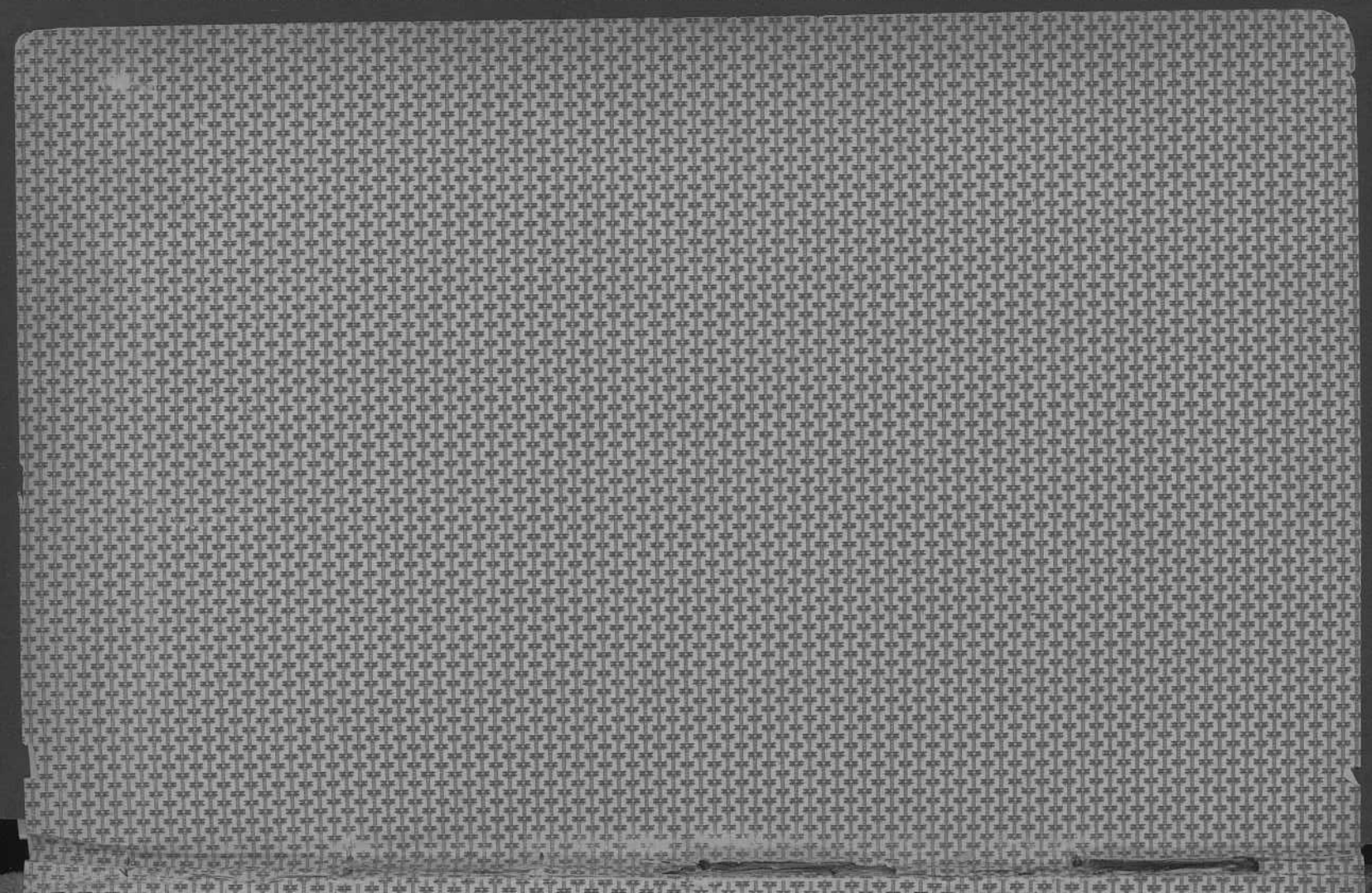
15341



Movimiento es el estado de un cuerpo que pasa de un lugar á otro.

~~Hay dos clases de movimiento uno por medio del cual~~

~~todas las partes~~

17314

MANUAL

DE

FÍSICA Y QUÍMICA.

BIBLIOTECA PROVINCIAL DE BURGOS

ADQUISICION POR
COMPRA DEL ESTADO.

MANUAL

DE

FÍSICA Y QUÍMICA

POR

D. MANUEL RICO Y D. MARIANO SANTISTÉBAN,

Catedráticos de la Universidad Central.

OBRA DE TEXTO PARA SEGUNDA ENSEÑANZA.

NOVENA EDICION,

aumentada é ilustrada con 305 grabados intercalados.

MADRID:

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE EDUARDO CUESTA,

Calle de la Cava-alta, núm. 5.

Setiembre de 1878.

ELEMENTOS DE FÍSICA.

PRIMERA PARTE.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones preliminares.

1. **Objeto de la Física.**—La palabra Física procede del nombre griego φυσις, que significa *naturaleza*. Conforme con este orígen, los antiguos entendian por física *la ciencia que tenia por objeto el estudio de la naturaleza*, comprendiendo en ella los conocimientos que tuvieron en mecánica, astronomía, química, botánica, zoología, mineralogía y gran parte de la medicina. En la actualidad cada una de estas constituyen otras tantas ciencias de notable extension, dándose motivo para limitar convenientemente el objeto principal de la que hoy se llama física y definirla diciendo que: *es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los fenómenos generales que presentan los cuerpos sin que la composicion de estos sufra cambio alguno.*

En esta definicion se expresa que no se cambie ó modifique la composicion de los cuerpos, porque de verificarse una modificacion en ellos, el estudio de los fenómenos corresponde á la *química*, como veremos al tratar de esta ciencia.

2. **Materia, cuerpo.**—Se da el nombre de *materia* á todo lo que afecta ó puede afectar á alguno de nuestros sentidos, y de *cuerpo* á la porcion limitada de la materia. La geometría estudia en los cuerpos las relaciones del espacio que ocupan, sin fijarse en la

materia que los forma; mientras que el principal objeto de la física es el estudio de los caractéres y propiedades de aquellos, ó de la materia que llena ó puede llenar los espacios conmensurables.

3. **Átomos, moléculas.**—Las propiedades de los cuerpos demuestran de un modo evidente que la materia no es contínua, como parece á primera vista, sino que están formados por una multitud de partes infinitamente pequeñas, que se mantienen á ciertas distancias en virtud de atracciones y repulsiones recíprocas que se denominan *fuerzas moleculares*. A estas partes de los cuerpos, cuando son homogéneas é indivisibles por su pequeñez infinita, se las da el nombre de *átomos*. La reunion de varios átomos forma pequeñísimas masas, que se llaman *moléculas*; las cuales, uniéndose, dan orígen á los diferentes cuerpos que existen en la naturaleza. Los cuerpos se llaman *simples* ó *elementales*, cuando los átomos que forman las moléculas que los constituyen son homogéneos; y se llaman *compuestos*, si son diferentes.

4. **Estado de los cuerpos.**—A la fuerza que mantiene reunidos dos ó mas átomos ó moléculas, se llama *atraccion molecular*, y *repulsion molecular* á la fuerza en virtud de la cual aquellas tienden á separarse unas de otras.

Si en los cuerpos la fuerza de atraccion molecular es mayor que la de repulsion, se presentan en el *estado sólido*; si la fuerza de atraccion es igual á la de repulsion, en el *estado líquido*; y por último, si la fuerza de repulsion es mayor que la de atraccion, aparecen en el *estado flúido aeriforme* ó de *gases*.

Llamando A á la fuerza de atraccion molecular y R á la fuerza de repulsion, se pueden expresar los tres estados anteriores de los cuerpos del modo siguiente:

$A > R$ estado de solidez de los cuerpos.

$A = R$ estado de liquidez de los mismos.

$R < A$ estado de fluidez aeriforme.

5. **Fenómenos físicos y sus causas.**—La palabra *fenómeno* tiene dos acepciones: en el lenguaje comun se entiende por fenómeno todo lo que presenta alguna cosa extraordinaria; pero en la física propiamente dicha, se entiende cualquier efecto que podemos descubrir en los cuerpos cuando se ponen estos en relacion los unos con los otros, y cuando se les sujeta á la accion de ciertos *agentes físicos*, como el calor, la luz y la electricidad: por ejemplo, la suspension de las partículas térreas y enturbiamiento del agua cuando se agita este líquido en un depósito en cuyo fondo haya lodo; el descenso de este y su depósito aclarándose el agua,

cuando despues de agitada se deja tranquilo el líquido; la ebullicion del agua; las imágenes que percibimos por medio de los espejos; la luz que se origina por la combustion de una bujía, son otros tantos fenómenos físicos.

Por muy diversos que sean los fenómenos físicos, se les puede referir á un corto número de causas, como son las *fuerzas moleculares*, la *pesantez*, el *calórico*, la *luz* y la *electricidad*, de cuyos agentes nos vamos á ocupar en el presente tratado: de los dos primeros en las nociones de mecánica, y de los tres siguientes en el estudio de los flúidos denominados *incoercibles* ó *imponderables*, bien sean diferentes en su esencia, ó ya solo sea uno cuya existencia se manifieste produciendo en ocasiones los fenómenos del calor, en otras los de la luz, y en otras los del magnetismo y electricidad; cuestion importante de la física, que se estudiará en su lugar correspondiente.

6. **Leyes y teorías y físicas.**—Las relaciones formuladas entre dos ó mas fenómenos en sus mas pequeñas circunstancias con las causas que los producen, se llaman *leyes físicas*. Estas se han podido muchas veces expresar matemáticamente, simplificándose su enunciado. La reunion de varias de estas leyes que concurren para dar razon de algun órden de fenómenos, constituye lo que se conoce bajo la denominacion de *teoría física*.

7. **Métodos de estudio.**—Los métodos adoptados en la actualidad para adquirir conocimiento de las leyes de la naturaleza, son cuatro: 1.°, el que está fundado en las observaciones; 2.°, el que está basado en las experiencias; 3.°, el analítico, ó aquel en que se emplean los cálculos matemáticos como medio de investigacion y demostracion; 4.°, el hipotético. Las *observaciones* en física se verifican cuando nos contentamos con percibir los cambios que presentan espontáneamente los cuerpos; las *experiencias* cuando se obliga á la naturaleza á que reproduzca los fenómenos, poniendo á los cuerpos en condiciones especiales. Respecto de las *hipótesis*, se consideran en las ciencias físicas como suposiciones referentes, unas á las causas de ciertos fenómenos y otras al orígen de las fuerzas que los producen.

Las experiencias se dividen en *demostrativas* y de *investigacion*; las primeras tienen por objeto comprobar la verdad de las teorías establecidas, mientras que con las experiencias de investigacion se propone la ciencia adelantar en el estudio de los hechos y fenómenos naturales anteriormente ignorados ó poco conocidos.

CAPÍTULO II.

Propiedades de los cuerpos.

8. **Division de las propiedades de los cuerpos.**—Las *propiedades físicas* de los cuerpos son todos los hechos y signos exteriores que les corresponden en sus diferentes estados y formas. Las propiedades físicas se dividen en *esenciales*, *generales* y *particulares*. Las primeras son comunes á todos los cuerpos, y no pueden existir sin ellas; las segundas ó generales son, como las anteriores, tambien comunes, pero los cuerpos podrian existir sin las referidas propiedades generales; las particulares son las que corresponden á ciertos y determinados cuerpos y no se observan ó comprueban en todos los demás.

9. **Extension.**—Los cuerpos, cualquiera que sea la materia de que estén formados, ocupan un espacio limitado; lo cual constituye la propiedad de la *extension*. Esta es general, y además, por la imposibilidad de existir los cuerpos sin ella, se considera la extension como propiedad esencial de los mismos.

La extension se mide por diferentes instrumentos; unos físicos y otros geométricos, como son el nonius, los grafómetros y teodolitos, los catetómetros, el tornillo micrométrico y muchas máquinas de dividir.

10. **Impenetrabilidad.**—La observacion que ha demostrado son los cuerpos extensos; tambien enseña que dos de aquellos no pueden ocupar á la vez la misma porcion del espacio. Esta imposibilidad se denomina *impenetrabilidad*, considerándola, por el mismo motivo que á la extension, como una propiedad general y esencial de los cuerpos.

Los cuerpos, además de la extension y de la impenetrabilidad, poseen otras propiedades, que son generales, pero no esenciales, entre las cuales se cuenta la *porosidad*, *compresibilidad*, *elasticidad*, *divisibilidad*, y segun algunos, la *inercia* y *gravedad*.

11. **Porosidad.**—La *porosidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de presentar entre sus partículas pequeños intersticios ó espacios vacíos de su propia sustancia, á los cuales se han llamado *poros*. La porosidad *intermolecular* ó los espacios invisibles que existen entre los átomos de los cuerpos, no se deben confundir con los poros ó vacíos accidentales que, se perciben á la simple vista ó con el auxilio de los lentes en los cuerpos sólidos; estos son verdaderos agujeros ó soluciones de continuidad

en la materia que los forma. La existencia de los poros accidentales se reconoce fácilmente en el corcho y en la piedra pomez á la simple vista, y en los cueros y tejidos cuando se extienden ó se observan con un vidrio de aumento. La porosidad del agua se reconoce por medio de las pequeñas esferas ó burbujas que se forman en el interior de su masa al calentarla, las cuales se rompen en la superficie del líquido cuando hierve. Con el experimento de la *lluvia de mercurio* tambien se demuestra que las maderas son porosas, y hasta el grado de su porosidad si el experimento se hace convenientemente.

12. **Volúmen aparente y volúmen real.**—Segun las observaciones de diferentes físicos, parece verosímil que la porosidad de los cuerpos es sumamente considerable, y que estaríamos equivocados si la porcion que ocupan en el espacio la considerásemos llena de materia, y de aquí las denominaciones de *volúmen aparente* de un cuerpo, que es la porcion del espacio que ocupa, y de *volúmen real*, que es la porcion del espacio que ocuparia la materia constituyente del cuerpo haciendo abstraccion de los poros. El volúmen real de un cuerpo es invariable, mientras que el aparente se aumenta ó se disminuye con el de los poros.

13. **Compresibilidad.**—La *compresibilidad* es la propiedad general de los cuerpos, en virtud de la cual, cuando se les sujeta á esfuerzos variados, presentan perceptiblemente reduccion en su volúmen. Esta propiedad es una consecuencia de la porosidad, por la cual se prueba de un modo indirecto que existen en los cuerpos pequeños intersticios ó espacios vacíos. La compresibilidad de los cuerpos sólidos se ha podido comprobar en los materiales de que se han formado los cimientos de algunos grandes edificios. En los cuerpos líquidos la han demostrado Perkins y Œrsted por medio de los piezómetros, y en los vapores y gases desde muy antiguo se evidenció la compresibilidad con el eslabon neumático.

14. **Elasticidad.**—La *elasticidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de recobrar su forma ó volúmen primitivo cuando cesa de obrar la causa que los habia comprimido ó deformado. Como todos los cuerpos recuperan por la elasticidad mas ó menos completamente su primitiva forma, tendremos que se podrá considerar á la elasticidad como propiedad general de los cuerpos; sin embargo, estos son elásticos en grado diferente, segun recobren mas ó menos completamente su forma primitiva, despues que los esfuerzos aplicados cesen de obrar. Los líquidos y los gases poseen perfecta elasticidad, porque recobran su volúmen primi-

tivo, cualquiera que sea la presion que hayan sufrido. Los sólidos presentan grados distintos de elasticidad, como por ejemplo, la que es propia del marfil y el acero, comparada con la del plomo y la arcilla humedecida. La elasticidad puede desarrollarse en los cuerpos comprimiéndolos, estirándolos, encorvándolos ó doblándolos y retorciéndolos, ó sea por *presion*, *traccion*, *flexion* y *torsion*. En los líquidos y los gases solo se estudia la elasticidad por presion.

15. **Maleabilidad y ductilidad.**—Si comprimiendo los cuerpos sólidos se excede los límites de su elasticidad sin romper su agregacion molecular, las moléculas conservan entonces las nuevas posiciones en que la fuerza comprimente las ha colocado; originándose de aquí las dos propiedades particulares conocidas con los nombres de *ductilidad* y *maleabilidad*. La ductilidad es la propiedad que poseen ciertos cuerpos de dejarse estirar en hilos sin romperse, por medio de la hilera, y la maleabilidad es la propiedad de dejarse extender en láminas, por el laminador ó por la accion del martillo. Los cuerpos, relativamente á estas propiedades, unos se prestan mejor á pasar por la hilera, como el platino y el hierro; otros pasan mejor por el laminador, como el oro y el cobre, y los hay que se trabajan mejor al martillo, como el plomo.

16. **Divisibilidad.**—La *divisibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos, en virtud de la cual, y valiéndonos de diferentes medios mecánicos, se pueden separar de ellos dos ó mas porciones, reduciendo su masa á partes menores, y cada vez mas pequeñas. La divisibilidad ha sido estudiada en abstracto, como la extension, por los geómetras; pero los físicos, relativamente á esta propiedad general de los cuerpos, se han fijado en la determinacion del límite á que se puede llegar dividiendo los diferentes cuerpos. De las investigaciones sobre la divisibilidad han resultado hechos ó fenómenos notables, respecto al grado de division conseguido en algunos cuerpos.

17. **Ejemplos notables de divisibilidad.**—Los galones que se llaman de oro están formados por hilos de plata cubiertos de aquel metal, el cual se halla tan dividido, que en 1 pié castellano del hilo de los referidos galones existe próximamente $^1/_{6000}$ de grano de oro; de consiguiente, en 1 pulgada de aquel hilo se hallaria $^1/_{72000}$ de grano del mismo metal. Por medio del laminador se obtienen hojas tan delgadas de oro, que 360,000 forman el grueso de 1 pulgada. Un grano de azul de cobalto puede teñir con su color 10 libras de agua; pero como estas 10 libras contienen 617,000 gotas, resultará que, suponiendo en una gota de agua

coloreada 100 moléculas de azul de cobalto, el grano de esta sustancia se hallará dividido próximamente en 62 millones de partes.

El grado de divisibilidad de que son capaces las sustancias olorosas, puede apreciarse observando que los paquetes y papeles que sirven para trasportar el almizcle hacen el viaje de las Indias á Europa, perdiendo en todas partes partículas olorosas, sin que se note haberse disminuido sensiblemente el peso de aquellos cuerpos.

El grado de divisibilidad que puede conseguirse en los cuerpos por procedimientos químicos es tal, como veremos en el lugar oportuno, que es imposible distinguir las partículas diferentes que forman los cuerpos denominados compuestos. Como ejemplo se pueden citar los glóbulos de iodo en las placas del daguerreotipo, que no llegan por su diametro á tener 1 millonésima de milímetro, y por consecuencia, en 1 milímetro de extension sobre las referidas placas existirán tantas moléculas de iodo como las expresadas por la unidad seguida de doce ceros.

18. **Dureza y fragilidad**—Cuanto mayor es la fuerza de atraccion que une las moléculas de los cuerpos sólidos, estos oponen una resistencia mas considerable para ser divididos. Comparando aquella fuerza de atraccion molecular en los diferentes cuerpos, fuerza que tambien se llama de *cohesion*, se han clasificado estos en *duros*, *blandos*, *frágiles* y *quebradizos*.

Esta clasificacion sirve á la vez para expresar los resultados de diversas operaciones. El diamante se dice que es un cuerpo duro, porque la atraccion de sus partículas es tal, que presentan notable resistencia cuando se pretende separarlas. Si se quisiera rayar el diamante, no se conseguiria con ninguno de los sólidos conocidos, exceptuándose el polvo del mismo diamante, que sirve para rayarle y tallarle.

Los cuerpos que, como el yeso, se dejan rayar fácilmente, se llaman blandos. El vidrio es un cuerpo frágil, y en él no se puede separar por el choque una partícula sin que á la vez se desprendan muchas de estas, y cuando el choque es grande, quedan todas desunidas y el vidrio reducido á polvo. Un baston de madera de pino es quebradizo, porque un esfuerzo moderado es suficiente para separar una partícula y con ella todas las inmediatas, sin reducirse á polvo. Segun Thomson, los metales por su diversa dureza deben colocarse en el órden siguiente: acero templado, hierro, platino, cobre, plata, oro, antimonio, estaño y plomo.

19. **Inercia.**—Además de la atraccion molecular y de la cohesion de las partículas, existen otras dos fuerzas que son generales

á toda la materia, é independientes de los estados de solidez, liquidez y fluidez: estas fuerzas son la *inercia* y la *gravedad*.

La inercia se puede considerar como propiedad y como fuerza. Como propiedad, sirve para expresar una ley que la observacion ha enseñado como general en todo el universo, á saber: *que no puede verificarse un cambio cualquiera en la condicion de los cuerpos, sin que una causa especial dé orígen á dicho cambio.*

De la inercia considerada como fuerza, se dice: primero, *que los cuerpos en reposo permanecerán quietos mientras no haya una fuerza que los ponga en movimiento*; segundo, *que los cuerpos en movimiento estarán moviéndose perpétuamente mientras no haya una causa que los detenga.*

La sola exposicion de la primera parte del enunciado basta para comprender que es evidente, pues las observaciones mas sencillas enseñan que un cuerpo que se encuentra en el estado de reposo permanece en dicho estado mientras no se le mueve.

Que un cuerpo puesto en movimiento se estará moviendo perpétuamente mientras no haya una causa que le detenga, es fácil demostrarlo. Para esto se toman tres péndulos; colocando el 1.° dentro del mercurio, el 2.° dentro de agua, y el 3.° en el aire. Puestos en movimiento á la vez los tres péndulos, se observa que el 1.° se detiene trascurrido poco tiempo, mientras que los números 2.° y 3.° continúan moviéndose: de estos, el 2.° se detiene cuando todavía el 3.° sigue el movimiento. Quitando el aire, el péndulo 3.° prolongaria mucho mas tiempo sus idas y venidas; de suprimirse el roce de su varilla con el punto de suspension, y suponiéndole sin peso, ó compensada su pesantez con una fuerza igual y contraria, se conseguiria artificialmente en dicho péndulo hipotético el movimiento permanente como el que presentan los astros.

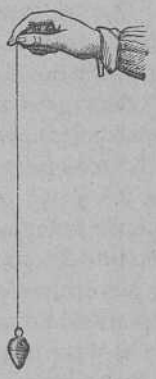
Muy fácil es recordar algunos hechos cuya explicacion física se funda en la inercia de la materia: primero, un hombre que corre no le será fácil detenerse de pronto, porque en virtud de la inercia conserva su movimiento, hasta que una causa extraña le detenga; segundo, un hombre que marcha con mucha velocidad á caballo ó en carruaje, si salta al suelo, podrá recibir graves daños, porque participando de la velocidad del sér ó motor sobre el cual marcha, no perderá la velocidad adquirida en el salto, sino por el choque contra el terreno, y de ser aquella velocidad grande, el choque será peligroso.

20. **Gravedad.**—Arrojando al aire una esfera de hierro, piedra, madera ó cualquier otro cuerpo sólido, se nota que despues de

elevarse mas ó menos, principia á descender hasta que, tocando en la superficie de la tierra, el cuerpo pierde su fuerza y queda en reposo. El esfuerzo que mueve al cuerpo durante su elevacion se llama *fuerza proyectil*, y á la que despues le hace descender, *atraccion terrestre* ó *fuerza descendente ó gravedad*. La fuerza proyectil es variable hasta el infinito, mientras que la de la gravedad la poseen todos los cuerpos y en un mismo punto de la superficie de la tierra es siempre constante. Algunos consideran la gravedad de los cuerpos como una propiedad; otros como una fuerza. Como propiedad, se define diciendo que *es la tendencia que poseen los cuerpos á dirigirse hácia el centro de la tierra*. La tendencia análoga considerada relativamente al sol y al sistema planetario, ha recibido el nombre de *gravitacion universal*.

Considerada la atraccion terrestre como fuerza, se han formulado sus leyes mas principales del modo siguiente: 1.°, *la atraccion terrestre produce sus efectos en razon directa de las masas*; 2.°, *dicha fuerza obra en razon inversa de los cuadrados de la distancia*. Tales son las dos leyes que simultáneamente han hallado el físico y el mecánico; pero al primero le interesa demostrar y tener conocida la direccion constante de la gravedad.

Fig. 1.ª



La direccion de la gravedad de los cuerpos en la tierra se reconoce por el *hilo á plomo* ó *plomada* (*fig.* 1.ª). Este aparato se construye con una masa cilíndrica, cónica ó esférica, de plomo ú otro metal, taladrada en su centro, por cuyo taladro pasa un hilo flexible. La direccion del hilo cuando se suspende libremente la plomada, es la de la gravedad, y se la llama *vertical*, cuya direccion es perpendicular á la superficie de las aguas en estado de quietud.

