ejemplares ideados, han tenido poca importancia práctica. La aplicación del émbolo señala el punto á partir del cual hay que contar la máquina de vapor propiamente dicha.

Las máquinas de émbolo son de dos especies: las primitivas máquinas *atmosféricas* (Papín, Newcomen y Watt), y las máquinas de vapor posteriores, principalmente las de doble acción, en las cuales el vapor impele al émbolo en ambas direcciones.

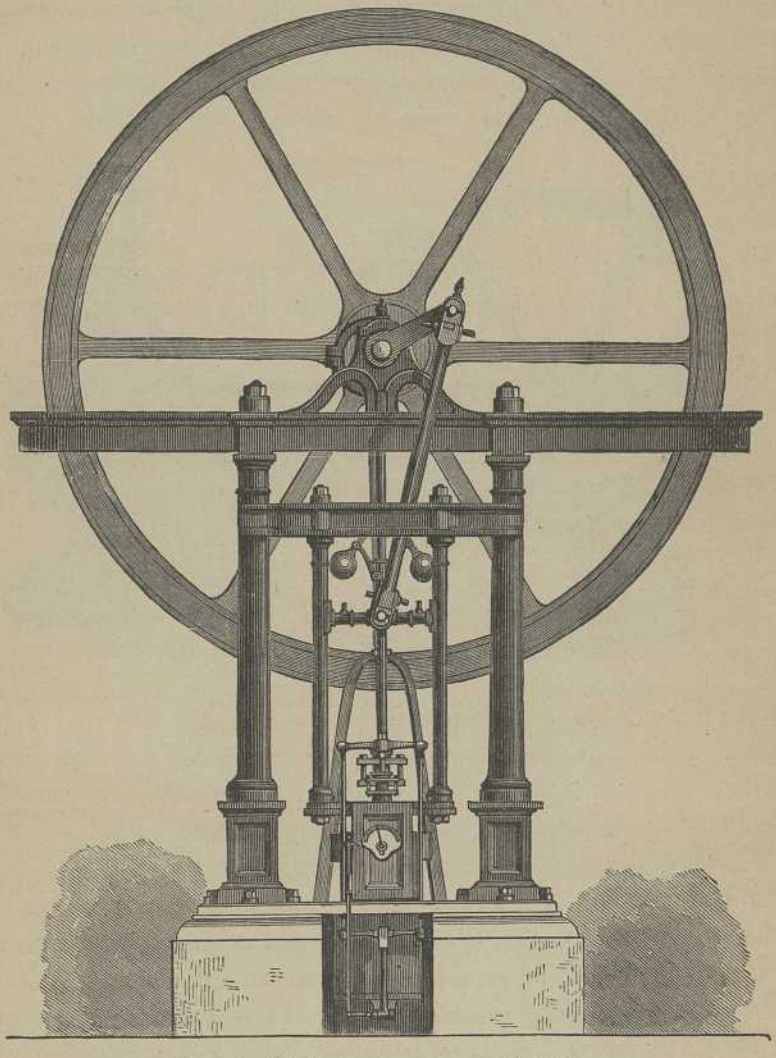


FIG. 536.—Máquina de alta presión, con cilindro fijo.

Todas las máquinas que trabajan con vapor á tensión superior á la de la atmósfera son máqninas de alta presión; éstas no necesitan condensador, puesto que el aire atmosférico no puede impedir la difusión de este vapor en el exterior. Las máquinas de baja presión son todas aquéllas en las cuales puede tra-

bajar el vapor á tensión inferior ó atmosférica, puesto que, en vez de gravitar sobre el otro lado del émbolo el aire atmosférico con su presión propia, se produce allí un espacio tan completamente vacío como es posible, condensándose el vapor de agua que lo ocupaba.

Las máquinas de vapor de doble acción pueden funcionar con condensación ó sin ella, así como también con ó sin expansión, de donde se forman los cuatro grupos siguientes:

a) Con condensación y sin expansión.
b) Con condensación y con expansión.
c) Sin condensación y sin expansión.
d) Sin condensación y con expansión.

Sin tener en cuenta aquellas clases que se originan simplemente por la adición ó supresión del balancín, por ser el cilindro fijo ú oscilatorio, etc., etc.

La máquina de baja presión, de Watt, y en general las primeras máquinas de doble acción, como la de la fig. 531, pertenecen al grupo primero, ó sea con condensación y sin expansión.

Al segundo grupo, ó sea con condensación y con expansión, corresponde la máquina de Woolf, según la cual se llama hoy ordinariamente á todo el sistema, sistema de Woolf.

CAJA DE DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR, Y JUEGO AUTOMÁTICO DE LA MÁQUINA

Hemos mencionado ya dos de las partes componentes más importantes de la máquina de vapor, el paralelogramo y el regulador; pero nos resta todavía considerar otros mecanismos análogos, que han experimentado en el transcurso del tiempo modificaciones muy esenciales. En primer término, la introducción alternativa del vapor por encima y debajo del émbolo en el cilindro de las máquinas de baja presión, debió constituir un motivo de preocupación constante para los constructores de éstas. En un principio se adoptaron válvulas de charnela y en forma de llave, particularmente la llave de cuatro vías, hasta que por último se vino á parar en la caja usual hoy. Ésta consiste en una pieza hueca, *G* (figura 537), que resbala sobre las superficies del cilindro, entre los tubos de vapor *H* é *I*. El grabado muestra la caja, primero en una de sus posiciones extremas, y después en la otra, en la fig. 538. A cada vaivén se abre uno de los tubos y se cierra el otro, estableciéndose, como se ve por la figura, la comunicación alternativa de un modo lo más sencillo. El movimiento de la caja está dirigido por una varilla, *E F*, que atraviesa sus paredes á frotamiento y recibe además su movimiento oscilatorio de la máquina misma. El vapor recién formado sale de la caldera y penetra en la caja de distribución por el tubo *S;* el vapor ya usado, sale del cilindro por *T*. La posición de la caja, representada en

primer término (fig. 538), tiene lugar cuando el émbolo ocupa el punto más bajo del cilindro; entonces están abiertos los tubos *I* y *H*; á través de *I*, penetra el vapor bajo el émbolo levantándole, mientras que por *H* desciende el contenido encima del émbolo ya citado, hacia la salida *T*. En la segunda posición (fig. 539), todo está invertido, siendo empujado hacia abajo el émbolo por el vapor que penetra por encima de él á través de *H*. En estas dos posiciones extremas, la caja de distribución se detiene brevemente en su movimiento. En cambio debe pasar rápidamente por la posición intermediaria, pues si se detuviera en ésta, á un tiempo quedarían cerrados los dos tubos de vapor, y el émbolo, estando sometido á presiones iguales por ambas caras, se detendría también en su carrera. Sin embargo, la inercia contribuye á hacer pasar el émbolo de esa posición central, durante el breve tiempo que el cilindro está incomunicado con la caldera en toda su longitud. De todos modos, si se supusiera prolongada la pared interna de la caja, de suerte que las dos porciones en que está dividida se hallaran á una distancia mayor del diámetro del orificio correspondiente á cada tubo de vapor, no serían sólo dos, sino cuatro, las posiciones diferentes que podrían considerarse á cada vaivén. La caja de distribución empleada en las máquinas de expansión se diferencia en muchos casos de la ordinaria representada en nuestra figura, en que la distancia que separa á las dos porciones en que está dividida la pared interna, varía según el tiempo durante el cual el vapor penetra libremente bajo el émbolo.

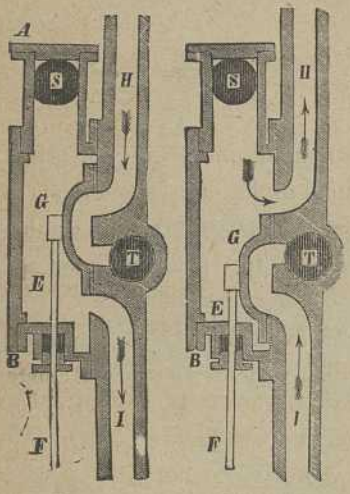


FIG. 537. FIG. 538.
Teoría de la caja de distribución.

EXCÉNTRICA

Como se ve, pues, en virtud del movimiento de vaivén de la varilla *F* (figura 538), se produce el juego automático de la máquina. Ahora bien; el movimiento de aquella varilla se obtiene generalmente del del árbol del volante por medio de la llamada excéntrica, representada en la fig. 539. La excéntrica inventada por Murdoch consiste en un disco circular, *E*, adaptado al árbol *A*, de suerte que el eje de éste no pase precisamente por el centro del disco, sino á cierta distancia de él. De aquí que hacia un lado del árbol queda un trozo de disco mayor que hacia el otro. El disco está rodeado por un anillo, *K*, de donde parte la varilla de la excéntrica, y ésta transmite su movimiento á la caja de distribución del vapor, mediante una palanca angular.

En efecto, el disco excéntrico, teniendo que mantenerse dentro del anillo *K*, le obliga á resbalar sobre su periferia, describiendo un círculo. El tirante unido á este anillo tiene, pues, que moverse exactamente lo mismo que si fuera impulda por un manubrio, cuyo brazo tuviera la misma longitud que la distancia máxima desde el borde del disco al árbol. Como se ve fácilmente, cada vaivén del émbolo produce una rotación completa de la rueda del volante, y ésta á su vez,

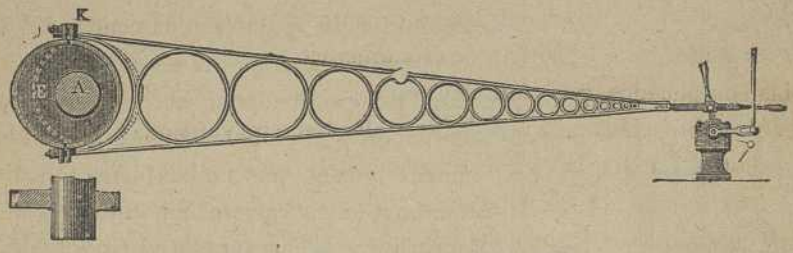


FIG. 539.—Excéntrica y tirante de la misma.

por medio de la excéntrica, un vaivén de la caja de distribución. Estos tres movimientos son determinados recíprocamente el uno por el otro, y resultan, por tanto, siempre producidos en el mismo tiempo.

Después de haber puesto en claro la manera de obrar de la excéntrica en su forma más sencilla, encontramos que, como se comprende fácilmente, pueden darse también otras formas al disco y obtener de tal suerte diferentes aceleraciones, retardaciones y pausas en el movimiento de la caja de distribución durante una rotación, cuando así convenga. La forma circular lleva consigo el inconveniente de que la caja resbala desmasiado lentamente, y entretanto se pierde fuerza, por lo mismo. Pero haciendo, como con frecuencia se hace, triangular la excéntrica con lados curvilíneos, y haciéndola girar en una armadura cuadrangular, los impulsos comunicados á la caja de vapor se suceden con más rapidez y queda un intervalo más corto entre cada movimiento de ida y vuelta. Cuando la máquina funciona con expansión, hay que disponer la forma de la excéntrica de un modo adecuado, pues como se comprende, depende de ella la forma y manera como la caja de distribución recorre su camino, y al mismo tiempo la magnitud de los intervalos en la interceptación de la entrada del vapor. En el disco irregular representado en la fig. 540, gira éste entre dos ruedas unidas al tirante con una forma ondulada, la cual se modifica de distintos modos, según la clase de interrupción que quiere producirse en la entrada del vapor al cilindro, pues por medio de esas inflexiones se obtiene que la caja de distribución reciba cuatro impulsiones separadas por breves momentos de reposo, dos en cada dirección. La primera impulsión, á partir de uno de los puntos extremos, corta la entrada de vapor por un lado, mientras que deja todavía

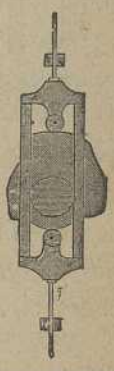


FIG. 540.—Excéntrica de una máquina con expansión.

abierto un cierto tiempo el tubo de salida; la segunda completa el cambio y deja salir el vapor por el otro lado, y así sucesivamente.

Las válvulas de distribución de construcción antigua están sometidas en su superficie de frotación á una compresión correspondiente á la tensión del vapor en su interior, lo cual produce una pérdida de fuerza. Este inconveniente ha sido evitado con las cajas, que son huecas y tienen dos compartimentos, en virtud de cuya forma el vapor sale y entra de tal suerte, que la caja recibe una presión bilateral del vapor entrante y saliente, sin que tenga lugar una presión considerable sobre la superficie de frotamiento.

Más complicados, pero también muy en uso, son aquellos sistemas de dos cajas en combinación, cada una de las cuales tiene movimiento propio y diferente del de la otra. La una, la caja de distribución propiamente dicha, cuida sólo de que el vapor penetre por arriba ó por abajo; mientras que la otra, la caja de expansión, regulariza el ingreso del vapor en la primera, interceptándolo por completo periódicamente. Por último, existen otros mecanismos, cuyo objeto es modificar el cierre del vapor, aun durante la marcha de la máquina, pues haciendo girar una palanca con la mano, ó también automáticamente por la acción del regulador de bolas, por ejemplo, sobre una pieza corredera provista de dos orificios, situada en el interior, se consigue, bien dejar completamente libres ambos tubos para el paso del vapor, bien cerrarlos más ó menos completamente.

Casi todos los inventos verificados en los últimos tiempos para el mejoramiento de la máquina de vapor se refieren á perfeccionar este gobierno automático. Muchos de ellos son ejemplo del ingenio más sutil, como el de Corlisz, procedente de América, y adoptado después por todas partes durante los últimos veinte años.

En lugar de la caja de distribución se han empleado algunas veces en la máquina de Watt mecanismos de émbolo que actúan con una acción de distribución exactamente equivalente á la de la caja. Consiste en un tubo cilíndrico en el cual se mueve, por la influencia del tirante de la excéntrica, una varilla que lleva á cierta distancia dos émbolos ajustados á frotamiento, los cuales resbalan delante de los dos conductos de vapor en comunicación con el cilindro. La distancia de ambos émbolos es exactamente igual á la de las bocas de estos tubos. Cuando la varilla se eleva á su posición más alta, quedan ambos émbolos por encima de los orificios, y el vapor puede penetrar por arriba y salir por abajo; haciendo descender los émbolos sucede lo contrario. Este mecanismo es una cosa semejante al de los pistones en los instrumentos musicales de metal. (Véase la fig. 497.)

El balancín es una pieza accesoria de la máquina de vapor, que puede muy bien faltar, como sucede en las máquinas de cilindro horizontal, carruajes de vapor, etc.; en efecto, puede hacerse obrar directamente la varilla del émbolo sobre el árbol del volante ó sobre los ejes de las ruedas. Pero como la parte de

la varilla que se introduce en el cilindro sólo puede verificar un movimiento rectilíneo, mientras que el otro extremo tiene que describir un círculo con la cigüeña correspondiente, resulta de aquí que la varilla tiene que constar en este caso de dos porciones unidas entre sí por medio de una articulación (fig. 535). Sin esta disposición sería imposible evidentemente toda transmisión del movimiento, á no ser que el cilindro mismo cediera, desviándose de su posición en proporción á la desviación de la varilla, supuesta de una pieza. Ahora bien; este principio se halla también aplicado en las máquinas llamadas de cilindro oscilatorio, que son apropiadas particularmente para los buques de vapor por su construcción, en virtud de la cual ocupan muy poco espacio. En este caso el cilindro *A* (fig. 541), en posición vertical, está suspendido por su centro sobre dos fuertes muñones, por los cuales pasan también los tubos de vapor, y bajo la influencia del movimiento de vaivén de la varilla del émbolo recibe el cilindro un movimiento giratorio á uno y otro lado de la posición vertical, según lo exige la posición de la cigüeña de transmisión. Se trata del mismo problema resuelto por Watt en su paralelogramo, que aquí lo ha sido en otra forma más simple, si se quiere, que la representada en la figura 535.

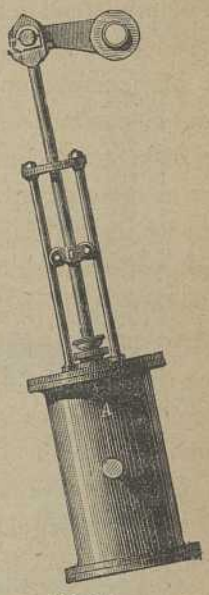
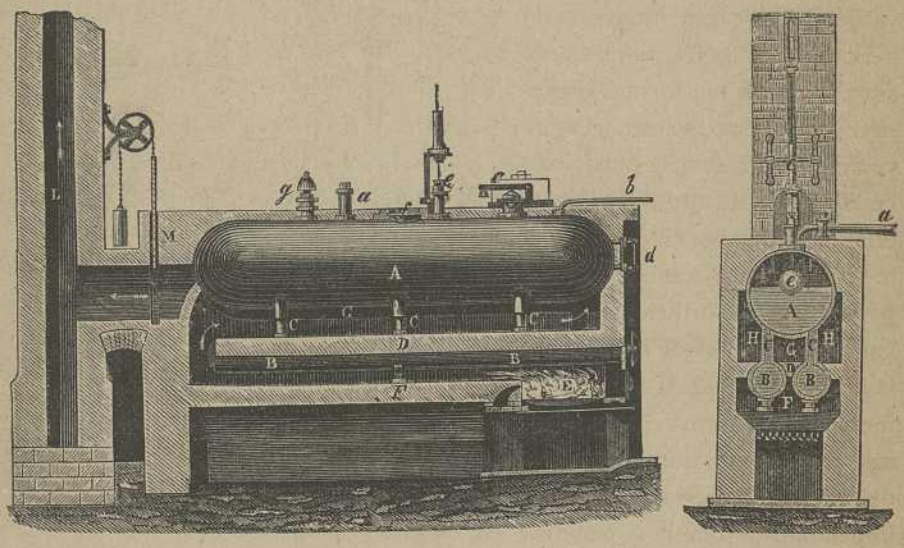


FIG. 541.
Cilindro oscilatorio.

La caldera.—Es una parte esencialísima de la máquina de vapor. Posee generalmente una forma cilíndrica alargada, redondeada por ambos extremos por dos hemisferios. Para aumentar la superficie de calefacción suelen existir dos ó tres llamados tubos de ebullición, unidos con el cuerpo principal de la caldera, y cuyos cilindros, de pequeño diámetro, se hallan inmediatamente debajo de ésta dentro del hogar, en el cual se prolongan por medio de pequeños tubos verticales; otras veces la chimenea del hogar atraviesa el interior del cilindro, y en este caso no forma un solo tubo, sino todo un sistema de ellos, cuyo número asciende en las locomotoras hasta 150. Así como en este sistema se conduce el hogar por el interior de la caldera, otras veces se ha empleado una disposición de ésta, que fué ya intentada en el siglo pasado por Barlow, en la cual la capacidad de la caldera se extiende por tubos cerrados por debajo, llenos de agua y que desembocan en el interior del cuerpo principal; estos tubos, rodeados por las llamas, comunican rápidamente una temperatura elevada al contenido de la caldera, por efecto de las corrientes de agua muy caliente que desde su interior ascienden á lo alto, dando lugar á la renovación de la masa expuesta en ellos más directamente al fuego del hogar. Esta circulación disminuye al mismo tiempo el peligro de las incrustaciones resultantes del depósito de una capa sólida de carbonato de cal sobre el interior de la caldera, cuando el agua contiene

la dicha sal en disolución. Por lo demás, es evidente que los diferentes fines y circunstancias particulares de cada caso determinan también instalaciones especiales y diversas de las calderas; pues, por ejemplo, unas veces importa en primer término la economía de espacio (como en las máquinas de los buques de vapor), otras la de combustibles (como en las máquinas fijas); también incluye en segundo término la aspiración de evitar en lo posible la formación de humo mediante disposiciones apropiadas para su extinción, etc., etc.

Una de las disposiciones más usuales en la instalación de las calderas de las



Vista lateral. Vista transversal.

FIGURAS 542 y 543.—Instalación de la caldera para máquinas de alta presión.

máquinas de alta presión es la que presentamos á nuestros lectores en las figuras 542 y 543, de las cuales la primera representa la vista lateral, y la segunda un corte vertical. En ambas *A* es el cuerpo principal de la caldera, *BB* son los tubitos de calefacción unidos con aquél por otros tubos cilíndricos, *CC;* una bóveda, *D*, separa el hogar y obliga á las llamas que parten de *E* á rodear á la caldera en la dirección de las flechas. *F* son soportes de fundición de hierro para los tubos de calefacción; *M* es una plancha sostenida por un contrapeso para regular el tiro. En cuanto á las partes integrantes de la caldera misma, *a* es el tubo de vapor que conduce á la caja de distribución, *b* el tubo de alimentación, *c* la válvula de seguridad, *d* el manómetro, *e* el aparato flotador, *g* el silbato, segunda válvula de seguridad, y *f* la llamada portilla, un orificio de 25 á 30 centímetros en cuadro, que se cierra herméticamente, y por el cual puede penetrar un operario al interior de la caldera para limpiarla ó repararla. Pertenece también á la armadura de la caldera la disposición para conducir el agua ó alimentar aquélla. En lugar de la bomba de alimentaciones movida por la má-

quina misma por medio de la excéntrica, se emplean con este objeto modernamente, y con preferencia, los llamados inyectores.

Descansan éstos sobre el principio, ya aplicado á la construcción de la máquina neumática de mercurio, de que un surtidor que sale con fuerza por un orificio estrecho, arrastra consigo el aire que le rodea, y por consiguiente, si el orificio está rodeado por una vasija cerrada en la cual no puede renovarse el aire, se origina en ella un espacio enrarecido. Si esta vasija exterior está interceptada inferiormente por una masa de agua sometida por fuera á la presión atmosférica, asciende el agua por efecto de ésta, y puede ser lanzada á cierta altura cuando la diferencia de presión es suficiente para llevar la columna líquida por encima del orificio de salida. En los inyectores de vapor para la alimentación de la caldera se mezcla en tal forma el vapor que sale con el agua que entra, condensándose el primero y siendo impelida esta mezcla á penetrar en forma de surtidor en el interior de la caldera.