21. **Peso de los cuerpos.**—Entre los efectos mas principales de la gravedad considerada como propiedad general, se puede citar el de la presion que ejercen los cuerpos sobre los obstáculos que los impiden obedecer á la fuerza ó tendencia en virtud de la cual se dirigirian hácia el centro de la tierra. Aquella presion recibe en muchos casos el nombre de *peso de los cuerpos*, que se calcula comparándole con unidades de presion conocida, como son la libra, la arroba, el quintal, y segun el sistema métrico, el miligramo, el gramo y el kilógramo; entendiéndose por gramo el peso

del agua destilada contenida en un vaso cúbico de 1 centímetro de lado á la temperatura de 4 grados.

22. **Masa de los cuerpos.**—La comparacion de los cuerpos por su peso, es el medio por el cual se reconoce la cantidad de materia de aquellos; conviniendo tener idea de lo que se entiende por *masa* y *densidad*, de los mismos. Masa de los cuerpos es la cantidad de materia contenida en el espacio. Como esta cantidad es proporcional al peso, se puede decir que la masa será conocida cuando tengamos determinado el peso de los cuerpos. Por esta razon, comparando un centímetro cúbico de oro con otros de cobre, plomo y madera, cuyos pesos son de 19,50 gramos para el cubo de oro, de 8,81 gramos para el cobre, de 11,45 gramos para el plomo, y para la madera de 0,59 gramos, podremos decir que la cantidad de materia contenida en el centímetro cúbico de oro será 2,21 veces mayor que en el centímetro de cobre, casi doble comparativamente con la materia del centímetro cúbico de plomo, y 36 veces mayor que en el de madera.

Fig. 2.ª

Sin embargo de ser el peso proporcional á las masas de los cuerpos, la gravedad ó atraccion terrestre es igual para cada una de las moléculas de los cuerpos, sean de oro, madera, papel ó plomo; pues si se toman esferas de aquellas sustancias y se colocan en el interior de un tubo de 2 metros de largo (*fig.* 2.ª), del cual se haya extraido el aire, se observa que en aquel espacio vacío caen dichas esferas con la misma velocidad, recorriendo en tiempos iguales todo el tubo; luego la gravedad será la misma para todas y cada una de las moléculas, cualquiera que sea su naturaleza y cantidad. Además, con esta experiencia, así como la que se verifica con el *martillo de agua*, puede demostrarse la influencia que ejerce la resistencia del aire en el descenso de los graves.

Se da el nombre de martillo de agua á un tubo de vidrio resistente de 30 á 40 centímetros de largo que se ensancha en un extremo, lleno de agua hasta la mitad, y cerrado á la lámpara despues de haber desalojado el aire por la ebullicion del agua. Invirtiendo el tubo de pronto, el agua, al caer, produce un ruido en

la extremidad inferior, análogo al que se origina por el choque entre dos cuerpos sólidos; cuyo ruido no se nota cuando existe el aire en el tubo.

Estrechando convenientemente el tubo del martillo de agua como á un centímetro de la extremidad esférica, se producen sonidos, en vez de ruido, de intensidad variable, segun la longitud del tubo y la cantidad de agua que contenga.

23. **Densidad.**—Comprendiendo lo que se entiende por masa, y su proporcionalidad con el peso, fácilmente se entenderá lo que se llama *densidad*. La densidad de los cuerpos, cuya palabra recuerda el estado mas ó menos lleno de materia de un espacio, depende de las dimensiones geométricas del citado espacio y de la cantidad de materia de que aquel está lleno. Así, cuanto menor sea el espacio que un cuerpo ocupa, y mayor la cantidad de materia contenida, se halla que la densidad es tanto mas grande; y viceversa, cuando un espacio es grande y contiene escasa materia, la densidad es pequeña: luego la *densidad* será la relacion que guarda el volúmen ocupado por los cuerpos y su masa, hallándose en razon inversa del primero y directa de la segunda. Si llamamos D á la densidad de un cuerpo, V á su volúmen y M á la masa, tendremos que aquella relacion puede expresarse por la fórmula: $D=\frac{M}{V}$.

Barrios 23/10-403

SEGUNDA PARTE.

NOCIONES DE MECÁNICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Estática.

24. **De la quietud y del movimiento en los cuerpos.**—La *quietud* y el *movimiento*, con relacion á los cuerpos, constituyen dos estados diferentes: el primero se puede definir diciendo que es *la permanencia de un cuerpo en el mismo lugar*; mientras que el estado de movimiento consistirá en *la traslacion de un cuerpo del lugar donde se encuentra á otro distante*. Este segundo modo de existir puede asegurarse es el que generalmente presentan los cuerpos en la naturaleza, siendo probable que ninguno se halle absolutamente quieto en todo el universo. De aquí resulta que los cuerpos pueden parecer quietos ó en reposo aparentemente, y algunas veces engañarnos respecto de su movimiento.

Cuando un viajero marcha en carruaje ó embarcado, le parece que los objetos colocados á los lados del camino y sobre las orillas de los rios se mueven, mientras que él se cree en reposo; sin embargo de que el movimiento y la quietud referida realmente no existe. Fundándose en estas observaciones del reposo y del movimiento de los cuerpos, se sostuvo antiguamente la opinion de que la tierra se hallaba en el centro del universo, y como consecuencia inmediata, la de que todos los cuerpos celestes giraban en el trascurso de 24 horas en derredor de dicho centro; hasta que la ciencia enseñó que la quietud de la tierra no era real, puesto que con todos sus habitantes gira sobre sí misma en 24 horas, y en derredor del sol en el trascurso de un año.

El estado de movimiento en los cuerpos no puede existir en virtud de la inercia, sin que alguna causa dé motivo á la traslacion de los cuerpos de un lugar á otro. Estas, aunque en la esencia sean desconocidas, se las ha denominado *fuerzas*, las cuales pueden definirse diciendo que son las causas de los movimientos

ó de la presion. Cuando la quietud ó el reposo de los cuerpos es el resultado de la accion igual y contraria de dos ó mas fuerzas, se dice que están en *equilibrio*.

25. **Objeto de la mecánica.**—El estudio de las leyes del equilibrio y del movimiento es el objeto de la mecánica. Esta ciencia se divide generalmente en *estática* y *dinámica* de los cuerpos en el estado sólido, en el estado líquido, y en el estado gaseoso ó aeriforme. Sin embargo, con frecuencia las partes de la mecánica que se refieren al equilibrio y al movimiento de los cuerpos líquidos reciben los nombres de *hidrostática* é *hidrodinámica*, conservándose todavía la denominacion de *maquinaria* para la parte de la mecánica en que se trata de la teoría de las máquinas cuando la fuerza aplicada á la produccion del movimiento no es la del agua, é *hidráulica* cuando las máquinas se mueven por dicho líquido.

26. **Division de las fuerzas.**—Las fuerzas se dividen en *instantáneas* y *contínuas*: las primeras actúan sobre los cuerpos por un solo impulso, como la que pone en movimiento un cuerpo por el choque con otro. Las fuerzas contínuas son las que, como la gravedad terrestre, actúan constantemente en los cuerpos.

Además en las fuerzas hay que distinguir: 1.°, su punto de aplicacion, es decir, el lugar donde aquellas actúan inmediatamente: 2.°, su direccion ó sea la recta que seguiria por su impulso, al punto á que se aplican; y 3.°, su intensidad, energía ó valor dinámico, comparadas con otras fuerzas que se toman como unidad.

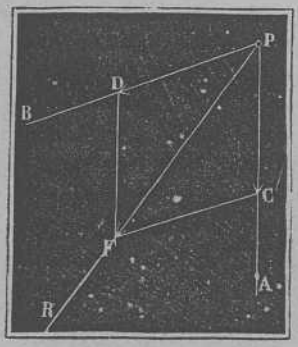
27. **Unidades de las fuerzas.**—Consideradas las fuerzas como cantidades, se han comparado; pero esta comparacion no podria verificarse sin tener adoptadas unidades convencionales de medida: estas son el quintal, la arroba, el kilógramo, etc. En ocasiones es tambien unidad de medida la atmósfera, cuya presion y el modo de medirla estudiaremos mas adelante. Para apreciar y medir el efecto que producen las fuerzas, se admiten generalmente las unidades de fuerzas siguientes: el *kilográmetro*, que es la fuerza necesaria para elevar el peso de 1 kilógramo á la altura de 1 metro en 1 segundo de tiempo; el *caballo de vapor*, que equivale á 75 kilográmetros, ó próximamente dos caballos de tiro; y la unidad llamada *dinamia* ó *gran unidad dinámica*, que equivale á 1.000 kilográmetros. Las fuerzas se miden y comparan por medio de los *dinamómetros*.

28. **Diferentes modos de actuar las fuerzas.**—Dos ó mas fuerzas pueden obrar sobre un punto material de tres modos: 1.°, *en una*

misma direccion; 2.°, *en direccion contraria*; y 3.°, *concurrentes ó formando ángulo*. En el primer supuesto las fuerzas son equivalentes á una que es igual á la suma de todas, y su direccion permanece invariable. En el segundo supuesto la fuerza equivalente es igual á la diferencia de aquellas, conservándose la direccion constante como en el caso anterior, ó se neutralizan y se produce el equilibrio cuando las fuerzas son iguales. En el tercer supuesto la fuerza equivalente y su direccion cambian conforme á la ley del paralelógramo. Toda fuerza que es equivalente á dos ó mas se llama *resultante*; y recíprocamente, se llamarán *componentes* las fuerzas que constituyen la resultante.

29. **Paralelógramo de las fuerzas.**—Cuando una fuerza obra sobre un punto material, se comprende que este se moverá ó podrá ser comprimido con mas ó menos energía. Pero si en vez de una fuerza obran dos con direccion angular sobre un punto libre, como este no puede hallarse en dos lugares del espacio en un mismo momento, resultará que la direccion de su movimiento será única, bien obre una sola fuerza, bien se hayan aplicado dos. Sea *P* (*fig.* 3.ª) un punto material sobre el cual actúan las dos fuerzas de traccion *A* y *B*, en las direcciones *P A* y *P B*. Desde el punto *P* tómense las distancias *P C* y *P D*, que contengan tantas pulgadas ó centímetros como unidades haya en las fuerzas *A* y *B*. Por el punto *C* se trazará una línea *C F*, paralela á *P B*, y por el punto *D* la *D F*, paralela á *P A*. Las dos paralelas se encontrarán en *F*, y trazando la línea *P R* tendremos que el mismo efecto mecánico se originará aplicando en el punto *P* los dos esfuerzos *P D* y *P C*, que reemplazándolos por una sola fuerza *P F*. La demostracion experimental de este hecho dió lugar á Galileo para formular del modo siguiente la ley del paralelógramo de las fuerzas, diciendo: *Si se representa la intensidad y la direccion de dos fuerzas concurrentes por los dos lados de un paralelógramo, la fuerza equivalente será la diagonal de dicha figura.*

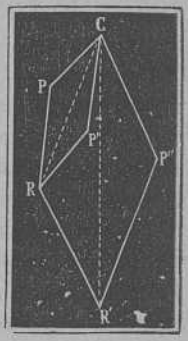
Fig. 3.ª



30. **Resultante de varias fuerzas concurrentes.**—Cuando tres ó mas fuerzas concurrentes P P′ *P′′* (*fig.* 4.ª) actúan sobre un punto material *C*, su resultante se hallará fácilmente fundándose en la

ley anterior; para ello se considerará aisladamente primero, el efecto de las dos fuerzas que actúan en la direccion $P\ C$ y $P'\ C$; construyendo el paralelógramo $R\ P\ C\ P'$, tendríamos que la resultante de las dos fuerzas P y P' estaria representada por la diagonal $R\ C$; con esta diagonal considerada como fuerza, y la tercera concurrente P'', se construye un segundo paralelógramo, cuya diagonal $R'\ C$, seria la resultante final de las tres fuerzas $P\ P'\ P''$.

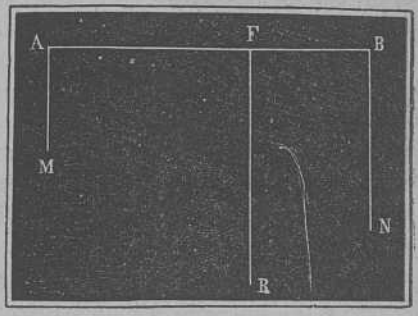
Fig. 4.ª



En general, tanto el problema anterior de composicion de fuerzas, como el opuesto de descomponer una fuerza en dos ó mas componentes, se resuelven por la ley referida del paralelógramo; en cuyo supuesto siempre que se nos dé conocida la direccion ó intensidad de una fuerza expresada por una línea recta, sus componentes ó equivalentes podrán serlo dos lados adyacentes de cualquiera de los paralelógramos que sobre aquella recta, considerada como diagonal, se pueden trazar.

31. **Fuerzas paralelas.**—Cuando dos ó mas fuerzas $M\ A$ y $N\ B$ (*fig.* 5.ª) actúan sobre un cuerpo en la misma direccion y paralelas, los efectos del movimiento pueden representarse por los que se producirian con una sola fuerza equivalente ó resultante $F\ R$ de las referidas fuerzas paralelas; respecto del valor de esta resultante, le hallaríamos igual á la suma de las componentes $A\ M+B\ N$.

Fig. 5.ª



Si las fuerzas paralelas y componentes $A\ M$ y $B\ N$ actuasen en direccion contraria, el valor de la resultante de este sistema de fuerzas seria igual á $B\ N—A\ M$; pero en el supuesto de ser estas iguales, se originaria lo que en mecánica se llama un *par de fuerzas*, en el cual se notaria que en vez del equilibrio la recta $A\ B$ giraria sobre sí misma.

Respecto del punto de aplicacion de la resultante de dos fuerzas paralelas que actúen en la misma direccion, ó en direccion

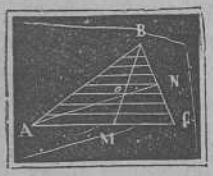
opuesta, sobre una recta, divide á esta en dos partes recíprocamente proporcionales á dichas componentes cuando estas obran en la misma direccion, y en razon inversa cuando actúan aquellas en direccion contraria. En este segundo caso el punto de aplicacion de la resultante se halla del lado de la mayor componente, y fuera ó en la prolongacion de la línea que la une con la menor.

32. **Centro de gravedad.**—El peso de los cuerpos se considera como la resultante numérica de la gravedad que corresponde á cada una de las moléculas; y en el caso de que aquella fuerza resultante produjese movimiento, los cuerpos seguirian la direccion de la línea denominada *vertical* ó *línea á plomo*. El punto de aplicacion de la referida resultante, que generalmente se halla en el interior de los cuerpos, se denomina *centro de gravedad* de los mismos, y puede definirse diciendo que es un punto sobre el cual concurren, para producir el movimiento ó la presion, todas las fuerzas iguales y paralelas de la gravedad propia á cada una de las moléculas de los cuerpos. Tambien puede definirse diciendo que es un punto en el interior de aquellos que cuando está fijo se conservan en equilibrio en todas las posiciones que se les dé.

La posicion y lugar del centro de gravedad en los cuerpos homogéneos y de forma regular, fácilmente se determina por algunos principios sencillos de geometría. El centro de gravedad de una esfera es el mismo que el geométrico. Si la esfera cambiase simétricamente acortándose uno de sus diámetros, constituyendo un esferóide como el de la tierra, su centro de gravedad se conservaria tambien en el de su figura. En el cilindro, en el cubo y en otros volúmenes regulares, el centro de gravedad se corresponde con el geométrico. Sin embargo, no siempre es tan fácil la determinacion del centro de gravedad.

33. **Centro de gravedad del triángulo.**—Para hallar el centro de gravedad de una superficie triangular (*fig.* 6.ª), recordaremos que dicho centro en una recta es el punto medio de dicha línea. Ahora, si se divide el triángulo *A B C* por un número infinito de líneas paralelas á la base, y por el vértice del ángulo *B* y el punto *M*, mitad de *A C*, se traza la línea *B M*; esta dividirá en partes iguales todas las paralelas de que está formado el triángulo; luego el centro de gravedad debe hallarse sobre la línea *B M*. Una consideracion semejante, y tomando por base del triángulo el lado *B C*,

Fig. 6.ª



nos conduciria á la consecuencia de que aquel centro de gravedad se halla tambien en la línea *A N*; pero como un punto comun á dos líneas rectas no puede ser otro que el de interseccion, tendremos que el punto *o* será el centro de gravedad del triángulo *A B C*, el cual se halla en el tercio de la línea *B M*.

El centro de gravedad de una pirámide triangular se encuentra en el punto de interseccion de las rectas trazadas desde dos de los vértices de la pirámide á los centros de gravedad de los triángulos opuestos; la referida interseccion se halla á la cuarta parte de la altura de las pirámides triangulares, que es el centro de gravedad.

34. **Determinacion experimental del centro de gravedad en los cuerpos de forma irregular.**—Si los principios geométricos para determinar el centro de gravedad en los cuerpos regulares son sencillos, no lo son menos los que experimentalmente pueden seguirse para la misma determinacion en los cuerpos de forma mas ó menos irregular. Supongamos un cuerpo de forma irregular, cuyo centro de gravedad se desea conocer. Suspendido aquel cuerpo por medio de un hilo, el centro de gravedad deberá hallarse en la prolongacion del hilo de suspension. Si se suspende de nuevo el cuerpo por otro punto, el centro de gravedad deberá hallarse tambien en la prolongacion del hilo de sosten, y de consiguiente en la interseccion de las dos prolongaciones. Este procedimiento está fundado en uno de los caractéres distintivos y esenciales del centro de gravedad; y es, que haciendo obrar una fuerza sobre aquel centro, igual y contraria á la de la gravedad de los cuerpos, los efectos de esta en cuanto al movimiento quedarán anulados, y el cuerpo estará en *equilibrio*. Pero recordando que el hilo durante las dos suspensiones, y para que el cuerpo suspendido quede en equilibrio, representa una fuerza igual y contraria á la de la gravedad, se deduce en definitiva que el centro buscado seria el punto de interseccion de que anteriormente hemos hablado.

35. **Diversos estados de equilibrio.**—Cuando sobre los cuerpos obran algunas fuerzas iguales y contrarias á la gravedad, pueden resultar tres estados que se denominan *equilibrio indiferente*, *estable* é *inestable* de los cuerpos. Para demostrarlo se toma el aparato (*fig.* 7.ª), que consiste en un disco de madera, el cual presenta tres aberturas *a b c*, hallándose en la abertura *b* el centro de gravedad. Fácilmente se notará que cuando el disco está sostenido por la abertura *b*, queda quieto en todas las posiciones que puede dársele, cuyo estado recibe el nombre de *equilibrio indiferente*. Si se sostiene el disco por la abertura

a, que se halla sobre el centro de gravedad, y se eleva este último punto, recorriendo el arco *m n*, cuando el disco quede libre, el centro de gravedad descenderá, oscilando en derredor del punto de suspension, hasta que trascurrido algun tiempo, y disminuyéndose el movimiento de vaiven, se restablece la quietud en el aparato; á este equilibrio se denomina *estable*, porque los cuerpos permanecen en él mientras no haya una causa que les haga cambiar de posicion, y cuando esta deja de obrar, el cuerpo por sí vuelve siempre á la posicion que primitivamente tenia. En el supuesto de que el disco se suspenda por la abertura *c*, la posicion del equilibrio se denomina *inestable*, porque desde el momento en que el centro de gravedad sale fuera de la vertical que pasa por el punto *c*, el disco recorre una semicircunferencia, con cuyo movimiento cesa el equilibrio inestable, cambiándose la posicion por lo correspondiente al equilibrio estable. Formulando lo expuesto como ley de los fenómenos observados, hallaríamos que todo cuerpo puede presentarse con tres posiciones de equilibrio, á saber: estable, inestable é indiferente; cuyas posiciones dependen de las relaciones que guardan entre sí el centro de gravedad y los puntos de suspension; si aquellos se confunden, el quilibrio que resulta es indiferente; si el centro de gravedad está debajo del de suspension, el equilibrio será estable; y viceversa en el inestable.

Fig. 7.ª

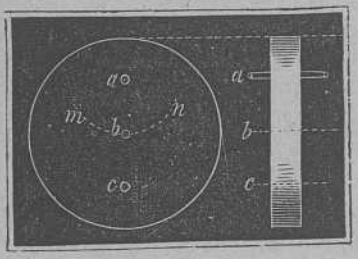
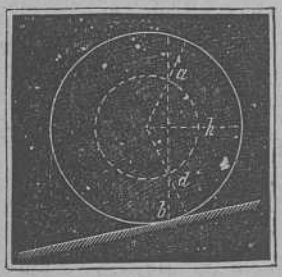


Fig. 8.ª



36. **Equilibrio en los cuerpos heterogéneos.**—Si en lugar del disco homogéneo descrito en el párrafo anterior se toma otro de madera y plomo (*fig.* 8.ª), en tal proporcion que el centro de gravedad del disco se halle en un punto *a* de la circunferencia *a h d*; en este supuesto, si el disco está sostenido sobre un plano horizontal, puede hallarse en dos posiciones de equilibrio; la una estable, que será cuando la vertical del centro de gravedad pasa por el punto *b* de sosten, y dicho centro está en la posicion mas baja posible; la segunda será inestable, en el su-

puesto de llenar las dos condiciones físicas de que la vertical del centro de gravedad pase, como en el caso primero, por el punto de sosten, y que la posicion de aquel centro se halle en el punto *a*, ó lo mas alto posible. Fundándose en estos principios pueden explicarse las paradojas dinámicas contra la ley de gravedad, de elevarse girando un disco homogéneo en la apariencia por un plano inclinado, y la elevacion por giro de un sólido formado de dos conos reunidos por su base, entre dos planos inclinados que forman un ángulo. En estas paradojas los centros de gravedad siempre descienden, aun cuando aquellos cuerpos se eleven en la apariencia.

Por las consideraciones anteriores se explica la posicion inclinada que toman los obreros cuando llevan cargas á la espalda, como representa la *figura* 9.ª, en la cual se nota que aquellos no pueden menos de encorvarse hácia adelante para no caer, consiguiendo la estabilidad con una posicion en la cual la vertical del centro de gravedad, del hombre y de la carga, pase por la base de sosten. Lo contrario se nota cuando el obrero que marcha lleva la carga sobre el pecho. Todo lo cual corrobora el principio estático de que «para que un cuerpo sostenido por un plano horizontal esté en equilibrio, es indispensable que la vertical que pasa por el centro de gravedad de aquel, toque en el referido plano en el interior de la base de sosten.»

Fig. 9.ª

De las máquinas.

37. **Idea general de las máquinas.**—Se da el nombre de *máquina* á todo instrumento por el cual puede trasmitirse ó modificarse una fuerza ó un movimiento en cuanto á su cantidad ó direccion. De dos maneras pueden considerarse las máquinas, *estática ó dinámicamente*. En el primer caso, se estudia el equilibrio en las máquinas; en el segundo, la teoría de su movimiento. Cuando una máquina se considera estáticamente, que es como lo haremos en el presente tratado, la máquina será un instrumento por el cual unas fuerzas cuya direccion y cantidad son conocidas, balancean ó equilibran á otras fuerzas que pueden ser diferentes por su direccion ó intensidad.

En las máquinas, por su aplicacion, hay que considerar tres cosas: 1.ª, la *resistencia* ó *fuerza* que se ha de equilibrar ó supe-

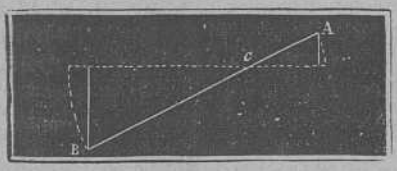
rar; 2.ª, la fuerza que se llama *potencia*, ó sea la que se emplea para equilibrar ó superar á la resistencia; 3.ª, la *máquina misma* por cuyo medio obra la potencia sobre la resistencia.

38. **Punto de apoyo.**—En la maquinaria se dice generalmente que la potencia sostiene á la resistencia, y para sorprender y admirar, se asegura que una potencia igual á 1 gramo puede sostener un peso ó resistencia de 25 kilógramos; sin embargo, este hecho, considerado físicamente, es imposible, pues las máquinas no aumentan la potencia; pero esta podrá equilibrar á la resistencia, siempre que la máquina se presente sostenida en algun punto fijo é invariable, cualquiera que sea la presion ejercida por la potencia y por la resistencia. A este punto se le llama *punto de apoyo* en las máquinas, y su importancia se reconoce fácilmente por un ejemplo. El peso de 1 gramo, por medio de una palanca, veremos muy pronto que es suficiente para equilibrar un peso de 25 ó mas kilógramos; pero aquella potencia en realidad no sostiene mas que 1 gramo de la resistencia representada por los 25 kilógramos, y supuesto el equilibrio, tendremos que las restantes unidades de peso de la resistencia estarán sostenidas por el punto fijo ó de apoyo de la máquina.

39. **Division de las máquinas.**—Con las máquinas consideradas dinámicamente se puede cambiar la direccion de un movimiento, variar su velocidad, ó cambiar la especie del movimiento: de consiguiente por su objeto se podrian dividir las máquinas en tres clases dinámicas; pero creemos mas sencilla la siguiente division, fundada en la naturaleza del apoyo: 1.°, máquinas que giran sobre un *punto fijo*; 2.°, máquinas en las cuales el apoyo es una *recta fija*, alrededor de la cual todos los puntos de la máquina giran en planos paralelos; 3.°, máquinas en las cuales la resistencia se ha de sostener ó mover sobre un *plano inclinado* á la direccion horizontal.

40. **Palanca.**—Se llama *palanca* á una barra inflexible, recta, curva ó angular, sujeta á girar sobre un punto fijo llamado *fulcro* ó *punto de apoyo*. Considerada estáticamente la palanca (*fig.* 10), y suponiendo aplicadas dos ó mas fuerzas sobre esta máquina á distancias variables del punto de apoyo, resulta el equilibrio en la palanca siempre que se satisfacen las siguientes condiciones: 1.ª, que por su direccion, las

Fig. 10.



fuerzas que actúen en los extremos A y B de la palanca se hallen situadas en un mismo plano; 2.ª, que aquellas fuerzas puedan convertirse en un par de fuerzas paralelas que originen en los puntos A y B una tendencia á girar en sentido contrario sobre el punto de apoyo de la palanca; y 3.ª, que las intensidades ó valores de las fuerzas aplicadas en A y B estén en razon inversa de las respectivas distancias de estos puntos al de sosten ó apoyo de la palanca. En esta máquina, las fuerzas que actúan en los extremos A y B reciben las nombres de *potencia* y de *resistencia*, mientras que las distancias entre dichos puntos y el de apoyo C se denominan *brazos* de la palanca. Como los caminos recorridos por la potencia y la resistencia, cuando las palancas giran sobre su punto de apoyo son arcos de circunferencias que tienen la misma relacion que los brazos de las palancas, se demuestra en mecánica que, en el caso de equilibrio, el producto de multiplicar la potencia por el camino que recorre el extremo de su brazo de palanca, es igual al producto de multiplicar la resistencia por el camino recíprocamente recorrido por el extremo de la palanca á cuyo punto se supone aplicada la resistencia. A estos productos se les denomina *momentos* de la potencia y de la resistencia en la máquina que nos ocupamos; por consecuencia, el equilibrio en la palanca podrá expresarse por la ecuacion $B \times BC = A \times AC$.

La distancia entre la potencia y el punto de apoyo en una palanca se puede variar hasta lo infinito; y por consiguiente, se puede representar el valor mecánico de otra cualquiera máquina por el de una potencia conocida aplicada á una palanca. En este caso, aquella relacion entre la palanca y las demás máquinas daria orígen á la palanca equivalente por su esfuerzo al de las máquinas que nos propusiéramos estudiar.

La palanca se emplea generalmente para levantar pesos y para vencer resistencias; dividiéndola en *tres géneros* por las diferentes relaciones que presentan el esfuerzo ó potencia aplicado á la palanca, la resistencia ú obstáculo que es necesario superar, y el punto de apoyo.

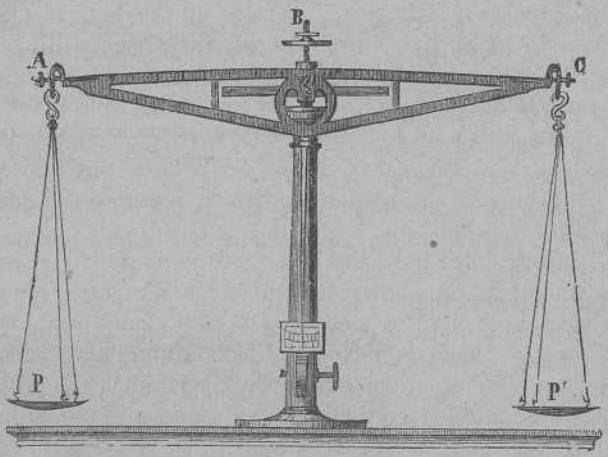
La palanca del primer género es aquella en que el punto de apoyo se halla entre la potencia y la resistencia. En la de segundo género, el punto de apoyo se encuentra en un extremo, y la resistencia entre aquel punto y la potencia. En la de tercer género, la potencia se halla entre la resistencia y el punto de apoyo.

41. **Balanza.**—Las *balanzas* son aparatos que sirven para medir y calcular por comparacion los efectos de la presion origina-

dos por la gravedad. Estos aparatos pertenecen á la clase de los dinamómetros, destinados en general para determinar los valores diferentes de las fuerzas cuando producen el movimiento ó la presion.

La balanza es una palanca de primer género y de brazos iguales, cuya condicion de igualdad nos dice que solo en el caso de suspender pesos ó aplicar esfuerzos completamente iguales á los extremos de la balanza, se dará orígen al equilibrio. La balanza (*fig.* 11) modificada por Fortin, se compone de una barra AC, sostenida por el punto de apoyo m, y de cuyos extremos A y C tiene suspendidos los platillos P y P', el uno para colocar los cuerpos cuyo peso se desea conocer, y el otro para las unidades de comparacion.

Fig. 11.



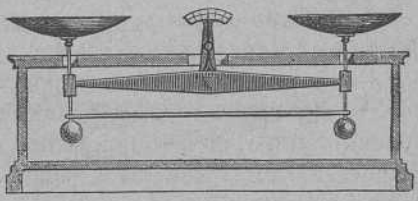
Las condiciones que ha de tener una balanza para hallar exactamente el peso de los cuerpos, son las siguientes: 1.ª, que la barra de la balanza se presente horizontal cuando los pesos colocados y suspendidos de los extremos A y C sean iguales; 2.ª, que el equilibrio de la balanza cuando se suspendan pesos de sus extremos, sea estable; ó lo que es igual, que si se cambia la posicion horizontal de la barra, vuelva esta siempre á su primitiva posicion despues de algunas oscilaciones; 3.ª, que la balanza sea sensible, cuya condicion corresponde á aquellas en que la mas pequeña diferencia en los pesos suspendidos da orígen á que se altere la posicion horizontal, recobrando invariablemen-

te y con prontitud aquella posicion cuando se restablece la igualdad de los pesos.

La posicion horizontal generalmente se conoce por un índice ó aguja metálica perpendicular á las barras de las balanzas, que se llama *fiel*; este índice se dirige unas veces hácia la parte superior encerrado en las *armas*, otras veces desciende por el pié del aparato, buscando en ambos supuestos la coincidencia de la extremidad libre del fiel con un punto fijo; y cuando se consigue esto, queda señalada la posicion horizontal.

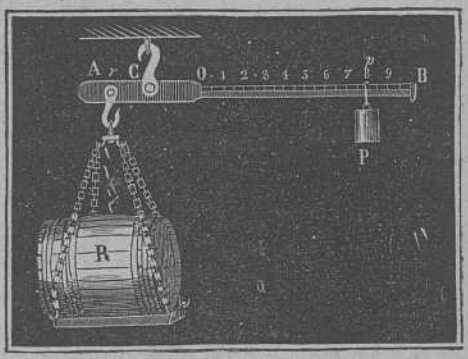
De algun tiempo á esta parte se hace uso de las balanzas ideadas por Roberval, cuyos platillos se hallan sobre la barra del referido aparato, como se expresa en la (*fig.* 12). En esta balanza el equilibrio no puede ser estable sino en el supuesto de que cada uno de los platillos tenga un contrapeso esférico en la parte inferior, por cuyo medio el centro de gravedad de toda la máquina desciende bajo el punto de suspension.

Fig. 12.



Además, para que las barras que sostienen los platillos de la balanza permanezcan siempre verticales, están unidas por otra barra paralela á la palanca del primer género que constituye esencialmente el aparato que llevamos descrito. En esta balanza se colocan mas fácilmente los cuerpos que se han de pesar sin los inconvenientes que presentan los alambres, cordones ó cadenas que mantienen suspendidos los platillos de las balanzas ordinarias.

Fig. 13.



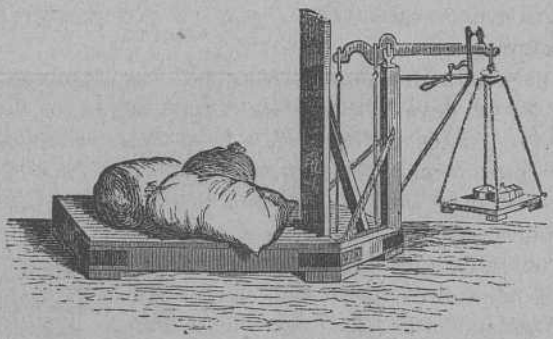
42. **Romana.**—Este aparato fué del que mas se sirvieron los antiguos para pesar los cuerpos: se compone de una barra inflexible *A B* (*fig.* 13), sostenida por un punto *C*, originándose una palanca del primer género de brazos desiguales. El equilibrio en la romana se establece cuando los momentos $P \times p\ C$ y $R \times r\ C$ son

iguales; pero además esta igualdad podrá resultar siendo variable la distancia $C\,p$, y recíprocamente el peso R; y de aquí la posibilidad de la aplicacion que se ha hecho de la romana para determinar las relaciones entre los pesos de los cuerpos.

Ventajas de la romana. La romana, considerada como máquina para pesar, tiene algunas ventajas sobre la balanza ordinaria; las principales son: 1.ª, que para hallar el peso de un cuerpo no se necesitan en la romana los juegos de pesas que en aquella; 2.ª, que cuando la romana se destina á la determinacion de grandes pesos, la presion ejercida sobre el punto de apoyo por el peso constante P y las masas que se suspenden en el platillo R, es menor que en el punto de apoyo de la balanza ordinaria ó cualquier otro aparato destinado á pesar, y en los casos en que estos últimos pierden su sensibilidad, la romana la conserva.

43. **Balanzas compuestas.**—Se construyen balanzas reuniendo dos ó mas palancas, que dan orígen á los aparatos denominados por los franceses *básculas*, y por algunos *puentes para pesar* (*fig.* 14), las cuales se usan generalmente en la actualidad, y con notable ventaja, en las oficinas de los caminos de hierro, en las grandes fábricas, y en todos aquellos casos en que es necesario pesar fardos grandes.

Fig. 14.

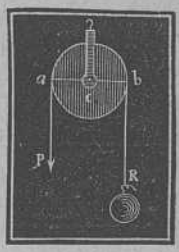


Estos aparatos están dispuestos de tal modo, que multiplicadas por 10 ó por 100 las unidades que establecen el equilibrio, se obtiene el valor del peso que se desea conocer, y por consecuencia se las halla conformes con el sistema decimal admitido y legal en la actualidad, facilitándose notablemente las pesadas.

44. **Polea.**—Esta máquina generalmente consiste en un cilindro de poca altura, con una hendidura ó garganta en su circun-

ferencia, y que puede girar alrededor de su eje. Las poleas se han dividido en *fijas* y *movibles*; las primeras solo presentan un movimiento de rotacion alrededor del eje; las segundas están dotadas de dos movimientos, el uno de rotacion sobre el eje, y el otro de traslacion.

Fig. 15.



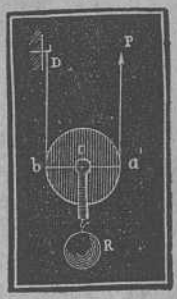
El estado de equilibrio en las poleas se explica fácilmente, comparando las fijas con las palancas de primer género, y las movibles con las del segundo, en el supuesto que no hubiera en las poleas rozamiento. Sea la polea fija (*fig.* 15) que puede girar en su eje sin cambiar este de lugar: si se suspenden dos pesos ó actúan dos fuerzas P y R á los extremos de un cordon que pasa por el carril ó garganta de la polea, tendremos que dichas fuerzas se las puede suponer aplicadas y actuando á los extremos a y b de una palanca $a\ b$ de primer género cuyo punto de apoyo se hallaria en c; en este caso resultaria el equilibrio cuando se verificase la igualdad siguiente: P intensidad de la fuerza ó potencia $\times$ por $a\ c$ brazo de palanca $= R$ intensidad de la segunda fuerza ó resistencia $\times$ por $b\ c$ segundo brazo de la palanca.

Deduciéndose de esta ecuacion, por ser los radios $a\ c$ y $b\ c$ de una circunferencia iguales, que el equilibrio en las poleas fijas solo existirá cuando las fuerzas P y R ó la potencia y la resistencia sean iguales.

Como corolario de la demostracion anterior, tambien se infiere que las poleas fijas ni aumentan ni disminuyen los efectos de las potencias, y solo se usan para aplicar estas ó emplearlas con mas comodidad, ó bien para cambiar la direccion del *movimiento*.

En la polea movible (*fig.* 16), además de su movimiento de giro, presenta otro de traslacion, si se suponen aplicadas dos fuerzas, la primera, ó sea la potencia P, al extremo de una cuerda fija por el otro, y que pase por el carril de la máquina; y la segunda, ó resistencia R, suspendida de las armas de la polea; tendremos que esta se puede considerar como una palanca $a\ b$ de segundo género, por tener en b, extremo de la palanca, el punto de apoyo, la resistencia en c y por obrar la potencia P en el otro extremo a de la misma máquina simple.

Fig. 16.



Conocidos los lugares del punto de apoyo, y los de aplica-

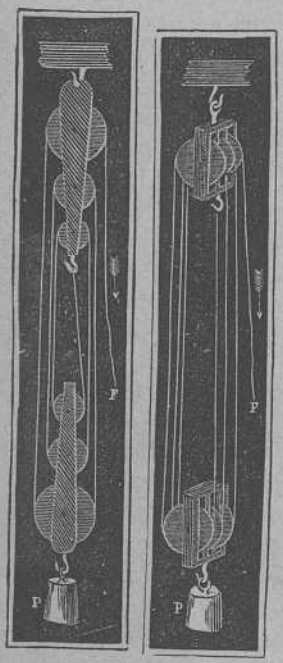
cion de la potencia y resistencia en la palanca *a b*, equivalente á la polea movible de que se trata, y notando que el brazo de la potencia es el diámetro de una circunferencia mientras que el de la resistencia es el radio de la misma circunferencia, ó sea la mitad de aquel, tendremos que el equilibrio en la polea movible existirá cuando se verifique la igualdad siguiente: la potencia $P\times$ por su brazo de palanca *a b*= á la resistencia $R\times$ por su brazo de palanca *c b*.

En la ecuacion anterior, *a b* es doble que *c b*; luego con una potencia $P=1$ se podrá equilibrar una resistencia $R=2$; lo cual se infiere evidentemente de dicha ecuacion, que tambien podria trasformarse en la proporcion siguiente:

Potencia : Resistencia : : 1 : 2;

la cual, cambiándola de nuevo en ecuacion por la multiplicacion de los extremos y medios, nos daria las condiciones del equilibrio en las poleas movibles con la igualdad

Fig. 17. Fig. 18.



Potencia$\times 2$=Resistencia$\times 1$.

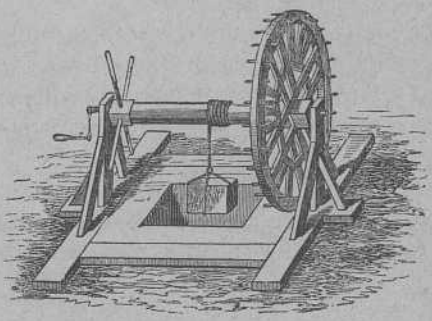
Dos ó mas poleas reunidas, unas fijas y otras movibles, constituyen los *polipastros*, los cuales se construyen de formas diferentes, bien con poleas cuyos discos se correspondan en un plano (*fig.* 17), ó sobre un eje las poleas movibles y respectivamente sobre otro las fijas (*fig.* 18).

Sea (*fig.* 17) un sistema de poleas ó polipastro en el cual se quieren determinar las condiciones de equilibrio. Supongamos suspendido un peso *P* de 60 kilógramos á las armas de las tres poleas movibles; pero segun lo expuesto, aquel peso está sostenido por las seis cuerdas que enlazan las poleas inferiores con las superiores. En este caso, los 60 kilógramos se repartirán entre las seis cuerdas, y bastará una fuerza de 10 kilógramos en la extremidad *F* de la cuerda para que resulte el equilibrio que se desea.

Las poleas fijas y movibles en los polipastros pueden combi-

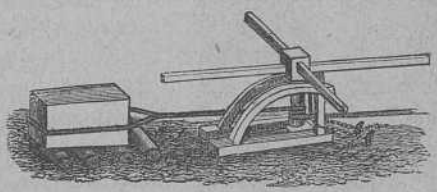
narse en número diferente, hallándose otras relaciones entre los pesos y las fuerzas que es necesario aplicar para establecer el equilibrio en aquellos aparatos. En un polipastro que esté formado por una polea movible y otra fija, el equilibrio se establece cuando la fuerza empleada es igual al peso que ha de sostenerse dividido por 2; y en general, el equilibrio en los polipastros se consigue cuando la fuerza aplicada es igual al peso que se quiere suspender, dividido por 2 veces el número de poleas movibles.

Fig. 19.



45. **Torno y cabrestante.** —Estos aparatos consisten en cilindros de madera ó de metal, á los cuales se les hace girar sobre un eje por medio de palancas. En la práctica, cuando se dispone horizontalmente el eje del cilindro, se constituye el *torno* (*fig.* 19), ó el *cabrestante* (*fig.* 20), si el eje del cilindro es vertical. La aplicacion mas principal de los tornos es para trasportar grandes pesos. Las palancas en el torno pueden estar sustituidas por ruedas, y por manubrios ó cigüeñas, con el objeto de aplicar mas cómodamente ó sacar mayor partido útil de las fuerzas motrices. Las condiciones del equilibrio en el torno pueden determinarse, como en la palanca, por los momentos estáticos de multiplicar la potencia por el brazo de palanca y la resistencia por el radio del cilindro que constituye el torno. Cuando las palancas de las ruedas del torno son tan numerosas que cubren toda la circunferencia, se originan las ruedas dentadas, cuyas aplicaciones en la mecánica son muy interesantes.

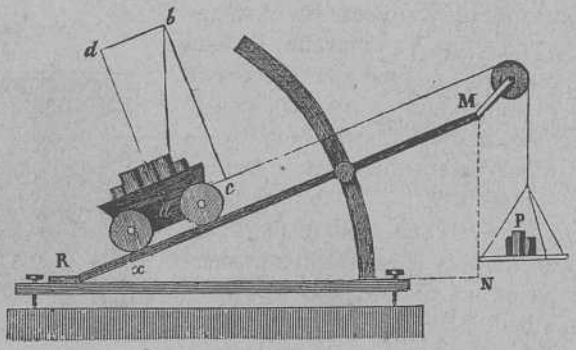
Fig. 20.



46. **Plano inclinado.**—Se llama *plano inclinado* todo aquel que forma con el horizonte un ángulo menor de 90°. La inclinacion en estos planos se aumenta conforme crece el ángulo referido; así, un plano que forma con el horizonte un ángulo de 10°, se

dice que su inclinacion es de dicho número de grados; otro que forme un ángulo de 20°, le corresponderá la inclinacion de 20°, y así sucesivamente. En las pendientes ó planos inclinados se presentan hechos que se explican por el paralelógramo de las fuer-

Fig. 21.



zas, y á la vez son problemas de la descomposicion de estas últimas. Si suponemos un pequeño carro (*fig.* 21) cargado con un peso de 100 gramos, descenderá hácia la parte inferior de un plazo inclinado *R M*; pero esta caida la podríamos impedir suspendiendo un peso en el extremo *P* de un hilo que, pasando por la polea *M*, estuviese atado á dicho carro.

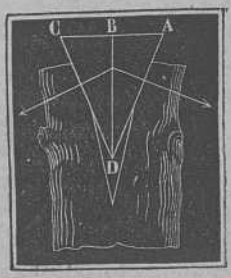
Dispuesto de este modo el aparato, se observa que, cualquiera que sea la inclinacion del plano, podremos impedir la caida del carro suspendiendo del extremo *P* del hilo pesos que sean menores. Esta diferencia entre la fuerza que sostiene y la tendencia á descender del carro, está fundada en que la gravedad del último puede representarse por *b a*, fuerza que suponiéndola diagonal del paralelógramo *a d b c*, seria equivalente ó resultante de las dos fuerzas *d a* y *c a*. La primera de estas no produce movimiento, sino presion, sobre el plano, originándose el movimiento por la segunda fuerza *c a*, menor que la del peso total del cuerpo é igual á la que se necesita para impedir el descenso del carro.

El segundo hecho que se observa con el aparato descrito, es que los pesos en *P* son diferentes cuando se ha de sostener el carro *a* en un plano cuyo ángulo *x* sea diverso; comprobándose por la experiencia, que cuando el carro pesa 100 gramos, si el ángulo *x* es de 30 grados, el peso *P* para impedir el descenso será de 50 gramos. Cuando el ángulo *x* sea de 19° 30′, el peso *P* basta que

sea de 33 gramos; y si el ángulo fuese de 14° 30′, seria suficiente que pesase 25 gramos.

47. **Cuña.**—Se ha supuesto en las aplicaciones mecánicas del plano inclinado que llevamos referidas, que las resistencias se mueven sobre el plano; pero podrán darse ocasiones en que la resistencia debe estar fija, mientras que el plano inclinado con su movimiento tiende á superar los obstáculos que se presentan á su marcha. De esta manera especial produce sus efectos la *cuña*, cuya instrumento (*fig.* 22), considerado como máquina, está constituida por dos planos que concurren y forman un ángulo diedro *D*.

Fig. 22.



Esfuerzos de la cuña. No es fácil calcular en la práctica el esfuerzo representado por las cuñas cuando se rompe y divide con ellas los cuerpos, pues en mucha parte aquel esfuerzo depende del rozamiento entre los lados de la cuña y las paredes del camino por donde penetra. Además, mientras la cuña se mueve por la fuerza del martillo, que es intermitente y casi instantánea, las resistencias que las cuñas superan son contínuas, pues se refieren á las moléculas y partículas que, constituyendo los cuerpos, se tratan de separar; por esta razon no se puede establecer una comparacion numérica exacta entre los esfuerzos de la cuña y la resistencia superada por dicha máquina. Sin embargo, si la comparacion numérica exacta, es físicamente difícil, puede establecerse como una ley de las cuñas el que sus efectos son tanto mas enérgicos cuanto el ángulo de la cuña, ó sea el formado por los dos planos inclinados que la constituyen, es mas agudo; ó en otrós términos, los efectos de las potencias que actúan por medio de las cuñas son á las resistencias que presentan los cuerpos, como *C A*, anchura de la base, es á *B D*, altura de la misma máquina.

48. **Tornillo.**—El *tornillo* puede considerarse como un plano inclinado en espiral alrededor de un cilindro. Para demostrarlo bastará observar que si se toma un triángulo rectángulo de papel *A B C* (*fig.* 23), y se le arrolla sobre un cilindro *A B*, mientras el cateto horizontal se ajusta á la base del cilindro, la hipotenusa se acomodará tambien sobre la superficie de aquel, señalando una curva ascendente y en espiral, semejante á la que representa el tornillo en el resalto curvilíneo conocido bajo la denominacion de *filete* ó *espira*. La distancia que media entre uno

y otro filete ha recibido el nombre de *paso de rosca*. Los tornillos pueden ser de filete triangular, como en la *figura* 24, y de filete y paso de rosca cuadrangular, como en la *figura* 25.

Efectos y aplicacion del tornillo.—El tornillo por sí solo no puede en la práctica producir los efectos de levantar grandes pe-

Fig. 23.

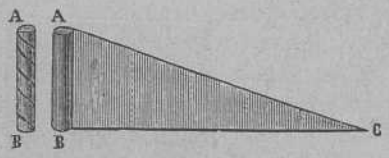


Fig. 24.

Fig. 25.

sos ó verificar enormes presiones, pues necesita para esto una pieza aislada, tallada en hueco y dentro de la cual se ajusta el filete del tornillo: á esta pieza se la ha denominado *tuerca*.

De dos maneras puede el tornillo producir sus efectos: ó se halla fijo y la tuerca gira á lo largo del plano inclinado representado por el filete de aquel, ó la tuerca está fija y el tornillo desciende por el plano inclinado y hueco que corresponde á la tuerca. Este aparato, considerado como máquina, además de servir para levantar grandes pesos y producir presiones, obrando la resistencia unas veces sobre la tuerca, y otros sobre el tornillo, puede considerarse tambien como un aparato destinado para medir la extension longitudinal.