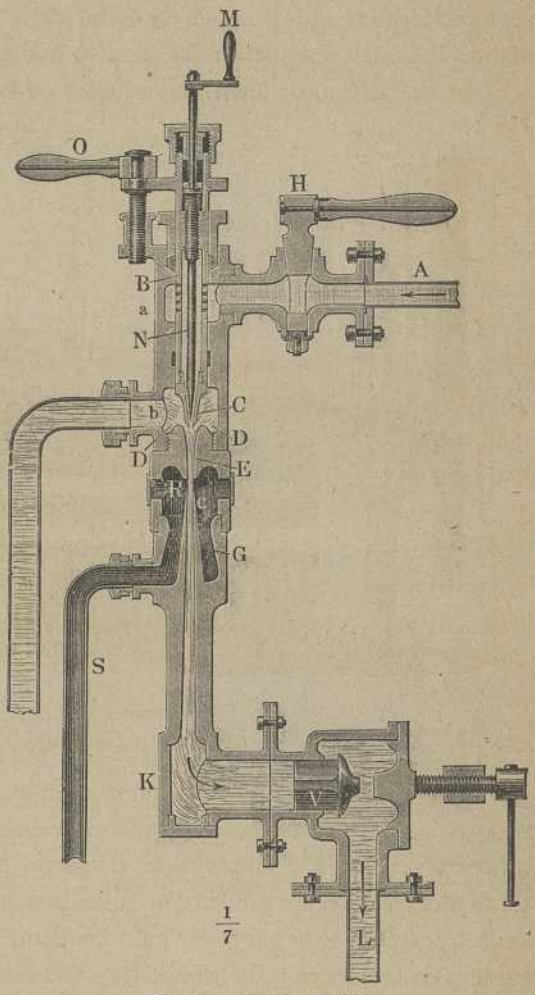


FIG. 544.—Inyector Giffard.

El primero que llevó á la práctica esta idea (1858), emitida ya anteriormente por el marqués *Maunowy d'Ectot* (1818), fué el ingeniero francés Giffard, el mismo que llamó la atención en la última Exposición Universal de París con su globo cautivo. Este inyector de Giffard está representado en sección en la fig. 544. El tubo *A* conduce el vapor, cuando la llave *H* está abierta, desde la caldera al tubo *BC*, que termina en el surtidor cónico *C*. Éste se abre en la cámara *D*, que se halla en comunicación con el depósito de agua por medio de un tubo de elevación y se prolonga en un tubo cónico, *E*, en el cual se acumula el agua aspirada por el tubo de elevación, así como la que resulta de la condensación del vapor. El chorro de agua que fluye por *E* es recibido por el surtidor *G*, colocado enfrente, y llega, á través del tubo *K*, al tubo *L*, y de aquí á la caldera.

La que no es recogida por el surtidor *G*, se reune en *R*, y fluye por el tubo de desagüe *S*. Un mecanismo regulador es *M*, que actúa estrechando la abertura del surtidor; este regulador se ha dispuesto con un juego automático en el uni*versal-patent-inyektor* de Körting.

El flotador consiste esencialmente en un trozo de madera flotante en el agua de la caldera, del cual parte una varilla metálica que atraviesa la pared superior de la misma. Una cadenita arrollada sobre una polea lleva en su otro extremo un contrapeso ó un indicador que señala sobre una escala el nivel del líquido en el interior; cuando no se puede hacer uso exactamente de este medio, pueden emplearse sencillamente dos llaves de prueba, colocadas una encima de la otra. De los manómetros ya nos hemos ocupado anteriormente. (Véase la pág. 163.)

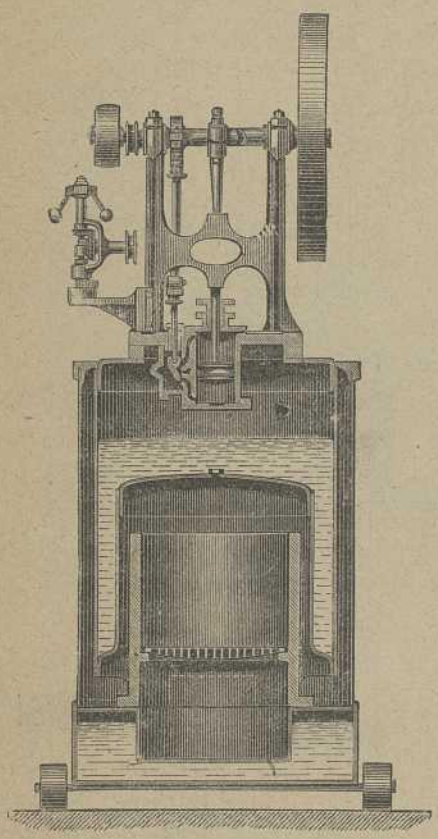


FIG. 545.—Pequeña máquina de vapor con su caldera.

Sin embargo, merece mención especial, siquiera sea breve, la válvula de seguridad, ese aparato tan importante para la protección de las calderas de vapor. Se han empleado diferentes métodos para evitar todo peligro de explosión y hacer que el vapor buscara por sí mismo salida fácil al exterior cuando ocurriera el caso de que la tensión del vapor en el interior de la caldera alcanzara un grado de vapor tal, que la resistencia de las paredes fuera insuficiente para contrarrestarla. Se ha pensado diferentes veces en el procedimiento de introducir en las paredes superiores de la caldera láminas de aleaciones especiales, cuyo punto de fusión podía graduarse de suerte que se fundieran antes de que el vapor pudiera vencer la resistencia de las paredes de la caldera, formadas de hierro generalmente. Pero este sistema no se ha manifestado en la práctica tan conveniente como parecía á primera vista; por el contrario, sigue siendo lo más seguro una válvula cónica, cargada exteriormente con un peso correspondiente y aplicada en virtud de este peso contra un orificio, al cual cierra con toda exactitud. En efecto: de este modo se puede modificar la presión del peso sobre la válvula á cada momento y en relación con las circunstancias, cambiando el brazo de palanca sobre el cual actúa el peso, por lo que hoy se emplea casi exclusivamente este sistema. Precisamente la fácil variabi-

lidad de su resistencia ha dado lugar á algunas excitaciones, fundadas en la consideración de que el manejo de un aparato tan importante para la vida de seres humanos no debe ser tan suave y expedito que pueda dejar en un momento dado de responder á su objeto. Sin embargo, ¿se proscribe acaso el uso del cuchillo porque con él se hayan cometido asesinatos? Por otra parte, ninguna válvula de seguridad evita en absoluto todos los peligros posibles en una caldera de vapor. Se originan especialmente explosiones de calderas por la rotura ó agrietamiento de la costras que forman los depósitos salinos por la evaporación del agua, cuyo agrietamiento hace que se ponga súbitamente en contacto el agua con el fondo incandescente de la caldera y que el desarrollo de vapor sea entonces tan rápido é intenso, que las paredes de la vasija no puedan resistir la presión. Estas explosiones pueden tener lugar á pesar de las válvulas de seguridad, y sólo pueden evitarse mediante los cuidados más escrupulosos, la observación más atenta de todas las circunstancias y la aplicación más exacta de todas las precauciones. Hoy día con frecuencia se construyen de acero las paredes de las calderas, en lugar de hierro dulce, con objeto de aumentar su resistencia; pero por grande que ésta sea, nunca podrá sustituir al cuidado del hombre, que actúa, preservándola de las circunstancias peligrosas.

Contra nuestro gusto, nos abstenemos de hablar en este sitio de las formas más importantes en las cuales encuentra aplicación práctica la máquina de vapor. En el capítulo próximo tendremos ocasión de considerar las locomotoras y locomóviles, limitándonos en este lugar á presentar en la fig. 445 la disposición de una de las innumerables combinaciones, tan usual en motores de poca fuerza.

LAS RIVALES DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR

La extraordinaria revolución que el empleo del vapor y de su fuerza expansiva, como motor, ha originado en todas las ramas de la vida, descansa en parte en la concentración de la fuerza, por decirlo así; concentración que hace posible *de una vez* una cantidad de trabajo mecánico que antes sólo podía obtenerse poco á poco en un largo intervalo de tiempo, y por medio de la cual se manifiestan como susceptibles de ser resueltos por la fuerza mecánica y en su solución como condición de progreso, todos esos problemas gigantescos que ya hoy no nos producen sorpresa ni admiración. Sin embargo, también se debe en parte este resultado á la mayor comodidad en el desarrollo de la fuerza por la transformación directa del calor en movimiento mecánico. Por más que las mejores máquinas de vapor sólo transforman en trabajo mecánico poco más del 20 por 100 del calor ofrecido por la combustión del carbón, pues el resto desaparece en parte con el vapor de agua que se escapa, en parte con el aire caliente que sale por la chimenea, y en parte también por radiación calorífica, de donde se dedu

ce que el efecto útil es muy pequeño, son, sin embargo, relativamente las más baratas. Pero cuanto más pequeña se construye la máquina de vapor, tanto más perjudicialmente actúan sobre su capacidad de trabajo algunos factores; el capital de fuerza impuesto en ella se reduce desproporcionadamente cuando el efecto es más pequeño, pues ciertos mecanismos permanecen igualmente necesarios en toda máquina de vapor, sea grande, sea pequeña, y rebajan, por consiguiente, mucho más considerablemente el efecto de las máquinas de poca fuerza. Por otra parte, la instalación de toda máquina de vapor está limitada de tal modo y por tan múltiples consideraciones, efecto de los peligros de incendios, y todavía más de explosiones, que rara vez puede pensarse en su aprovechamiento para los mecanismos que trabájan, movidos por fuerza humana, en las casas tan densamente pobladas del interior de las ciudades.

Ahora bien; gran número de industrias exigen pequeños motores, cuya fuerza no exceda próximamente de la de algunos pocos hombres, pero que produzcan con más economía el efecto que aquéllos pudieran realizar; que por su forma estén limitados á un espacio lo más pequeño posible, y que en modo alguno exijan grandes hogares que limiten su aplicación á puntos que sólo con dificultad pudieran ser cambiados, así como que puedan ser puestos en juego rápidamente sin una larga preparación, del mismo modo que interrumpir su movimiento cuando no se quieren usar con rapidez y sin pérdida de trabajo. No hay para qué decir que la primera condición para la generalización de tales motores había de ser, además, un gasto de instalación lo más pequeño posible.

Se confió durante largo tiempo en encontrar un motor de estas cualidades por la aplicación de las máquinas electro-magnéticas; pero como ya hemos visto anteriormente, no se pudieron realizar tales esperanzas. Siempre seguía siendo el aprovechamiento directo de la acción dilatante del calor el medio que presentaba menores pérdidas, y las máquinas de vapor siguieron ocupando el primer puesto, si bien no era forzoso que hubiera de engendrarse en ella el cuerpo que se había de dilatar. La gran cantidad de calor que se marchaba perdida en el vapor como calor latente, sugirió el pensamiento de dilatar, en lugar del vapor de agua, otro cuerpo que de antemano se hallara en estado gaseoso, utilizando su expansión como origen de fuerza mecánica.

Este pensamiento fué muy fructífero, y en él descansa el principio de la máquina llamada calorífica, de Ericsson, así como también la de gas de Lenoir. En ambas es el aire atmosférico el que se dilata por la acción del calor, y por consecuencia de la tensión así adquirida, origina el movimiento de un émbolo á frotamiento dentro de un cilindro cerrado. Ambas máquinas llevan, en rigor, nombres impropios, pues lo mismo la de Ericsson que la de Lenoir, y en general toda máquina de vapor ó de otra clase en que el calor se transforma directamente en fuerza mecánica, son máquinas caloríficas, y, por último, tampoco es, en el fondo, la máquina de Lenoir, de mezcla detonante, pues la mezcla que hace

explosión en ella no corresponde exactamente á la composición de aquélla. Las dos citadas, junto con sus numerosas derivadas, podrían muy bien llamarse en común máquinas de aire caliente, ó simplemente de aire, cuya denominación se reserva hoy sólo á la de Ericsson, para distinguirla de la de Lenoir.

En realidad, su diferencia principal descansa sólo en la posición del foco calorífico; en la una el calor se engendra por la combustión del carbón *fuera* del cilindro; en la otra, por el contrario, por la combustión de un gas hidrocarbonado *dentro* del cilindro mismo.

LAS MÁQUINAS DE GAS

Si se mezclan ocho partes en peso de oxígeno, y una de hidrógeno, ó, lo que es lo mismo, dos partes en volumen de hidrógeno y una de oxígeno, se obtiene la mezcla detonante, llamada así por su propiedad de que, al aproximarse una llama, hace explosión con ruido extraordinario. Ambos cuerpos se combinan entre sí súbitamente y con gran desarrollo de calor, originándose, por efecto de esta combinación, agua que, en virtud de la elevación de temperatura que tiene lugar, ocupa en estado de vapor un espacio mucho mayor que el que ocupaban los gases antes de combinarse. La dilatación instantánea de la masa determina una gran presión que, cuando la explosión se produce en una vasija cerrada, puede alcanzar fuerza bastante para destrozar las paredes.

Así como fué objeto de tentativas el hacer utilizable como potencia mecánica la acción de la pólvora ordinaria, con cuya acción tiene la mayor semejanza la explosión del gas detonante, así se pensó también pronto en transformar esta última fuerza de modo que pudiera prestar servicio por medio de máquinas *ad hoc* para las necesidades de la industria. Pero durante largo tiempo las tentativas practicadas con este objeto carecieron de éxito, principalmente porque se empleaba la mezcla explosiva pura ó casi pura, en cuyo estado la inflamación y desarrollo consiguiente de la fuerza es tan rápido, que ejercía una influencia desastrosa sobre las diferentes piezas de la máquina, acortando su duración. De aquí que desde luego se pensara en hacer más lenta la acción para hacer posible una marcha tranquila del émbolo; es decir, la invención de una máquina que realizara su efecto gradualmente, como la máquina de vapor con expansión.

Lenoir, en París, consiguió satisfacer bastante felizmente á esta exigencia, llevando al cilindro por bajo del émbolo, no ya la mezcla detonante propiamente dicha, sino una mezcla de aire atmosférico, con cierta cantidad de gas del alumbrado. El gas del alumbrado es un carburo de hidrógeno que, mezclado con el oxígeno en proporción próximamente de 3: 1, detona con gran energía, según demuestran las explosiones de gas que con frecuencia lamentamos. Pero Lenoir encontró que para el fin que se persigue en la máquina, la composición

más favorable de la mezcla era de 91 á 95 partes de aire atmosférico, y sólo 5 á 9 partes de gas del alumbrado. En efecto, en tal caso ya no se verifica, bajo el émbolo de la máquina de Lenoir, una explosión de tal forma, que como en la de la mezcla antedicha de hidrógeno y oxígeno, se produzca primero una enorme dilatación de la masa, é inmediatamente después, por la condensación del agua, una contracción á un espacio casi nulo, sino que más bien se obtiene simplemente una combustión instantánea del gas del alumbrado en el aire. El calor originado por ella dilata también en este caso muy rápidamente los productos de la combustión, vapor de agua y gas carbónico; pero al tenerse que transmitir

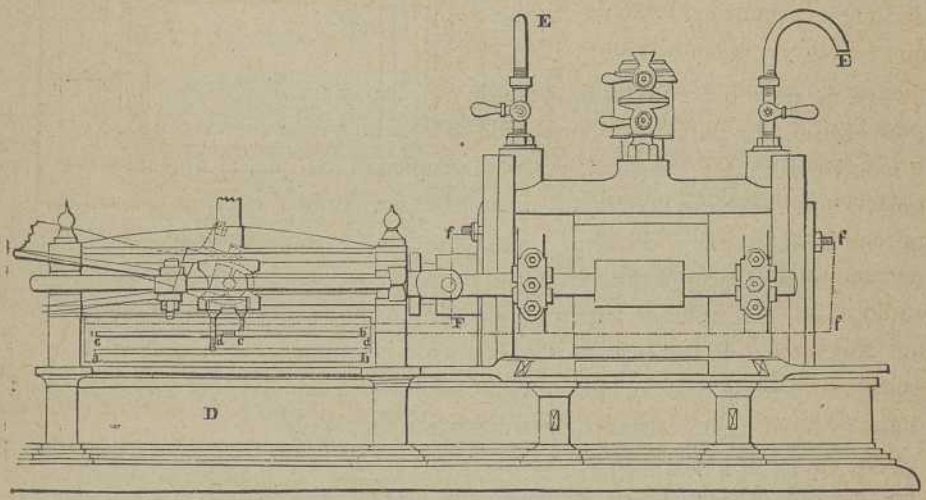


FIG. 546.—Máquina de gas de Lenoir, vista lateral.

al aire, que existe en gran exceso dentro del cilindro, su acción no es ya momentánea, sino que, por el contrario, marcha por grados hasta el efecto máximo y determina, por tanto, un movimiento mucho más reposado del émbolo.

Lenoir, á quienes somos deudores de este perfeccionamiento en el principio de la máquina de gas, fué obrero (*monteur*) de una fábrica de bronces; más tarde se dedicó á la galvanoplastia, y fundó, en compañía de un señor Gautier, un establecimiento, bajo la razón social *Société générale de galvanoplastie*. Esta empresa no pudo calificarse de feliz en cuanto á su éxito material, así como tampoco consiguió el resultado que se proponía con la idea de hacer utilizable el electro-magnetismo como fuerza motriz. Sin duda debió ofrecérsele un obstáculo insuperable en el alto precio de esta fuerza; de aquí que intentó emplear como motriz, en lugar del electro-magnetismo, la fuerza explosiva de la mezcla detonante, cuyas experiencias le condujeron, por último, después de varios fracasos, á la feliz idea de emplear una mezcla de gas del alumbrado y aire atmosférico. Lenoir se asoció al fabricante de máquinas parisién Hipólito Marinoni, el cual tiene una participación importante en la gloria de la solución práctica

del problema. En Mayo de 1860 fué instalada la primera máquina de Lenoir, en el taller de Lévêque, calle de Rousselet.

Este invento se hizo camino rápidamente por todo el mundo civilizado. Un sujeto llamado Juan Pocy, de Madrid, compró el privilegio para España, Cuba y el Brasil, en 100.000 francos. En casi todos los países se han expedido patentes sobre perfeccionamiento de la máquina de Lenoir; prueba evidente de que ésta no representaba simplemente un juguete propio para figurar en un gabinete de física, sino que con ella se satisfacía una necesidad práctica apremiante. De aquí que penetremos algún tanto en el estudio de su disposición actual.

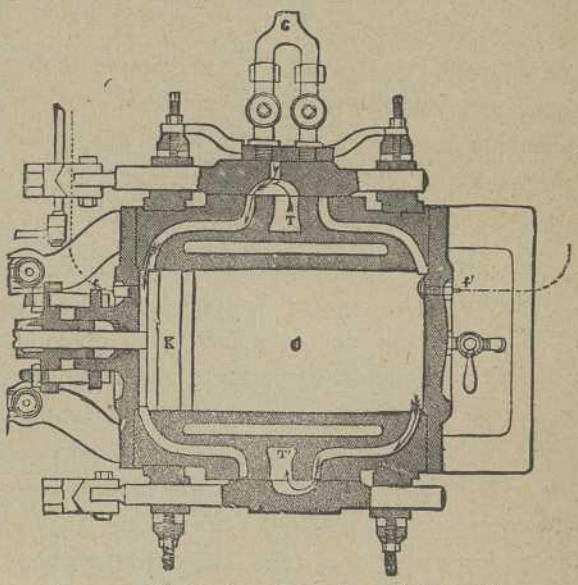


FIG. 547.—Máquina de gas de Lenoir, sección horizontal.

Nuestros dibujos representan una máquina de Lenoir, vista lateralmente en la fig. 546, en corte longitudinal, horizontal en la fig. 547, y en corte vertical que pasa por entre los dos tubos de alimentación *G* en la fig. 548. Desde luego se vuelven á encontrar, dirigiendo una mirada superficial á estos dibujos, como partes principales de la máquina en cuestión, las mismas partes que hemos estudiado ya en la máquina de vapor. Un cilindro, en cuyo interior se mueve un émbolo por la acción expansiva de un cuerpo en estado gaseoso; un mecanismo regulador, por medio del cual prosigue sin interrupción el movimiento del émbolo; el conocido mecanismo de biela, por medio del cual se transforma el movimiento rectilíneo en movimiento rotatorio de un árbol, y, por último, la rueda del volante unida á éste para determinar en lo posible la uniformidad del

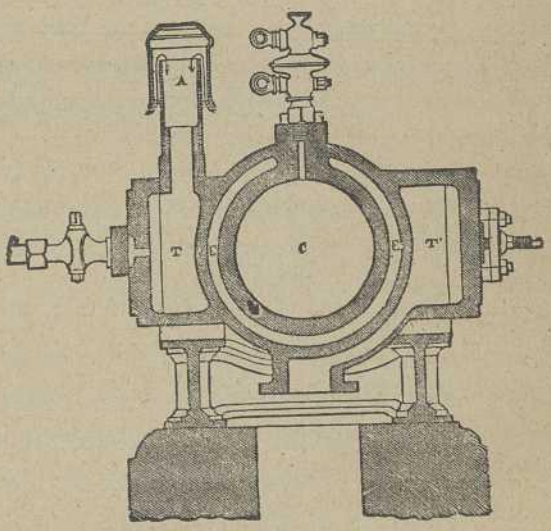


FIG. 548.—Máquina de gas de Lenoir, sección vertical.

movimiento rotatorio. El cilindro de fundición de hierro, situado en posición horizontal, está designado en la fig. 547 por la letra *C*, y por *K* el émbolo que se mueve en su interior. Éste se halla en comunicación con la cigüeña del árbol del volante por medio de una varilla articulada con la biela, transmitiéndose el movimiento de vaivén al volante, que está suprimido en nuestro dibujo. El árbol de éste mueve por medio de una excéntrica las dos válvulas de distribución, que resbalan en *T* y *T'*. La una, sobre *T*, sirve para mezclar el gas del alumbrado y el aire atmosférico aspirado por el émbolo mismo, y conducir la mezcla al interior del cilindro, teniendo para este fin una disposición especial, de la cual volveremos después á ocuparnos; otra, sobre *T'*, regulariza la salida de los productos de la combustión del gas del alumbrado (vapor de agua y ácido carbónico), así como del residuo de aire que no ha tomado parte en la combustión, y cuya expansión ha sido causa del movimiento del émbolo. La elevación de temperatura en el interior del cilindro es bastante considerable; para evitar sus efectos y enfriar las paredes del cilindro, están rodeadas éstas de una cubierta que forma un espacio anular vacío *EE* (fig. 548) á su alrededor. En este espacio fluye el agua procedente de un depósito colocado en alto, al cual la máquina misma eleva el agua necesaria por medio del tubo *E* (fig. 547), situado á la izquierda del cilindro, y desciende por el tubo encorvado, visible á la derecha, después que ha sustraído al cilindro su calor, pudiendo entonces aplicarse, bien á la calefacción de algunos locales, bien á otros usos.