El tornillo, considerado como aparato geométrico, reemplaza en la actualidad á los *nonius* en algunos instrumentos físicos y de precision que se describen en la geometría práctica: en este caso recibe el nombre de *tornillo micrométrico*, con el cual se determina la longitud mas exactamente que con los antiguos nonius.

CAPÍTULO II.

Dinámica.

49. **Movimiento absoluto y relativo de los cuerpos.**—Cuando un cuerpo cambia de lugar y posicion, se dice que se *mueve*. En este estado los cuerpos pueden presentarse quietos en la apariencia, ó moviéndose perceptiblemente para nuestros sentidos. Los árboles

y los edificios nos parecen quietos; pero colocados aquellos objetos en la superficie de la tierra, y girando con este planeta por el espacio en derredor del sol, es evidente que para nosotros parecerán quietos, pero tienen *movimiento relativo* respecto del sol. Pero si el sol, conforme á las conjeturas de la astronomía, girase en derredor de un centro lejano, los objetos de la tierra podrian aparecer quietos respecto de nosotros, y en movimiento relativo respecto del sol, y relativo á un punto indeterminado en el espacio. Si á pesar de las conjeturas astronómicas, el supuesto centro del universo no existiese, los movimientos observados en los astros sin relacion determinada en la inmensidad del espacio, se conocerian con el nombre de *movimiento absoluto*.

50. **Direccion del movimiento.**—En los movimientos relativos de los cuerpos hay que estudiar principalmente su *direccion* y su *velocidad*. Por su direccion los movimientos unos se verifican en línea recta; pero si al trazar su camino los cuerpos en movimiento cambian contínuamente de rumbo, en este caso el movimiento será *curvilíneo*. La direccion del movimiento curvilíneo, suponiendo que una curva fuese un polígono de infinito número de lados, estaria representada en un instante cualquiera por uno de los lados del polígono, que equivale á la tangente de la direccion curvilínea supuesta.

51. **Velocidad del movimiento.**—Se llama *velocidad* á la mayor ó menor rapidez con que un cuerpo en movimiento recorre un espacio en la unidad de tiempo. La velocidad puede ser igual ó desigual durante todo el tiempo que emplea el cuerpo en pasar de un lugar á otro. En el primer caso los espacios recorridos por el móvil serán iguales en tiempos iguales: á este movimiento se ha llamado *uniforme*. Por el contrario, el movimiento es *variable* cuando á cada instante el móvil presenta diferente velocidad, recorriendo espacios desiguales en tiempos iguales.

De lo dicho respecto del movimiento uniforme, en el cual la velocidad es constante, se deduce que en tiempo dos, tres, cuatro veces mayores, los espacios recorridos son dobles, triples ó cuádruplos; cuya ley se expresa diciendo que *los espacios recorridos por los cuerpos con movimiento uniforme son proporcionales á los tiempos, ó que crecen como los tiempos*. Esta ley puede expresarse por la siguiente fórmula $e = v\ t$, en la que e representa el espacio recorrido, v la velocidad, y t el tiempo. De esta fórmula resulta, trasformándola $v = \frac{e}{t}$, que expresa que en el movimiento uniforme la velocidad es la relacion entre el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerle.

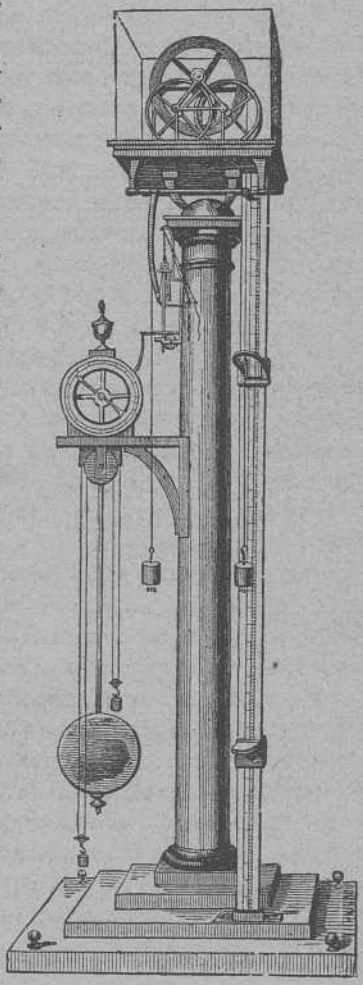
Movimiento uniformemente acelerado y retardado.

52. **Movimiento acelerado y retardado.**—El movimiento variable puede ser *acelerado* y *retardado*. Se comprende que si las variaciones en la velocidad siguen alguna ley constante, los movimientos podrán ser *uniformemente acelerados* y *uniformemente retardados*. La gravedad obra contínuamente sobre los cuerpos; pero cuando esta fuerza en vez de presion origina movimiento, los cuerpos se aproximan al centro de la tierra con una velocidad que se aumenta gradualmente. Si consideramos aquella fuerza como una cantidad que se acumula en los cuerpos por unidades siempre iguales, y llamamos g á la velocidad que adquiere un cuerpo en 1 segundo de tiempo descendiendo por el impulso de la gravedad, tendremos que la velocidad cuando el cuerpo cae en el 1.er segundo será g, en el 2.º segundo de tiempo será $2\,g$, en el 3.º $3\,g$, en el 4.º $4\,g$, y en t unidades de tiempo $t\,g$: de donde se deduce que la velocidad de los cuerpos que caen libremente por el impulso de la gravedad, es proporcional con los tiempos que dura su descenso, y tendremos $v = g\,t$, en cuya ecuacion v es la velocidad adquirida en t segundos, siendo g la unidad de velocidad que adquiere un cuerpo al finalizar el 1.er segundo de su movimiento de descenso.

53. **Leyes de la caida de los cuerpos.**—Los espacios que los cuerpos recorren bajo el impulso de la fuerza de gravedad acumulada, pueden calcularse fácilmente. Cuando el cuerpo principia á caer, su velocidad será cero; pero al finalizar el 1.er segundo tiene ya una velocidad g. El espacio recorrido en esta unidad de tiempo por un cuerpo cuya velocidad varía de cero á g, seria igual al espacio recorrido por dicho cuerpo cuando se moviese con una velocidad uniforme que fuese proporcionalmente mayor que cero y menor que g. Supongamos que esta velocidad uniforme fuese un término medio, ó sea $\frac{1}{2}\,g$. Con esta velocidad, el espacio recorrido en un segundo de tiempo seria igual á $1 \times \frac{1}{2}\,g$. Por la misma razon, en 2 segundos la velocidad seria $2\,g$; el término medio entre cero y $2\,g$ es igual á $\frac{2 \times g}{2}$ y recorriendo el cuerpo el espacio con esta velocidad constante durante 2 segundos, tendríamos el espacio igual á $2 \times 2\,\frac{g}{2}$ en 3 segundos $3 \times 3\,\frac{g}{2}$; y en t segun-

dos $t \times t\frac{g}{2} = t^2 \times \frac{g}{2} = e$; con lo cual se demuestra que *los espacios recorridos por un cuerpo que desciende en virtud de la gravedad, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos que dura el movimiento*. Esta ley llamada de los espacios es además general á todos los movimientos uniformemente acelerados.

Fig. 26.



Para comprobar las leyes del descenso de los graves se emplea la máquina de Atwood. Este aparato consiste en una polea que gira en derredor de un eje, colocada á la altura de 2 ó 3 metros (*fig.* 26). Para que la polea de la máquina de Atwood sea muy movible, se apoya su eje sobre otras poleas secundarias que disminuyen el rozamiento, dando lugar á que la menor diferencia en los dos pesos m y m', suspendidos á los extremos del cordon flexible que pasa por el carril de la citada polea, no puedan sostenerse en equilibrio. Cuando los pesos m y m' son iguales, se mantienen, por la ley de las poleas fijas, en equilibrio indiferente en donde quiera que se les deje; pero si se añade un pequeño peso n á m', en este caso es evidente que han de ponerse en movimiento, descendiendo el peso $m'+n$ y elevándose el m. La velocidad del movimiento que tiene lugar en las dos masas será mucho menor que si cayesen libremente, porque el peso n no mueve solamente á m', sino que una parte de aquella fuerza se gasta ó emplea en mover la masa m: luego la diferencia n entre los dos pesos m y m' tendrá que poner en movimiento á $2\,m+n$, llamando n á

la diferencia de las dos masas. Por ejemplo: pesando las masas m y m' 8 gramos cada una, y un gramo el pequeño peso adicional n, este pondrá en movimiento á

$$m + m' + n = 2\,m + n = 2 \times 8 + 1 = 17 \text{ gramos.}$$

Y por consecuencia, la fuerza de la gravedad de 1 gramo repartida entre 17 originará un movimiento 17 veces menor. Por esta razon, si cayendo libremente un cuerpo que pesa 1 gramo, recorre en Madrid próximamente un espacio de 17,5 piés en el primer segundo de su caida, en la máquina de Atwood, en el supuesto anteriormente referido, recorrerá 1 pié durante la misma unidad de tiempo.

Se comprende que pueden combinarse los pesos m m' y n con razon diversa, resultando que se podrá variar á nuestra voluntad la velocidad que adquiere la masa m' cuando desciende.

El movimiento de descenso en la masa m' se sigue con la vista á lo largo de una escala vertical fija sobre una columna que á la vez sirve de sosten á la polea ó sistema de poleas de que se compone el aparato, y á un reloj que marca segundos de tiempo, al que el oido debe seguir mientras la vista lo hace con los pesos en su descenso.

El reloj en la máquina de Atwood tiene una palanca que juega entre el áncora de su máquina y el plano donde se halla colocada la masa m', dando lugar para que el péndulo con su movimiento, cuando el índice del reloj llega á los 60" y á los 30", deja que escape el plano de apoyo y los cuerpos principian á moverse en virtud de la gravedad. Para determinar el punto de la escala donde llega el peso m' en su descenso al cabo de 1, 2, 3, 4 segundos, se fija un tope ó disco de metal en puntos diferentes de la misma, contando el tiempo que trascurre desde el momento en que principia á descender el cuerpo hasta que se oye el golpe que produce al chocar sobre el plano de metal. En este caso, si el cuerpo en su caida toca al plano colocado á un decímetro de la escala en el primer segundo de su movimiento, se nota que en 2 segundos tocará al mismo plano colocado á los 4 decímetros, y en 3 segundos le alcanzará á los 9 decímetros; luego los espacios corridos en cada segundo y los corridos en dos ó mas unidades de tiempo podrán colocarse en las séries numéricas siguientes:

1 2 3 4 5 6 7 8 tiempos.
1 3 5 7 9 11 13 15 espacios recorridos parcialmente.
1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 espacios totales.

Resultando que los cuerpos descienden con una velocidad que

se aumenta como los números impares, y los espacios corridos en dos ó mas unidades de tiempo crecen como los cuadrados de los tiempos.

En la máquina de Atwood se puede, por medio de una pieza anular fija en la escala y por una masa n rectangular, hacer que esta en un momento dado deje de obrar, con lo cual el movimiento de las masas m y m' no seguirá acelerado, por faltar la fuerza aceleratriz. En este supuesto, en virtud de la inercia, las masas continuarán moviéndose con la velocidad adquirida, recorriendo uniformemente un espacio doble que el corrido anteriormente con la velocidad acelerada; lo cual puede demostrarse fácilmente sirviéndose de la pieza anular. Si en los dos primeros segundos la masa m' con movimiento acelerado avanza 4 decímetros, y llegando á este punto cesa de obrar el peso adicional, la masa m' continuará moviéndose hasta tocar 2 segundos despues, en el plano de contacto separado á la distancia de 8 decímetros; observándose que si dicho plano se coloca á 4 decímetros de la pieza anular, el contacto se verificará en 1 segundo de tiempo: quedando demostrada la uniformidad del movimiento de los graves, en el supuesto de que la fuerza aceleratriz de la gravedad cese en un punto cualquiera del descenso de los cuerpos.

En la caida libre de los cuerpos podemos considerar que el valor de la gravedad g es próximamente de 35 piés castellanos en Madrid (1) en el primer segundo de tiempo. Con este dato numérico y las leyes anteriormente demostradas, la gravedad de un cuerpo que cae será de 35 piés en 1 segundo, y de 3×35, 5×35, 7×35... $(2n-1) \times 35$ en los segundos siguientes. Y como los espacios sean iguales á $\frac{g}{2} \times t^2$, tendremos que en iguales tiempos los espacios recorridos serán $\begin{cases} 1^2 \times 17{,}5 = 17{,}5 \\ 2^2 \times 17{,}5 = 70{,}0 \\ 3^2 \times 17{,}5 = 157{,}5. \end{cases}$

*54. **Velocidad de los cuerpos en su descenso.**—Como la velocidad de los cuerpos en su descenso se ha expresado por la ecuacion $v = g \times t$, y el espacio recorrido por aquellos sea $e = \frac{g}{2} \times t^2$, se obtendrá fácilmente de la primera ecuacion esta otra: $t = \frac{v}{g}$; y sustituyendo este valor en la segunda, tendremos:

$$e = \frac{g}{2}\left(\frac{v}{g}\right)^2 = \frac{g}{2} \times \frac{v^2}{g^2} = \frac{gv^2}{2g^2} = \frac{v^2}{2g};$$

(1) La intensidad de la gravedad en Madrid es 35,16890 piés castellanos, ó 9,79958 metros; y el espacio que recorre un cuerpo grave en 1'' es de 17,584 piés castellanos, ó 4,8995 metros.

en la cual, despejando la velocidad de los graves en su caida, nos dice que si comparamos las velocidades de un cuerpo que desciende en dos momentos diferentes, aquellas serán proporcionales con las raíces cuadradas de los espacios. Por ejemplo: si se desea saber cuánta es la velocidad en la superficie de la tierra, de un cuerpo que ha caido de una altura de 100 metros sobre aquella superficie, se hallará por la fórmula $v = \sqrt{2g \times 100}$.

55. **Movimiento uniformemente retardado.**—Cuando un cuerpo se mueve por un impulso en direccion contraria al peso, su velocidad se disminuye gradualmente, presentándonos un ejemplo del movimiento *uniformemente retardado*. Un cuerpo cuando se eleva no deja de ser grave; de consiguiente su gravedad obrará en el primer segundo con una fuerza de 35 piés, y 3, 5, 7, 9 veces 35 en los segundos siguientes; pero como el cuerpo se halle dotado de una fuerza contraria á la de la gravedad, queda despues del primer segundo de tiempo con la velocidad ascendente adquirida, disminuida por la accion de la gravedad, que en 1 segundo equivale á 35 piés, y sucesivamente en los momentos siguientes irá disminuyéndose en $3 \times 35; 5 \times 35; 7 \times 35$, resultando por necesidad que, siendo casi instantáneo el impulso ascendente, y continuado el descendente y efecto retardatriz de la gravedad, la velocidad del cuerpo despues de algun tiempo se reduce á *cero*, y en cuanto llega este momento, el cuerpo principia á descender.

Si expresamos por n la velocidad de un cuerpo cuando principia á elevarse, tendremos que despues de t segundos será $v = n - g\,t$; para que la velocidad del cuerpo sea cero, es necesario que sea $n = g\,t$; pero n es la velocidad primitiva ascendente y $g\,t$ es la velocidad que el cuerpo adquiere cayendo en t segundos que ha durado su movimiento ascendente; luego aquel descendiendo recobra, en virtud de la gravedad, la velocidad anteriormente perdida. Este hecho puede expresarse en forma de ley física, diciendo: *un cuerpo que se eleva verticalmente, en su descenso, toca en la tierra con la misma velocidad que tenia al empezar su movimiento ascendente.*

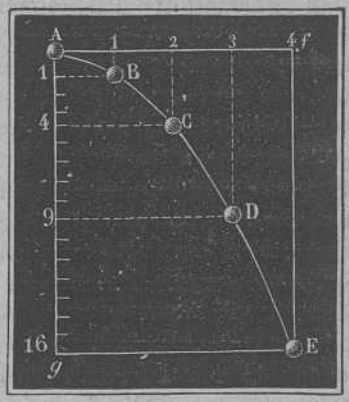
Movimiento curvilíneo.

56. **Modo de originarse los movimientos curvilíneos.**—Los movimientos con direccion curvilínea pueden originarse de dos maneras: 1.ª, cuando sobre un punto material obran dos fuerzas, de las

cuales la una es constante y la otra variable; 2.ª, cuando de las dos fuerzas que actúan sobre un punto material, la una, por su direccion guarda relaciones invariables con alguna superficie, línea ó punto cuyas posiciones estén fijas en el espacio.

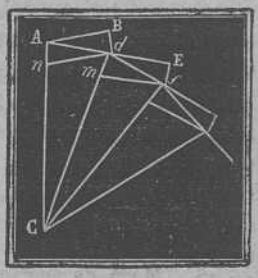
57. **Movimiento parabólico.**—Los proyectiles presentan un ejemplo del movimiento curvilíneo originado por una fuerza de efectos variables, como lo es la gravedad, y por la fuerza casi instantánea de la pólvora. Supongamos una bala *A* (*fig.* 27), á la cual por un medio cualquiera se la impele en la direccion horizontal *A f*; por efecto de este impulso correria el espacio *A f*, encontrándose en el primer segundo en 1, al finalizar la segunda unidad de tiempo en 2, y así sucesivamente; pero en el primero y siguientes segundos, en virtud de la gravedad, la bala deberia recorrer verticalmente espacios que aumentarian como los números 1, 3, 5, etc. (54); resultando que la bala marcharia por una série de diagonales *AB*, *AC*, etc., conforme se hallan representadas en la figura, por lo cual traza en el espacio una línea curva que se aproxima á ser una parábola segun la describen los geómetras.

Fig. 27.



58. **Movimiento circular.**—Entre los movimientos curvilíneos originados por dos fuerzas que guardan la una relaciones invariables con un punto fijo, se nos presentan dos muy interesantes de estudiar. El primero es el movimiento de un punto material cuando traza en derredor de un *centro* una curva cerrada como la circunferencia. El segundo es el movimiento de vaiven ó de oscilacion de los cuerpos suspendidos.

Fig. 28.



Si suponemos que un punto material *A* (*fig.* 28) recibe un impulso en la direccion *A B*, mientras que otra fuerza le solicita hácia el punto *C*, tendremos, trazando el paralelógramo *A n d B* de las fuerzas, que el punto ma-

terial *A* marchará por la diagonal *A d*. Si en el momento de llegar al extremo *d* de la diagonal referida obrase un nuevo impulso sobre el móvil, y este conservase su tendencia hácia el punto *C*, recorreria por la razon anterior la diagonal *d f*; pero repitiéndose las mismas acciones, se originaria una série de diagonales que en definitiva completarian un polígono regular cuyo centro de figura es el punto *C*. En el supuesto de que las diagonales fuesen infinitamente pequeñas, el polígono formado se confundiria con una curva cerrada, conocida con el nombre de *circunferencia*.

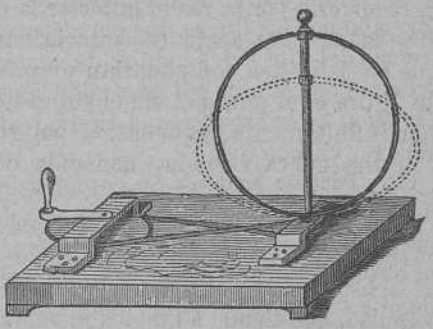
59. **Fuerzas centrales.**—A la fuerza componente que solicita los cuerpos en el movimiento curvilíneo á dirigirse hácia un punto en el espacio, se la ha llamado *fuerza central*; mientras que la de impulso, que tiende á que los mismos cuerpos se separen del centro, se conoce bajo la denominacion de *fuerza centrífuga* ó *tangencial*. Cuando la fuerza central es constante, el cuerpo móvil traza la curva conocida con el nombre de circunferencia; pero si aquella fuerza obra á cada momento en razon inversa del cuadrado de las distancias, en este caso el móvil recorre una curva elíptica, que es la que trazan los planetas en su movimiento en derredor del sol.

Las leyes del movimiento circular de los cuerpos, y las relaciones de las fuerzas que le producen, se demuestran experimentalmente por medio de los aparatos de fuerzas centrales, cuya forma y disposicion mecánica puede ser diferente; pero con todos se demuestra: 1.°, que la intensidad de la fuerza centrífuga es proporcional á la masa del cuerpo en movimiento; 2.°, que aquella intensidad, para un cuerpo que traza siempre una misma curva, es proporcional con el cuadrado de la velocidad; 3.°, que en un cuerpo cuya velocidad de rotacion es constante, la fuerza centrífuga se halla en razon inversa del radio de la circunferencia que describe el cuerpo en movimiento.

60. **Figura de la tierra.**—Aumentándose la fuerza centrífuga con la distancia del centro del movimiento, si este fuese una línea como el eje de la tierra, la fuerza centrífuga en un punto de la superficie de esta seria mayor en el Ecuador, disminuyéndose conforme al punto que considerásemos se acercase á los polos, en los cuales dicha fuerza seria cero. Supongamos que en alguna época las moléculas de la tierra hubieran estado agregadas por una fuerza que no las impidiera el moverse las unas con relacion á las otras. En este supuesto, si la tierra giró con rapidez, y su agregacion molecular fué como la de un muelle circular ó la de

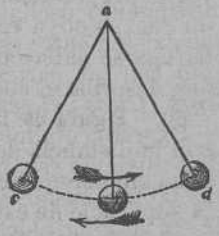
una esfera de paredes elásticas y flexibles, tendríamos que por el movimiento de rotacion la figura esférica regular y simétrica de la tierra se convirtió en una esfera aplanada hácia los polos de revolucion, originándose por la fuerza centrífuga, segun se observa en el aparato (*fig.* 29), el aplanamiento de los polos y un aumento en el diámetro del Ecuador. Los astrónomos han observado que aquella figura esferoidal corresponde á los demás planetas y al sol; comprobando por este medio la existencia de la rotacion sobre los ejes propios en cada uno de aquellos cuerpos celestes, y fundando algunas hipótesis sobre el estado que tuvieron los astros en su primitiva creacion.

Fig. 29.



61. **Movimiento oscilatorio.**—Además del movimiento curvilíneo que llevamos estudiado, se presenta como interesante para el físico el estudio del movimiento de los cuerpos que conservan relaciones invariables con un punto fijo y recorren repetidas veces partes de la misma curva. El aparato que presenta este movimiento es el *péndulo*, el cual consiste en una esfera ó disco *b* (*fig.* 30), suspendido de la extremidad *b* de un hilo *a b*. El peso *b* permanece en equilibrio estable cuando la accion de la gravedad obra en la direccion opuesta al hilo *a b*, ó cuando la direccion de este último es vertical. Si estando el péndulo en *b* se le traslada á la posicion *a c*, habrá recorrido un arco de circunferencia *b c*; en este caso, si hallándose en el punto *c* se le abandona, la accion de la gravedad le hará descender por el arco *c b*, y en virtud de la inercia recorrerá alternativamente los arcos *a b* y *a d*. Tambien se notará que siendo el movimiento del péndulo uniformemente acelerado de *c* á *b*, será á su vez uniformemente retardado de *b* á *d*, porque desde *c* el peso *b* desciende, y en la segunda mitad de su camino *b d* se retardará acorde con los cuerpos que se elevan en direccion contraria á la de la gravedad.

Fig. 30.



El movimiento del péndulo de *c* á *d* se llama *oscilatorio*, el arco *c d* se denomina de *oscilacion*, cuya mitad *b d* ha recibido el nombre de *semi-oscilacion*.

La amplitud de la oscilacion se valora por el ángulo *c a d*, formado por las líneas que corresponden á las dos posiciones extremas del hilo del péndulo; de consiguiente podrá tambien expresarse por el arco *c d* que mide aquel ángulo. Se entiende por *duracion de la oscilacion* el tiempo empleado por el péndulo en recorrer el arco *c d*.

62. **Péndulo simple.**—Se comprende que, en virtud de la inercia, si el peso *b* no hallase resistencia en el aire, y las fuerzas que le mueven no se gastasen en vencer el rozamiento que existe en el punto de suspension y en doblar mas ó menos el hilo flexible que sostiene al péndulo, este aparato deberia moverse permanentemente; y en el supuesto que el peso *b* fuese un solo punto material, tendríamos el *péndulo simple*, que puede definirse diciendo es una molécula material pesada, suspendida de un punto por medio de un hilo inextensible y sin peso. Pero en el *péndulo ordinario* ó *compuesto* se nota que la amplitud de la oscilacion se va disminuyendo contínuamente. En un principio las diferencias en el movimiento oscilatorio son muy pequeñas é inapreciables; pero con el tiempo se hacen perceptibles, concluyendo el péndulo por quedar en la posicion de equilibrio estable, hácia la cual se aproxima y llega cuando las manifestaciones motrices de la gravedad se anulan.

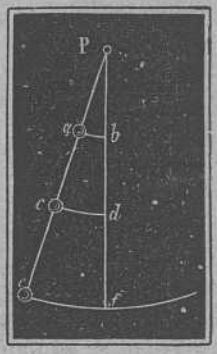
63. **Leyes del péndulo.**—Cuando se estudia la marcha de los péndulos, se nota que mientras en unos el número de oscilaciones se prolonga por muchas horas, otros se paran mas ó menos pronto, disminuyéndose tanto la amplitud, que no se percibe el movimiento oscilatorio sin vidrios de aumento. Las relaciones que existen entre estos hechos ó fenómenos observados en el péndulo con las partes de que se compone este aparato, se llaman *leyes físicas del péndulo*.

Experimentalmente se pueden demostrar las leyes del péndulo. Construyendo este aparato con pesos ó esferas de oro, marfil, corcho ú otras sustancias diferentes, hallaremos que, en el supuesto de ser las longitudes del hilo de los péndulos y los arcos recorridos iguales, la duracion de las oscilaciones será para todos aquellos la misma; de cuya experiencia se deduce la primera ley del péndulo, la cual puede expresarse diciendo que *la duracion de las oscilaciones del péndulo es independiente del peso y de la naturaleza de la esfera ó disco de que se hallan construidos dichos aparatos*.

La segunda ley del péndulo, demostrada por Galileo, es la de que *la duracion de las oscilaciones es sensiblemente igual* cuando el péndulo oscila en arcos que no pasan de 5 grados. Las oscilaciones de igual duracion se denominan *isócronas*; y recíprocamente, los péndulos que en tiempos iguales baten el mismo número de oscilaciones, se llaman *isócronos*.

Para comprobar esta segunda ley por la experiencia, basta tomar un péndulo cuya longitud sea constante, y contar en un tiempo dado las oscilaciones que produce en arcos de 5 grados; despues contar el número de oscilaciones cuando el arco recorrido sea de 2 á 3 grados; y por último, cuando las oscilaciones sean tan pequeñas que haya necesidad de observar su amplitud por medio de una lente ó vidrio de aumento que esté fija, y sobre la cual se tenga trazada una marca vertical que indique el paso del péndulo á la derecha ó izquierda de dicha línea. En los tres casos hallaremos que el mismo número de oscilaciones se habrá verificado en tiempos iguales; luego la duracion de cada una de las oscilaciones ha sido la misma.

Fig. 31.

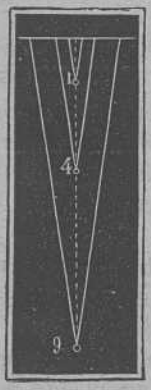


La tercera ley del péndulo se expresa diciendo que *la duracion de las oscilaciones en dos péndulos de longitud diferente, está en razon de las raíces cuadradas de la longitud de los mismos*. Supongamos tres péndulos *a*, *c*, *e* (*fig.* 31), de diferente longitud, pero sostenidos en un punto *P*. Sabemos, segun las leyes del descenso de los graves, que el espacio que estos recorren es, con movimiento uniformemente acelerado, $e=\frac{1}{2}gt^2$; de donde se deduce que los espacios son proporcionales con los cuadrados de los tiempos, y de consiguiente los tiempos serán como las raíces cuadradas de los espacios. Pero suponiendo divididos los espacios *a b* y *c d* cada uno de ellos en partes iguales, hallaremos que cuando las relaciones de aquellos espacios sean 1 á 2, la misma existirá en el número de sus partes componentes; por esta razon la mitad de *a b* estará contenida cuatro veces en la longitud *c d*. Si la razon de los espacios es de 1 á 3, el tercio del espacio *a b* estará contenido nueve veces en el espacio *e f*; hallándose los espacios *a b*, *c d* y *e f* en la relacion que guardan los cuadrados de las longitudes *P a*, *P c* y *P e*, tendremos que los tiempos son proporcionales con las raíces cuadradas de los es-

pacios, y lo estarán tambien con las raíces cuadradas de las longitudes de los péndulos.

Con el objeto de comprobar experimentalmente esta tercera ley de las oscilaciones del péndulo, se construye un aparato (*fig.* 32) formado de tres péndulos, cuyas longitudes son 1, 4, 9; y se observará que mientras el péndulo mas corto da 3 oscilaciones, el péndulo medio dará 2, y el mas largo 1; luego el número de las oscilaciones está en razon inversa de las raíces cuadradas de las longitudes, y la duracion ó el tiempo empleado en cada una de las oscilaciones es como las raíces cuadradas de las longitudes 1, 4, 9 de los péndulos.

Fig. 32.



De esta tercera ley del péndulo se deduce que las partes materiales mas próximas al punto de suspension tienden á oscilar con mas rapidez, y así lo verificarian si no se hallasen invariablemente enlazadas con las inferiores, las que á su vez tienden á oscilar con mas lentitud. Pero como todas ellas han de verificar su oscilacion en el mismo tiempo, resulta que entre las superiores, que están retrasadas por las inferiores, y estas, que están aceleradas por las superiores, ha de existir un punto que verifique sus oscilaciones como si estuviese solo, moviéndose con una velocidad media proporcional: este punto recibe el nombre de *centro de oscilacion*; y á la distancia entre él y el de suspension se llama *longitud* del péndulo compuesto. Esta longitud seria la del péndulo simple si existiese, y la que hay necesidad de tomar siempre que se trate de referir al péndulo simple las observaciones verificadas con el péndulo compuesto.

64. **Péndulo de segundos.**—Se llama *péndulo de segundos* aquel que bate cada oscilacion en 1 segundo de tiempo. Como el movimiento del péndulo, lo mismo que el de los cuerpos que descienden, llevamos manifestado que reconoce por causa la atraccion terrestre, si esta fuese igualmente intensa en toda la superficie de la tierra, la longitud del péndulo de segundos seria igual en todas partes; pero siendo la figura de la tierra un esferóide, la atraccion es mayor en los polos que en el Ecuador; de lo cual se deduce que la marcha de un péndulo es mas lenta en las regiones ecuatoriales que en las regiones de nuestro globo. De aquí ha resultado la necesidad de cambiar la longitud del péndulo cuando ha de batir segundos en diferentes regiones de la tierra.

En el Ecuador, la longitud del péndulo que bate segundos, se-

gun las observaciones directas de D. Antonio Ulloa y D. Jorge Juan, es de 439,206 líneas; y bajo los polos, segun las observaciones de otros físicos, es de 441,39 líneas. La diferencia de longitud en el péndulo en aquellas dos regiones seria 2,38, hallándose que en Lóndres es de 994,13 milímetros, en Paris de 993,9, y en Madrid, segun D. Gabriel Ciscar, es de 3,56337 piés, ó 993,37 milímetros. La longitud del péndulo de segundos, segun los datos anteriores, se aumenta con las latitudes de los lugares, y si deseamos hallarla para un punto cualquiera de la tierra, se podrá hacer uso de la siguiente fórmula: $l = 439{,}206 + 2{,}3862\ sen.\ f$; en la que f representa la latitud del lugar, y l la longitud desconocida del péndulo en líneas francesas, fáciles de reducir á milímetros.

65. **Aplicaciones del péndulo.**—Algunos ejemplos bastarán para demostrar la importancia que ha tenido el péndulo en las investigaciones de las ciencias físicas.

1.° El péndulo es el aparato que se emplea como regulador en los relojes para medir el tiempo, contando con la propiedad de que, conservando el péndulo su longitud, sus oscilaciones son isócronas en arcos pequeños.

2.° El isocronismo de las oscilaciones del péndulo de longitud invariable demuestra el valor constante de la gravedad en el mismo lugar de la tierra. Cuando el isocronismo falta, el péndulo se aproxima ó se separa del centro de la tierra, ó bien es atraido por alguna montaña próxima; resultando de aquí dos de las aplicaciones mas interesantes del péndulo: para determinar la forma de la tierra, y para apreciar la atraccion que ejercen las montañas.

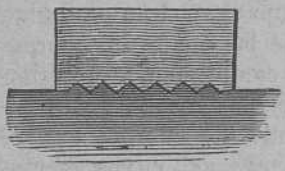
3.° La intensidad de la atraccion terrestre, ó sea el espacio vertical recorrido en 1 segundo por un cuerpo que desciende, puede apreciarse mas exactamente por el péndulo que por otro medio cualquiera; pues teniendo conocida la longitud de aquel aparato en un lugar de la tierra, bastará multiplicar la longitud del péndulo de segundos por 4,9348, para obtener la distancia que un grave camina en aquel lugar durante 1 segundo de tiempo. En estos últimos años M. Foucault se ha servido del péndulo para demostrar experimentalmente el movimiento de rotacion de la tierra.

Rozamiento.

66. **Causas que determinan el rozamiento.**—Cuando un cuerpo se mueve sobre la superficie de otro, es evidente que la fuerza que

produce el movimiento tendrá que superar la fuerza de presion que el cuerpo movible ejerce sobre la superficie que le sostiene, en el supuesto de que sea perfectamente geométrica la superficie del cuerpo que ha de moverse y la del plano sobre el cual se apoya. Pero presentando las superficies de los cuerpos intersticios ó poros y pequeñas elevaciones, se comprende que hallándose los cuerpos superpuestos ó tocándose por dos superficies, las elevaciones de la una penetrarán en los intersticios de la otra (*figura* 33), y á tanta mayor profundidad cuanto mayor sea la presion que se ejerce entre los dos cuerpos. La penetracion de los puntos elevados de un cuerpo en los intersticios de una superficie de sosten, da lugar á que, si el cuerpo se ha de mover, lo haga, pero gastándose una parte de la fuerza motora en vencer la resistencia originada por la penetracion indicada anteriormente; resultando la resistencia conocida en dinámica bajo la denominacion de *rozamiento*.

Fig. 33.



67. **Diferentes clases de rozamiento.**—El rozamiento se ha dividido en dos: 1.°, el que resulta cuando dos cuerpos resbalan el uno sobre el otro; 2.°, el que corresponde á dos cuerpos, de los cuales el uno ó ambos ruedan girando sobre sus ejes.

Para determinar las leyes del rozamiento al comenzar este y durante el movimiento, Coulomb, en 1781, construyó el aparato denominado *tribómetro*. En 1831 M. Morin volvió á repetir las experiencias de Coulomb con el mismo tribómetro modificado para hacerlas con mayor precision, de cuyos estudios experimentales ha resultado una tabla de coeficientes de friccion, de una exactitud notable y de aplicacion inmediata.

Comparando todos los resultados obtenidos, M. Morin admite como exactas las leyes siguientes de Coulomb sobre el rozamiento:

1.ª La friccion entre dos cuerpos de la misma naturaleza, es proporcional á la presion que entre aquellos se ejerce.

2.ª La friccion como resistencia es proporcional á las áreas de las superficies puestas en contacto.

3.ª La friccion se aumenta con las asperezas de las superficies de los cuerpos.

4.ª La friccion se aumenta hasta un cierto grado con el tiempo que ha trascurrido desde que se han puesto los cuerpos en contacto.

5.ª La friccion se disminuye convirtiendo en rotatorio el movimiento de resbalar que presentan los cuerpos.

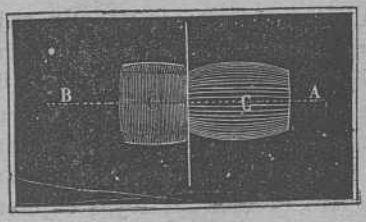
6.ª La friccion se disminuye en muchas ocasiones para el uso de las grasas y aceites entre las superficies de los cuerpos que se mueven sostenidos y apoyados.

Teoría del choque.

68. **Del choque.**—Se sabe que dos cuerpos no pueden ocupar á la vez un mismo espacio; pero cuando se hallan en movimiento, si el uno al tocar con el otro desaloja al segundo, penetrando en una parte del espacio que este último ocupaba, podrán presentarse dos acciones moleculares, en virtud de las cuales los cuerpos que se ponen en movimiento, primero se comprimen, y posteriormente, por la reaccion opuesta, las moléculas recobran su posicion primitiva. La accion recíproca entre dos cuerpos en movimiento que se encuentran, se llama *choque*, cuyos efectos dinámicos dependen del principio de la igualdad entre las acciones y reacciones mecánicas.

El choque puede verificarse en dos condiciones diferentes: ó correspondiéndose en una línea recta los centros del movimiento de los cuerpos, en cuyo caso se llama *choque céntrico* ó *central* (*fig.* 34), ó por el contrario, cuando dichos centros no corresponden á una misma recta, y entonces se llama *choque excéntrico*. Tambien podríamos distinguir el choque en *directo* y *oblícuo*: el primero tiene lugar cuando dos cuerpos se chocan moviéndose en la misma direccion sin corresponderse sus centros; y el segundo, denominado *oblícuo*, cuando los centros de los dos cuerpos corresponden á una línea recta en el momento del choque, pero moviéndose aquellos con direccion oblícua. Aun se podria dividir el choque en otras dos variedades, que serian: 1.ª, la del choque en los cuerpos libres, y 2.ª, la del choque entre cuerpos sostenidos ó apoyados mas ó menos firmemente.

Fig. 34.

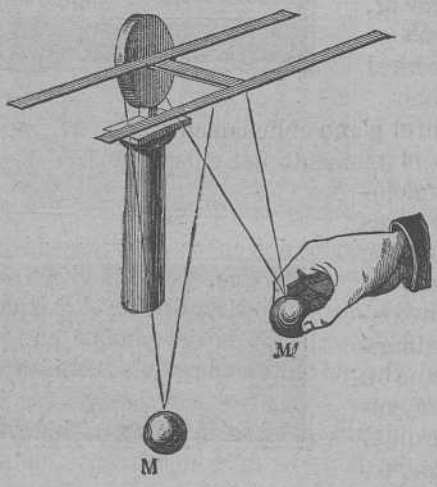


69. **Choque de los cuerpos inelásticos.**—Las maderas, el hierro, las piedras y otros cuerpos se consideran generalmente como *inelásticos* ó *no elásticos*, perdiendo de un modo notable su escasa elasticidad cuando repetidamente se les sujeta á la accion de

los golpes ú otras fuerzas comprimentes. Al choque entre los cuerpos citados, que juegan en toda la maquinaria, se le ha denominado *choque de los cuerpos duros* ó *inelásticos*, cuyas leyes mas interesantes son: 1.ª, si dos cuerpos duros, en el momento del choque central, el uno está quieto y el otro en movimiento, el resultado del choque será el de moverse los dos en la direccion del segundo, y con la velocidad de este repartida proporcionalmente entre las dos masas de los cuerpos; 2.ª, cuando dos cuerpos duros chocan centralmente, si se mueven en una misma direccion, no cambiará esta, pero la velocidad, despues del choque, quedará proporcional á la masa de los cuerpos, conforme á la ley anterior; 3.ª, cuando dos cuerpos duros se encuentran en un punto del espacio marchando en direcciones contrarias, resulta el equilibrio en el choque central si las velocidades y las masas de los cuerpos son iguales, y el movimiento si las velocidades son diferentes, marchando los dos en la direccion del cuerpo que posea mayor cantidad de movimiento, y repartiéndose la diferencia de las velocidades proporcionalmente á la suma de las masas de los cuerpos.

70. **Choque de los cuerpos elásticos.**—Si los cuerpos que chocan son perfectamente elásticos, en virtud de las acciones moleculares de la materia, segun veremos adelante, tendremos que aquellos cuerpos en el momento del choque pasarán por un período durante el cual se comprimen, recobrando gradualmente en un segundo período de tiempo su primitiva forma, siguiéndose á la accion comprimente que obró sobre las moléculas, una reaccion completamente igual.

Fig. 35.

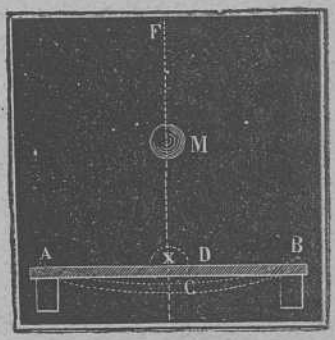


De la anterior consideracion se pueden deducir las leyes principales del choque en los cuerpos elásticos. Supongamos dos masas *M M'* (*fig.* 35) que estén dotadas de la elasticidad perfecta, como próximamente lo están dos bolas de marfil: cuando la esfera *M* esté

quieta, en el momento que la esfera *M'* moviéndose toque á la esfera *M*, tendremos que la velocidad de la que se mueve se repartirá por mitad entre los dos, suponiéndolas iguales; pero en el primer período del choque la fuerza se gasta en cambiar la forma de las esferas elásticas; en el segundo período del choque la velocidad de la esfera *M* se aumentará en una cantidad igual á la que adquirió durante el primer período, y tendremos: 1.°, que al finalizar el choque de dos cuerpos elásticos, de los cuales el uno se halla en reposo y el otro en movimiento, toda la velocidad que este pierde la adquiere aquel; y 2.°, que cuando dos cuerpos elásticos se hallan en movimiento, cambian recíprocamente en el choque central sus velocidades respectivas.

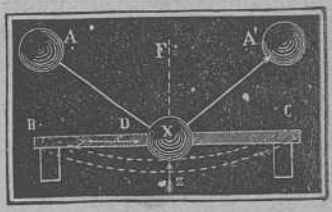
71. **Direccion del movimiento despues del choque de los cuerpos elásticos.**—Supongamos una esfera *M* (*fig.* 36) y un plano elástico *A D B*, y que la accion del choque entre el plano y la esfera sea normal; en este caso tendremos, que descendiendo verticalmente la esfera *M*, el plano *A D B* por la accion del choque cambiará, presentándose con la forma *A C B*; pero al recobrar este último su primitiva posicion *A D B*, lo hará desarrollándose una reaccion sobre la esfera *M*, en virtud de la cual la última se elevará con la direccion vertical que siguió en su descenso.

Fig. 36.



Si la esfera cayese sobre el plano oblícuamente (*fig.* 37), tendríamos que su fuerza en el momento del choque podria descomponerse, segun el paralelógramo de las fuerzas, en otras dos *B X* y *F X*. La fuerza *F X* se gastaria en cambiar la forma del plano *B D C*. Pero quedando existente la fuerza *B X*, y originándose por la reaccion del plano un impulso en la direccion *X F*, resultará que la esfera *A*, segun el paralelógramo de las fuerzas, tomará la direccion *X A'*; de lo cual se deduce que los cuerpos duros cuando chocan sobre planos elásticos, y viceversa cuando

Fig. 37.



siendo los planos duros los cuerpos que chocan son elásticos, se reflejan formando el ángulo *A X F*, igual á *A' X F*; al primero se le denomina *ángulo de incidencia*, al segundo *de reflexion*. Estos ángulos son iguales solo en el supuesto de la perfecta elasticidad de los cuerpos. Los choques excéntricos presentan problemas de muy difícil resolucion, que han sido objeto de tratados especiales cuyo estudio no puede formar parte de unos elementos de física.

CAPÍTULO III.

Hidrostática.

72. **Estado de liquidez en los cuerpos.**—Los cuerpos líquidos, segun hemos manifestado anteriormente, pueden considerarse como grupos de moléculas que poseen una fuerza de atraccion molecular igual á la de repulsion. Este carácter es exacto para el interior de las masas líquidas: pero en su superficie se han notado señales de ser la atraccion molecular un poco mayor que la fuerza de repulsion, como se observa con una aguja fina de coser, que flota sobre la superficie del agua con tal que no haya un solo punto de la misma aguja debajo de la superficie del líquido, en cuyo caso se sumerge toda ella. Esta observacion demuestra que las moléculas en el interior de una masa líquida se hallan en equilibrio, mientras que en la superficie la atraccion conserva un exceso sobre la fuerza repulsiva de las moléculas. Además, la forma esférica que presentan los líquidos en masas pequeñas, y fenómenos de la adherencia, pueden considerarse como pruebas del exceso de la atraccion molecular en aquellos.

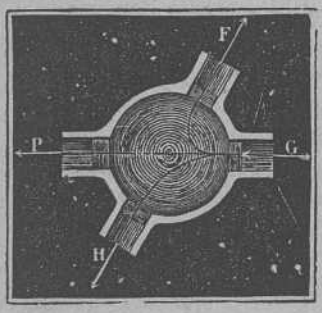
73. **Grados de liquidez.**—Los cuerpos líquidos toman la forma de los vasos que los contienen, nivelándose por su superficie libre. Considerada la liquidez como un estado de la materia, algunos admiten grados diferentes de liquidez en los cuerpos, de una manera semejante á los grados de dureza de los sólidos; así como en estos los grados de dureza se han establecido por la resistencia que presentan á dejarse rayar, en los líquidos se ha atendido, para establecer el grado de liquidez á la crasitud diferente y á la movilidad variable de sus moléculas. Si el agua posee el término medio de los grados de liquidez, el éter podria tomarse como el grado máximo, contemplando á las grasas como ejemplo de los grados menores que se aproximan sirviendo de intermedio entre

los cuerpos de solidez perfecta y los líquidos propiamente dichos; por esta razon algunos han denominado á muchas grasas *cuerpos semilíquidos.*

Los líquidos son graves; de consiguiente ejercen presiones sobre los cuerpos que se oponen á su caida. Entiéndese por *hidrostática* aquella parte de la mecánica que tiene por objeto el estudio de las condiciones del equilibrio en una masa líquida sobre la cual pueden obrar dos ó mas fuerzas, y los efectos de las presiones de los líquidos sobre el fondo y paredes de los vasos que los contienen.

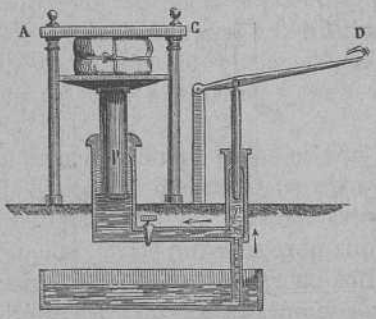
74. **Principio de la igualdad de presion.**—Los líquidos tienen la propiedad física de trasmitir en toda su masa con uniformidad, una fuerza ó presion cualquiera que obre sobre un punto de aquellos cuerpos. Este axioma físico se demuestra con un vaso esférico lleno de agua (*fig.* 38), y en cuyas paredes se colocan cuatro ó mas pistones. Esto supuesto, si se aplica un esfuerzo de 100 kilógramos sobre el piston *G*, la presion ejercida obrará sobre la primera capa del líquido encerrado en el vaso; esta trasmite la fuerza á las siguientes, llegando con igual grado de energía á los pistones *F*, *P*, *H*. Por esta observacion, repetida y modificada convenientemente, se han deducido las siguientes leyes del principio de la igualdad de presion; 1.ª, *que la fuerza de presion ejercida en un punto cualquiera de un cuerpo líquido, se trasmite en todas direcciones*; 2.ª, *que los efectos de la presion son iguales en todos los puntos de una masa líquida*; 3.ª, *que las presiones aplicadas á una masa líquida están en proporcion de las superficies.* Fundándose en estos principios se ha construido la *prensa hidráulica* (*fig.* 39), cuyo aparato consiste en un piston *P* encerrado dentro de una capacidad cilíndrica, y en un tubo *p P* lleno de agua. Los extremos del tubo, el uno corresponde á la capacidad cilíndrica dentro de la cual se halla el piston *P*, y el otro *p* á un espacio mucho menor lleno de agua, y sobre la cual se ejerce una presion enérgica por medio del piston *p* unido á la palanca *D*, sobre la que inmediatamente actúa la fuerza, cuya presion se trasmite, en virtud del principio de la igualdad de la presion, á lo largo de aquella columna líquida;

Fig. 38



pero como el diámetro del piston p, que es donde actúa inmediatamente la fuerza comprimente sobre el agua sea pequeño respecto de la superficie de la base del piston P, los efectos mecánicos de la presion serán proporcionales con la mayor superficie del último, y de consiguiente se podrán originar enormes fuerzas de presion entre el plano superior del piston P y el plano fijo $A\ C$. Por las razones anteriormente expuestas, suponiendo que la palanca D ejerciese una presion de 100 kilógramos sobre la columna de agua, tendríamos que si la superficie del piston P fuese 100 veces mayor que la del piston p, en este caso la presion del plano del piston P contra el plano fijo $A\ C$ seria de 10000 kilógramos.

Fig. 39.