El tubo que conduce el gas del alumbrado se bifurca en su extremo *G*, y tiene una llave en cada uno de sus brazos. Se pone en comunicación con la tubería ordinaria de gas por medio de un tubo de goma. Abriendo una de las dos llaves, penetra el gas por un lado del émbolo, abriendo la otra por el otro. En la posición de la caja de distribución representada en la fig. 548, el gas procede de la rama izquierzda de *G*, se mezcla en el espacio *T* con aire atmosférico aspirado por *A* (fig. 548), y penetra por el canal correspondiente, por detrás del émbolo. Cuando éste ha aspirado una cantidad suficiente de mezcla gaseosa, se intercepta el paso, tanto en el tubo de gas como en el de aire. En el mismo instante debe saltar la chispa eléctrica para que no tenga que verificar el émbolo un trabajo inútil por la expansión de la mezcla; así como también con objeto de que no pueda salir del cilindro una parte de la masa gaseosa que se dilata, sin comunicar al émbolo toda su fuerza expansiva. Entretanto, la otra caja corrediza, representada en la fig. 547, permanece inmóvil y deja escapar por el canal situado á la derecha los productos de la combustión correspondiente á la explosión inmediata anterior y situados delante del émbolo. Un momento antes de terminarse esta carrera del émbolo, es movida por la máquina misma esta caja de distribución, de suerte que vengan á ponerse en comunicación entre sí los otros dos canales. Los productos de la combustión que todavía se hallan delante del émbolo, y cuya salida ha quedado interceptada por el movimiento

de aquella caja corrediza, son comprimidos por dicho émbolo y actúan como cojinetes elásticos en el momento del cambio en la dirección de su movimiento. La caja corrediza que resbala sobre *T* suspende su movimiento en cuanto queda cerrado el canal de gas de la izquierda, y no lo recobra hasta que la caja que corre bajo *T'* cesa en el suyo respectivo, y el émbolo, comenzando una nueva carrera, abandona el punto muerto; entonces pone en comunicación el canal situado á la derecha con la rama correspondiente del tubo de conducción del gas *G*.

La caja de distribución situada delante del tubo de conducción del gas, *G*, está dispuesta, según ya hemos mencionado, de una manera especial, con objeto de que se produzca dentro de ella una mezcla íntima del gas del alumbrado con el aire atmosférico. En efecto, en lugar de un simple orificio, por medio del cual pudiera establecerse la comunicación por un tubo de gas, se mueve delante de éste una especie de lámina de latón rectangular ahuecada, que está atravesada en sentido transversal por varias series de tubitos ó de aberturas en forma de peine, por donde el gas penetra en los canales que conducen al cilindro. El aire atmosférico es aspirado también á través de la caja, é igualmente por medio de canales que la atraviesan en sentido longitudinal, que se abren en las esquinas laterales á derecha é izquierda, desembocando en el espacio interior del cilindro por medio de otras tantas aberturas en forma de peines. Estas últimas comunican con los tubitos de conducción del gas. Los citados peines están adaptados á las dos tapas de la caja de distribución. El gas es, pues, conducido mediante los tubitos en corrientes muy ramificadas, así como el aire por medio del canal que rodea á estos tubitos, de suerte que la mezcla que resulta inmediatamente al ponerse ambos en contacto, es sumamente íntima, y al inflamarse por influencia de la chispa, no se origina detonación alguna local, sino una simple combustión de partículas de gas del alumbrado en el seno del aire atmosférico, que se propaga uniformemente por toda la masa.

La inflamación de la masa gaseosa se obtiene por la chispa eléctrica, engendrada mediante un aparato de inducción. Uno de los polos de la pila, formada por dos elementos de Bunsen, está en comunicación constante con el cilindro. El otro alambre polar atraviesa las paredes del cilindro aislado de ellas, y su punta se presenta en el interior enfrente del metal del cilindro, bien por encima, bien por debajo del émbolo, de suerte que á cada interrupción ó cierre del circuito, en virtud de la cual se produce una corriente de inducción, salta una chispa, debida á esta última corriente, y se produce la inflamación. En las figuras 546 y 547 se indican por las líneas de puntos *F F'* los hilos conductores; en la fig. 546 está representada además en *a b c d* el aparato general de la chispa. Mediante el movimiento del émbolo se regularizan de tal suerte las interrupciones de la corriente, que la chispa salta siempre cuando el cilindro ha recibido la cantidad necesaria de mezcla gaseosa; realmente, á cada interrupción salta

una chispa á cada lado del émbolo desde los dos extremos de los hilos conductores á la pared del cilindro; pero sólo produce acción alternativamente á uno ú otro lado, según donde existe mezcla explosiva.

Ahora bien; el juego de la máquina toda es como sigue. En primer lugar es indispensable que haga girar algún tanto el árbol de la rueda del volante para que puedan mezclarse las cantidades correspondientes de gas y aire y penetrar por uno ú otro lado del émbolo (en la fig. 547, por la izquierda). La cantidad de mezcla aspirada se inflama en cuanto la caja de distribución ha cerrado el orificio de entrada, y desde entonces en adelante comienza ya el movimiento automático de la máquina. La caja inferior permanece abierta próximamente hasta el término de la carrera del émbolo, con objeto de que puedan desaparecer del cilindro por la derecha del émbolo, primero el aire, después los productos de combustión correspondientes á las explosiones anteriores. A cada vaivén sucesivo del émbolo el movimiento de la rueda del volante cuida espontáneamente de aspirar nuevas cantidades de mezcla gaseosa.

El poner en marcha la máquina constituye una pequeña molestia. Por último, no puede tampoco evitarse que la marcha del émbolo experimente en el primer momento una aceleración sumamente intensa, que se hace tanto más notable cuanto mayor es la proporción de gas del alumbrado suministrada, y, por consiguiente, cuanto más se aproxima en su composición la mezcla gaseosa á las cantidades relativas de hidrógeno y de oxígeno que forman el agua. Sin embargo, estos choques perjudiciales son en parte neutralizados por la influencia de la rueda del volante, á la cual no es necesario tampoco dar grandes dimensiones, como algunos temían; por otra parte, se disminuye considerablemente la proporción de gas del alumbrado, y, por tanto, la energía de la explosión en cuanto la acción explosiva se hace demasiado brusca.

Marinoni ha introducido en el cilindro dos válvulas, por medio de las cuales á cada golpe de émbolo cae dentro del cilindro un surtidor fino de agua caliente. Ésta se transforma inmediatamente en vapor que eleva la tensión de la masa gaseosa, prolonga su acción expansiva, absorbiendo una parte del calor, y, por último, actúa sobre la grasa, fundiéndola suavemente, con lo cual contribuye á disminuir el rozamiento del émbolo contra las paredes. Las mayores máquinas de esta clase construídas representan una fuerza de ocho caballos.

En la máquina de Lenoir era susceptible, en primer lugar, de perfeccionamiento el aparato de inflamación, pues la chispa eléctrica constituye un factor poco seguro todavía en la práctica. Hugon eliminó este factor, produciendo la inflamación de la mezcla goseosa conducida alternativamente á uno y otro lado del émbolo, mediante pequeñas llamas de gas llevadas por la misma caja de distribución. En efecto, al presentar ésta, á derecha é izquierda del émbolo, su pared agujereada enfrente de una llama fija, su contenido de mezcla se inflama, produciendo llamas suficientemente largas para propagar la inflamación

hasta el interior del cilindro, á través del canal correspondiente, después de haberse interceptado la comunicación con el exterior. Con la detonación se apagan también natuuralmente las llamitas movibles conductoras de la inflamación, las cuales se presentan á continuación de un modo análogo por el otro lado del émbolo, realizando allí los mismos efectos. Langen y Otto, de Colonia, habían empleado ya esta manera de producir la inflamación antes que Hugon, aplicándola á la máquina presentada por ellos en la Exposición Universal de París de 1867, la cual fué entonces premiada por el Jurado con la gran medalla de oro; pero, por lo demás, el motor de gas de Langen y Otto se diferencia esencialmente de sus rivales. La mezcla de gas del alumbrado y aire atmosférico es

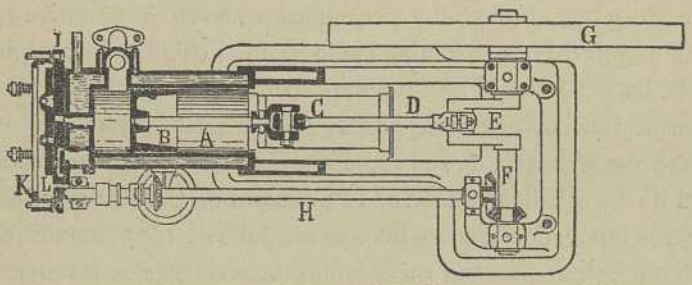


FIG. 549.—Vista en sección transversal del último motor de gas de Otto.

aspirada por la máquina misma á cada golpe de émbolo, é inflamada por medio de la disposición antes descrita. La explosión lanza inmediatamente al émbolo hacia arriba, y éste mismo posee un peso bastante considerable, por el que, en virtud de la fuerza viva adquirida, determina tras sí un enrarecimiento, acompañado del descenso consiguiente en la temperatura. Se hace, pues, dominante la presión atmosférica, y ella impele al émbolo, en unión con la fuerza de su propio peso, durante el descenso. Al ascender deja el émbolo tras sí un vacío; la máquina es, pues, en realidad una máquina atmosférica.

La máquina de explosión de gas de acción directa de Lenoir y Hugon ha sido perfeccionada esencialmente por Bishop, el cual la ha hecho adecuada en particular para pequeñas cantidades de fuerza, obteniendo motores hasta de $\frac{1}{12}$ de caballo, los cuales exigen, para diez horas de trabajo, un consumo de gas que corresponde tan sólo á un coste de 0,65 ó 0,70 de peseta. En cuanto á economía en el gasto de gas, hay que tributar, sin embargo, los mayores elogios á la máquina de gas de Otto, en la cual produce el efecto más ventajoso una distribución en capas y una mezcla característica de los gases que han de entrar en acción.

El émbolo motor que se mueve en el cilindro horizontal de ésta (fig. 549) deja entre sus paredes y las del cilindro un cierto espacio, aun en las posiciones extremas, el cual permenece siempre lleno con una parte de los gases de com-

bustión, procedentes de la aspiración anterior. Cuando el émbolo ha aspirado la mezcla de gas y aire, es ésta condensada por el retroceso del émbolo, determinado en virtud de la inercia del volante (próximamente hasta dos atmósferas de presión), antes de que éntre en acción la llama explosiva conducida por el fondo del cilindro. Mediante esta condensación, las partículas de gas de alumbrado quedan de tal suerte repartidas y envueltas en la masa de aire, que al iniciarse la inflamación no puede entrar toda la masa en explosión simultáneamente, sino que la llama necesita hasta cierto punto un tiempo considerable para penetrar á su través y alcanzar á las diferentes partículas combustibles. La capa de aire situada delante del émbolo obra como un cojinete elástico que recibe su primer choque. Hasta tal punto se ha evitado el choque que se producía con gran ruido y que obraba muy perjudicialmente en la primitiva forma de la máquina de Lange y Otto, que ahora sólo junto al cilindro mismo pueden oirse cada una de las explosiones. La regularización exacta de la mezcla explosiva, que representa una condición importante para la buena marcha de la máquina, resulta como consecuencia de su propia marcha. Se construyen motores de esta clase hasta de 25 caballos de fuerza. El principio de Otto ha sido también utilizado por otros innovadores; en los años desde Julio de 1877 hasta Enero de 1881 se adquirieron 65 patentes por otras tantas innovaciones en los motores de gas.

La estimación del verdadero efecto útil de las máquinas, esto es, la relación entre la cantidad de fuerza que puede mediante ellas convertirse realmente en trabajo mecánico, y la cantidad de fuerza que corresponde teóricamente al material combustible empleado, ofrece muy grandes dificultades. De todos modos los motores de gas que más completamente responden al fin de transformar con la menor pérdida posible todo el calor engendrado en fuerza mecánica, se hallan todavía en su estado actual más distantes de realizar aquella aspiración que nuestras máquinas de vapor, á pesar de que en éstas el calor latente del vapor de agua produce una pérdida constante y nada despreciable. En efecto, en los motores de gas una parte del calor se pierde al propagarse inútilmente por el metal del cilindro, desde donde no puede convertirse ya en fuerza; una parte de la fuerza activa desarrollada, es absorbida por el rozamiento y la compresión de las partes transmisoras de la máquina por efecto de la violencia de las explosiones; por más que, como hemos indicado á propósito de la máquina de Otto, se ha reducido el valor de estas pérdidas, y además todavía existen otras desventajas con respecto á la máquina de vapor debidas á que los cierres son menos perfectos; en una palabra, que cuando nos propusiéramos obtener con una cantidad considerable de carbón la cantidad mayor posible de fuerza mecánica, no debiéramos hacer aplicación del principio de las máquinas de gas. Esto no significa que dichos motores, aplicados oportunamente, no puedan ofrecer ventajas muy importantes cuando puedan ser instalados en puntos donde por cualquier circunstancia no sea posible la instalación de máquinas de vapor, ó bien donde

la fuerza necesitada sea tan pequeña, que resulte demasiado cara como motor la máquina de vapor, con su complicada instalación y su costoso sostenimiento. Todo el conjunto de hogares, con su correspondiente depósito de combustible, el hueco para la caldera, la chimenea, etc., que se necesita para la máquina de vapor, queda suprimido en la de gas, y los cuidados, en cuanto á la calefacción, quedan reducidos á inspeccionar de tiempo en tiempo el sistema de engrasado, para evitar que cese éste; pero para este trabajo basta un muchacho. El espacio total ocupado por una máquina de este género es muy pequeño; casi puede decirse que se pueden instalar en cualquier habitación, así como es posible ponerlas inmediatamente en marcha rápida, sin que sea necesaria una calefacción previa y prolongada, y sin que se pierda, mientras permanecen en reposo, una cantidad de calor considerable.

En los puntos donde no se dispone de gas del alumbrado, pueden ponerse todavía en acción motores semejantes á los descritos, pues grasas animales muy volátiles, los petróleos, la gasolina, etc., ofrecen en cierto modo un gas combustible condensado y que puede ser transportado fácilmente á cualquier parte. Sometidos estos líquidos á una corriente de aire suficientemente intensa, y que al atravesarlos arrastra consigo vapores en proporción adecuada, se origina una mezcla que es tan explosiva como la de gas del alumbrado y aire, y que puede ser utilizada con el mismo objeto que ésta por medio de máquinas construídas *ad hoc*. Se exige, pues, en tales máquinas de petróleo una antecámara en la cual se verifique el paso de la corriente de aire á través del líquido combustible, el cual, con objeto de que ofrezca una superficie mayor de contacto, está extendido sobre cuerpos porosos, como fieltro, esponja, cok, etc. Por lo demás, estas máquinas, de un empleo cómodo cuando se trata de pequeñas cantidades de fuerza, corresponden completamente á las de gas del alumbrado.

MÁQUINAS CALÓRICAS, Ó DE EXPANSIÓN DE AIRE

El primero que emitió el proyecto de emplear como fuerza motriz la dilatación del aire atmosférico por el calor, en lugar de la expansión del vapor de agua, debió ser, sin duda, Juan Stirling, de Glasgow. Éste puso en práctica una máquina de expansión de aire en el año 1827, y algunos años después apareció Ericsson con su proyecto (1833). Pero ninguna de estas dos máquinas atrajo en ue principio gran atención, porque no satisfacían las esperanzas que la máquina de vapor había hecho concebir. Después de estos ingenieros parece que intentó también resolver el problema el funcionario de policía secreta Prehn; pero parece también que no tuvo éxito alguno.

Ericsson (fig. 550) no abandonó su empeño. Se trasladó al Norte de América, donde supo interesar á algunos capitalistas en la empresa de aplicar su nueva

máquina como propulsora de buques. Trabajó en su obra con una actividad incansable, un talento claro y penetrante, que descubría pronto el lado atacable de una dificultad, y una energía inquebrantable, llegando á construir en 1848 la primera máquina de aire caliente, según un sistema proporcionado, y de cinco caballos de fuerza; al año siguiente continuó con la producción de una segunda de 60 caballos, viéndose funcionar por primera vez en Europa uno de estos motores en la Exposición de Londres de 1851.

La elección del nombre *máquina calórica* fué poco feliz, pues sólo designa un aparato en que actúa el calor, y aun cuando respondiera al concepto de una transformación del calor en fuerza mecánica, sería del mismo modo aplicable á toda máquina de vapor, y también, hasta cierto punto, á las de gas. Mejor es el de «Máquina de aire caliente.» Pero el nombre más propio para estas máquinas es el de «Máquina de expansión de aire.»

Fig. 550.—John Ericsson.

El 15 de Febrero de 1853 hizo su viaje de prueba, desde el puerto de Wáshington hacia Alejandría, el primer barco movido por una máquina de aire caliente, el *Ericsson*. Tenía una longitud de 80 metros 13 metros de anchura y 2.200 toneladas de desplazamiento. Las ruedas de paletas tenían tres metros de anchas y 10 metros de altas, y eran puestas en movimiento por una máquina de 600 caballos nominales de fuerza. A pesar de la considerable economía de combustible (se pretendía emplear sólo la décima parte del carbón que consumía una máquina de vapor de la misma fuerza) y no obstante las alabanzas que por todas partes se cantaron del nuevo motor, no debía ser tan conveniente el sistema, á lo menos tal como entonces se empleó, pues el *Ericsson* fué transformado al año siguiente en un buque de vapor ordinario. Con este acontecimiento pareció quedar en el olvido el invento acabado de nacer. No se oyó hablar de él durante largo tiempo; pero Ericsson trabajaba incesantemente en el silencio tras el perfeccionamiento de su invento, partiendo entonces de la idea exacta de que el principio en cuestión debía encontrar su aplicación más ventajosa en máquinas de pequeña fuerza. La máquina que con su nombre atrajo sobre sí la atención del mundo entero, hacia fines del año 1850, constituía en rigor un nuevo invento. Su disposición descansa en lo siguiente:

Cuando se calienta 100° centígrados determinada cantidad de aire atmosférico, se dilata en más de una tercera parte de su volumen primitivo (exactamente en $\frac{12}{30}$), ó bien ejerce contra las paredes una presión correspondiente cuando no puede obedecer á esta tendencia. Esto no es sólo entre 0° y 100°, sino por encima y por debajo, y en general para todo cambio de temperatura. De aquí se desprende que el aire se dilatará hasta ocupar un volumen doble por

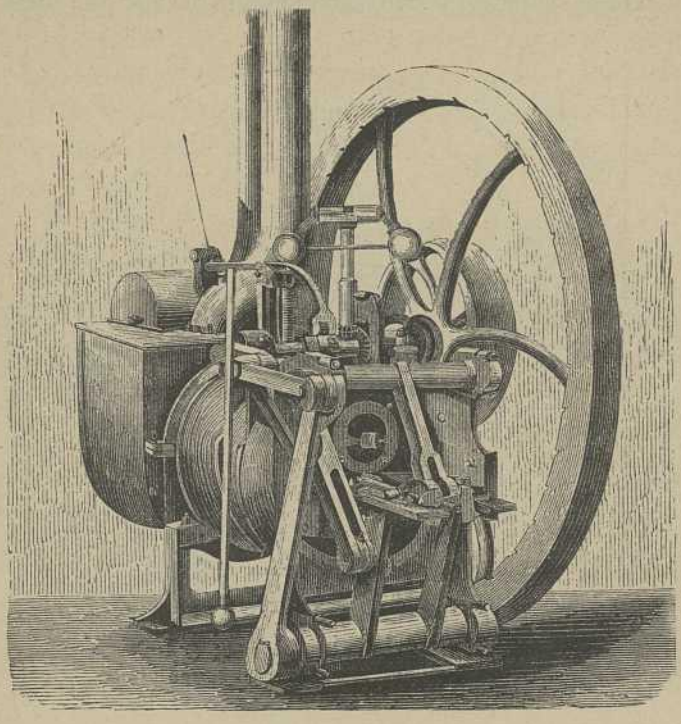


FIG. 551.—Máquina de aire caliente, de Ericsson. (Vista anterior.)

una elevación de temperatura de 272°, hasta un volumen triple por 544°, y así sucesivamente, y que, por consiguiente, su tensión, que á la temperatura ordinaria es próximamente de un kgr. por centímetro cuadrado (una atmósfera), será respectivamente de dos kgr. (dos atmósferas), tres kgr. (tres atmósferas), á aquellas elevadas temperaturas. Se desprende por sí mismo de lo dicho que estas presiones son utilizables para producir el movimiento de un émbolo. Ahora, para llevar á la práctica la máquina de expansión de aire, habría que preocuparse tan solo, por lo pronto, de que el aire entrara siempre bajo el émbolo en la misma cantidad y con la misma tensión; con lo cual, comunicando cada vez la misma cantidad de calor á esta porción de aire, se conseguiría elevar su temperatura hasta el mismo grado para obtener un impulso uniforme contra el émbolo, y por tanto una marcha regular de la máquina.

Por su manera de obrar, la máquina de Ericsson es de acción simple; esto es, que el émbolo es empujado por la expansión del aire sólo en una dirección, y el retroceso se produce sencillamente por la inercia de la rueda del volante de tamaño bastante considerable; sin embargo, pueden también combinarse dos máquinas de suerte que comuniquen alternativamente sus impulsos á un mismo árbol. (Figuras 551 y 552).

El cilindro está, como en las antiguas máquinas de vapor atmosféricas, abierto en el extremo anterior, y sólo incomunicado del aire atmosférico por me-

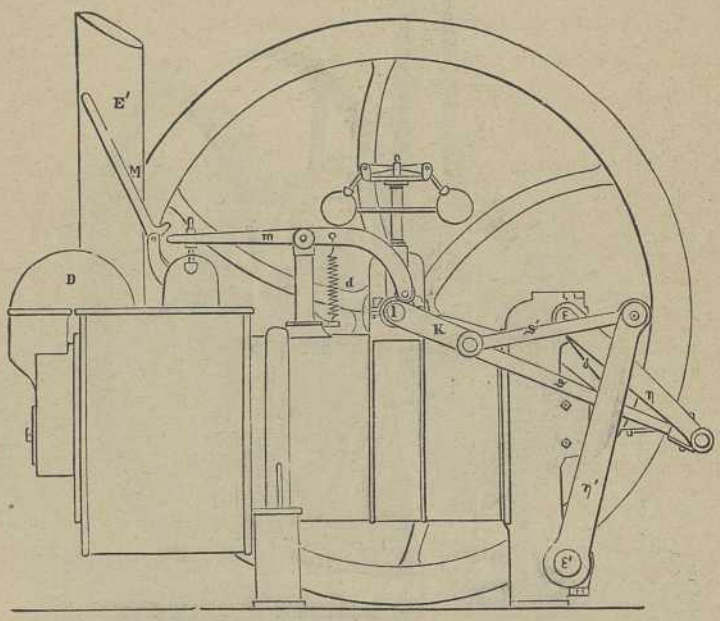


FIG. 552.—Máquina de aire caliente, de Ericsson. (Vista lateral.)

dio del émbolo, que se mueve á frotamiento contra sus paredes; al otro extremo se halla el horno *A*, incluído en el cilindro en la forma que indica la figura 553, en corte longitudinal.