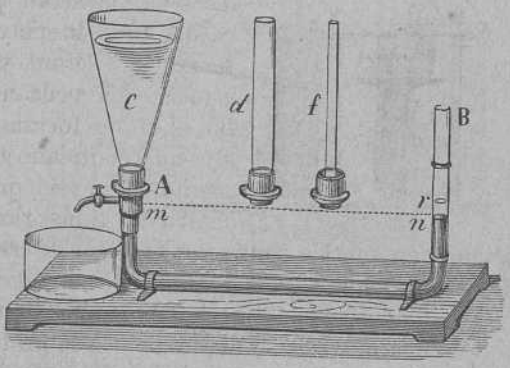


Condiciones del equilibrio en los líquidos.

75. **Equilibrio de los líquidos contenidos en un vaso.**—Dotadas las masas líquidas de la fuerza de gravedad que da orígen á su peso y á sus movimientos de descenso cuando salen de los vasos que las contienen, se comprende que son dos las condiciones del equilibrio en los cuerpos líquidos. La primera de estas condiciones es que la superficie libre de los líquidos forme ángulos rectos con la direccion de la gravedad. Esta condicion tambien puede expresarse diciendo, que las masas líquidas, para estar en equilibrio, se han de nivelar de modo que la atraccion terrestre obre uniformemente sobre las moléculas dispuestas en capas paralelas y á igual distancia del centro de la tierra. La segunda condicion del equilibrio se refiere al supuesto de que obren otras fuerzas además de la gravedad sobre las moléculas de un cuerpo en el estado de liquidez. En este último supuesto, resultará el equilibrio cuando las moléculas de las masas líquidas sufran en todos sentidos iguales presiones; pues poseyendo aquellas gran movilidad y hallándose en equilibrio inestable, el menor esfuerzo que obre sobre una molécula alterará la quietud en las demás y el equilibrio que se desea establecer en toda la masa.

76. Presion que ejercen los líquidos sobre el fondo de los vasos que los contienen.—La presion que las masas líquidas ejercen en el fondo de los vasos que las contienen, es independiente de la figura del mismo vaso.

Fig. 40.



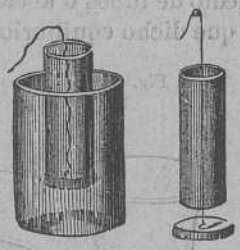
Para demostrar este hecho físico bastan algunas experiencias verificadas por medio del aparato de Haldat (*fig.* 40), el cual consiste en un tubo encorvado *A B*, á cuyo extremo *A* se pueden fijar los vasos *c*, *d*, *f*, de diferentes formas. Echando mercurio en el tubo encorvado hasta que llegue á la altura *m n*, y colocando en la extremidad *A* del tubo el vaso *c*, se llena este de agua hasta cierta altura, y el mercurio en el brazo *B* se elevará sobre la marca *n* hasta un punto *r*. Esta elevacion es debida á la presion que ejerce el agua en el extremo opuesto de la columna mercurial. Si se reemplaza el vaso *c* por cualquiera de los otros vasos de forma diferente *d* ó *f*, y se llenan recíprocamente de agua hasta la misma altura, en todos los experimentos el mercurio sube en la rama *B* hasta el mismo punto *r*. Pero como causas iguales producen en la naturaleza efectos iguales, tendremos que la presion del líquido encerrado en aquellos vasos de diferente forma, pero del mismo fondo y de igual altura, es siempre la misma, sea la que quiera la cantidad de agua contenida en ellos.

Comparando la figura de los vasos del aparato de Haldat y los resultados constantes de la presion obtenida, se puede formular la ley física de las presiones que ejercen los líquidos en el fondo de los vasos que los contienen, diciendo que *aquella fuerza es igual á la del peso de una columna cilíndrica del mismo líquido, de una base igual á la superficie de presion en el vaso propuesto, y de igual altura.*

77. Presion de los líquidos de abajo arriba.—Los líquidos ejercen presiones de abajo arriba: para demostrarlo, se toma un tubo de vidrio (*fig.* 41), cuya boca inferior se cierra perfectamente por un

disco de vidrio bien esmerilado; este disco, que recibe el nombre de *obturador*, queda sostenido por un cordon; pero si hallándose el obturador simplemente colocado en la boca inferior del tubo, se sumerge este en el agua, se observa que el disco de vidrio se conserva fijo á la boca del tubo, sin necesidad de ninguna fuerza que le sostenga. Si despues de esto se echa agua en el interior del tubo, el obturador caerá al fondo de la vasija que contiene el gua, desde el momento en que la presion de arriba abajo dentro del tubo sea igual á la que, ejerciéndose en sentido contrario, sostiene de abajo arriba al citado plano obturador.

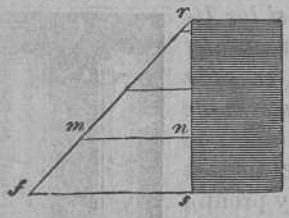
Fig. 41.



Por la experiencia anterior se demuestra tambien que la presion de abajo arriba se aumenta con la profundidad á que llega el obturador, necesitándose una columna líquida en el interior del tubo, proporcional para que, separado el disco, caiga hácia el fondo del agua.

78. **Presion lateral.**—La presion que los líquidos ejercen sobre las paredes laterales de los vasos que los contienen, sigue la misma ley que se ha demostrado experimentalmente para los fondos de aquellos. Así, pues, la presion de los líquidos en las paredes laterales es proporcional á su superficie y á la profundidad. Sea *r s* (*fig.* 42) la pared lateral de un vaso lleno de agua: como la presion que el líquido ejerce se aumenta con la profundidad, la podríamos representar por líneas horizontales que creciesen como los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc.; luego el triángulo *r s f* representaria la presion ejercida por el agua en relacion con la profundidad. Se ha denominado *centro de presion sobre las paredes laterales de los vasos*, el punto en que podríamos suponer aplicada la resultante de las presiones de cada una de las capas del líquido encerrado. Habiendo supuesto que el triángulo *r s f* representa las presiones ejercidas, el centro de esta fuerza se hallará en la línea *m n*, en que á la vez está el centro de gravedad de aquel triángulo. Luego siendo las paredes de los vasos superficiales planas, el centro de presion se encuentra en la línea vertical media de aquellas superfi-

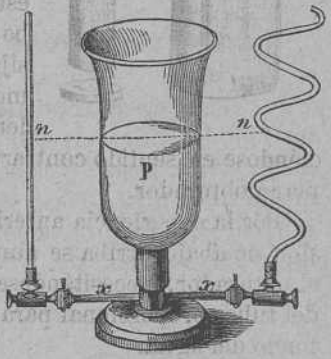
Fig. 42.



cies, y á un tercio de la profundidad del líquido contenido á contar desde el fondo.

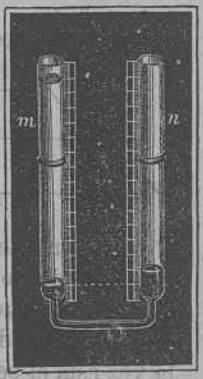
79. **Equilibrio de los líquidos en lo vasos comunicantes.**—Las condiciones del equilibrio de los líquidos contenidos en dos ó mas vasos cuyos fondos se comuniquen por medio de tubos ó aberturas, fácilmente se determinan recordando que dicho equilibrio no puede establecerse mientras la superficie de las masas líquidas no se presenta nivelada, y las moléculas igualmente oprimidas en todas direcciones. Estas dos condiciones físicas suponen que la masa líquida que llena el vaso *P* (*fig.* 43) y los tubos comunicantes *n* y *n* se presenta con el mismo nivel; porque si se supone una capa trasversal líquida en *x*, para que esta permanezca en equilibrio, y con ella toda la masa líquida, es necesario que el producto de multiplicar la extension de la superficie *x* por la altura del líquido en el depósito *P* sea igual al producto de *x* por la altura de *n x* de nivel en los tubos comunicantes; y como la superficie *x* es constante, las alturas de nivel en el caso de equilibrio serán iguales.

Fig. 43.



La experiencia ha enseñado, respecto de los líquidos contenidos en tubos comunicantes: 1.°, *que los líquidos, siendo homogéneos, presentan un mismo nivel en los vasos comunicantes*; 2.°, *que si los líquidos contenidos en los tubos comunicantes son heterogéneos, las alturas de nivel en cada uno de dichos tubos están en razon inversa de las densidades de los líquidos*. Conforme con la segunda condicion, si se pone en el tubo *m* (*fig.* 44) agua, que, como veremos muy pronto, pesa próximamente 14 veces menos que el mercurio, y en el brazo comunicante *n* este último metal, se halla, que si el agua en el tubo *m* llega á 14 pulgadas, el mercurio en el tubo *n* se eleva á 1 próximamente.

Fig. 44.



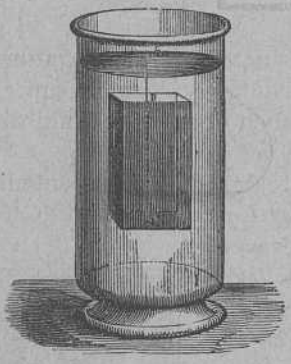
En las propiedades hidrostáticas de los líquidos en los tubos comunicantes se fundan las obras hidráulicas

que sirven en las poblaciones para distribuir las aguas de uno ó mas depósitos elevados á los surtidores y fuentes. Las referidas obras se denominan *cañerías*, las cuales consisten en una série de tubos comunicantes que se acomodan á la forma de las localidades, conduciendo el agua desde el depósito. Los pozos ordinarios, los pozos artesianos y los surtidores naturales están fundados en los mismos principios, por los cuales saltará el agua con tanta mas velocidad cuanto mayor sea la altura del depósito sobre la boca de los caños y surtidores.

Cuerpos sumergidos en los líquidos.

80. **Principio de Arquímedes.**—Cuando se sumerge un cuerpo en un líquido, sufre presion en todas direcciones: la que actúa de abajo arriba tiende á hacerle ascender; siendo fácil demostrar que la suma total de las presiones verticales de abajo á arriba es igual al peso de un volúmen del líquido igual al del cuerpo. Sea un prisma regular (*fig.* 45) el cuerpo sumergido en el agua: verificando el líquido presiones en todas direcciones, serán iguales y opuestas en las caras ó superficies laterales del prisma; de consiguiente aquellas fuerzas se destruirán recíprocamente; pero las presiones sobre las superficies superior é inferior del prisma pueden expresarse por el peso de columnas líquidas que tienen por base las caras D y C del prisma y cuyas alturas son $D\,h$ y $C\,h$; estas últimas presiones obran tambien en direcciones opuestas, y por lo tanto la resultante estará representada por su diferencia, que es igual al peso de una columna líquida de la misma base que la del prisma sumergido, y de una altura igual á $C\,h - D\,h$, ó sea la del prisma; luego *todo cuerpo sumergido en un líquido, pierde una parte de su tendencia á descender, igual al peso del volúmen líquido que desaloja.* Este principio que sirve de base á la teoría de los cuerpos sumergidos y de los cuerpos flotantes, se conoce bajo el nombre de *principio de Arquímedes*, por haber sido demostrado por este célebre geómetra.

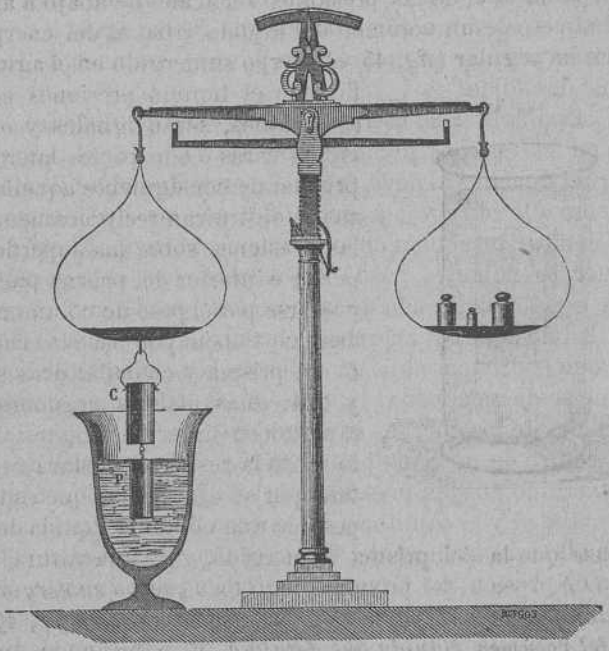
Fig. 45.



81. **Demostracion experimental del principio de Arquímedes.**—Para demostrar experimentalmente el principio de Arquímedes, se

toma una balanza (*fig.* 46), que sostiene suspendidos de uno de sus platillos dos cilindros *C* y *P*, de los cuales *C* es hueco, pero cuya capacidad es igual á la del cilindro macizo *P*. Establecido el equilibrio colocando pesos en el platillo opuesto de la balanza, se sumerge el cilindro *P* en un vaso que contenga agua, dentro de la cual pierde una parte de su peso, y por consecuencia el equilibrio en la balanza deja de existir. La pérdida de peso que ha experimentado el cuerpo sumergido, se halla fácilmente llenando de agua el cilindro hueco, y observando que una vez lleno este y continuando el cilindro macizo sumergido en el agua, el equilibrio se restablece y la balanza indica que aquella pérdida de peso fué igual á la de un volúmen líquido equivalente al del cuerpo cilíndrico sumergido.

Fig. 46.



82. **Cuerpos flotantes.**—Cuando los cuerpos sólidos se sumergen en los líquidos, se presentan diferentes hechos que se explican por el principio de Arquímedes: considerado el peso de aquellos como una fuerza que actúa en direccion contraria á la presion de

abajo á arriba, que es propia de las masas líquidas, las dos fuerzas referidas pueden ser iguales; mayor la del peso del cuerpo que se sumerge que la presion del líquido, y recíprocamente, mayor esta y menor la correspondiente al peso del cuerpo de que se trate. En el primer caso, los sólidos se sumergen en los líquidos; pero como su peso es igual al del volúmen del líquido que desalojan, se quedan indiferentemente en cualquier punto del interior del líquido donde se les coloque. En el segundo supuesto, siendo mayor el peso de los cuerpos sólidos que el del líquido que desalojan al sumergirse, descenderán con movimiento uniformemente acelerado por la accion de una fuerza igual á la diferencia entre su propio peso y el que corresponde al volúmen del líquido desalojado. En el tercer caso, ó cuando el peso de los cuerpos es menor que el líquido que desalojan, actuando sobre ellos con mas energía la fuerza de presion de abajo á arriba que ejerce el líquido, se presentan *flotantes*, y en el supuesto de que se hallen en el fondo de los vasos, se elevarán movidos por una fuerza igual á la diferencia que haya entre su propio peso y la del volúmen de los líquidos que desalojan.

83. **Equilibrio de los cuerpos flotantes.**—Las condiciones del equilibrio en los cuerpos flotantes son dos: 1.ª, que el peso de estos sea igual ó menor al de la fuerza de presion que los líquidos ejercen sobre ellos de abajo á arriba; 2.ª, que las dos fuerzas referidas y contrarias actúen en una misma vertical. El equilibrio de los cuerpos flotantes puede ser estable, inestable ó indiferente; cuyos estados dependen de la posicion que tengan el centro de gravedad de aquellos cuerpos y el centro de presion, ó sea el punto en que podríamos suponer aplicada la resultante de las presiones que se ejercen por el líquido en las diferentes partes de las superficies de los cuerpos sumergidos.

El centro de presion de un líquido y el de gravedad de un cuerpo sumergido pueden presentarse: 1.°, coincidiendo, en cuyo caso la estabilidad y el equilibrio del cuerpo flotante en la superficie del líquido será indiferente; 2.°, el centro de gravedad debajo del centro de presion, en cuyo supuesto el equilibrio en la flotacion será estable, y de consiguiente los cuerpos flotantes recobrarán siempre una misma posicion; 3.°, el centro de gravedad sobre el centro de presion, resultando la inestabilidad en el equilibrio de los cuerpos flotantes se podrá aumentar su estabilidad, haciendo descender el centro de gravedad relativamente á la posicion del centro de presion.

84. **Metacentro.**—Además del centro de presion, se considera

en la hidrostática de los cuerpos flotantes otro punto que tiene influencia notable sobre la estabilidad, que se ha denominado *metacentro*. Este es un punto ideal que se supone en el interior de los cuerpos, por el cual pasan siempre las verticales que corresponden al centro de presion ó centro de gravedad del agua desalojada por aquellos. El conocimiento del centro de presion y el metacentro es de suma importancia en el arreglo de la carga de los buques, porque de las posiciones de aquellos puntos depende la estabilidad de las naves.

Pesos específicos.—Areómetros.

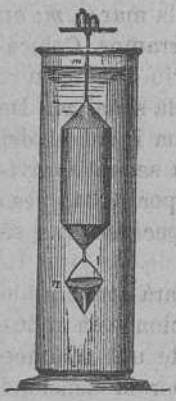
85. **Determinacion del peso específico de los cuerpos.**—La densidad de los cuerpos es la relacion que, segun llevamos expresado anteriormente (23), tienen entre sí el volúmen y la cantidad de materia contenidas en aquellos. Esta cantidad puede apreciarse por medio de las balanzas, y el volúmen por el principio de Arquímedes, con solo determinar la parte que pierden de su peso los cuerpos cuando se le sumerge en el agua; por aquel principio se obtiene el volúmen del mismo cuerpo expresado en centímetros cúbicos de agua, y comparando el peso del volúmen líquido desalojado con el peso del mismo volúmen lleno de la materia de que están formados los cuerpos, es evidente que hallaremos el número de veces que están contenidos dichos pesos el uno en el otro, y empleando el agua destilada á su máximum de densidad como término de comparacion, se obtendrá el *peso específico* de los cuerpos, que es el cuociente que resulta de dividir el peso de un cuerpo por el peso de un volúmen de agua igual al suyo.

86. **Peso específico de los sólidos.**—1.° Por la *balanza hidrostática*. Este aparato (*fig.* 46), sirve para la determinacion del peso específico de los cuerpos, porque se hallan por su medio el peso y el volúmen de los mismos. Si de uno de los platillos de esta balanza se suspende un cubo de plata, fácilmente se hallarán los gramos con los cuales se establece el equilibrio en la balanza. Supongamos que sean 10: una vez hallada esta cantidad, el cubo de plata, que continuará suspendido del platillo de la balanza, se sumerge en agua destilada, notándose en este caso que no hay equilibrio hasta que se separa 1 gramo, quedando 9 en el platillo de las pesas; luego la pérdida de peso del cubo sumergido será de 1 gramo, y segun el principio de Arquímedes, este peso es el que corresponde á 1 volúmen de agua igual al del cubo que suponemos de plata; luego el volúmen de este último será de 1 cen-

tímetro cúbico, porque 1 centímetro cúbico de agua pura á 4° de temperatura pesa 1 gramo; siendo iguales el volúmen cúbico de plata y el de agua desalojada, y pesando un gramo esta y 10 aquel, se deducirá la consecuencia de que la plata en igualdad de volúmenes con el agua pesa 10 veces mas.

2.° Por el *areómetro de Nicholson*.—El areómetro de Nicholson (*fig.* 47) es un aparato destinado, como la balanza hidrostática, para determinar el peso específico de los cuerpos sólidos. Consiste en un cilindro hueco y cerrado por sus extremos, de vidrio ó de metal, que se sumerge en agua, y para que se sostenga vertical lleva en su parte inferior una pequeña capacidad *n*, esférica ó cónica, lastrada con plomo ó mercurio, á la vez que sirve para sostener los cuerpos sumergidos cuyo peso específico se desea determinar. De la parte superior del cilindro sale un vástago con una marca en *m*, el cual se termina en un platillo donde pueden cómodamente colocarse los cuerpos cuyo peso se trata de conocer. Con este aparato se puede determinar el peso específico de un cuerpo con la misma exactitud que se haria con la balanza, poniendo en el platillo superior unidades conocidas, por ejemplo, gramos, decígramos, centígramos ó miligramos, hasta que se sumerja el aparato y la marca *m* del vástago coincida con la superficie de nivel del agua, lo cual se llama *enrasar*. Conseguido esto, se quitan las pesas y se reemplazan en su lugar con el cuerpo cuyo peso se desea conocer, añadiendo de las pesas sustraidas todas las que fueren necesarias para enrasar una segunda vez la marca *m*.

Fig. 47.



Hecho lo anteriormente indicado, tendremos la primera pesada en gramos y fracciones de gramo, igual á la segunda, que estará expresada por el peso propio del cuerpo, mas las unidades que fué necesario dejar para el enrase. Es evidente que por la diferencia entre las unidades de la primera pesada y las que quedaron en el platillo para el segundo enrase, se obtendrá el peso del cuerpo en el aire. Para hallar el peso específico con el areómetro, todavía falta la segunda operacion, que consiste en pesar de nuevo el cuerpo sumergido en el agua. Esta tercera pesada se verifica trasladando el cuerpo del platillo superior al inferior del areómetro, dejando las pesas que en aquel existen, y contando el número y valor de las pesas que es preciso añadir en el platillo su-

perior para enrasar por tercera vez la marca *m* del aparato. Estas unidades adicionales equivalen al peso que ha perdido el cuerpo por su inmersion en el agua. Dividiendo por estas el peso del cuerpo en el aire hallado anteriormente, el cuociente será el peso específico del cuerpo que se trataba de averiguar.

Por ejemplo, si se desea conocer la gravedad específica de un diamante, se colocará este cuerpo, con las unidades de peso necesarias, en el platillo superior del areómetro hasta enrasar la marca *m*. Supongamos que retirado el diamante es necesario añadir 1,2 gramos para conseguir de nuevo el enrase de la marca *m*; en este caso el peso del diamante en el aire será 1,2 gramos. Colocado el diamante en el platillo inferior, será necesario añadir en el superior 0,34 con el objeto de enrasar tercera vez la señal *m*. De aquí se deduce que el peso de un volúmen de agua igual al del diamante será de 0,34; y su gravedad específica se halla dividiendo el peso del diamante en el aire, 1,2, por 0,34, peso del volúmen de agua desalojado=3,54, peso específico que se busca.

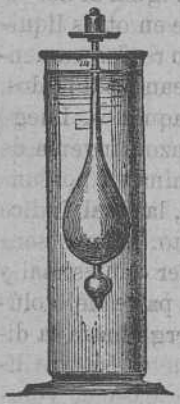
Si el cuerpo fuese soluble en el agua, se empleará otro líquido que no ejerza accion sensible sobre él, y la operacion está reducida á dividir el peso del cuerpo por el peso de un volúmen igual del líquido empleado, y multiplicar esto por la densidad del mismo líquido, lo cual nos dará la densidad del cuerpo con relacion al agua.

87. **Peso específico de los líquidos.**—1.° Por la *balanza hidrostática*. La balanza hidrostática puede servir tambien para determinar el peso específico de los líquidos, para lo cual se suspende de uno de los platillos un cuerpo que se sumerge sucesivamente en el agua destilada y en el líquido propuesto, anotando las pérdidas de peso que experimenta en ambos líquidos, cuyas pérdidas expresan los pesos de un mismo volúmen de los dos líquidos. Dividiendo el peso del líquido por el del agua, queda determinado el peso específico de aquel.

2.° Por el *areómetro de Fahrenheit*. Hemos visto que cuando se sumerge el gravímetro de Nicholson en un líquido hasta enrasar la señal *m*, desaloja siempre un volúmen de este igual, por esto dicho aparato podria servir para la determinacion del peso específico de los líquidos. Sin embargo, para hallar el peso específico de los líquidos, generalmente se emplea el primitivo areómetro de *volúmen constante*, construido por Fahrenheit (*fig.* 48), el cual se diferencia del de Nicholson en que no tiene el platillo inferior dispuesto para recibir los cuerpos sólidos, y en que todo

él es de cristal, para poderle sumergir en los ácidos. Para determinar la densidad específica de los líquidos con este aparato, es necesario saber primeramente su peso: supongámosle igual á p unidades, y que sumergido en el agua pura hay necesidad de colocar en el platillo superior un número a de pesas, con el cual se consigue el enrase de la marca m; en estos dos supuestos, $p+a$ será el peso del volúmen del agua que desaloja el areómetro cuando se sumerge en dicho líquido. Tomando este peso por unidad de comparacion, es fácil hallar por medio de la division el peso específico de cualquiera otro líquido. Si el instrumento pesa 70 gramos, y para el enrase cuando está sumergido en agua es necesario colocar en el platillo 20 gramos, mientras que bastan 1,37 gramos para conseguir el mismo enrase en el espíritu de vino (alcohol), se hallará el peso específico de este último líquido dividiendo

Fig. 48.



$$\frac{\text{70 gr., peso del areómetro + 1 gr., 37 pesas aumentadas para el alcohol}}{\text{70 gr., peso del areómetro + 20 gr., pesas aumentadas para el agua}} = 0{,}793,$$

peso específico del alcohol.

La exactitud de la determinacion de los pesos específicos por medio de los areómetros de volúmen constante, depende en mucha parte de que los aparatos se conserven verticales cuando se hallan sumergidos, y de la relacion que entre sí guarden el diámetro del cuerpo del areómetro y el correspondiente al vástago superior donde está trazada la marca; siendo tanto mas sensible el aparato cuanto mas fino es el vástago.

Fig. 49.

88. **Areómetros de volúmen variable.**—Los areómetros de *volúmen variable* reciben nombres diferentes con relacion al uso para que se destinan, como *pesa-licores*, *pesa-mostos*, *pesa-sales*, *pesa-jarabes*, *pesa-ácidos*, etc. Todos ellos están fundados en el principio de que, supuestos los pesos de los cuerpos en el aire constantes, la pesantez específica está en razon inversa de los volúmenes. El aparato (*fig.* 49) representa un areómetro de volúmen variable, y por la inspeccion de la figura se reconoce hallarse formado de un tubo delgado de vidrio, con dos esferas de la misma materia, la primera llena de aire, la segunda é inferior

lastrada con perdigones ó mercurio, para que cuando el aparato esté sumergido tome la posicion vertical.

El peso del areómetro flotante en el agua, será igual al del volúmen desalojado; si posteriormente se le sumerge en otros líquidos mas ó menos densos que el agua, el areómetro recíprocamente se sumergirá tanto mas cuanto menos densos sean los líquidos, y tanto menos en el caso de mayor densidad de aquellos. Luego el volúmen sumergido del areómetro estará en razon inversa de las densidades de los líquidos, que podrán determinarse por una escala colocada dentro del vástago del areómetro, la cual indica el volúmen respectivamente sumergido del aparato. La mas sencilla de estas escalas es la de Gay-Lussac, por ser centesimal y cada una de sus divisiones igual á la centésima parte del volúmen sumergido. Si el aparato en el agua se sumerge hasta la division 100, y suponemos posteriormente al areómetro en otro líquido cualquiera enrasando la marca 80, en este caso el volúmen desalojado del segundo líquido será 20 centésimas menor del volúmen del areómetro; pero como las densidades de los líquidos están en razon inversa de los volúmenes, podríamos establecer la proporcion siguiente: 80 (volúmen del líquido cuya densidad se busca): 100 (volúmen del agua) : : 1 (peso específico del agua) : x (peso específico desconocido). En general, con el areómetro de Gay-Lussac, que algunos conocen con la denominacion de *volúmetro*, se halla el peso específico de los diferentes cuerpos líquidos, dividiendo el número 100 por el número que corresponde á la division de la escala hasta donde se sumerja aquel aparato.

* 89. **Areómetro universal.**—En los tubos de los areómetros, cuando se usan para determinar el grado de concentracion de ciertos líquidos, se graban algunas veces escalas centesimales invertidas, en cuyo caso el aparato tiene dos lastres, de los cuales uno está fijo y el otro se puede separar cuanto sea necesario. Los dos lastres sumergen el aparato en el agua hasta el grado 100 de la escala que sirve para los líquidos mas densos que ella. Con un solo lastre la inmersion se verifica, pero hasta el 100 de la segunda escala, ó que sirve para los líquidos menos densos que el agua pura. Este areómetro con dos lastres ha recibido el nombre de *areómetro universal*.

Los areómetros centesimal y universal construidos segun los cálculos de Gay-Lussac, son mas ventajosos que los antiguos areómetros, pues por estos no se puede conocer exactamente la proporcion de los líquidos mezclados; de consiguiente, pueden

considerarse científicamente los antiguos aparatos como simples ensayadores, sin mas exactitud que algunas aproximaciones, resultado de la comparacion. Sin embargo, generalizados todavía en la práctica los areómetros de Beaumé, conviene indicar algo sobre la construccion de estos instrumentos. El referido físico construyó areómetros para líquidos de mayor y menor densidad que el agua, dando á los primeros el nombre de *pesa-ácidos* y *pesa-sales*, y á los segundos el de *pesa-licores*. Para graduar los primeros se toman dos puntos para la escala, á saber: la marca del agua destilada, en cuyo líquido hacia sumergir el areómetro hasta la extremidad superior del vástago, colocando en este punto el cero del instrumento y la marca de flotacion de una mezcla formada de 85 partes de agua y 15 de sal comun, señalando el grado 15 en la referida marca, y dividió en 15 partes el espacio comprendido entre los dos puntos, prolongando despues las divisiones hasta la bola. Para graduar los *pesa-licores*, primeramente se sumerge el instrumento en una disolucion formada de 90 partes de agua y 10 de sal comun y se coloca el cero en el punto de enrase; sumergiéndole despues en el agua destilada, se marcan 10 en el punto en que la superficie del líquido toca el vástago, y se divide en 10 partes iguales el intervalo comprendido entre los dos puntos, prolongando las divisiones hasta la parte superior del vástago. Cartier, en el areómetro (pesa-licores) de su nombre, adoptó la misma marcha que Beaumé, dividiendo en 15 partes el espacio que Beaumé habia dividido en 16.

CAPÍTULO IV.

Hidrodinámica.

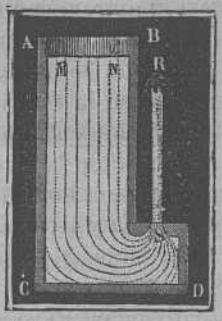
90. **Objeto de la hidrodinámica.**—El estudio del movimiento que adquieren los líquidos al salir de los vasos que los contienen, es el objeto de la *hidrodinámica*. La salida de los líquidos de los depósitos ó vasos puede verificarse por solo la fuerza de presion que ejercen contínuamente contra los obstáculos que les impiden caer, ó por esta presion unida á otra fuerza mecánica.

91. **Ley de Torricelli.**—Cuando los líquidos salen de los vasos que los contienen por solo la presion que ejercen en el orificio de salida, la velocidad que adquieren es proporcional á la profundidad de la masa líquida encerrada en el vaso, constituyendo la re-

lacion entre dichos fenómenos la siguiente ley física, denominada de Torricelli: *La velocidad que adquiere un líquido cuando sale por una abertura practicada en las paredes del vaso, es igual á la que adquiriria un cuerpo cayendo libremente en el vacío, en virtud de la gravedad, desde la superficie de nivel del líquido hasta la abertura de salida.*

Se demuestra experimentalmente la ley de Torricelli, tomando un vaso *A B C D* (*fig.* 50), y practicando en *S* una abertura. Si el vaso está lleno de agua hasta *M N*, y el nivel del líquido se conserva invariable, se observa que por la ley de los tubos comunicantes el agua salta por la abertura *S* y se eleva hasta el punto *R*, altura casi igual á la del nivel *M N* determinando la velocidad de la primera capa de agua que salta de la abertura *S* por el nivel á que llega: y como un cuerpo que se eleva contra la gravedad recobra en su caida la misma velocidad que tiene al principiar su movimiento ascendente (55), se deduce que la primera capa líquida, y posteriormente la segunda, tercera y siguientes, saldrán por *S* con una velocidad igual á la que adquiririan las moléculas líquidas cayendo desde la altura *R*; siendo esta altura aproximadamente la del nivel del líquido contenido en el depósito sobre la abertura de salida. La columna líquida *S R* se comprende que llegaria exactamente á la altura del nivel *M N* si el aire no opusiera resistencia, que gasta una parte de la fuerza de ascension del agua, y si se pudieran anular los efectos del rozamiento que destruyen tambien una parte de la misma fuerza.

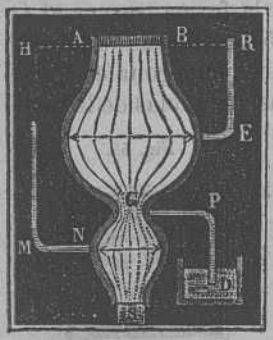
Fig. 50.



92. **Presion hidráulica.**—Se distinguen dos presiones ejercidas por las masas líquidas contra las paredes de los vasos que las contienen. A la una se llama *presion hidrostática*, ó de los líquidos en estado de reposo, y á la otra *presion hidráulica*, ó sea la que ejercen los mismos cuerpos en movimiento; esta segunda presion siempre es menor que la primera. Para demostrarlo se toma un vaso (*fig.* 51) provisto de tres tubos comunicantes *E M P*, del cual sale el agua por el fondo *S*. Al salir el agua por dicho fondo, se observa que este líquido se eleva en el tubo *E* hasta el nivel del líquido en el depósito comun, mientras que en el tubo *M* se eleva menos, y en el tubo *P*, que se halla unido al depósito por el punto *G*, que corresponde á la velocidad máxima de la columna central del líquido, en vez de descender el líquido se verifica

una succion hidráulica fácil de observar coloreando préviamente el líquido que se halla en el depósito *D*. Esta succion indica que la presion hidrostática en el punto *G* se ha disminuido hasta ser negativa, y de aquí resulta que los fenómenos aparecen invertidos. La succion hidráulica sirve para explicar el principio de la *trompa hidráulica*, que antiguamente servia, y aun en la actualidad sirve, en algunos puntos, de fuelle para activar la combustion.

Fig. 51.



93. **Contraccion de la vena líquida.**—Se llama *contraccion de la vena líquida* la reduccion del diámetro del cilindro líquido á corta distancia de la abertura de la salida. Para reconocer la causa de la contraccion anteriormente citada, vasta echar en el vaso de vidrio *A B C D* (*fig.* 52) agua que contenga cuerpos ligeros en suspension, como raspaduras de cera, de ámbar ú otras sustancias poco pesadas: estas partículas, cuando el agua principia á salir por la abertura *S*, se mueven primero verticalmente y despues convergiendo hácia el punto de salida. En el caso de que la abertura *S* sea circular y esté practicada en las paredes delgadas de un vaso, la convergencia en los movimientos de las moléculas líquidas disminuye el diámetro de la vena líquida.

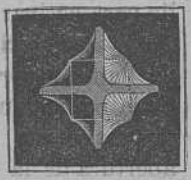
Fig. 52.

La contraccion de la vena líquida impide el que los líquidos llenen completamente las aberturas de salida, y disminuye el *gasto* ó cantidad del líquido que ha de salir de los depósitos en un tiempo dado; por esta razon se han buscado cuidadosamente las relaciones de los diámetros de las aberturas con el de la vena en el punto de su mayor contraccion, resultando números que se conocen con el nombre de *coeficientes del gasto*, ó de salida de los líquidos de los vasos que los contienen. La contraccion de las venas depende en parte del diámetro de los orificios y en parte tambien de la profundidad en que estén abiertos, ó sea de su distancia al nivel de los líquidos.

* 94. **Forma de las venas líquidas.**—Si el agua sale de un vaso por una abertura triangular, cuadrangular ó pentagonal practicada en paredes delgadas se observan diferentes fenómenos: el primero

y mas notable es el de que, cortada trasversalmente la vena líquida, aparece cambiada de forma y como retorcida sobre sí misma, hasta corresponder el hilo de agua que salió por los vértices de los ángulos á la mitad del lado de la abertura triangular, como en la *figura* 53. En los orificios cuadrados la forma trasversal de la vena líquida se convierte en la *figura* 54, resultando estrellada la seccion de la vena que sale por orificios pentagonales (*figura* 55). Todas estas secciones varían con las distancias de la aber-

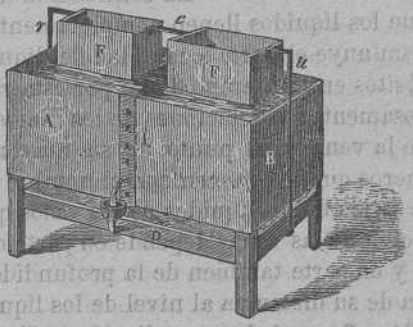
Fig. 53. Fig. 54. Fig. 55.



tura; observándose que á una corta distancia de aquella las venas líquidas se contraen, posteriormente las dimensiones de sus diámetros aumentan, y vuelven á disminuir continuando alternativamente hasta dividirse en hilos y gotas líquidas, despues de haber recorrido en el espacio un camino mas ó menos largo.

*95. **Salida constante de un líquido.**—En muchas ocasiones es necesario que la velocidad de salida de un líquido contenido en un depósito sea constante, para lo cual es necesario que la altura del líquido sobre el orificio permanezca invariable. Esto se puede conseguir haciendo llegar al vaso ó depósito una cantidad del líquido igual á la que se derrama, ó por el flotador de Prony. Este aparato es el mas generalmente usado.

Fig. 56.



El flotador de Prony se compone de una caja *A B* (*fig.* 56), que contiene el agua ó líquido cuya salida se quiere regularizar: en la caja se introducen dos flotadores *F F*, unidos por la varilla de hierro *c*, que sostiene un depósito *D* por medio de dos varillas *r u*. Una de las caras de la caja lleva una placa de la-

ton *L*, con varios orificios de diferentes formas y diámetros. Un embudo *e* colocado debajo del orificio elegido para la salida, recibe el líquido y le dirige al depósito *D*. El peso del líquido que recoge el depósito hace que el peso de este, y por consiguiente el del flotador, se aumente; y por la ley de equilibrio de los cuerpos flotantes, el flotador se sumergirá una cantidad igual al volúmen del agua derramada: de donde resulta, que en la caja *A B* el nivel del líquido permanece constante en todo el tiempo que dura el experimento, y por consiguiente la velocidad de salida.

96. **Tubos adicionales.**—Cuando los líquidos salen por tubos aplicados á los orificios practicados en los depósitos que los contienen, á los cuales se les da el nombre de *tubos adicionales*, se modifica de un modo muy notable la velocidad de salida. Si el tubo es cilíndrico, no excediendo su longitud de cuatro veces su diámetro, el gasto ó la cantidad de líquido derramada en un tiempo dado es mayor de la que saldria por un orificio sin el tubo, y de igual diámetro al de este, suponiendo que el líquido moje el tubo: si el líquido no moja el tubo, no resulta ninguna modificacion en la velocidad. La experiencia ha enseñado que el gasto de un líquido es menor cuando este sale por tubos cilíndricos é inclinados al horizonte, constituyendo una vena líquida ascendente en un punto de su camino.

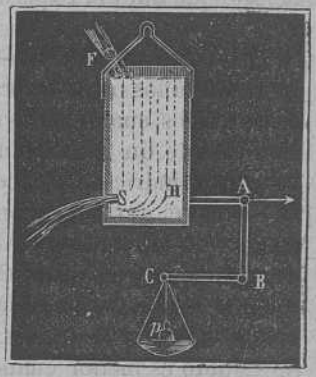
Los tubos adicionales pueden ser de forma cónica, y estar aplicados sobre el orificio de dos maneras diferentes; apoyando su base menor al orificio, en cuyo caso el gasto se aumenta, y hasta puede llegar á ser doble del que tendria lugar saliendo solamente el líquido por el orificio, como sucede cuando el ángulo que entre sí forman las generatrices del cono es muy pequeño. Si la base mayor del tubo adicional se apoya en el orificio de salida, en este caso se disminuye el gasto respecto del que seria si solo saliera el líquido por el orificio.

97. **Salida de los líquidos por tubos largos.**—Cuando los líquidos se mueven por tubos largos, que pueden ser cilíndricos ó prismáticos, el rozamiento y la adherencia de los líquidos con las paredes del tubo de conduccion y el grado de liquidez de aquellos cuerpos, disminuyen en parte la velocidad del líquido, y por consecuencia la cantidad de gasto originado por esta clase de tubos. La experiencia ha enseñado que las pérdidas de la velocidad por friccion son proporcionales á la longitud y al diámetro de los tubos, aumentándose cuanto mayor es su longitud y disminuyéndose en razon de su diámetro. Además, los efectos retardatrices

del rozamiento se aumentan como los cuadrados de las velocidades de los líquidos.

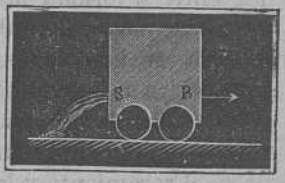
* 98. **Fuerza motriz del agua.**—El agua, considerada como un agente dinámico ó productor de movimiento, se la conoce bajo la denominacion de *agua motriz*; y sus efectos para aquel objeto los produce por la presion, y por el choque, si corriendo á lo largo de tubos ó canales encuentra en su camino un obstáculo que puede moverse. En el segundo caso, los tubos son convenientes cuando la cantidad de agua motriz es pequeña; por el contrario, los canales presentan ventajas en el supuesto de que se disponga de grandes cantidades de aquel líquido.

Fig. 57.



Además de la presion y el choque del agua, que dan origen al movimiento, segun llevamos expuesto, este líquido puede convertirse por reaccion en una fuerza motriz de grandes aplicaciones industriales. Para demostrar experimentalmente la existencia y el valor dinámico de la *reaccion de los líquidos*, contra las paredes de los vasos cuando salen libremente de ellos por un punto cualquiera, podemos servirnos del aparato de Peter Edwar, que consiste en un vaso *F S H* (*fig.* 57), que recibe agua por *F*, y saliendo por la abertura *S*, la reaccion del agua contra la pared opuesta *H*, obrando sobre el extremo *A* de una palanca angular que gira sobre el punto de apoyo *B*, elevará ó sostendrá el peso que se halla en el extremo *C* de la palanca. En el supuesto de que el vaso estuviese sostenido por ruedas, como se ve en la *figura* 58, el esfuerzo *H A* podria mover todo el aparato en la direccion *S R*; y se hace salir el agua de un vaso que pueda moverse fácilmente, por dos tubos doblados en ángulos rectos, la reaccion del agua en estos hará que el aparato gire en direccion contraria á la de la salida, como se nota en la *turbina hidráulica*.

Fig. 58.



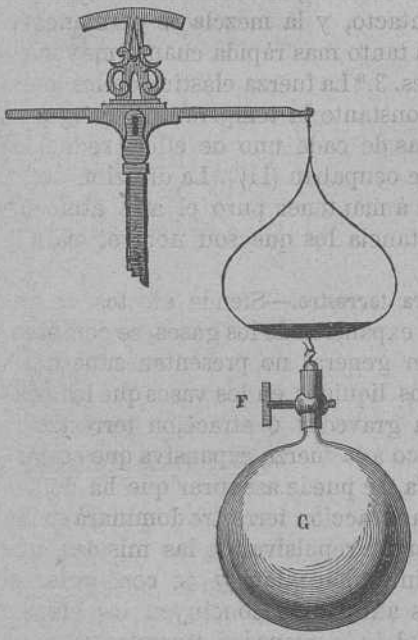
CAPÍTULO V.

Peso y elasticidad del aire.—Presion atmosférica.—Barómetros.

99. **Peso del aire.**—Las moléculas y las masas de los cuerpos gaseosos están sujetas á las fuerzas generales que llevamos estudiadas en los sólidos y líquidos. Por lo tanto, la gravedad que corresponde á las masas gaseosas les da una tendencia á moverse hácia el centro de la tierra, cuando no hay obstáculos que se lo impiden; y en el caso de que los haya, los gases verifican presiones que son por necesidad proporcionales á la masa, ó sea al número de moléculas existentes en los espacios comensurables.

Hace mucho tiempo se sospechó que el aire era pesado; pero directamente, el peso de este cuerpo gaseoso no se ha demostrado sino con mucha posterioridad. El experimento directo para demostrar y determinar el peso de un volúmen de aire cualquiera, consiste en suspender del brazo de una balanza un globo de vidrio (*fig.* 59), de 1 litro de capacidad, armado con una llave de metal, y de cuyo interior se ha extraido el aire por medio de la máquina neumática, que muy pronto se describirá. Estableciendo el equilibrio en la balanza con pesos conocidos, se abre la llave del globo, y el aire penetra; observándose que, conforme se llena el globo de aire, el equilibrio en la balanza desaparece, restableciéndose cuando se aumenta próximamente 1 gramo á los pesos que equilibraban con anterioridad al globo vacío. Con esta experiencia se ha hallado que si la capacidad del globo

Fig. 59.



es de 1 litro, el volúmen del aire que le llena pesa 1 gramo; pero como un litro de agua pesa 1000 gramos, se halla que este líquido es próximamente 1000 veces mas pesado que el aire. Por un procedimiento semejante, y llenando el globo anterior con otros gases, se podria determinar el peso relativo que les corresponde.

100. **Fuerza expansiva de los gases.**—Los gases, del mismo modo que los líquidos, son perfectamente elásticos, porque siempre recobran su volúmen primitivo en cuanto cesa de actuar la fuerza comprimente, entendiéndose por *fuerza expansiva* de dichos cuerpos la propiedad que poseen de llenar cada vez mayores espacios, siempre que desaparezcan las paredes de los vasos que los contienen, ú otros cuerpos que con su presencia é impenetrabilidad contraresten á la fuerza repulsiva intermolecular de las masas gaseosas. La fuerza expansiva de los gases es causa de que su *difusion* ó mezcla espontánea se verifique con gran rapidez.

De los experimentos verificados sobre la difusion de los gases se han deducido las tres consecuencias siguientes: 1.ª Los gases que no ejercen accion química entre sí, se mezclan con igualdad en cuanto se les pone en contacto, y la mezcla es permanente. 2.ª La mezcla de dos gases es tanto mas rápida cuanto mayor sea la diferencia de sus densidades. 3.ª La fuerza elástica de los gases mezclados, permaneciendo constante la temperatura, es igual á la suma de las fuerzas elásticas de cada uno de ellos, reducidos al volúmen que primeramente ocupaban (110). La difusion de los gases contribuye eficazmente á mantener puro el aire atmosférico, dispersando á gran distancia los que son nocivos para la salud.

101. **Límites de la atmósfera terrestre.**—Siendo efectos de una misma fuerza la difusion y la expansion de los gases, se comprenderá que las masas flúidas en general no presentan superficies libres niveladas como la de los líquidos en los vasos que los contienen. Sin embargo, como la gravedad ó atraccion terrestre es contraria en el aire atmosférico á la fuerza expansiva que corresponde á esta gran masa flúida, se puede asegurar que ha de llegar un momento en el cual la atraccion terrestre dominará en las moléculas del aire á la tendencia repulsiva de las mismas, que se debilita con la distancia intermolecular; y de consiguiente, que la atmósfera tiene límites allí donde concluyen los efectos expansivos, y donde, en virtud de la gravedad terrestre, el aire, con probabilidad, presenta una superficie esferoidal y semejante á la de la tierra.

102. **Presion atmosférica.**—Todas las consideraciones que se estudiaron al tratar del equilibrio de los cuerpos líquidos corresponden tambien á las masas flúidas, siendo su estudio el objeto

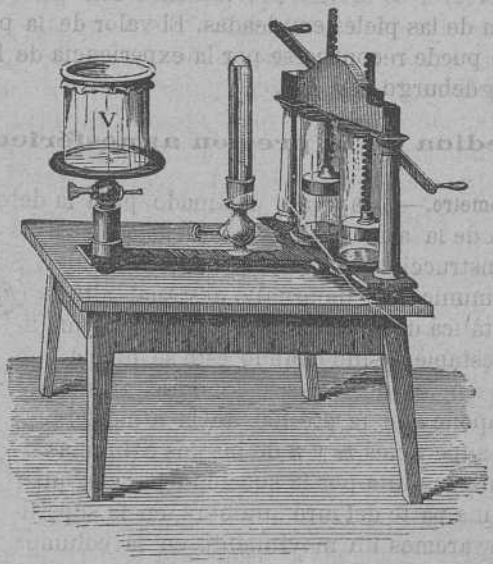


Fig. 60.

principal de la estática de los gases. Para demostrar experimentalmente que el aire atmosférico, que es el gas que mas interesa conocer, verifica presiones de arriba abajo semejantes á las que se demostraron anteriormente en el interior de los líquidos, se toma un vaso *V* (*fig.* 60), de dos bocas, y se cierra la superior con un trozo de vejiga desecada, bien extendida y fuertemente atada á los bordes del vaso. Extrayendo el aire del interior del vaso *V* por medio de la máquina neumática, la presion en el interior de aquel se disminuye; pero como la del aire exterior es constante, se producirá la flexion de la vejiga, resultando que cambia su forma de plana en cóncava; concavidad que no se origina sin extenderse la vejiga perdiendo su espesor, pues la hemos supuesto sujeta á los bordes del vaso; resultando de aquí que podrá romperse rasgándose con un ruido violento: algunos físicos, al aparato descrito

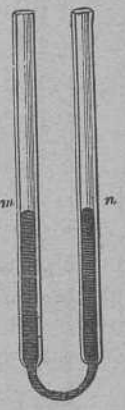
Fig. 61.

le denominan *rompevejigas*. La flexion y la rotura de las pieles con el aparato anterior, no solo dan á conocer la existencia de la presion que ejerce el aire atmosférico de arriba abajo, sino tambien el valor aproximado y mecánico de la causa que produce aquellos efectos, si se tuviese préviamente conocido el valor de la resistencia de las pieles empleadas. El valor de la presion del aire tambien puede reconocerse por la experiencia de los hemisferios de Magdeburgo (*fig.* 61).