Forma, pues, el horno un cuerpo cilíndrico redondeado en los extremos, y el émbolo *B*, que se mueve ante él, no sólo está ahuecado en el mismo sentido, sino que se pone en contacto con el foco calorífico de un modo tanto más inmediato, cuanto que lleva unida una armadura de palastro, *cc'*, la cual, cuando el émbolo llega al extremo de su carrera por la izquierda, envuelve en una gran superficie al hogar y recoge así mayor cantidad de calor. Los gases de la combustión suben desde el hornillo, á través del canal de tiro encorvado *D*, rodean la parte interna del cilindro y desaparecen después á través del tubo *E* en la chimenea.

Tratemos ahora de explicarnos cómo funciona la máquina; esto es, cómo á cada vuelta de la rueda del volante recoge una porción de aire, lo transporta á

la parte interna del cilindro, donde se calienta rápidamente por el contacto de las paredes, lo dilata y comunica así un nuevo impulso á los émbolos. Decimos los émbolos, porque en realidad son dos los cuerpos, *C* y *B*, cuyo juego tenemos que considerar. En nuestro dibujo en sección (fig. 553) vemos, uno junto al otro, á los dos émbolos en su posición extrema; pero durante el vaivén que cada uno verifica independientemente, se encuentran á distancias variables, pues el émbolo exterior *C*, el llamado émbolo motor, se mueve mucho más lentamente y tiene que recorrer tan sólo un camino mitad que el interior, ó émbolo

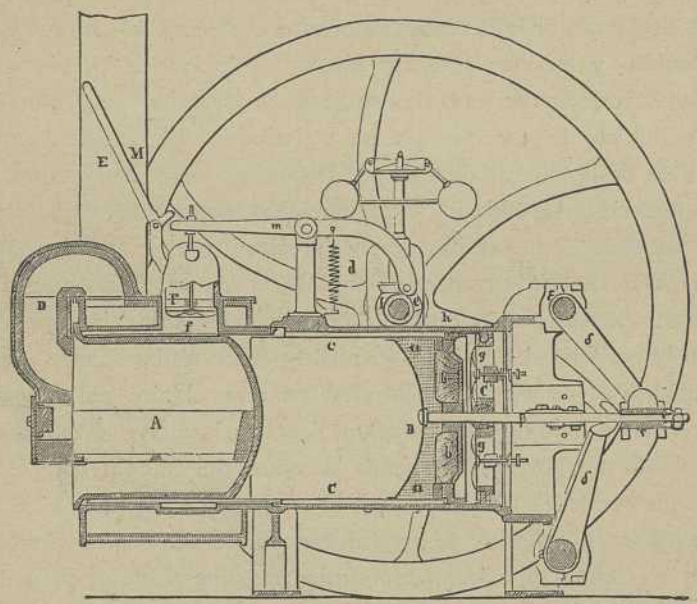


FIG. 553.—Máquina de aire caliente, de Ericsson. (Sección vertical.)

de alimentación *B;* á partir de la posición final representada en la figura, el último entra en movimiento un poco más tarde que el primero, y vuelve á ella un poco antes. El objeto de esta disposición es, como veremos en lo sucesivo, la introducción del aire necesario en el cilindro. Pero además de transmitir el calor del hogar al aire aspirado, el émbolo de alimentación *B* realiza todavía otro objeto: en efecto, protege al émbolo exterior de un calentamiento demasiado intenso, que perjudicaría al ajuste de sus paredes, y está provisto en su extremo de un relleno mal conductor del calor, como ceniza ú otra sustancia por el estilo, *a a*.

Elémbolo de alimentación se halla en comunicación con el exterior por medio de una varilla *B*, que atraviesa una caja tapón y sale por abajo sin tocar al émbolo motor. Para éste son, pues, indispensables dos varillas paralelas, que se hallan á derecha é izquierda de la del émbolo de alimentación.

Con objeto de que el aire exterior pueda penetrar por la derecha hasta la

cámara de calefacción, existen en ambos émbolos válvulas que se abren y cierran alternativamente. En el émbolo motor consisten éstas en dos planchas que tropiezan con las paredes por dentro y que están solicitadas por un resorte, *g g;* en el émbolo de alimentación sirve como tal un anillo de acero que rodea al émbolo cerca de su extremo interno, en forma de aro. Este resbala siempre á frotamiento por su borde externo contra las paredes del cilindro, pero se halla libre en una ranura del émbolo exterior, que tiene un ancho doble de su espesor y puede, por consiguiente, adoptar dos posiciones, según que la presión se haga preponderante por fuera ó por dentro. Toma la posición en que tropieza hacia fuera por la derecha, en cuanto comienza el avance del émbolo de alimentación, y en esta posición ajusta, ó, lo que es lo mismo, no deja salir ninguna porción de aire de izquierda á derecha, sino que empuja al que se halla delante de él y que ya ha trabajado, obligándole á salir del cilindro á través de la válvula de escape *F*, que se encuentra entonces abierta; durante el retroceso del émbolo de alimentación, como quiera que el anillo experimenta un exceso de presión por la derecha y por el exterior, permanece aplicado hacia la izquierda contra la pared de la ranura. Pero en esta posición deja libres los extremos de cierto número de canales de aire que están agujereados en la periferia del émbolo, y subsiste entre ambas partes del cilindro una comunicación, en virtud de la cual penetra el aire del exterior al espacio hueco del émbolo de alimentación, hasta que vuelve éste á avanzar. En nuestro grabado (fig. 553) está indicada la ranura del émbolo bajo *h*. Supongamos ahora que comienza un nuevo vaivén á partir de la posición de los émbolos, representada en la figura; se pondrá inmediatamente en movimiento hacia la izquierda el émbolo de alimentación, mientras que el motor permanecerá algún tiempo todavía inmóvil; se cerrará la válvula anular, con lo cual se originará entre ambos émbolos un espacio con aire enrarecido, se abrirán las válvulas del émbolo exterior y penetrará el aire exterior en tanto que la distancia entre ambos émbolos sigue aumentando. Pero entretanto avanza también el émbolo de trabajo y tiende á alcanzar á su precursor. Con su avance se cierran naturalmente con rapidez las válvulas que daban entrada al aire, y éste experimenta una compresión que aumenta cuando á poco comienza á retroceder el émbolo de alimentación. De aquí resulta la apertura de la válvula anular y la entrada del aire frío en el espacio de calefacción. A pesar de su corta permanencia, se calienta aquí á 300° por el contacto de las paredes incandescentes, y la dilatación que de esto resulta es la fuerza que impulsa al émbolo rápidamente hacia el extremo anterior del cilindro. El émbolo de alimentación, cuya válvula está abierta ahora, no influye nada en esta impulsión; la tensión se transmite por entre las paredes al motor, y éste es el que recibe el impulso. Finalmente, llegan ambos émbolos al punto de partida, habiéndose verificado una vuelta completa del volante en mucho menos tiempo del que hemos invertido en hacer esta descrip-

ción. Las diferencias entre la marcha y su período en ambos émbolos, tiene su causa en los sistemas de palancas, por medio de las cuales cada uno de ellos comunica con el manubrio del árbol del volante con independencia del otro. Ahora basta que nuestros lectores imaginen en movimiento las piezas consideradas en reposo sobre la figura, lo cual no es difícil, mediante una atenta observación, para que comprendan la manera cómo la máquina recibe alternativamente nuevas impulsiones y devuelve fuerza para la dirección de los émbolos. En efecto, la doble varilla del émbolo de trabajo determina primeramente un impulso hacia abajo pues por medio de palancas son puestas en movimiento de vaivén las dos barras δ δ', cuyo movimiento se comunica á la palanca mayor, situada sobre el mismo árbol. Desde la cabeza de esta palanca parte finalmente el tirante η' á la articulación del manubrio K, que es el verdadero transmisor de la fuerza.

A la varilla del émbolo de alimentación corresponde un mecanismo semejante, sólo que, como es natural, la palanca δ, es sencilla; aquí se halla por encima el eje de rotación E; desde su extremo exterior corre hacia abajo una palanca η, y del extremo de ésta parte el tirante de la biela correspondiente δ. La longitud diferente de las palancas y tirantes $\eta\,\delta$ y $\eta'\,\delta'$ ocasiona el movimiento desigual de los émbolos. Con objeto de regularizar el conjunto, existe un regulador de bolas, ó sea de fuerza centrífuga, que actúa sobre una pequeña válvula situada en la parte superior del cilindro entre los émbolos. En virtud del juego de esta válvula sale del cilindro algo de aire caliente, cuando por consecuencia de una calefacción demasiado intensa la tensión en el interior es excesiva. La palanca M sirve para parar la máquina, pues haciendo presión sobre ella, queda abierta directamente la válvula F.

La parte más interesante del invento de Ericsson es, sin duda alguna, la combinación entre ambos émbolos. Las primeras máquinas adolecían del defecto capital de que los ajustes eran imperfectos, lo cual quedó ya corregido en el modelo representado por nuestros dibujos. Basta, para producir un buen ajuste del émbolo de trabajo, una simple capa de cuero, y como medio de disminuir los frotamientos el talco, pues el calentamiento de estas sustancias no tiene importancia ninguna.

Pero lo que no puede menos de considerarse como un defecto en la nueva máquina fué la disposición del foco calorífico, la cual no permitía un aprovechamiento suficiente del combustible. El aire sale del aparato con una temperatura todavía elevada, y si bien podría utilizarse para la calefacción de locales, esto es independiente del objeto principal, que consiste en su transformación en fuerza motriz, la cual ha de producirse en la máquina. A esto hay que agregar que el hierro, á pesar de la protección que le presta su revestimiento con arcilla, sufre frecuentes roturas por consecuencia de la temperatura á que está sometido; que el aire seco ejerce también una influencia perjudicial sobre el material

del émbolo de alimentación; que el cilindro tiene que hacerse de un tamaño bastante considerable, dado el cual es muy difícil de conservar un buen ajuste contra sus paredes, tanto que se prefiere hacer funcionar dos cilindros en combinación; que el consumo de materia lubrificante es muy grande; y, por último, que la máquina no funciona con bastante uniformidad. Los choques de los sistemas de palancas, y principalmente el abrir y cerrar de las válvulas, determinan grandes ruidos y conmociones muy molestos para los que se hallan alrededor. Es verdad que se ha disminuído en gran parte este inconveniente por el empleo de metales de diferentes clases, escogidos expresamente para la constitución de las piezas á que nos referimos; pero los defectos de esta máquina siguen siendo en su mayor parte tan marcados, que las simpatías que el público había puesto en ella con tanto calor en un principio, se han enfriado ante los peligros que ofrece. Así, pues, en la colosal galería de máquinas de la Exposición Universal de 1867 no se veían más que cinco motores de aire caliente.

Sin embargo, los técnicos no fueron de opinión de abandonar sin más la idea de este interesante motor que, de conseguir realizarse en buenas condiciones, había de alcanzar seguramente gran aceptación, y en el transcurso de los últimos años han surgido varios perfeccionamientos y aun construcciones completamente nuevas, por medio de las cuales se ha intentado resolver el problema. Así, por ejemplo, el francés Laubereau ha perseguido el proyecto, que encontraremos reproducido en la máquina de expansión de aire de Lehmann, cuyo estudio haremos á continuación, y que consiste en calentar primero y enfriar después en un cilindro cerrado, una cantidad constante de aire, á cada golpe de émbolo. Roper, un americano, inventó una *máquina abierta con hogar interno cerrado*. Una bomba neumática aspira aire todo lo frío posible y lo introduce bajo el émbolo del cilindro motor, donde se pone en contacto directo con el hogar, que no tiene ninguna otra comunicación, alimentando el fuego. Desde aquí penetra de nuevo, mezclado con los productos de la combustión, en el cilindro, actuando por encima del émbolo, primeramente á toda presión, y luego también por expansión. Shaw resucitó un regenerador que ya había sido empleado por Ericsson, y que consistía en un gran número de tubos verticales, teniendo por objeto retener, en lo posible, el calor del aire caliente que sale á cada golpe de émbolo, devolviéndole la temperatura primitiva de ingreso, etcétera, etc.

Pero, excepción hecha de las de Ericsson y Laubereau, ninguna de estas construcciones ha encontrado apenas resonancia. En cambio la máquina de expansión de aire de Lehmann, ya citada, parece significar un pronóstico feliz. Es dicha máquina de hogar abierto y se apoya en el principio de Laubereau, puesto que en ella funciona, mediante un calentamiento y un enfriamiento alternativos, una cantidad constante de aire. Este cambio de temperatura, ó bien de densidad, en la porción interna de aire, se obtiene por un mecanismo muy inge-

nioso, en virtud del cual se hace atravesar al aire dos espacios, uno de calefacción y otro de enfriamiento, unidos entre sí simplemente por un canal estrecho.

El cilindro es bastante largo y está cerrado en su fondo por la pared del hogar de un modo semejante á la máquina de Ericsson, mientras que por la parte anterior lo cierra el émbolo motor, que también aquí se halla en comunicación con el árbol de la rueda del volante por un sistema correspondiente de palancas, tirantes, etc. Entre el émbolo motor y la pared del hogar se mueve un cilindro de palastro, bien ajustado por todas sus partes, llamado émbolo de distribución, porque con su vaivén obliga al aire á penetrar respectivamente en el espacio posterior de calefacción ó en el anterior de enfriamiento. Este émbolo gira sobre un rodillo suelto, que en nuestro dibujo transversal está representado sobre un suelo algo más bajo que el del cilindro; se mueve con su varilla independientemente del émbolo motor, y de tal suerte, que el manubrio correspondiente gire siempre con 65 ° de anterioridad respecto al del émbolo motor; de donde resulta que durante una gran parte de su movimiento, éste es de sentido contrario al del émbolo motor, y por tanto lanza la mayor parte del aire en el espacio de calefacción precisamente cuando el émbolo motor se halla en su posición más profunda. La dilatación que experimenta el aire en este espacio, impele al émbolo motor hacia delante, pero al mismo tiempo termina su retroceso el émbolo de distribución; y siendo impelido el aire caliente en el recinto refrigerante, se condensa de nuevo, adquiriendo un volumen menor, con lo cual se hace preponderante la presión del aire atmosférico anterior y comienza á retroceder el émbolo motor. La marcha de ambos émbolos está calculada de suerte que la densidad media de toda la masa de aire situada por detrás del émbolo motor sea mínima cuando éste se encuentre en su posición extrema externa, y máxima, por el contrario, cuando dicho émbolo motor se halla en la posición extrema interna, lo cual tiene lugar en la máquina de Lehmann por cada 65 ° de dlferencia en la posición del manubrio.

En la fig. 554, *A A* es el cilindro largo, de fundición de hierro; en su parte anterior está rodeado por el doble fondo *W W*, dentro del cual circula el agua refrigerante. La parte interna *Z Z* se prolonga hasta la pared del hogar *D D*, también de fundición de hierro; *K* es el émbolo motor que cierra el cilindro por delante, y mediante tirantes y articulaciones comunica con la biela de la rueda del volante. *G G* es el émbolo de distribución, un cilindro de hoja de lata largo, bien ajustado contra las paredes del cilindro exterior, provisto en su parte anterior de una varilla que atraviesa al émbolo motor á frotamiento, y que recibe su movimiento por medio de palancas articuladas, del manubrio de la rueda del volante.

El émbolo de distribución, á pesar de su gran volumen, no debe tener mucho peso, puesto que su misión está limitada exclusivamente á la expresada, recibiendo el movimiento por medio de su varilla de la máquina misma y constitu-

yendo, por consiguiente, una resistencia que conviene sea lo más pequeña posible. Por esta razón se construye en forma de un cilindro hueco de palastro Tiene al mismo tiempo la mayor importancia el que su ajuste contra las paredes, y el cierre que resulta del mismo, sean lo más perfectos posible; pues de no ser así quedarían limitadas á la masa de aire contenida en el interior del émbolo mismo, las diferencias de tensión originadas por los cambios de temperatura, y que deben producir la acción impulsora sobre el émbolo motor, y, por tanto, alcanzaría sólo un grado insignificante la reacción sobre aquellas partes, destinadas á transformar la fuerza en trabajo útil. La marcha de la máquina sería entonces débil y penosa, y de aquí que no sólo hay que atribuir una gran importancia previa á la buena construcción de este émbolo de distribución, sino que debe dedicarse un cuidado continuo á su conservación en buen estado. Cuando

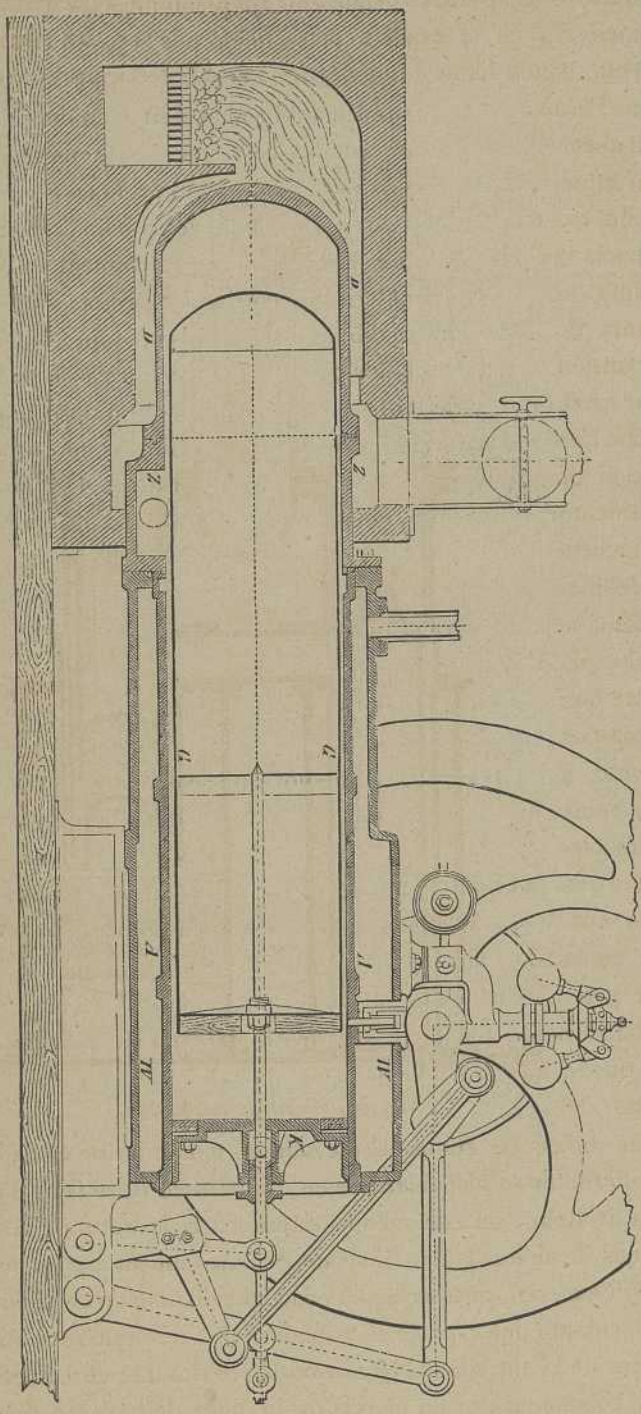


Fig. 554.—Máquina de expansión de aire, de Lehmann.

el émbolo de distribución se mueve hacia la izquierda, empuja el aire calentado y dilatado en la proximidad á las paredes del hogar, obligándole á penetrar á través del pequeño espacio *Z Z* en el espacio enfriado por detrás del émbolo motor, donde se condensa, dando lugar á que la presión atmosférica preponderante lo haga retroceder. Pero entretanto comienza ya el émbolo de distribución su movimiento hacia la derecha, expulsa el aire enfriado hacia la parte posterior próxima al horno, donde se calienta de nuevo, y por su expansión impele al émbolo motor hacia delante. El canal estrecho que media entre los espacios de calefacción y de enfriamiento es en cierto modo la zona neutral; por consecuencia del movimiento del émbolo motor se mantiene siempre frío el espacio que le rodea mediante una corriente de agua aspirada por la máquina misma; junto á las paredes del horno reina siempre una temperatura elevada. Los inconvenientes que trae esto consigo, y que consisten particularmente en la rápida oxidación de las paredes de la caldera, son difíciles de evitar, pues no se puede impedir que el oxígeno del aire sea retenido por las moléculas del metal, llevadas á temperatura elevada.

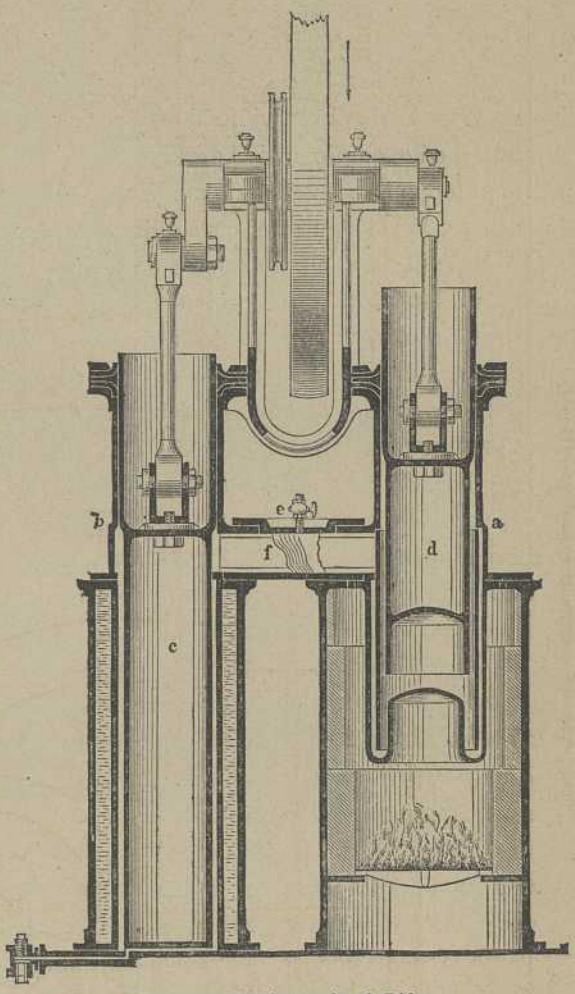


FIG. 555.—Máquina de aire, de Rider.

En cambio, el émbolo motor se halla siempre en contacto con aire frío, y de aquí que en la máquina de Lehmann esté menos expuesto á la rotura que en todas las demás máquinas de aire caliente. El ajuste de este émbolo motor merece todavía una mención especial, pues no actúa produciendo un cierre absoluto y constante, sino que, mediante una especie de armadura de cuero que se adapta por la parte interna, permite la entrada del aire atmosférico durante el retroceso del émbolo, producido solamente por la inercia de la rueda del volante, ó sea cuando la presión exterior es mayor que la interior.

La máquina de Lehmann ha sido imitada en América por Rider (fig. 555). En esta modificación existe también un cilindro motor, *a*, el cual es vertical, y un cilindro de comprensión, *b*, vertical también. El primero es calentado directamente por el hornillo; el segundo es enfriado por una corriente de agua. Ambos cilindros comunican por medio del tubo *e*, que contiene al regenerador, constituído por laminitas metálicas delgadas, y el mecanismo de los émbolos *c* y *d* es tal, que cuando *c* llega á su posición más alta, el émbolo motor *d* se halla á la mitad de su carrera hacia abajo, viniendo á alcanzar la posición inferior cuando *c* llega al punto medio, con lo cual el aire encerrado en *b* se ha condensado próximamente al tercio de su volumen mediante la fuerza proporcionada por la rueda del volante. En el siguiente cuarto de vuelta, *c* llega al punto inferior y *d* á la mitad de su carrera; el aire sale de *b* hacia *a*, se calienta en el regenerador y continúa dilatándose por el calor del horno á medida que se aproxima á él en *a*, entonces tiene lugar la transmisión de fuerza al volante. La entrada de aire en *c* tiene lugar durante los otros dos cuartos de vuelta, en cuyo tiempo recobra el regenerador el calor que antes había perdido. Creemos poder prescindir en este sitio de otras transformaciones experimentadas por la máquina de aire: en efecto, nos llevaría demasiado lejos la reseña de todos los proyectos y construcciones de Renaes, Hofmann y Buschmann, así como las que se refieren al perfeccionamiento de la máquina de aire descubierta por Ericsson, como son las de Roper, Belou y la muy excelente de Hock, en Viena.

Nuestros lectores comprenderán que, á pesar de las mejoras introducidas hasta hoy, ni las máquinas de aire caliente, ni las de gas, han adquirido el máximo grado posible de perfección; pero de todos modos hay que consignar resultados importantes, que hacen concebir la esperanza de que tal vez más adelante surgirá de entre las unas ó las otras un motor completamente apropiado para pequeñas cantidades de fuerza.

Este asunto tiene importancia, en particular para pequeñas poblaciones, pues en las grandes ciudades se ofrece más fácilmente la posibilidad de explotar racionalmente un gran manantial de fuerza, como una máquina de vapor, mediante la asociación de pequeños consumidores, ó bien utilizar como fuerza motriz el agua corriente, ó localizar estas necesidades mediante la división del trabajo. Pero en pequeños lugares, donde, como es natural, tienen que enlazarse varias ramas de industria, no se ofrecen estos medios auxiliares con la misma facilidad; sin embargo, no son tantas las ventajas de las máquinas en las cuales pudiera emplearse solamente como fuerza motriz la tan costosa fuerza muscular humana, que haya de enmudecer aun en estos casos la aspiración de utilizar máquinas motoras desde un cuarto hasta tres caballos de fuerza, por más que no hayan adquirido todavía su completa perfección.

LOCOMOTORAS Y LOCOMÓVILES

Historia de los carruajes de vapor.—La locomotora de Cugnot.—Carruaje de vapor de Oliver Evans.—Tentativas de Trevithick y Vivian Blenkinsop, Brunton, etc.—Jorge Stephenson y sus locomotoras sobre las líneas Stockton-Darlington y Liverpool-Manchester.—Triunfo del «Cohete».—Perfeccionamientos posteriores.—Engerth.—Grampton.—Fell, etc.—La disposición mecánica de la locomotora.—Las locomóviles.

Al seguir con el pensamiento la historia de la locomotora, esta forma de la máquina de vapor, la más interesante y de mayor influencia en la transformación de las costumbres modernas, no puede menos de producir extrañeza el que, en su forma práctica y realmente utilizable, dicha locomotora tenga su origen en una época relativamente muy reciente. Desde luego es indudable que la edad de esta hija no puede exceder á la de su madre natural, la máquina de vapor. Pero además se encuentra la circunstancia notable de que la aplicación del vapor á los carruajes ha sufrido un desenvolvimiento mucho más lento que la aplicación del mismo á los buques, habiéndose apenas iniciado aquélla cuando ya atravesaban todas las vías marítimas de la tierra los barcos movidos por ruedas de paletas que, á su vez, lo eran por el vapor. Y sin embargo, las locomotoras son mucho menos complicadas en su mecanismo que los buques de vapor, que tienen que llevar consigo combustible para viajes mucho más largos, y en los cua-

les, por consiguiente, hay que tener en cuenta, en primer término, la mayor economía posible en dicho combustible, mientras que las locomotoras sólo tienen que transportarlo entre límites muy reducidos. Pero la navegación por el vapor fué favorecida por la circunstancia de que en ella podían ser aplicadas máquinas fijas, mientras que las locomotoras exigían invenciones completamente nuevas por diferentes conceptos. Por otra parte, también la locomotora sólo llegaba á ser ventajosa después que el comercio se había desarrollado tanto, que compensara los gastos de instalación de una línea férrea especial, mientras que el buque de vapor no tenía que esperar una vía especial y costosa, sino que podía desarrollar su actividad en cualquier río ó mar. Pero vamos á seguir cronológicamente los pasos dados por este descubrimiento.

Muy poco después de demostrada la utilidad práctica de la máquina de vapor, se pensó en aplicar los nuevos motores al arrastre de carruajes. Pero estos pensamientos se estrellaron en un principio contra obstáculos al parecer insuperables. Las únicas máquinas de vapor conocidas hasta principios de este siglo eran, como ya sabemos, las de condensación. Ahora bien, no era posible pensar en la aplicación de éstas al arrastre de personas y objetos, pues para condensar los vapores se necesitaba una gran cantidad de agua, que exigía demasiada fuerza para su transporte.

Este inconveniente sólo pudo ser dominado después de descubierta la máquina de alta presión. La condición de las calles ordinarias, para las cuales fueron proyectadas en principio todas las locomotoras, era un segundo obstáculo. Pero estas verdades no fueron de antemano comprendidas, de suerte que algunos mecánicos se ocuparon de la idea de sustituir por la fuerza expansiva del vapor la de los caballos de tiro en los carruajes. Así se cita, entre otros casos, que ya en 1759 un estudiante de la Universidad de Glasgow, después el doctor Robinson, manifestó el proyecto de utilizar el vapor para hacer girar las ruedas de los carruajes. Pero el primer mecánico que parece haber llevado á la práctica este proyecto ha debido ser el francés Cugnot.

José Cugnot, nacido en Boid (Lorena) el 25 de Septiembre de 1725, había trabajado como ingeniero en Alemania durante su juventud, marchando después á los Países Bajos, y dedicándose particularmente en Bruselas á la solución del problema de establecer el suministro de material de guerra por la aplicación del vapor. En el año 1763 regresó á París, donde prosiguió sus estudios y construyó, en 1769, el modelo de un carruaje de vapor que presentó al conocido ingeniero de artillería Gribeauval para su prueba. Este carruaje de vapor de Cugnot (fig. 556), era puesto en movimiento por medio de una máquina que consistía esencialmente en dos cilindros de bronce. En estos cilindros, colocados verticalmente, penetraba por medio de un tubo el vapor procedente de la caldera; á más de esta comunicación con la caldera tenían los cilindros otra con el aire libre para dar salida al vapor después que había realizado su efecto. La caldera,

colocada en la parte anterior del carruaje, tenía la forma de un esferoide aplanado y llevaba el hogar en su parte inferior. El carruaje tenía tres ruedas, de las cuales las dos posteriores eran libres, pues la fuerza del vapor actuaba sólo sobre la anterior. Pero con objeto de que se apoyara más firmemente en el suelo al girar, esta rueda motriz estaba rodeada de un aro de hierro provisto de grandes estrías. La biela se articulaba con las varillas de los émbolos, que salían por debajo de cada uno de los cilindros. El émbolo actuaba solamente por sim

FIG. 556.—Carruaje de vapor, de Cugnot. (París, 1769.)

ple efecto; empujado por el vapor hasta la posición inferior, quedaba interrumpida la comunicación con la caldera, y abierta, por el contrario, la válvula que comunicaba con el exterior, de modo que el vapor podía salir libremente, volviendo este émbolo á su posición más alta en virtud del movimiento de la biela, sostenido por el descenso del segundo émbolo. La parte anterior del vehículo era giratoria, y el conjunto podía ser guiado de la misma manera que un carruaje ordinario arrastrado por caballos. La velocidad alcanzó el valor de cuatro kilómetros por hora.

La locomotora de Cugnot era realmente una máquina de alta presión, pero todavía demasiado imperfecta para que su empleo hubiera podido tener ningún éxito. Para no consignar más que un detalle, diremos que Cugnot tenía que to-

mar agua cada cuarto de hora para alimentar la caldera. Casi no era posible regularización alguna de la fuerza, de modo que su misma energía no dirigible constituía su mayor peligro. En una prueba practicada con el aparato, tropezó contra la pared del arsenal, destruyéndola. Por estos motivos fué abandonada y se encuentra hoy todavía en el *Conservatoire des arts et métiers*. Cugnot recibió una corta pensión, que le fué reconocida de nuevo por Napoleón después que la Revolución se la había suprimido. En el año 1804, y á la edad de setenta y nueve años, murió éste en realidad primer iniciador de la locomotora.

El mal resultado obtenido por el carruaje de vapor de Cugnot retrajo á los mecánicos de trabajar sobre el asunto, y transcurrieron nada menos que treinta años, durante los cuales no se hizo nada en Europa para la solución del problema. Cierto qne James Watt habla también, en una de sus patentes (1784), del pensamiento de mover un carruaje por medio de una máquina de vapor sin condensación, y que Symington y Murdoch, que trabajaban con Watt, trataron de poner en práctica dicho pensamiento; pero sus tentativas no tuvieron trascendencia alguna; las necesidades de la época no eran todavía bastante imperiosas en este sentido.

Por el contrario, en América se presentó en 1786 Oliver Evans al Congreso del Estado de Pensilvania, en solicitud de dos patentes, una de las cuales se refería á un molino, y la otra á un carruaje de vapor; la primera fué concedida sin dificultad; pero en cuanto á la segunda, los consejeros movieron la cabeza, dudando de que el solicitador de la patente tuviera sano el juicio. Diez años después se presentó Evans con la misma pretensión al Congreso de Maryland; aquí obtuvo el privilegio deseado, pero con una crítica tan desfavorable, que hacía imposible encontrar capitalistas cuyo concurso permitiera llevar á la práctica el proyecto. Evans se dirigió, por consecuencia, á Londres, con su máquina, en la vana esperanza de encontrar aquí confianza y dinero para su empresa. Sin embargo, por el año 1800 había reunido él solo medios suficientes para la construcción de un carruaje de vapor, y se ocupó de nuevo en ello, después de haber regresado á Filadelfia, pero siempre en malas condiciones, y teniéndolo que abandonar, sin llegar á resultados definitivos; todo lo cual no impidió que, como consecuencia de sus repetidos esfuerzos, llegara á recorrer, hacia fines del año 1800, las calles de la ciudad últimamente citada con su locomotora, que llamó *Oructer Amphibolus*.

A pesar de que con este hecho demostró evidentemente lo realizable de la idea bajo el punto de vista técnico, el resultado positivo fué casi nulo para Evans. Nadie quería compartir el riesgo de una empresa tan nueva, y en lugar de un taller de construcción de locomotoras en gran escala, como él había soñado, tuvo que comenzar de nuevo Evans á construir sus máquinas de vapor ordinarias. No obstante, sus trabajos sobre los carruajes de vapor no carecieron de influencia en su vida, pues desde esta época se dedicó casi ex-

clusivamente al perfeccionamiento de las máquinas de vapor de alta presión.

Evans murió en 1819, después de haber experimentado la gran contrariedad de ver arder sus talleres de Pittsburgo; sus ideas no quedaron, sin embargo, completamente perdidas para la posteridad. Dos mecánicos, Ricardo Trevithick, ingeniero de las minas de Cornwall, y Andrés Vivián, que construían máquinas de vapor de alta presión según los principios de Evans, comprendieron las ventajas que debía ofrecer el empleo de esta clase de máquinas de vapor como motores de vehículos para el transporte de mercancías. Inventaron una locomotora, y adquirieron en 1802 su patente sobre una «Máquina de vapor para el arrastre de carruajes.» El vehículo de vapor de Trevithick y Vivián (fig. 557) se asemejaba mucho, por su forma exterior, á los coches de diligencias que recorrían los caminos por aquella época. Entre las ruedas más altas se hallaba sujeto al eje de éstas un marco de hierro ancho y resistente. Este marco llevaba la caldera de vapor *A*, que estaba atravesada por un hogar tubular, *B*. Por la parte superior de la caldera era conducido el vapor, por medio de un tubo, desde ésta al cilindro, en donde comunicaba su movimiento al émbolo, quien á su vez lo transmitía, por medio de bielas, manivelas y ruedas dentadas, al eje de las dos ruedas motoras. Por la parte anterior había una sola rueda, que servía para guiar el carruaje.

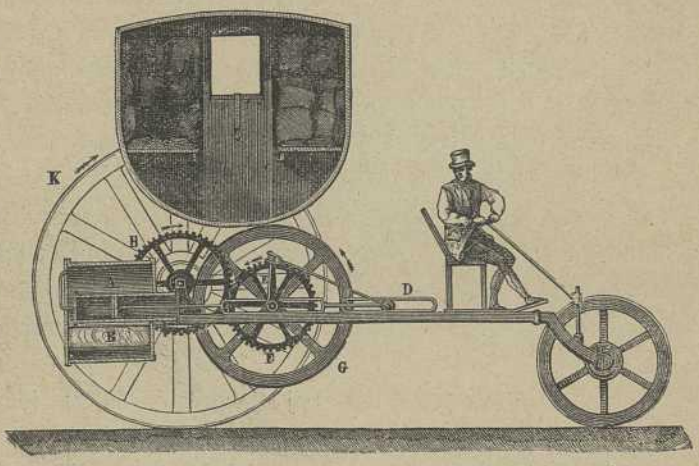


FIG. 557.—Carruaje de vapor construído por Trevithick y Bivián (1801).

Por más que era muy ingeniosa la disposición de cada una de las piezas de este mecanismo, no pudo encontrar, sin embargo, una aceptación general; entre otras razones, porque el gran rozamiento ofrecido por las calles y vías ordinarias seguía siendo un obstáculo considerable para el desarrollo de cualquiera fuerza de arrastre algo poderosa. Pero además se manifestaron también impracticables para los carruajes de vapor, entre otros motivos, porque los caminos pavimentados no ofrecían suficiente resistencia, y por consiguiente no podía ser bastante segura la marcha sobre ellos. No por esto abandonaron sus esperanzas los dos inventores.

Lo que sólo se consiguió dificultosamente sobre las vías usuales, encontró una realización mucho más fácil sobre las vías férreas, tales como las que se pusieron

en uso en las minas de carbón inglesas. Siguieron haciendo nuevas pruebas, y obtuvieron en Marzo de 1802 un privilegio sobre sus carruajes de vapor para carriles. Mas el desenvolvimiento sucesivo de esta idea, muy discreta, se detuvo bien pronto ante la consideración de un inconveniente, precisamente contrario al que había preocupado hasta entonces los ánimos. Si bien el rozamiento era, en efecto, demasiado grande sobre las vías ordinarias, por el gran peso del carruaje de vapor, de suerte que apenas si podía ser vencido por la fuerza del mismo motor, en cambio ahora, en opinión de las personas competentes, que era compartida por el público en general, los carriles, al parecer demasiado lisos, ofrecían demasiado poco rozamiento, demasiado poco apoyo para las ruedas giratorias, aun suponiendo que arrastraran éstas una carga hasta cierto punto considerable. Bajo la influencia de esta preocupación, el invento arrostró una vida enfermiza durante largo tiempo; pues después de haberse convencido por un lado de las ventajas de los carriles, se intentaba por multitud de medios vencer un inconveniente, que no existía en realidad más que en la imaginación. Todo el mundo estaba firmemente persuadido de que era preciso aumentar el rozamiento sobre los carriles, sin haber comprobado, ni intentado siquiera comprobar, el hecho.

Trevithick mismo construyó, bajo la presión de esta idea, una vía, sobre la cual había hecho sobresalir, con objeto de aumentar el rozamiento, las cabezas de grandes clavos de hierro que encajaban en hendiduras correspondientes á los aros de la rueda, los cuales venían á quedar protegidas en esta forma contra el peligro de resbalar.

La locomotora de Blenkinsop (fig. 558), que construyó éste en 1811 para la línea férrea de Middleton-Lees, tenía, como rueda motriz propiamente dicha, una rueda dentada que engranaba en un rail dentado también. Las otras cuatro ruedas eran simplemente ruedas de arrastre. Chapmann partió de otro principio y extendió á lo largo de toda la vía una cadena (1812), fija por sus dos extremos, y que abrazaba alrededor de una polea, situada bajo de la máquina, como se usa en la navegación á remolque. Brunton (1813) proveyó á su máquina de varillas de empuje, *A A* (fig. 559), que, movidas por el émbolo del cilindro de vapor á la manera de las piernas de los caballos, ó como las perchas de los marineros, impulsaran hacia adelante el cuerpo del aparato. Todos estos mecanismos inútiles complicaban demasiado la máquina, y dieron ocasión á frecuentes accidentes. Blacket fué el primero que pensó en el mismo año 1813 someter á la experiencia la cuestión de si efectivamente era demasiado pequeño, según se admitía, el rozamiento entre ruedas de hierro y carriles de hierro para permitir una fuerza de arrastre proporcionada, con una carga regularmente considerable, como es la de la locomotora. Entonces se encontró que la suposición de un rozamiento excesivamente pequeño carecía de todo fundamento experimental, y que, por el contrario, la adhesión de las ruedas á su apoyo era sufi-

ciente en todos los casos para poder prescindir de todos los medios empleados por Blenkinsop y Brunton, y de otros análogos.

Con esto se había triunfado del obstáculo principal que había impedido durante largo tiempo el proyecto de la locomotora: la presunción errónea en cuestión. Jorge Stephenson, que aparece en este momento en la historia de la locomotora, había adquirido un conocimiento muy detallado del estado actual de las máquinas y de las tentativas propuestas para perfeccionarla. De sus manos y de las de su hijo salió la locomotora hecha, por decirlo así; esto es, recibió todas las partes principales que convirtieron su mecanismo en un todo organizado y armónico. Jorge Stephenson, que nació el 9 de Junio de 1871 en Wyglam, pequeño lugar de las cercanías de Newcastle, perteneció á una familia pobre de trabajadores, y trabajó él mismo como minero en las minas de carbón de aquellas comarcas. A los catorce años próximamente ascendió al empleo de fogonero de una máquina; con esto aprendió á conocer la disposición de la máquina de vapor, y su claro talento, así como su genio mecánico, le pusieron pronto en condiciones para emprender reparaciones con destino á otros talleres próximos. Sin otra escuela que su propia educación, sin otros medios que su elevada inteligencia, llegó desde aquí hasta sobresalir como uno de los mayores colosos en la historia de la maquinaria, y consiguió esto con gran rapidez, como lo demuestran las fechas de sus éxitos. Casado muy joven, tuvo pronto el orgullo de poder convertir en su cooperador á su hijo Roberto (nacido en 1803), en el cual se manifestaron desde un principio facultades eminentes en el mismo sentido que las de su padre.

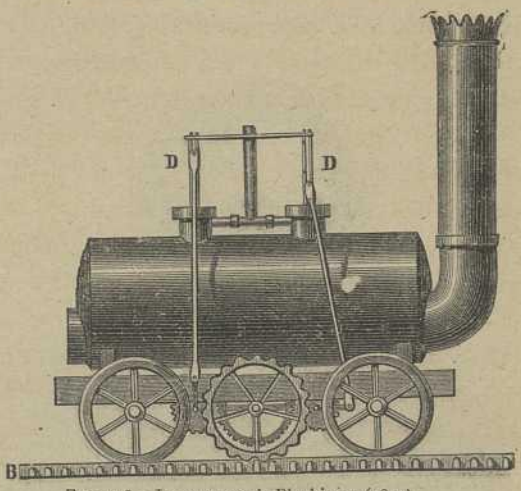


FIG. 558 - Locomotora de Blenkinsop (1811).

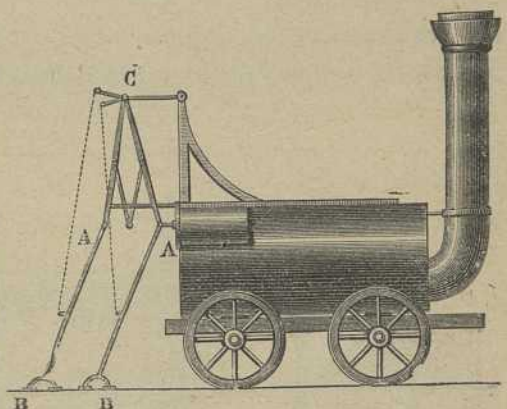


FIG 559.—Locomotora de Brunton (1813).

Jorge Stephenson fué nombrado en 1812 director facultativo de la maquinaria de las minas de carbón de Killingworther. En éstas había ya desde mucho antes en uso, como también en otros puntos, vías de carriles, y Stephenson se

propuso construir una locomotora que condujera los carros de carbón desde las minas hasta el sitio de embarque en la orilla del Tyne.

Esta locomotora, que salió en Junio de 1814 del taller de Stephenson, en Newcastle, tenía todavía una gran afinidad con una máquina que Blacket había construído en sociedad con Haddley: con una pendiente de 1 : 450 hacía subir una carga de 30 toneladas con una velocidad de seis kilometros por hora.

FIG. 560.—Jorge Stephenson, (según un cliché de Alfredo Krausse, en Leipzig).

Con objeto de aumentar el rozamiento se le había dado un peso bastante considerable, y, además, las cuatro ruedas estaban unidas en un todo por medio de una cadena sin fin. El hogar atravesaba la caldera como un tubo y se prolongaba en la chimenea. En la misma figura vemos también la forma especial de suspensión de la caldera sobre los ejes por medio de los llamados resortes de vapor; en efecto, la caldera descansaba sobre seis pequeños émbolos, los cuales, por efecto de la presión del agua y del vapor, penetraban en los pequeños cilindros, llenos en parte de aire, suspensión que no dió resultado y que el mismo Stephenson abandonó después.

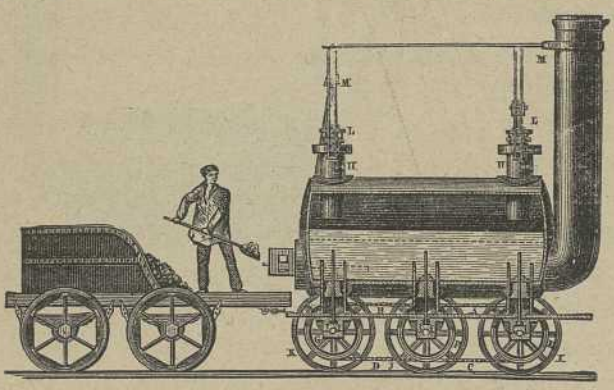


FIG. 561.—Locomotora de Jorge Stephenson, de 1814.

Las varillas de los émbolos que oscilan dentro de los cilindros *H H* llevan otras barras transversales, cuyos extremos, que caen encima de las manivelas de las ruedas, se hallan en comunicación con éstas por medio de otras varillas articuladas. En la fig. 561 no se ven estas partes, pero pueden verse en la figura siguiente, 562, que representa la locomotora construída por Stephenson para la línea férrea Stockton-Darlington, y cuyo original se conserva todavía en la estación de Darlington.

Los obstáculos que se oponían á la corrección de los defectos revelados por la locomotora de 1814, y en los cuales el constructor había fijado su mirada atenta é imparcial, dependían de varias circunstancias que no podían ser dominadas de un modo fácil y expedito.

La locomotora era preciso que tuviera cierto peso para poder efectuar la fuerza de tracción que de ella se esperaba; pero, por otra parte, los carriles sobre los cuales debía correr, no podían soportar este peso sin que ofrecieran peligro de romperse; su peso, por entonces, era sólo de 12 á 15 kilogramos el metro,

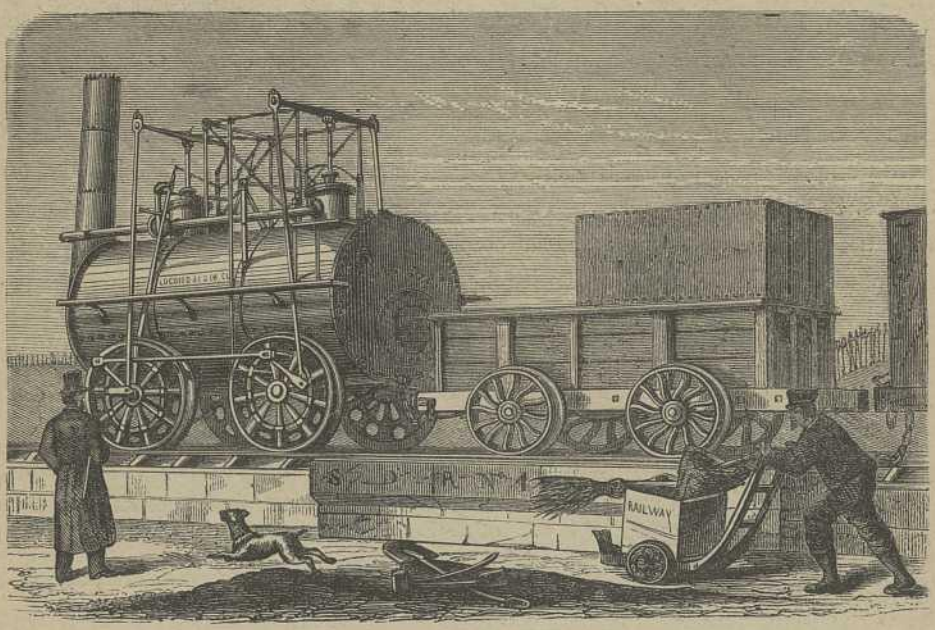


FIG. 562.—Locomotora de Stephenson para la línea Stockton-Darlington.

mientras que hoy la misma longitud pesa 35 kilogramos. En las líneas de los ferrocarriles carboníferos, que fueron las que se construyeron en un principio, no era posible pensar en gastos como los que hubiera entrañado la sustitución de los antiguos carriles por otros nuevos, pues esto hubiera redundado en perjuicio del éxito naciente de la locomotora. Así, pues, Stephenson trató, por lo pronto, de aumentar la adhesión sin necesidad de hacer mayor el peso de la misma máquina, y con este fin sustituyó el acoplamiento de las ruedas por medio de una cadena sin fin, por otro mediante una barra fija. Pero cuando después se trató de la construcción de una línea férrea entre Stockton y Darlington, que no sólo había de servir para el transporte de carbones, sino para toda clase de mercancías, es decir, una línea férrea en toda la extensión de la palabra, tal como ahora se entiende en el lenguaje comercial, entonces se tuvieron en cuenta las circunstancias antedichas.

Esta línea férrea se llevó á cabo principalmente por iniciativa de Eduardo Pease, un accionista de las minas de carbón de Killingworther, que, como tal, había tenido ocasión de conocer las facultades de Stephenson, y reconoció, por tanto, en él al hombre que necesitaba para la realización de sus planes, persuadiéndole á emprender la construcción de esta línea de 61 kilómetros de largo, después que dicho Stephenson había trabajado mucho, en colaboración con el ingeniero Dodd, sobre el perfeccionamiento de la locomotora. Los contemporáneos consideraron este proyecto como un disparate, porque la línea tenía que atravesar terrenos pantanosos, cuyo saneamiento y preparación se tenía por imposible. Pero Stephenson no se dejó dominar, y no sólo construyó la línea, sino que la fué recorriendo gradualmente con máquinas que eran obra casi exclusivamente suya.

En un principio se había creído que la fuerza de arrastre de los caballos seguiría empleándose para el transporte de mercancías, sobre todo de pequeñas cargas. Pero lo escaso de la velocidad que podía obtenerse por este medio, que no satisfacía á la actividad industrial creciente, así como también muy particularmente el estímulo ofrecido por Stephenson, hicieron que un poco después se cambiara de parecer, y la adopción de la locomotora como medio de tracción fuera unánime y decisiva. En sociedad con Pease, Richardson y Longridge fundó Stephenson, en Newcastle, un taller de máquinas destinado exclusivamente á la construcción de locomotoras, el cual se inauguró en 1824, y adquirió pronto fama universal, bajo la razón social «Roberto Stephenson y Compañía.» Tres años antes (1821) comenzó la construcción de la línea de Stockton-Darlington, que se inauguró en Septiembre de 1825. En un principio funcionaba sólo con tres locomotoras para las grandes cargas, pues según queda dicho, se empleaban también todavía los caballos. Pero desde que se manifestaron de tan excelentes resultados las máquinas del sistema Stephenson-Dodd, se hizo uso exclusivamente de ellas para toda clase de transportes, y con esto puede decirse que comienza á ser un hecho histórico la locomotora sobre las líneas férreas propiamente dichas.

No es de extrañar que los mecanismos, en esta primera empresa de tal género adolecieran de imperfecciones por diferentes conceptos, y que las eminentes ventajas que el comercio en gran escala ha sabido obtener como consecuencia de la existencia de las líneas férreas, apenas se hicieran sentir por entonces en forma de ligeros indicios. Sin embargo, la experiencia que se iba acumulando sucesivamente en este ejemplo, fué bastante expresiva para que á poco se proyectara un trayecto mucho más importante: una línea férrea entre Liverpool y Manchester, sobre la cual se resolvió también pronto el empleo de la locomotora como medio de tracción.

El enorme tráfico entre las dos ciudades mencionadas se hallaba en manos de tres Sociedades de canalización, la primera de las cuales había sido fundada

Stephenson y su primera locomotora.

por el duque de Bridgewater. El monopolio que ejercían los poseedores de estas vías de agua, que estaba sostenido por la insuficiencia del agua existente para la construcción de nuevos canales, no sólo había conducido ya á tarifas sumamente extravagantes, sino también á una falta de consideración á los intereses del público, que suele ser siempre consecuencia natural del privilegio. A fines del año 20 estos inconvenientes se habían hecho ya intolerables, por efecto del crecimiento en la producción. Se celebraron *meetings* para tratar del modo cómo pudiera salirse de aquella apremiante situación, y el 20 de Mayo de 1826, en una reunión de personas importantes de Liverpool, se resolvió fundar una Compañía para la construcción de una línea férrea entre Liverpool y Manchester. A pesar de las gestiones que en contra de la realización de esta empresa practicaron sus enemigas naturales las Sociedades de canalización, obtuvo aquella la autorización del Parlamento hacia fines del año 1828. En rigor, la primera idea de los iniciadores de la nueva línea era disponerla sólo para el transporte de mercancías, quedando todavía reservado á los carruajes arrastrados por caballos la conducción de viajeros.

Pero cuando en 1829 se resolvió la cuestión acerca de cuál era la fuerza tractora más conveniente, de tal suerte que ya casi no podía pensarse en el empleo de los caballos para el transporte de las mercancías en la inmensa mayoría de los casos, se aceptó la proposición de Jorge Stephenson, que desde un principio había sido nombrado ingeniero de la Compañía, y se resolvió promover un concurso de locomotoras, ofreciendo un premio á la que respondiera más completamente á las exigencias anunciadas, para elegir este modelo y proveer con él á la empresa.

Estas exigencias ó condiciones eran las siguientes:

La máquina (con seis ruedas) no debía pesar más de seis toneladas; debía arrastrar sobre una línea horizontal, con una velocidad de 16 kilómetros por hora, una carga de 20 toneladas, incluyendo el agua y carbón necesarios; si la máquina pesara sólo cinco toneladas, bastaría con que arrastrara 15. Para una máquina de cuatro ruedas podría ser su peso desde cuatro y media toneladas para abajo. Por último, el precio de la locomotora no había de exceder de 550 libras esterlinas (13.200 pesetas.)

Desde luego se comprende que para una línea como la de Liverpool-Manchester, que había de luchar contra los esfuerzos y los medios poderosos de que disponen las Sociedades de canalización, no habían de ser suficientes las máquinas empleadas en la línea Stockton-Darlington. En primer lugar, era preciso aumentar su débil fuerza tractora, y su velocidad, también demasiado pequeña. Ahora bien; la capacidad de trabajo depende directamente del mayor ó menor desarrollo de vapor. De modo que si se querían mayor fuerza y mayor velocidad, indispensablemente habría que hacer de modo que se facilitara un desarrollo de vapor más abundante. Ya se había reconocido, con muy buen sentido, que para

este fin era preciso aumentar la superficie de calefacción de la caldera, y Jorge Stephenson había ya hecho pasar con este objeto su hogar tubular á través del interior de la misma; el ingeniero francés Marc Seguin tuvo entonces un pensamiento ingenioso, pues hizo que atravesaran á la caldera, no ya un sólo tubo grueso, sino un gran número de tubitos, correspondientes todos á otros tantos hogares y con un diámetro menor en proporción á su número (no los tubos hervidores indicados en páginas anteriores). Pero el resultado no correspondió á las esperanzas, porque faltaba que llenar otra condición, que fué satisfecha primeramente por Stephenson en su locomotora premiada. En relación con la superficie de calefacción debía crecer, en efecto, también la cantidad de carbón quemada en un cierto tiempo, para que la producción de vapor fuera efectivamente mayor, y esto sólo era posible haciendo de modo que fuera mayor la cantidad de aire que tenía acceso al hogar.

Ahora bien: había que renunciar al recurso que produce una influencia favorable bajo este concepto en nuestros establecimientos fabriles, la prolongación de la chimenea, pues ésta tenía que estar limitada á un mínimum, en virtud de varias circunstancias. De aquí que Seguin intentara emplear un ventilador, que colocó por bajo del hogar; pero este medio era incómodo y acarreaba también multitud de inconvenientes. Jorge Stephenson encontró una solución por otro camino, haciendo que saliera por la chimenea el vapor á alta tensión procedente del cilindro, con lo cual obtenía una aspiración, y por consiguiente una corriente de aire libre á través de la rejilla del hogar, que proporcionaba oxígeno más que suficiente para la combustion.

Por más que el principio sobre que descansa este llamado tubo aspirador de vapor no fuera un principio desconocido hasta entonces, sino que, por el contrario, otros contemporáneos (como, por ejemplo, Hackworth) fijaron también su atención en la misma idea, no por eso pierde nada de su valor el mérito contraído por Stephenson al llevar á la práctica este perfeccionamiento decisivo, haciendo de él una parte integrante de su locomotora.

Entonces fué cuando la caldera estuvo en condiciones para ejercer una acción bastante enérgica, señalándose con la línea férrea construída entre Liverpool y Manchester el comienzo de la nueva época, y con ello el paso más grandioso en la historia de las relaciones comerciales entre los pueblos. En efecto, en esta línea funcionó por primera vez la primera locomotora construída según dicho principio, y que en virtud del éxito alcanzado se convirtió inmediatamente en modelo, según el cual fueron construídas todas las máquinas en lo sucesivo. La locomotora á la cual aplicó Stephenson esta disposición, que forma época, se llamó el *Cohete*, y con ella se presentó al concurso convocado por la Sociedad de los caminos de hierro de Liverpool-Manchester.

El 6 de Octubre de 1829 se habían inscrito en la lista de concurso las cinco locomotoras siguientes: *Roket* (Cohete), de los dos Stephenson (padre é

hijo); *Sanspareil*, de Hackworth; *Novelty*, de Braithwaite y Erisson, *Perseverance*, de Burstall, y *Cyclop*. Funcionaron como jurados Rastrick, de Stourbridge; Kennedy, de Manchester, y Nicolás Wood, de Killingworh. Las experiencias tuvieron lugar en el llano de Rainhill, que ofrecía un camino completamente horizontal de $3^{km.}$, 218^{m} de extensión, y duraron varios días.

El *Cohete* tenía cuatro ruedas y pesaba 4,3 toneladas, con arreglo al programa. Su caldera de $1^{m},73$ de longitud, estaba atravesada por 25 tubos de calefaccion de cobre y de 7 centímetros de diámetro. El vapor salía desde el cilindro á la chimenea. La fig. 563 representa esta máquina de Stephenson; *M N*

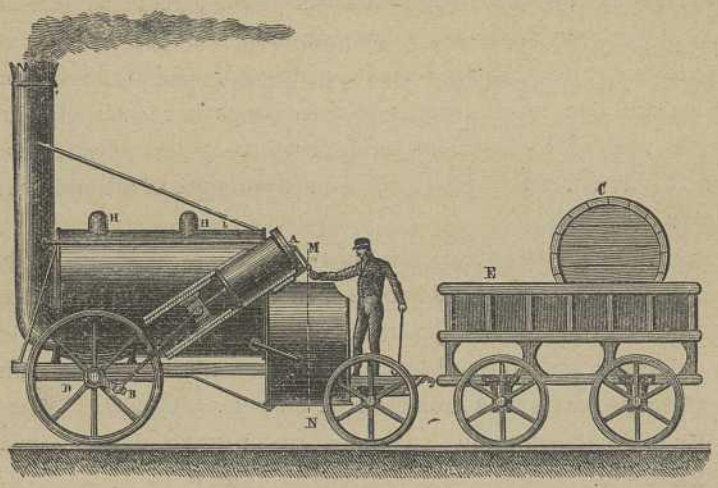


FIG. 563.—El *Cohete*, locomotora de Stephenson, premiada en el concurso.

es el hogar, que tenía una altura de un metro y una anchura de $0^{m},70$. La caldera formaba la parte principal del cuerpo de la máquina; *H H* son sus válvulas de seguridad. El cilindro de vapor, *A*, estaba inclinado con respecto al eje de impulsión, de suerte que la manivela *B* podía ser puesta en rotación directamente por la varilla articulada del émbolo. El carbón iba colocado sobre el *tender E*, que contenía también un depósito de agua *C*.

La segunda máquina, *Sanspareil*, quedaba en rigor fuera del concurso por su gran peso; pero se la permitió, sin embargo, tomar parte en los viajes, por si hubiera podido manifestar ventajas especiales y hubiera sido conveniente tenerlas en cuenta; bien pronto se manifestó como muy inferior al *Cohete*. La *Novelty* no había podido quedar construída en el tiempo prefijado, y fué preciso practicar las experiencias con ella algunos días después. Por lo demás, tenía la particularidad de que carecía de *tender*, pues el carbón y el agua se hallaban contenidos en el mismo carruaje de la locomotora. Pero en el curso de las pruebas, durante las cuales la *Novelty* desarrolló una velocidad desde 7 kilómetros por hora hasta 13 como máximum, se inutilizó su caldera, y tuvo que prescindirse de esta máquina. También fué excluída la *Perseverance*, porque había

sufrido averías en los viajes, y, por último, la *Cyclop* no correspondió tampoco á las condiciones exigidas. Ninguna podía, pues, disputar el triunfo al *Cohete*, puesto que ésta aventajó considerablemente á las condiciones propuestas, arrastrando sobre terreno llano una carga de 13.000 kilogramos, con una velocidad de veintidós y medio kilómetros por hora.

Con la capacidad de trabajo comprobada en este pugilato, cambió por completo de carácter la empresa del ferrocarril de Liverpool á Manchester. En un principio sólo se había pensado en aplicar esta línea á transportes propiamente dichos; desde entonces se decidió, sin más, transportar también por ella viajeros. Se hicieron ya algunos viajes de prueba con 30 ó 40 personas en el campo de Rainhill, y si bien en su primera época esta manera nueva de viajar no produjo un resultado muy brillante para los accionistas, por efecto de la competencia que comenzaron á hacerles entonces las Sociedades de canalización, aun á costa de todas las utilidades adquiridas anteriormente, pudo considerarse conquistado para el porvenir este progreso, y demostrado que la locomotora era ya el único motor posible.

Se reconoció ya, y la publicación inglesa *Quaterly Review* contribuyó de un modo decisivo á persuadir al público de esta verdad, que la locomotora era la más importante de todas las aplicaciones que hasta entonces había encontrado la fuerza del vapor, puesto que hacía posible esa facilidad en los cambios y relaciones entre las partes más separadas de un país, que afecta á su engrandecimiento más profundamente que cualquier otro progreso, dando unidad y robustez á su comercio.

Efecto de su triunfo, el taller de máquinas de los dos Stephenson, padre é hijo, fué encargado de la construcción de las locomotoras para la línea de Liverpool-Manchester. El primer progreso hecho con posterioridad fué la prolongación de la caldera y el aumento del peso total de la máquina; pero con esto se hizo también necesario de todo punto prescindir de los débiles carriles empleados hasta entonces, y sustituirlos por otros más fuertes.

Los cilindros del *Cohete* estaban encima del eje de las ruedas, é inclinados respecto á él, según se ve en la figura. Pronto se pensó, sin embargo, en colocarlos horizontales y más bajos entre las ruedas, fundándose en que esta disposición hacía descender el centro de gravedad del aparato y le comunicaba, por consiguiente, mayor estabilidad. En cambio esta posición entrañaba un inconveniente de gran peso, dado el estado en que se encontraba á la sazón la industria del trabajo del hierro; el eje de tracción tenía que estar, en efecto, dos veces acodado, y como entonces ofrecía dificultades la construcción de tales ejes, volvieron á colocar algunos constructores los cilindros en la parte anterior, como ya lo había hecho Hackwortth en 1825. No hay para que decir que semejante circunstancia no ofrece hoy dificultad alguna.

Como veremos pronto, cuando nos ocupemos á continuación de la construc-

ción de la locomotora, cuanto hay de esencial en esta máquina, cuanto se refiere á sus principios fundamentales, fué agotado por los dos Stephenson, que juntos idearon el modelo *Cohete*. Así, pues, los principios según los cuales se construyen hoy las locomotoras son los mismos establecidos por dichos hábiles ingenieros. Las modificaciones que naturalmente no podían haber cesado desde entonces, se refieren á los detalles del mecanismo, á la regularización y al aprovechamiento de la expansión del vapor, etc., etc., y han sido en estos puntos independientes de los perfeccionamientos que en parte han experimentado también las máquinas de vapor en general. De esta clase son las mejoras introducidas en Francia por Clapeirón en la línea de París á Saint-Germain con la máquina de expansión, y en Inglaterra por el mismo Roberto Stephenson con la llamada *guía de corredera*. Pero, ó bien son disposiciones para casos especiales, como las locomotoras de gran tracción y de tracción rápida, ó bien obedecen á condiciones del suelo, como ocurre en particular en las líneas del continente, cuyas condiciones del terreno son completamente distintas de las inglesas. Los constructores de locomotoras encontraron nuevos problemas que resolver cuando se trató de salvar con las líneas férreas los peligros ofrecidos por las aguas, y había necesidad de conducir aquéllas á través de angostos valles y en forma de curvas bastantes pronunciadas.

Estas circunstancias no se hicieron notar en Inglaterra de un modo tan señalado como en otros países. Con objeto de que tuvieran más libertad para vencer pendientes y curvas de las líneas, construyeron ya en 1833 Balduín y Norris, de Filadelfia, locomotoras cuya parte anterior era movible, pudiendo así recorrer curvas bastante pronunciadas. En Alemania, la línea del Semmering (1850) fué la que ofreció ejemplo de la ascensión más notable por la pendiente de una montaña, para lo cual fué preciso emplear máquinas de una tracción sumamente enérgica. El premio propuesto con este motivo para la mejor locomotora que arrastrara una carga de 2.500 quintales, con una velocidad de 12 kilómetros por hora á lo alto de una pendiente al 1 por 40, y en curva muy pronunciada, fué adjudicado á la locomotora *Bavaria*, presentada por el taller de máquinas de Maffei, en Munich.

Después se han introducido todavía nuevos inventos relativos al mismo objeto. Se comprende desde luego que para tales casos no ha de ser ya suficiente la adhesión ofrecida por las locomotoras usuales y que basta sobre líneas horizontales. De aquí que las locomotoras para los países montañosos son, por lo pronto, mucho más pesadas que las destinadas á terrenos llanos. Pero como el peso de la locomotora representa una carga muerta, cuyo arrastre consume inútilmente una parte considerable de la fuerza motriz, se ha intentado aumentar el rozamiento entre la locomotora y los carriles por otros medios. La disposición propuesta por Krauss, de Hannover, para la línea del Semmering, según a cual debía colocarse entre los dos railes sobre que resbalan las ruedas nor-

males, un tercero algo más elevado, contra el cual habían de frotar por ambos lados ruedas especiales de fricción, fué utilizada más tarde con éxito por Fell para la línea provisional del Monte Cenis. En las líneas todavía más pendientes, tales como las que en los últimos años se hicieron de moda para transportar con comodidad á los *turistas* hasta ciertos puntos elevados de Suiza y de otros países desde los cuales se dominan panoramas más ó menos interesantes, se han colocado en medio de los carriles una cremallera continua, en la que engrana una rueda dentada fija debajo de la locomotora. Más adelante estudiaremos una de estas disposiciones especiales; vamos ahora á considerar, siquiera sea ligeramente, la

ESTRUCTURA DE LAS LOCOMOTORAS

Tenemos que distinguir, naturalmente, como las principales partes esenciales de éstas: 1.º, la caldera, cuya disposición va íntimamente enlazada con la del hogar; 2.º, la conducción del vapor desde la caldera á los cilindros; 3.º, los cilindros mismos con sus émbolos y varillas correspondientes; 4.º, la distribución del vapor; 5.º, el canal de salida para los gases de la combustión; 6.º, las ruedas motrices, y 7.º, el *tender* ó depósito de carbón y agua con la bomba de alimentación. Estas partes se encuentran en toda locomotora, cualquiera que sea su construcción, y podemos servirnos de la fig. 564 como esquema para estudiar la forma y manera de estar ordenadas. En dicha figura, *A* es el hogar, por cuya puerta, *a*, introduce el fogonero el combustible; las paredes de este hogar son dobles; están formadas de gruesas planchas de hierro, separadas entre sí por una capa de una sustancia mala conductora del calor, como ceniza ú otra semejante; en su parte inferior lleva una rejilla; *B* es la caldera, de forma cilíndrica, y atravesada á lo largo por tubos de calefacción, de los cuales sólo se representan cuatro en la figura, para mayor claridad, por más que su número asciende hasta 150 en las locomotoras modernas; estos tubos conducen los gases del hogar á la caja *D*, desde donde salen por la chimenea. El vapor se acumula en la parte superior de la caldera y llena también la cúpula de vapor *C*, así como los espacios *H* y *L*, provistos de válvulas. La válvula del último citado es la de seguridad, mientras que la de *H* es accesible al maquinista, por medio de la palanca *N P*, pudiendo éste aumentar ó disminuir su carga, según las circunstancias, lo cual no sucede con la válvula de seguridad, que permanece siempre inalterable. El cuarto orificio que se ve en la caldera es la portilla *C*, por la cual puede penetrar un operario cuando hay que limpiar ó reparar su superficie interna; *l* es el silbato de vapor.

En la parte superior de la cúpula *C* se abre el tubo de vapor, *c*, el cual se ramifica por delante de la caldera en dos brazos, *d*, cada uno de los cuales con-

duce á uno de los dos cilindros *F*. El abrirse este tubo de vapor en un punto tan alto de la cúpula, tiene por objeto evitar, en lo posible, que lleguen al cilindro, arrastradas mecánicamente por el vapor, partículas de agua; la tapadera de esta abertura está provista de un regulador, de modo que puede ser abierta ó cerrada desde fuera por el maquinista, por medio de una palanca. El vapor no es conducido directamente desde los tubos *d d* á los cilindros, sino que penetra primero en las cajas de distribución *i i*, cuya disposición nos es conocida desde

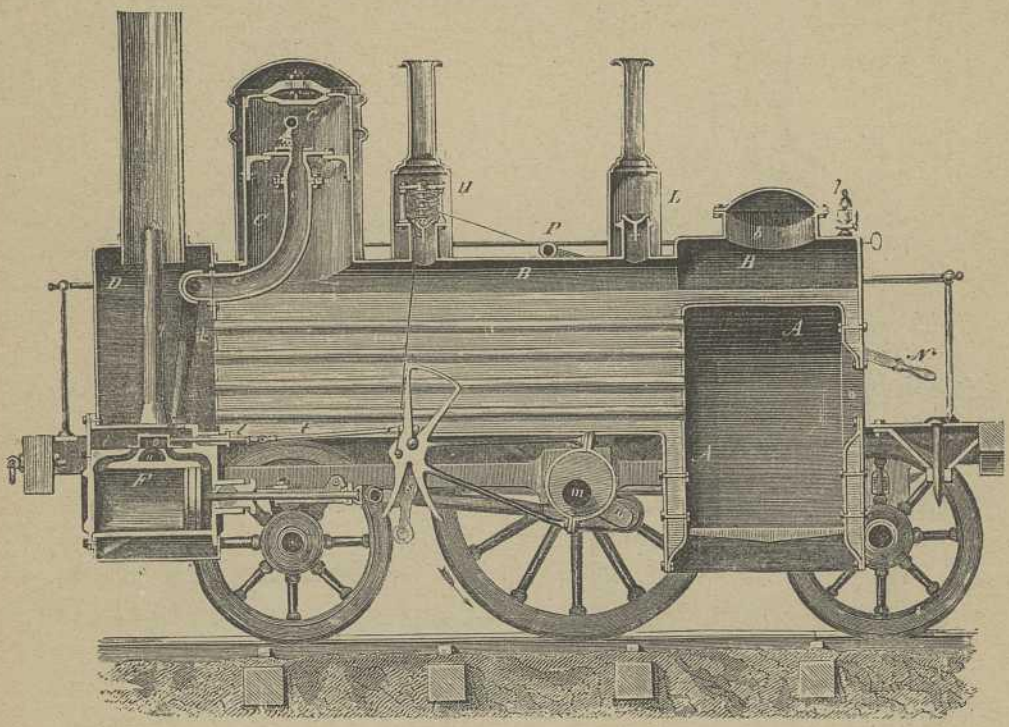


FIG. 564.—Sección longitudinal de una locomotora antigua.

que describimos la máquina de vapor. Estas cajas mismas están indicadas por las partes *n o*, y son puestas en movimiento mediante las varillas *f f* por la excéntrica unida á la biela. El árbol *m* lleva las ruedas motoras; las ruedas correspondientes á los otros ejes giran libremente. Después de haber ejercido el vapor su acción sobre el émbolo penetra por el tubo *q*, todavía con gran tensión, en la chimenea, determinando una fuerte corriente hacia el exterior, que aspira, por consiguiente, el aire libre, obligándole á entrar por la rejilla en el horno; en esto consiste la acción del llamado tubo aspirador de vapor.

Si suponemos atravesada una locomotora por un plano vertical hacia la parte anterior y en punto apropiado, obtendremos una imagen próximamente como la que nos ofrece la fig. 565; la fig. 566 da simplemente una vista de la

locomotora por la parte posterior. En la primera de ambas vemos las dos ramas del tubo de vapor *u u'*, que conducen á éste á los cilindros; *v v'* son los tubos que conducen el vapor desde la caja de distribución al tubo vertical de aspiración *V*, donde se reunen, y desde él á la chimenea. Por último, en la vista posterior (fig. 566), indica *C* el cenicero, *B* las tres llaves de prueba que sirven al maquinista para enterarse de la altura de nivel del agua en el interior de la caldera, *A* es el manómetro, *S* la válvula de seguridad, y *D* es el mango de un tirador, por medio del cual puede vaciarse instantáneamente la rejilla de com-

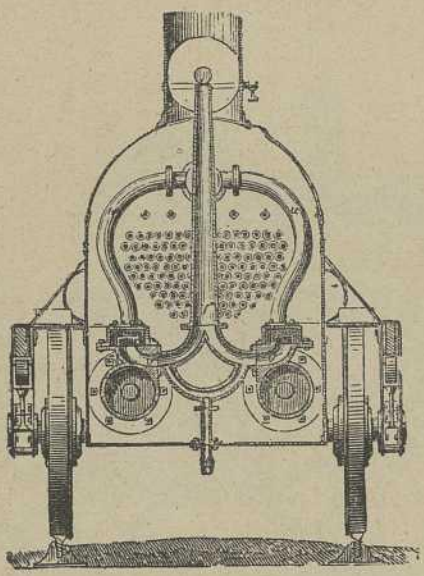


FIG. 565.—Corte vertical de una locomotora.

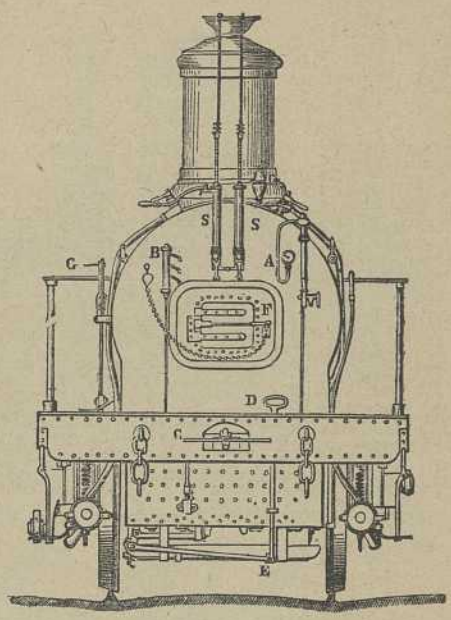


FIG. 566.—Vista posterior de una locomotora.

bustible, pues mediante el sistema de palancas, *E*, el carbón es golpeado de arriba abajo.

Estos son los mecanismos más importantes, cuyo manejo debe ser accesible fácilmente al maquinista. Además, existe todavía una palanca, *G*, para hacer actuar el vapor hacia atrás, ó sea para cambiar el sentido del movimiento de la locomotora, lo cual es posible con auxilio del distribuidor de colisa inventado por Stephenson.

Se comprende cuán extraordinaria ha de ser en la práctica la importancia de este mecanismo, cuya ingeniosa disposición puede concebirse por la siguiente explicación. Como se ve, el mecanismo del movimiento de la locomotora coincide completamente con el mecanismo del movimiento de una máquina de vapor de cilindro horizontal, sin más que considerar, en lugar de la rueda del volante, las ruedas motoras de aquélla. Lo mismo allí que aquí, la entrada del vapor, bien por delante, bien por detrás del émbolo, está regida por la excén-

trica, á la cual va unida la varilla del aparato de distribución; sin embargo, en la locomotora encontramos la diferencia de que no existe solamente un disco excéntrico por cada lado del eje de las ruedas motoras, sino que estos discos son dos por cada lado, que se hallan inmediatos entre sí, y cuyas excentricidades son contrarias; de suerte que cuando uno de los pares de discos conduce al vapor por delante del émbolo, el juego del otro par lo conduciría por detrás del mismo, y viceversa. Según hemos descrito al tratar la máquina de vapor, la excéntrica está rodeada de un anillo, dentro del cual gira el disco, y al que se une la varilla del distribuidor. Pues bien; en la locomotora sólo se halla en comunicación por este medio con la varilla del aparato de distribución, uno de los

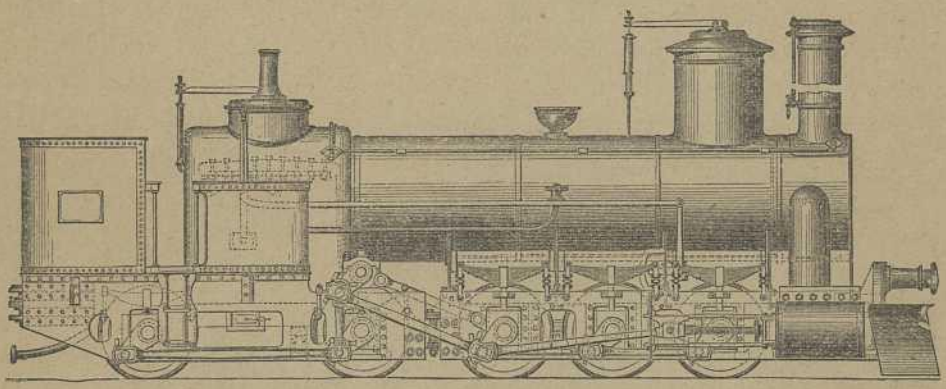


FIG 567 —Locomotora según el sistema Fink.

dos discos excéntricos que posee; pero mediante la palanca *G* se puede desviar instantáneamente aquella varilla, de modo que éntre en comunicación con la otra excéntrica, y, por tanto, que la distribución de vapor cambie de sentido y la dirección de la locomotora se convierta también en la contraria. Todavía existe un tercer disco, que, unido con la caja de distribución, hace que la máquina permanezca completamente en reposo. La palanca *G* actúa naturalmente, de modo que se produzcan simultáneamente los mismos cambios sobre los aparatos de distribución correspondientes á los dos cilindros situados á ambos lados de la máquina.

Vista por fuera la locomotora, aparece revestida por una capa de madera mala conductora del calor, la cual está todavía forrada por otra capa de corcho para disminuir la radiación del calor. Su aspecto es algo diferente, según el fin especial á que se destina; pero en lo esencial no influye esto sobre su disposición interna. El número de las ruedas es de cuatro, seis ú ocho; generalmente de seis. Cuando la locomotora está calculada para grandes velocidades, ó sean las llamadas *máquinas de tracción rápida*, las ruedas motoras tienen un diámetro mayor; pues como quiera que el número de golpes de émbolo en un cierto tiempo no puede ser aumentado sin desperdiciarse una parte mayor de la ten-

sión del vapor, dicho número de vueltas no puede exceder de cierto límite, y, por consiguiente, no queda otro camino para aumentar la velocidad que el indicado de dar á las ruedas motoras un mayor perímetro. Pero también esto tiene su límite en la circunstancia de que la caldera se halla sobre el eje de las ruedas motoras, y que si este eje se eleva mucho sobre el suelo para dar á

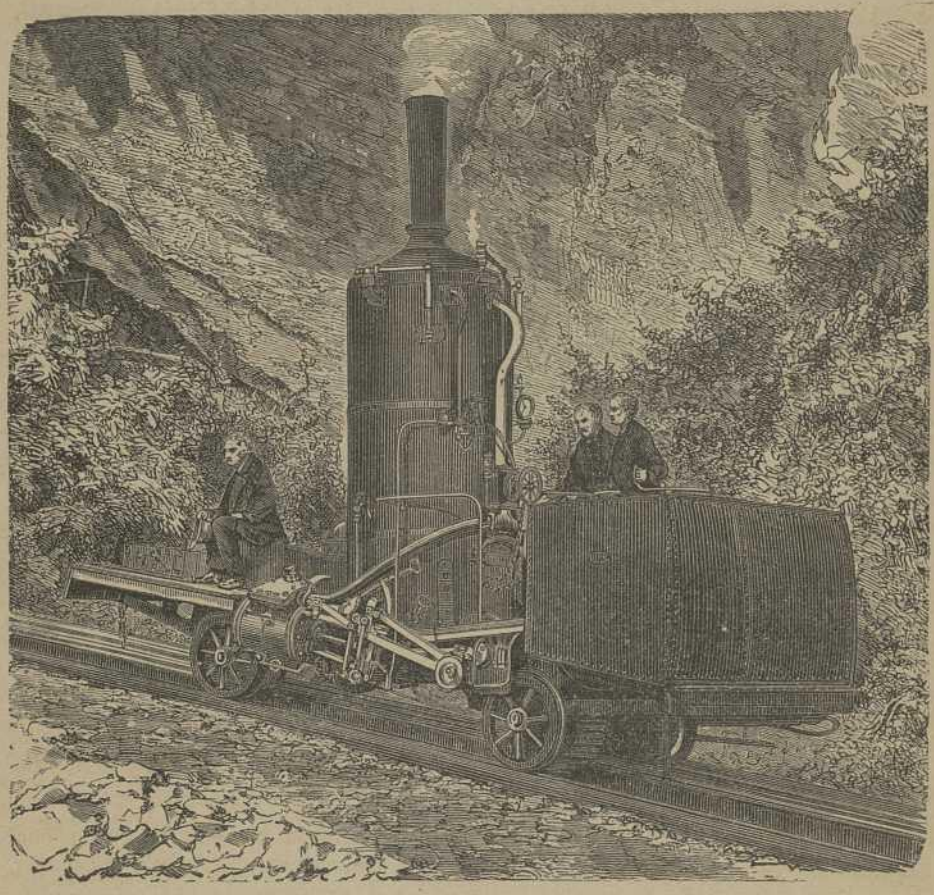


FIG. 568.—Locomotora de Rigi.

dichas ruedas motoras un gran diámetro, pierde la máquina en estabilidad.

En 1848 se había llegado ya á este límite, y parecía que se había alcanzado la velocidad máxima á que podía viajarse, dados los peligros antedichos, cuando el ingeniero inglés Crampton tuvo la feliz idea de colocar el eje de las ruedas motoras, no ya por debajo, sino por detrás de la caldera. Desde entonces no existió ya esta limitación en el tamaño de dichas ruedas, y hoy se construyen en Inglaterra locomotoras Crampton, cuyas ruedas motoras tienen dos metros 60 centímetros de diámetro. La primera línea que utilizó esta importante innovación fué la línea del Norte de Francia; la velocidad de la marcha se elevó con

esto hasta 80 kilómetros por hora, habiéndose llegado á obtener 100 kilómetros por hora. El establecimiento de los *trenes expresos*, que ha adquirido una importancia enorme para las líneas internacionales, data del invento de Crampton, que fué adoptado en todas partes en virtud de sus brillantes resultados.

Al lado de la locomotora de Crampton debemos decir algunas palabras acerca de la del ingeniero austriaco Engerth, el cual partió en su descubrimiento de la idea de aumentar, no ya la velocidad, sino la fuerza de tracción de la locomotora, á lo cual le impulsaron particularmente las dificultades que ofrecía la elevación de mercancías por la línea del Semmering. El sistema de Engerth consiste en que el *ténder*, con todo su peso, está incluído en el cuerpo de la locomotora, pues una parte de la caldera descansaba sobre el *ténder* y el eje de las ruedas de delante; el resto del efecto lo produce el acoplamiento de las ruedas entre sí.

De un modo semejante se ha conseguido también modernamente, por el acoplamiento de varios ejes de tracción, el fin, ya indicado anteriormente, de vencer curvas bastante pronunciadas; ejemplo de esto es el sistema de Fink, (fig. 567) que descansa en el empleo de manubrios intermediarios, y en el cual la fuerza motriz se transmite por medio de varillas directrices, de suerte que los ejes motores acoplados á éstas, pueden conducir á la máquina sobre una vía rectilínea ó curvilínea con la misma velocidad. Las condiciones especiales en las líneas montañosas tan pendientes como la línea sobre el Rigi, exigen, por otra parte, disposiciones completamente especiales y excepcionales en sus locomotoras.

La locomotora de Rigi (fig. 568) se separa ya de todas las demás, por la circunstancia de que en ella la caldera no es horizontal, sino que adopta la posición vertical con objeto de reducir al menor valor posible la influencia de la inclinación de la superficie de nivel del agua, que resulta como consecuencia de la del camino. En el centro, entre los dos carriles, se halla la cremallera en la cual engrana la rueda dentada del eje motor, construída de fundición de hierro. Por medio de una disposición especial de la distribución del vapor, puede suspenderse la tracción con toda seguridad en cualquier momento, y cualquiera que sea la pendiente. Su peso total, en estado de funcionar, asciende sólo á unos 240 quintales, á pesar de lo cual actúa con una fuerza de 120 caballos. Durante el viaje va colocada siempre por debajo del coche, ó dos coches, que es lo que arrastra cada vez, de modo que al subir los empuja por detrás, y al bajar los contiene.

RESUMEN

Al echar una rápida ojeada sobre las modificaciones recorridas por la locomotora en cuanto á su estructura y su capacidad de trabajo, encontramos que, si bien sobresale siempre en ella esencialmente el invento de Stephenson, apa-

recen también algunos adelantos notables que caracterizan la extraordinaria variedad en las aptitudes de esta máquina. Crampton y Engerth señalan los límites de las dos direcciones, en las cuales han influído principalmente los perfeccionamientos, aumento de la velocidad y de la fuerza tractora, prescindiendo de una labor más acabada en la realización de todos los detalles.

El *Cohete* de Stephenson tenía una superficie de calefacción de 11 metros cuadrados por el año 1835 esta superficie había sido aumentada hasta 40 ó 50 m. c.; en 1845, hasta 70; en 1850, hasta 100 ó 130, y, por último, en 1855 se llegó á ofrecer á la acción del fuego una superficie de 200 m. c. próximamente. En el mismo intervalo de treinta años escasamente se pasó en la tensión del vapor desde tres á diez atmósferas. El peso del agua vaporizada en una hora subió de 400 hasta 5.000 kilogramos, y todavía hasta 8.000; en cambio se *rebajó* el peso de carbón quemado necesario para arrastrar una tonelada de carga sobre una línea ordinaria, desde 450 gramos hasta de 30 á 80, según la clase de máquina y su velocidad. El peso de las locomotoras recibió un enorme acrecentamiento; según ya hemos visto, el *Cohete* de Stephenson pesaba no más que cuatro toneladas; de 1830 á 1835 el peso medio era de 6 á 7 toneladas. Después de 1835 se construyeron ya algunas locomotoras, con seis ruedas, de 12 y 13 toneladas; en 1845 pesaban 30; en 1850, 36; las máquinas de Engerth que aparecieron en 1855 alcanzaron el peso colosal de 55 á 65 toneladas.

La carga arrastrada por medio de una locomotora sobre las líneas ordinarias se fué elevando sucesivamente desde 40 hasta 700 toneladas. En cuanto á la velocidad, el *Cohete* recorría 25 kilómetros por hora, la *Fire-Fly*, en 1834, recorría ya 43; después se ha alcanzado, con las máquinas Crampton, el valor de 100 kilómetros por hora; sin embargo, por lo regular nos contentamos con una velocidad bastante moderada en los viajes, la cual suele ser inferior todavía á los 25 kilómetros en los trenes de mercancías.

CARRUAJES DE VAPOR

La primera idea de aplicar éstos al transporte de objetos sobre nuestras calles de las poblaciones, sólo transitoriamente quedó abandonada por el desenvolvimiento de la idea de las líneas férreas. Después de que la experiencia se había hecho más rica, volvió pronto este problema á ser puesto sobre el tapete, y en los últimos diez años no se ha cesado de trabajar en su investigación. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta hoy han sido siempre negativos. «Locomotora y línea férrea son como marido y mujer;» estas palabras de Stephenson padre, siguen, al parecer, expresando un concepto verdadero. Nuestras grandes vías, prescindiendo de las perturbaciones que todo el tráfico que tiene lugar sobre ellas había de recibir de las locomotoras y ejercer sobre su marcha; nues-

tras calles tendrían que recibir una transformación radical para que semejantes máquinas, con su gran peso, y el peso, mayor todavía, de sus cargas, hubieran de moverse con cierta regularidad sobre ellas en dirección de un número de ejes relativamente menor. Por otra parte, locomotoras ligeras, aun suponiendo que se consiguiera construirlas, no parece que habían de ofrecer ninguna ventaja esencial sobre la fuerza de los caballos. Hay que esperar el resultado práctico que obtienen en el porvenir los ómnibus y carretelas de vapor. Una de estas

FIG. 569.—Carretela de vapor de Bolle, en Berlín.

últimas, construída por M. A. Bolle, en Le-Mans, llamó extraordinariamente la atención durante el año 1884 (fig. 569).

Se han puesto también en uso carruajes de vapor con fines especiales, como, por ejemplo, el transporte de máquinas de gran peso, piezas de artillería, locomotoras, etc., desde los talleres de construcción de máquinas á las estaciones, á los puertos, etc., etc., y en la guerra franco-prusiana sirvieron también algunos de éstos para llevar el material de artillería, muy pesado, desde los extremos de las líneas férreas hasta los puntos de emplazamiento en torno de París, durante el sitio; pero estas aplicaciones pasajeras, en las cuales no se tiene en cuenta para nada la tranquilidad de las calles, no representan otra cosa que un esfuerzo hijo de la necesidad, y, por tanto, no podemos entrar aquí en la descripción de las numerosas modificaciones de construcción.

Las locomóviles, ó, con más propiedad, máquinas de vapor locomóviles, sólo tienen de común con la locomotora el que también en ellas se hallan reunidos en

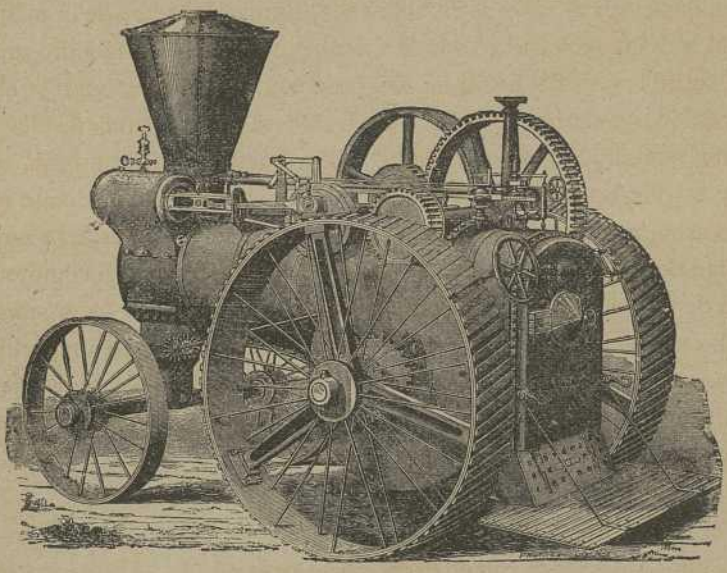


FIG. 570.—Locomóvil.

un conjunto, y en el menor espacio posible, el aparato generador del vapor, ó sea el hogar y la caldera con el aparato motor, cilindros, émbolos, varillas y

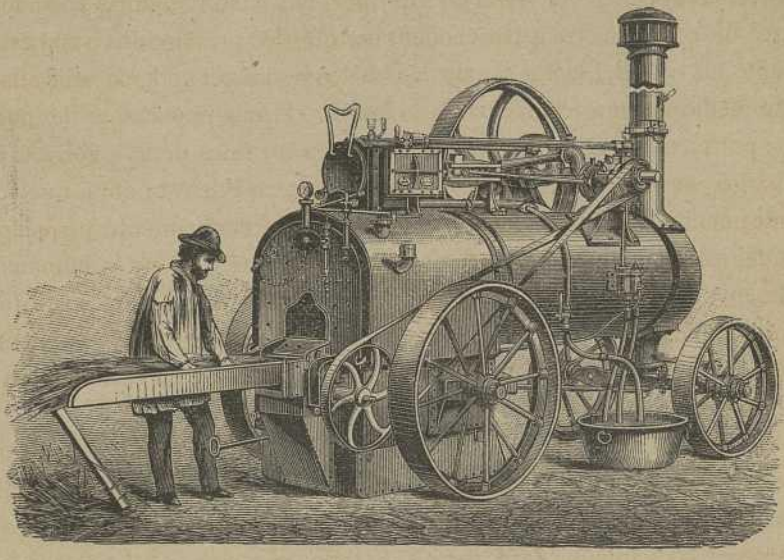


FIG. 571.—Locomóvil.

ruedas motrices, y que mediante ruedas situadas bajo este conjunto, puede transportarse de uno á otro lugar. Las locomóviles son también máquinas de vapor de alta presión; lo que las caracteriza y distingue de las máquinas de va-

por fijas consiste sólo en la disposición de algunas piezas, recibida por otra parte por efecto del perfeccionamiento de la locomotora, y en su mayor parte de manos de los mismos ingenieros, á quienes debemos el estado actual de esta última. La caldera, con el tubo de la chimenea, forma el cuerpo de la máquina, sobre el cual se halla colocado todo el mecanismo motor, el cilindro en la parte posterior sobre la caja del hogar, el juego de la varilla del émbolo y el aparato de distribución, que corren á lo largo de la caldera y por encima de ella; la rueda del volante, que sirve al mismo tiempo como rueda de transmisión, se halla á un lado y es puesta en rotación por la varilla del émbolo mediante un manubrio cuyo árbol es horizontal. Un regulador de fuerza centrífuga cuida de la uniformidad de la marcha; la caldera es tubular, como en la locomotora. Estas máquinas de vapor transportables están en uso desde el año 30, y sirven, como es natural, en aquellos casos en que no es práctica la instalación de máquinas fijas, como, por ejemplo, para fines de construcción de bombas hidráulicas, labores agrícolas, etc. Bajo este último aspecto tendremos ocasión de volver á ocuparnos de la aplicación práctica de las locomóviles.

OBSERVACIONES FINALES

Ahora, al término de nuestras descripciones sobre las máquinas de vapor y de sus diversas aplicaciones, sería tal vez oportuno añadir algunas consideraciones acerca de otros fines más trascendentales que los presentados hasta este momento ante los ojos del lector y para los cuales podrá ser todavía utilizado también este medio de transformación de la fuerza, el más importante de nuestros tiempos; por ejemplo, para la destrucción, para los fines de la guerra ú otros. Sin embargo, sería ir demasiado lejos, dado el carácter de esta obra, que se propone únicamente presentar, dentro de un espacio relativamente pequeño, una imagen del estado real de los medios de acción de que dispone la humanidad y de su desenvolvimiento sucesivo, como una especie de guía, para los esfuerzos posteriores de los espíritus innovadores, penetrar, siquiera fuera ligeramente, en todos los proyectos ó hipótesis posibles que pueden estar en relación con cualquiera de los inventos consignados.

De todos modos, y para dar fin á este tomo, vamos á dirigir una mirada retrospectiva hacia el desarrollo de los descubrimientos principales, añadiendo algunas indicaciones complementarias sobre los datos anteriores, contenidos principalmente en las páginas 784 á 791. Ante todo, hay que consignar que las dudas expresadas por nosotros al fin de la página 784 acerca de la exactitud de la destrucción atribuída al capitan inglés Savery, de cierto libro de Papín, han sido plenamente confirmadas, y, por consiguiente, la historia en cuestión debe

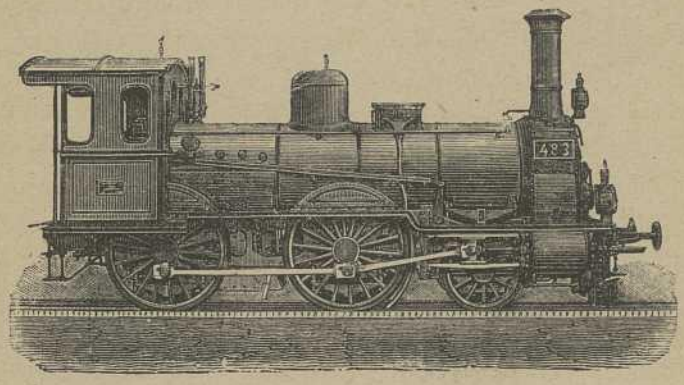
ser considerada como un cuento. Por otra parte, el procedimiento atribuído antes equivocadamente al capitan Savery y descrito en la pág. 785, según el cual condensaba el vapor situado en el interior del cilindro mediante la introducción de una corriente de agua fría, no fué empleado realmente por Savery, el cual abandonaba, por el contrario, el cilindro á un enfriamiento espontáneo y gradual. La idea de Savery ha sido aplicada de nuevo recientemente, y se ha sabido hacerla más practicable con el empleo de vapor á alta presión en el llamado *pulsómetro*.

La indicación hecha en la pág. 784, de que Papín publicó el pensamiento de su invención en un libro propio, exige cierta aclaración. En efecto; la descripción aludida apareció en la Revista mensual de Leipzig *Acta eruditorum*, y tuvo desde entonces un resultado práctico cuando su autor, Dionisio Papín, fué encargado de la construcción de una verdadera máquina de vapor que debía servir para elevar el agua destinada al cuidado del parque, en la montaña de Guillermo. De todos modos, esta máquina no se llegó á concluir; pero su cilindro, que fué sumergido en el Weser, está hoy en el Museo de Cassel, constituyendo uno de los más valiosos ejemplares de objetos curiosos: *es el primero y más antiguo cilindro de vapor del mundo.*

Hay que observar además que Papín empleó primeramente el cilindro con émbolo, en sus tentativas, que por aquella época se repitieron mucho, respecto á construir una máquina de pólvora. Esta máquina se fundaba en la idea de obtener un espacio vacío de aire por medio de los gases de la combustión de la pólvora ordinaria, para hacer actuar después la presión atmosférica exterior sobre dicho espacio vacío. Después de los descubrimientos de Torricelli y Otto de Guericke, todo el mundo ilustrado buscaba el medio de utilizar la presión del aire. Papín, como quiera que los gases de la pólvora no vaciaban por completo el espacio, sino que dejaban todavía en él $\frac{1}{5}$ del aire existente, cambió de pensamiento en el año 1690, proponiéndose emplear, en lugar de los gases de la pólvora, el vapor de agua, obteniendo mediante su condensación por medio del enfriamiento (con agua fría) un espacio completamente vacío de aire. Sobre este espacio debía obrar entonces la presión atmosférica para originar el movimiento del émbolo dentro del cilindro.

Acerca de las indicaciones dadas en la pág. 787 sobre una de las partes más importantes de la máquina de vapor de Watt, ó sea la regularización automática, debemos añadir en este sitio que este mecanismo fué practicado primeramente por Beightol en una forma constructiva y excelente. Del mismo modo la exactitud reclama hacer sobre las explicaciones contenidas en la pág. 791, acerca de la rueda del volante, que tiene la misión de hacer uniforme la marcha de la máquina de vapor, la observación de que no nos referíamos á que Watt hubiera introducido este principio, sino que simplemente realizó su aplicación

á dicha máquina, pues ya antes de Watt había sido aplicado á otros fines por diferentes mecánicos. El primer caso práctico del empleo del volante en la máquina de vapor, se verificó en la fábrica de jabones de Washborough, en la cual existía antes, como motor, la máquina sin dicho volante. Después se reprochó equivocadamente á Washborough el haber usurpado á Watt la idea de dicha aplicación.



Vista de una locomotora de construcción moderna.

ÍNDICE

PÁGINAS.

INTRODUCCIÓN

Transformación de la fuerza..... 11
Historia de la Física 19
Propiedades generales de los cuerpos..... 27
Acción de las fuerzas..... 31
Paralelogramo de fuerzas..... 32

EL SISTEMA MÉTRICO

Medida de los antiguos. 42
Sistema de medidas..... 46
Medición de un arco de meridiano. 53
Sistema métrico..... 57
Medidas de las fuerzas..... 61

BARCOS DE HÉLICE Y MOLINOS DE VIENTO

El plano inclinado..... 65
El tornillo..... 68
La hélice de vapor..... 70
Las alas de los molinos de viento.. 78

PALANCAS Y POLEAS

La palanca..... 85
El torno..... 90
El rozamiento..... 93
La polea y los polispastos..... 95

BALANZA Y AREÓMETRO

Gravedad..... 102
El centro de gravedad..... 105
Peso y balanza..... 108
Construcción de las balanzas..... 109
Romana..... 109
La báscula ó balanza decimal..... 111
Balanza de precisión..... 112
El peso específico..... 118
Areómetros..... 121
Alcohómetros, volúmetros, pesalicores, etc..... 122

PÁGINAS

PÉNDULO Y FUERZA CENTRÍFUGA

El péndulo..... 129
Caída de los graves..... 130
Aplicacion del péndulo..... 132
Péndulo de segundos..... 135
Experiencia de Foucault 137
Aplanamiento de la tierra..... 139
Fuerza centrífuga..... 141

BARÓMETRO Y MANÓMETRO

La atmósfera..... 152
Medición de alturas..... 153
Barómetro..... 156
Manómetros..... 163
Observaciones barométricas..... 166

LOS GLOBOS AEROSTÁTICOS Y LA NAVEGACIÓN AÉREA

Máquinas voladoras..... 172
Historia de los globos aerostáticos. 175
El paracaídas..... 187
Viaje aéreo de Green sobre el Canal. 192
Elevación involuntaria de Guerin.. 193
Ascensión de Arbán, en Trieste.... 194
Malograda ascensión nocturna de Coxwell y Gypson..... 195
Ascensión de Coxwell, en Leipzig... 197
Viaje aéreo de Lamountain..... 201
Viaje aéreo de Nadal desde París.. 202
Naufragio de Durnof..... 205
Catástrofe de Croce Spinelli y Sivel. 206
Globos cautivos..... 208
Expediciones aerostático-científicas. 210
Viaje aéreo de Gay-Lussac y Biot... 211
Los peligros para los aeronautas... 215
Dirección de los globos 217
Expediciones aerostáticas durante el sitio de París..... 222

PÁGINAS.

Viaje involuntario de París á Noruega.. 225

LA MÁQUINA NEUMÁTICA Y EL CORREO ATMOSFÉRICO

Experiencias con la máquina neumática..... 238
Bomba de compresión..... 241
Los ferrocarriles atmosféricos..... 245
El correo neumático..... 248

MÁQUINAS HIDRAÚLICAS, BOMBAS DE DIFERENTES CLASES Y BOMBAS DE INCENDIOS

Máquinas hidráulicas..... 258
Turbinas..... 261
Máquinas para la elevación del agua. 264
Bombas..... 266
El ariete hidraúlico 275
Bombas de abastecimiento..... 278
Desecación del mar de Harlem, en Holanda..... 279
Bombas de incendios..... 286
La prensa hidráulica..... 290

LA LUZ

Teoría ondulatoria ó vibratoria de Huyghens..... 298
Propagación de la luz..... 301
Medida de la velocidad de la luz... 302
Método de Fizeas..... 303
Intensidad..... 305
Luz polarizada..... 306

LOS ESPEJOS Y APARATOS ESPECULARES

Reflexión de la luz..... 313
Aparición de espectros en el teatro. 314
El caleidoscopio..... 317
Reflexión sobre superficies curvas. 321

EL PRISMA Y EL ANÁLISIS ESPECTRAL

Refracción de la luz..... 326
La cámara lúcida..... 330
El espectro 331
Las líneas de Fraunhofer..... 336
Espectros continuos y espectros de los gases y vapores..... 337
El análisis espectral..... 339
Espectroscopios.. 341
Resultados del análisis espectral... 346

LA CÁMARA OSCURA

Imágenes de las lentes..... 359
Lentes acromáticas..... 361
Talla de las lentes..... 363
La cámara oscura..... 365
La linterna mágica..... 368

PÁGINAS.

Cuadros disolventes 371
Cámara maravillosa..... 372

EL OJO: PANORAMA, CROMÁTROPO Y ESTEREOSCOPIO

Visión con un solo ojo..... 378
El panorama..... 380
Velocidad y duración de la sensación luminosa..... 383
Disco de Newton y peonza mágica.. 383
El taumátropo y fenaquisticopio... 385
El cromátropo..... 385
Fenómenos de visión subjetiva..... 387
Visión con los dos ojos..... 388
El estereoscopio..... 390
El telestereoscopio..... 398

LA INVENCIÓN DEL TELESCOPIO

Construcción del anteojo..... 405
El anteojo holandés, ó de Galileo.. 405
El anteojo astronómico, ó de Kepler..... 406
Anteojo terrestre..... 407
Nonius y micrómetro..... 414
Reflectores ó telescopios especulares..... 415
Importancia de los anteojos..... 421

EL MICROSCOPIO

Microscopio simple..... 428
El microscopio solar..... 430
El microscopio compuesto..... 431
Historia del microscopio..... 434
El uso del microscopio..... 439
¿Qué es lo que se ve con el microscopio?..... 443

LA ELECTRICIDAD Y LA INVENCIÓN DE LA MÁQUINA ELÉCTRICA

Conductores y aisladores..... 455
Atracción y repulsión eléctricas... 456
Electricidad positiva y electricidad negativa..... 457
La máquina eléctrica..... 459
Máquina hidro-eléctrica..... 463
Influencia ó inducción eléctrica.... 464
El cuadro de Franklin..... 464
La botella de Leyden... 465
El electróforo..... 467
Máquina eléctrica de influencia.... 467
Experiencias eléctricas..... 471

INVENCIÓN DEL PARARRAYOS

Qué es la tempestad..... 477
El trueno..... 481
Efectos del rayo..... 482
Pararrayos..... 484
Disposición del pararrayos..... 487

PÁGINAS.

GALVANISMO, LUZ ELÉCTRICA Y GALVANOPLASTIA

La corriente eléctrica: galvanismo . 496
Fuerza electromotriz 497
Elemento galvánico..... 498
La pila voltaica..... 499
Pilas secundarias ó acumuladores.. 504
La luz eléctrica..... 509
Reguladores..... 512
Ramificación de la corriente..... 514
La luz de incandescencia..... 518
Efectos químicos de la corriente... 521
Electrolisis..... 521
Galvanoplastia..... 523

LOS APARATOS ELECTRO-MAGNÉTICOS

El multiplicador..... 538
Electro-magnetismo..... 541
Faradismo..... 543
Aparatos de rotación..... 546
Efectos fisiológicos.... 548
Líneas de fuerza magnética..... 550
Inductor cilíndrico de Siemens. .. 551
Máquina anular de Pacinotti..... 553
Máquinas de Gramme y de Hefner-Alteneck..... 554
Principio electro-dinámico de Siemens..... 555
Motores electro-magnéticos..... 559

EL TELÉGRAFO

El telégrafo de Chappe..... 568
La telegrafía eléctrica..... 572
La telegrafía electro-magnética.... 578
Telégrafo de cuadrante..... 584
Sustitución del hilo de retroceso por la tierra..... 589
Telégrafo gráfico de Morse..... 589
Telégrafos impresores..... 595
El aparato de Hughes..... 597
Telégrafos químicos..... 598
Telegrafía automática..... 600
Transmisión simultánea y en sentido inverso de telegramas por un mismo hilo..... 602
El conductor..... 605
Los cables subterráneos y submarinos 606
Relojes eléctricos y aparatos despertadores..... 617

LA BRÚJULA

Imanes artificiales..... 624
La brújula..... 625
Magnetismo terrestre..... 626
Declinación, inclinación é intensidad magnética. 628
Alteraciones del magnetismo terrestre..... 630
La aurora boreal..... 631

PÁGINAS.

EL MUNDO DE LOS SONIDOS

Reflexión del sonido..... 640
Trompetillas y tubos acústicos..... 641
El sonido musical..... 642
Intervalos y escala musical..... 646
Nodos de vibración..... 649
Sonidos armónicos..... 651
Pulsaciones..... 652
Columnas vibrantes de aire y tubos sonoros..... 653
El oído..... 656
La telefonía..... 657
El fonógrafo..... 664

LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

Los instrumentos rítmicos..... 668
Los instrumentos melódicos..... 673
Piano é instrumentos análogos..... 682
La construcción del piano..... 690
El mecanismo..... 694
El cordaje..... 703
El timbre..... 707
Adiáfono..... 709
El violín é instrumentos análogos.. 710
Partes componentes y teoría del violín..... 716
Instrumentos de viento..... 721
Trompetas y cuernos..... 722
Clarinete, oboe, fagot, etc..... 729
La flauta..... 733

EL TERMÓMETRO

Efectos del calor..... 756
Higrómetros ó higróscopos..... 759
Meteorología y meteorógrafo..... 762
Construcción del termómetro..... 766
El calor en la economía de la Naturaleza..... 770

EL VAPOR Y EL DESCUBRIMIENTO DE LA MÁQUINA DE VAPOR

Principio de la máquina de vapor.. 776
Historia del descubrimiento..... 779
Sistemas de máquinas de vapor..... 799
Caja de distribución del vapor, y juego automático de la máquina.. 801
Excéntrica.. 802
Las rivales de las máquinas de vapor..... 809
Las máquinas de gas..... 811
Máquinas caloricas, ó de expansión de aire..... 819

LOCOMOTORAS Y LOCOMÓVILES

Historia de los carruajes de vapor. 831
Estructura de las locomotoras..... 846
Resumen..... 851
Observaciones finales..... 855

PLANTILLA PARA LA COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS

La lámina primera, que representa las aplicaciones de la palanca, debe colocarse frente á la página 85.

La lámina segunda, que representa un globo en el seno de una bóveda de nubes, debe colocarse frente á la página 200.

La lámina tercera, que representa un globo con remos, debe colocarse frente á la página 217.

La lámina cuarta, que representa la proyección de despachos microscópicos por la linterna mágica, debe colocarse frente á la página 371.

La lámina quinta, que representa el Observatorio astronómico de Niza, debe colocarse frente á la página 420.

La lámina sexta, que representa una lámpara de arco voltaico, debe colocarse frente á la página 510.

La lámina séptima, que representa una exposición de máquinas, debe ponerse frente á la página 773.

La lámina octava, que representa á Stephenson y su primera locomotora, debe colocarse frente á la pagina 840.

La lámina en color, que representa diferentes espectros, debe colocarse entre las páginas 338 y 339.

FE DE ERRATAS

PÁGINA	LÍNEA	DICE	DEBE DECIR
23	última.	Blas Pasca	Blas Pascal
31	20	en el átomo invisible	en el átomo indivisible
45	18	*la ánica*	*la única*
45	19	*úbitus*	*cúbitus*
56	31	á los que agregaron	á los que se agregaron
58	6	100 m. c.	100 m. q.
91	1.ª	(fig. 43)	(fig. 41)
109	25	(fig. 55)	(fig. 56)
130	última.	49	4, 9,
237	17	á válvula	la válvula
242	16	Nuestra fig. 155	Nuestra fig. 142
285	12	depósito un agua	depósito de agua
286	32	(fig. 181)	(fig. 182)
292	40 y 41	introdudo	introducido
327	32	benzorco	benzol
334	11	que el rojo con que	como el rojo con que
338	41	El efecto del potasio	El espectro del potasio
344	27	y tal lado con un	y con un
(Fig. 220)		Fausseu	Fansseu
352	5.ª	Fausseu	Fansseu
362	1.ª	«dos partes de vidrio»	«dos clases de vidrio»
457	27	electrome	electrómetro
675	16	representadas	representada
700	11	de varilla	de la varilla
700	21	de tecla	de la tecla
712	1.ª	donde cogía	donde se cogía
722	12	correspondan	corresponden
728	3.ª	en que el descenso	en que por el descenso
764	41	comunicado	comunicados
770	34, 35, 36 y 37	»	de que existe una región en que la masa terrestre pierde el carácter de solidez que muestra en su superficie, y que desde este punto hasta el centro se halla la tierra en estado de fusión ígnea. Se asemeja, pues, á una gigantesca gota, etc.
774	33	este movimiento interrumpido	este movimiento ininterrumpido
803	3 y 4	impul-da	impulsado
806	5.ª	también incluye	también influye
812	4.ª	Juan Pocy	Juan Poey
830	3.ª	cilindro de comprensión	cilindro de compresión
832	30	Boid	Void

REULEAUX

LOS GRANDES INVENTOS

2

9759