Medida de la presion atmosférica.

103. **Barómetro.**—El aparato destinado para la determinacion de la presion de la atmósfera es el *barómetro*, cuyos principios físicos de construccion son fáciles de comprender. Supongamos dos tubos comunicantes de igual ó desigual altura (*fig.* 62). Por la ley hidrostática de aquellos, el equilibrio de un líquido no se establece sino cuando este se nivela con igual altura en los dos brazos comunicantes. Este equilibrio supone que la presion de la atmósfera es igual en las superficies *m* y *n* de las dos columnas líquidas; pero si se quita por la succion ó por cualquier otro medio una parte del aire que obre en la superficie *m*, observaremos un movimiento en la columna líquida de los tubos comunicantes, por la misma causa que dió orígen á la flexion en el rompevejigas. El líquido se deprime en el brazo comunicante *n*, sobre el cual obra la atmósfera con todo su peso, mientras se eleva en el brazo *m*, por haberse disminuido en él la presion del aire. Sin embargo, el equilibrio se restablece en la columna líquida con su cambio de altura. Si continuamos disminuyendo la cantidad de aire, sobre la columna *m*, los dos platillos de la balanza de la presion atmosférica, que los suponemos en la superficie de nivel de uno y otro tubo comunicante, continuarán diferenciándose mas y mas, hasta llegar á un límite, que será cuando haya desaparecido completamente el aire en el tubo *m*, y con él los efectos de su peso, fuerza elástica, poder difusivo y expansivo, que obraban mecánicamente sobre las superficies de nivel *m*.

Fig. 62.

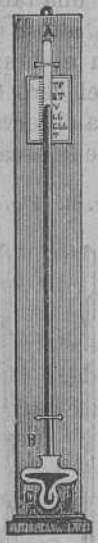


Los antiguos, observando la elevacion de los líquidos en los tubos comunicantes cuando extraian el aire de uno de ellos, aseguraban que este efecto era una consecuencia del *horror* que la naturaleza tenia al vacío, pero Galileo dijo: «Si el horror es ab-

soluto, el agua deberá elevarse en los espacios que no tienen aire, ó perfectamente vacíos, indefinidamente,» lo cual no es exacto, pues aquel físico halló que el agua se elevaba en las capacidades vacías de las bombas, pero solo hasta una altura de 32 piés, de donde nunca pasaba.

Antes de Galileo, la elevacion de los líquidos en tubos comunicantes cuando se extraia el aire de uno de ellos, se explicó conforme á los principios anteriores; pero Torricelli, discípulo de Galileo, fundándose en los estudios de este y en la ley estática, de que dos columnas líquidas se equilibran en los tubos comunicantes, cuando sus alturas están en razon inversa de las densidades de los líquidos, construyó el primer barómetro, ó sea la primera balanza para pesar el aire atmosférico; pues si, segun Galileo, una columna de aire que llegase á los límites de la atmósfera y que estuviese encerrada en el brazo de un tubo comunicante, quedaria en equilibrio poniendo en el brazo opuesto una columna de agua de 32 piés de altura, segun Torricelli, dicha columna quedaria tambien en equilibrio por una columna de mercurio de 76 centímetros de altura, por ser este líquido próximamente 14 veces mas denso que el agua y de consiguiente bastaria una columna de longitud 14 veces menor para obtener con el mercurio el equilibrio referido.

Fig. 63.



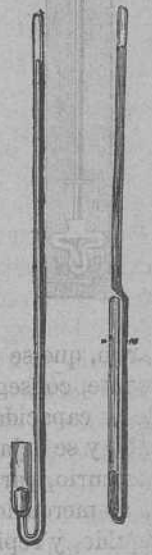
104. **Construccion del barómetro.**—*Barómetro de cubeta.* El barómetro se ha construido con formas diferentes, pero las dos mas principales son el de *cubeta* (*fig.* 63) y el de *sifon*. Para construir el barómetro de cubeta se toma un tubo de vidrio *A B*, recto, cerrado por un extremo, cuyo diámetro sea de 4 á 10 milímetros, y de unos 85 centímetros de largo, que se calienta en toda su longitud para desecarle interiormente; conseguido esto, se llena de mercurio puro hasta un tercio de su capacidad, haciendo hervir el mercurio en el interior del tubo y se deja enfriar antes de añadir otra tercera parte mas de mercurio, para evitar la rotura del tubo. Hervida la segunda parte de mercurio, se añade en definitiva el último tercio del metal líquido, y repitiendo la misma operacion, queda perfectamente lleno el tubo.

Lleno el tubo barométrico, se cierra con el dedo la extremidad abierta, se invierte, y se sumerge verticalmente en el mercurio

puro contenido en un depósito *C*, el cual recibe el nombre de *cubeta*: retirado el dedo, una parte del mercurio contenido en el tubo cae á la cubeta, quedando suspendida una columna de aquel líquido, que, como se ha dicho, mide la presion de la atmósfera en el sitio donde se construye el aparato, fijándole despues en la tabla que tiene la escala del mismo, en el caso de no hallarse marcada sobre el tubo del barómetro. A la parte superior del tubo que queda vacía de mercurio, se llama *cámara barométrica* ó *vacío de Torricelli*.

105. **Barómetro de sifon.**—El barómetro de sifon consiste en un tubo encorvado en su parte inferior (*fig.* 64): el brazo ó rama mas corta es de un diámetro ancho, y la otra tiene próximamente 85 centímetros de largo, es estrecha y está cerrada por su extremidad superior. Todo el aparato se fija sólidamente en una tabla sobre la cual se halla la escala que sirve para medir la altura de la columna barométrica desde el nivel del líquido en el brazo corto del sifon, en cuya superficie de nivel se supone el cero de la escala. Cuando estos barómetros no se destinan para observaciones muy exactas, se fijan tan solo sobre una parte de la escala que corresponde á la parte superior del tubo cerrado. El barómetro de sifon puede construirse para observaciones exactas; pero en este caso conviene que el diámetro de la rama corta sea excesivamente mayor que el diámetro de la columna barométrica, conservándose por este medio invariable el cero de la escala, pues un descenso ó una elevacion en el nivel superior del barómetro influirá muy poco en aquella línea de partida. Tambien puede conseguirse el mismo resultado sin aumentar el diámetro del brazo corto del sifon, pero entonces la presion se mide por la diferencia de la altura del mercurio en ambas ramas.

Fig. 64. Fig. 65.

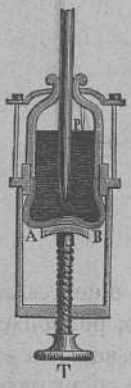


106. **Barómetros portátiles.**—El barómetro de sifon y el de cubeta se han modificado con el fin de hacerlos portátiles. Para que el barómetro de sifon sea portátil, Gay-Lussac ideó hacer las ramas del sifon de igual diámetro (*fig.* 65), unidas por otra de menor diámetro *m*, dejando en la rama mas corta una abertura capilar *n*, por la cual puede pasar libremente el aire sin que se salga el mercurio. La rama inferior, como representa la figura, no se halla enteramente sobre la prolongacion de la superior; se separa un

poco hácia el lado *m*, para que suspendido el aparato, su centro de gravedad caiga en el eje de la rama mayor. Para trasportar este barómetro se le inclina hasta que el mercurio llene todo el tubo y despues se invierte. Una observacion verificada con el barómetro de Gay-Lussac exige siempre dos lecturas numéricas, porque lleva dos escalas que corresponden á las ramas superior é inferior del sifon, y la suma de aquellos números será la altura barométrica observada, pues el cero de la escala varía de lugar en la rama mas corta.

El barómetro de cubeta puede construirse portátil: primero, con la cubeta de madera dura ú hoja de hierro; segundo, con la cubeta cerrada, pero construida con una parte de vidrio para observar el nivel interior del mercurio en ella, y fijar el cero de la escala barométrica; y tercero, con cubetas de fondo doble. En los barómetros portátiles de las dos primeras variedades, el fondo de la cubeta está formado con una piel *A B* (*fig.* 66), firmemente sujeta, consiguiéndose por la presion de un tornillo *T* disminuir ó aumentar la capacidad interior de la cubeta, y contando con la extensibilidad propia de aquella piel, se disminuye la capacidad de la cubeta para que se llene esta de mercurio, y además el tubo barométrico hasta media pulgada de la extremidad superior, en cuyo momento el barómetro se invierte sin riesgo y queda portátil. Para conseguir que el mercurio del tubo pase á dicho depósito, se aumenta la capacidad de la cubeta hasta que se descubra una punta fija de marfil *P* en el interior de aquella, que corresponde al cero de la escala barométrica; en este estado el barómetro, se halla dispuesto para las observaciones. En los barómetros cuyas cubetas tienen doble fondo, basta un movimiento de giro para cerrar ó abrir el espacio que entre sí dejan las paredes concéntricas, quedando recíprocamente el aparato en estado portátil cuando el mercurio que ocupa el doble fondo pasa á llenar el tubo, y en estado de observacion en el caso contrario.

Fig. 66.

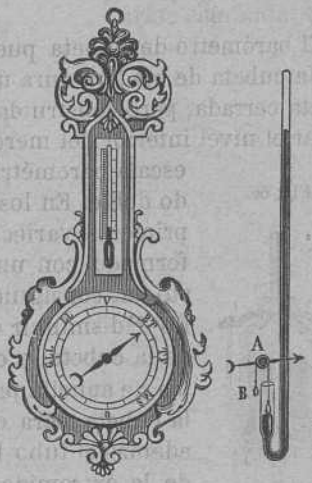


107. **Barómetro de cuadrante.**—En este aparato (*fig.* 67), las observaciones de la columna de un barómetro de sifon se verifican sobre planos circulares semejantes á los cuadrantes de los relojes, y en los cuales las horas están reemplazadas por divisiones que se refieren á la pulgada ó al centímetro; además, sobre la circunferencia de la esfera del barómetro de cuadrante, los cons-

tructores añaden las indicaciones de *tiempo fijo*, *buen tiempo*, *variable*, *lluvia* y *tempestuoso*, que se refieren á la aplicacion del barómetro para conocer los cambios atmosféricos en los lugares donde se halle el instrumento.

* El barómetro de cuadrante para señalar las alturas, tiene un mecanismo que consiste en una polea *A* y una aguja indicadora; por el carril de la primera pasa un cordon que sostiene en un extremo un peso *B*, mientras que en el otro lleva un flotador que se sumerge ligeramente en el mercurio de la rama corta del sifon. Este se halla colocado detrás de la tabla del cuadrante, mientras la aguja indicadora citada se presenta sobre el plano circular que tiene grabada la escala. Si la columna de mercurio desciende en la rama corta del barómetro, el flotador bajará haciendo girar la polea, y por consecuencia la aguja indicadora se moverá hácia la derecha ó hácia la izquierda cuando la variacion barométrica consiste en una elevacion ó depresion del mercurio en la rama mas corta del mismo aparato; por consecuencia, las variaciones del barómetro quedan expresadas en el cuadrante por los arcos de circunferencia que recorre su aguja ó índice.

Fig. 67.



108. **Barómetro metálico de Bourdon.**—Cuando las observaciones barométricas no exigen gran exactitud, presentan una notable ventaja por su sencillez y fácil manejo los barómetros metálicos construidos por Bourdon, los cuales están fundados en el principio de que un tubo doblado en espiral, y de paredes flexibles, se abre ó desdobla cuando se aumenta la presion interior contra las paredes del tubo referido, y viceversa, se dobla y se cerrará mas su espiral cuando, permaneciendo constante la presion interior, se aumenta la exterior contra las paredes elásticas del aparato.

Conforme con el principio citado, el barómetro de Bourdon se compone de un tubo de laton de paredes muy delgadas y flexibles, herméticamente cerrado, doblado, y fijo por su parte media

(*fig.* 68). Además, el interior del tubo está vacío; por consecuencia, si la presion atmosférica que actúa en el exterior sobre las paredes del tubo barométrico se disminuye, aquel se desdoblará; pero este último cambio de forma supone un movimiento en los extremos *a* y *b* del tubo, que se comunica á una aguja indicadora por medio de dos alambres *c* y *b*, que unen dichos extremos á una parte de rueda dentada, cuyos dientes engranan en los de un piñon con el cual gira el eje de la aguja. Si la presion atmosférica se aumenta, el tubo se dobla mas y hace que la aguja del barómetro marche de izquierda á derecha sobre la escala circular del aparato, indicándose por este medio los cambios recíprocos de la presion atmosférica ó del peso del aire.

Fig. 68.

109. **Aplicaciones del barómetro.**— Una de las principales aplicaciones del barómetro es para medir las alturas de las montañas sobre el nivel de los mares, ó la profundidad de los pozos de las minas bajo aquel nivel. Esta aplicacion del barómetro presenta alguna exactitud, porque suponiendo por un momento que el aire estuviese dotado de todas las propiedades del agua, con solo tener conocido el valor de la presion hallaríamos la profundidad que se busca. Las relaciones de la presion, y la profundidad podrian escribirse en tablas numéricas á dos columnas, la primera que contuviese las presiones, y la segunda las profundidades correspondientes.

En el nivel del mar, la altura barométrica es de 760 milímetros: elevando el aparato, la presion va disminuyendo; pero esta disminucion queda expresada en el barómetro con un descenso que es igual á 1 milímetro para una capa de aire inmediata á la superficie de la tierra de $11^m,0$ de espesor, que deje de oprimir sobre el mercurio de la cubeta. De aquí se deduce que el peso de un milímetro de mercurio en el barómetro equilibra al que corresponde á una columna de aire de $11^m,0$ de altura aproximadamente.

Con este dato numérico podríamos fácilmente calcular la altura sobre el nivel del mar de Madrid ó de cualquier otro punto de

la tierra, procediendo en el cálculo aritmético del modo siguiente:

Altura barométrica á la orilla del mar.....	760 milímetros.
Altura barométrica de Madrid.....	700 idem.
Diferencia.....	60
Factor.....	11,0
Altura aproximada de Madrid sobre el nivel del mar....	660 metros.
Altura de Madrid, calculada por las tablas barométricas mas exactas.....	653 idem.
Diferencia.....	7 metros.

Otra de las aplicaciones del barómetro es relativa á las épocas de lluvia y de tiempo claro ó de mucha sequedad; de esta aplicacion nos ocuparemos en las nociones de la meteorología.

CAPÍTULO VI.

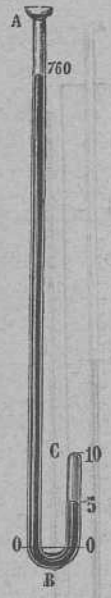
Medida de la fuerza elástica de los gases.

110. **Ley de Mariotte.**—Se ha demostrado experimentalmente que el aire atmosférico es elástico, que posee fuerza expansiva, y conforme con los demás cuerpos puede comprimirse, si bien su grado de compresion, y el de los gases en general, es mucho mayor que el de los cuerpos sólidos. Mariotte se propuso estudiar las relaciones que entre sí guardaban la densidad del aire con su elasticidad y con el espacio ocupado por aquel cuerpo, llegando á la siguiente ley, conocida con el nombre de *ley de Mariotte: la densidad y la elasticidad del aire están en razon directa, pero los espacios que los gases ocupan están en razon inversa de las presiones que sufren.*

Para demostrar experimentalmente esta ley, se hace uso de un tubo encorvado en forma de sifon, *A B C* (*fig.* 69), cuya rama mas corta *B C* está cerrada herméticamente: á este tubo se le conoce con el nombre de *tubo de Mariotte*. Para hacer el experimento, se echa por la extremidad abierta del tubo una cantidad de mercurio, suficiente para llenar hasta la marca 0 0 del aparato, y se habrá conseguido tener una cantidad de aire atmosférico con su densidad propia en el brazo corto del sifon, y que equilibrará desde luego á toda la presion de la atmósfera, ó lo que es igual, á la presion de una columna de 76 centímetros de mercurio. Aho-

ra, si se añade una cantidad de mercurio en la rama *A B* del tubo, se nota que el mercurio se eleva en el brazo corto, y que el aire contenido en él se reduce de volúmen. La diferencia entre los niveles del mercurio en los brazos del sifon representa la presion ejercida sobre el aire encerrado. Por ejemplo: si el mercurio en la rama *A B* fuese de 76 centímetros, la presion que ejerceria el mercurio seria igual á la de 1 atmósfera, y de consiguiente el aire en 0 *C* estaria comprimido por la fuerza de 2 atmósferas. Recíprocamente el volúmen del aire se ha reducido á la mitad, y formando proporcion, tendríamos: 1 (presion primitiva) : 2 presion producida por 76 centímetros de mercurio) : : $\frac{1}{2}$ (volúmen del aire comprimido) : 1 (volúmen primitivo del mismo aire); por cuyo medio queda demostrada la ley de Mariotte, que puede comprobarse además combinando de modos diferentes las alturas de la columna de mercurio que comprime, y determinando exactamente los volúmenes ocupados por el aire comprimido en la rama *B C*.

Fig. 69.



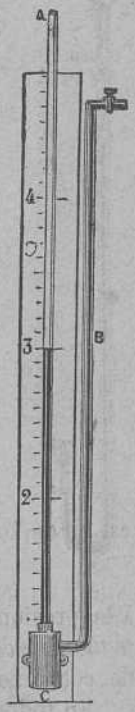
111. **Manómetros.**—Para medir la fuerza expansiva de los gases y de los vapores, cuando esta es superior á la presion atmosférica, se emplean los aparatos denominados *manómetros*. Los mas principalmente usados son: el manómetro de columna de mercurio, el de aire comprimido y el metálico.

En todos los manómetros, la unidad de medida es la presion de la atmósfera al nivel del mar (100), por consiguiente cuando se dice que un gas posee una tension de dos atmósferas, se expresa que dicha tension equivale al peso de una columna de mercurio cuya altura es dos veces $0^{m},76$.

112. **Manómetro de columna de mercurio.**—Las indicaciones de este manómetro están fundadas en la altura diferente que presenta el mercurio en los tubos comunicantes (*fig.* 70), puesto en relacion el brazo *B* del tubo comunicante *A B* con el depósito de los vapores. La diferencia de 76 centímetros de mercurio en el tubo *A* sobre el nivel del mismo mercurio en el tubo *B*, supone una tension del vapor igual á 1 atmósfera; y representada aquella fuerza por centímetros cúbicos de mercurio, equivale á un esfuerzo de $1^{kg.},033$, verificado sobre una superficie cuadrada de un centímetro de lado. Conviene que el tubo *A* sea de un diámetro estrecho; y para que el cero de la escala se conserve próxi-

mamente invariable, se construye con una capacidad esférica ó cilíndrica *C*, con el objeto de que el mercurio encerrado en este depósito pase por la presion ejercida al brazo *A* sin descender el nivel sensiblemente en dicha capacidad.

Fig. 70.



Para construir la escala de este manómetro, se pone en comunicacion con el aire el brazo B, y el nivel que en este caso tenga el mercurio en la cubeta se marca 1 atmósfera, despues á partir de este número se marcan las cifras 2, 3, 4, 5, 6 por cada 76 centímetros de mercurio que se vaya elevando este líquido en la rama A del tubo, cuyos números indican igual número de atmósferas; los intervalos de 1 á 2, de 2 á 3, etc. Se dividen en 10 partes iguales, que representan décimas de atmósfera.

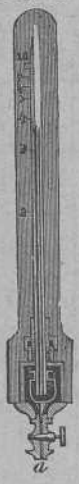
113. **Manómetro de aire comprimido.**—Los manómetros anteriores presentan en la práctica inconvenientes, atendida la longitud de sus escalas; para evitarlos, y cuando la tension que se ha de medir es grande, se construyen los manómetros de aire comprimido, que tambien se conocen bajo la denominacion de *barómetro de vapor*. Su construccion es semejante á la del barómetro de cubeta, consistiendo en un tubo recto, cerrado herméticamente por un extremo, y sumergido por el otro en el mercurio de un depósito cilíndrico de hierro, cuyas paredes son resistentes (*fig.* 71). Este depósito ó cubeta del manómetro se pone en relacion por la abertura *a* con la capacidad dentro de la cual existe el vapor cuya presion y fuerza elástica se desea conocer. Esta se aprecia por la reduccion del volúmen del aire encerrado en el tubo cuando penetra el mercurio, y por la escala sobre la cual se halla fijo el tubo manométrico.

La escala de este manómetro se refiere al peso de la atmósfera, considerada como la unidad que generalmente se tiene adoptada para expresar las bajas y altas presiones de los vapores, entendiendo por vapores con baja presion, aquellos que no presentan una fuerza mucho mayor que la de 1 atmósfera; y por el contrario, llamando vapores con alta presion cuando la fuerza de tension sobrepasa con mucho á la de la unidad de comparacion.

Como en el manómetro de aire comprimido el volúmen del gas se disminuye en razon inversa de las presiones, tendremos

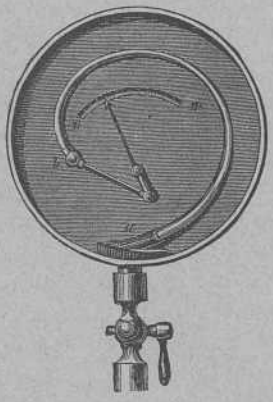
que cuando el tubo está lleno de aire, la presion que determina será la de 1 atmósfera; al reducirse á la mitad de su volúmen el aire contenido en el manómetro por la elevacion del mercurio, la fuerza de tension será de 2 atmósferas; y sucesivamente, con una reduccion de volúmen á la mitad del anterior la tension será de 3 atmósferas. Aumentando la presion, las dimensiones manométricas se irán disminuyendo como los números $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{16}$, lo cual da lugar á que muy pronto la escala de los manómetros de aire comprimido sea defectuosa por la pequeñez de las unidades trazadas. Á los manómetros de aire comprimido se les da tambien la forma de un barómetro de sifon.

Fig. 71.



114. **Manómetro de Bourdon.**—Bourdon ha construido un manómetro (*fig.* 72), fundado en el mismo principio físico de su barómetro (108). El tubo metálico *a b*, doblado en espiral, se halla en relacion por su extremo *a* con el depósito de los vapores, llevando además en el extremo *b* una aguja que se mueve sobre el arco graduado *m n*; al desdoblarse el tubo *a b* por el aumento de la presion que ejerce interiormente el vapor, el índice ó aguja recorre arcos de circunferencia proporcionales con el desarrollo de la espiral, y en relacion con la presion que ejerce el vapor.

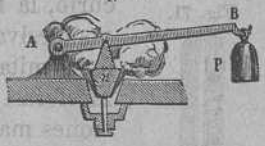
Fig. 72.



Desbordes ha construido últimamente un manómetro metálico, en el que está reemplazado el tubo metálico del de Bourdon por una lámina de acero muy elástica, fija por sus dos extremidades, la que por sus movimientos de flexion, verificados por la presion que sobre su centro ejerce un piston que está en comunicacion con el depósito del vapor, mueve otra lámina metálica que se apoya ligeramente sobre ella, la cual trasmite su movimiento y hace girar á la aguja indicadora. Las escalas de estos manómetros se forman por comparacion.

115. **Válvulas de seguridad.**—Se mide frecuentemente la fuerza expansiva de los vapores por medio de las *válvulas de seguridad*, las cuales consisten en un cono truncado de metal que se adapta exactamente á un orificio, tambien de forma cónica (*fig.* 73), practicado en el depósito donde se halla contenido ó se forma el vapor. Sobre dicho cono truncado se apoya la palanca *A B*, que sostiene en su extremo *B* un peso *P*.

Fig. 73.



Cuando el vapor dentro del vaso que le contiene adquiere una fuerza expansiva mayor que la que ejerce la palanca y el peso *P*, la válvula se eleva y deja escapar el vapor. Supongamos que el peso *P* ejerce una presion sobre la válvula de 14 kilógramos por centímetro cuadrado: la presion del vapor será de 15 kilógramos en el momento de levantarse la válvula sobre la cual obra la fuerza del peso *P* y la presion atmosférica, que es próximamente de un kilógramo por centímetro cuadrado. Muchas veces la palanca y los pesos de las válvulas de seguridad están reemplazados por la fuerza comprimente de muelles en espiral, ó en otra forma conveniente.

CAPÍTULO VII.

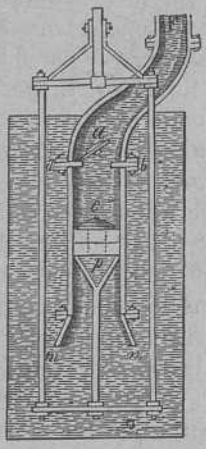
Aparatos fundados en la presion atmosférica.

116. **Bombas.**—Demostrada ya la presion atmosférica, se han construido, fundándose en ella, los aparatos conocidos bajo el nombre de *bombas*, destinados á la elevacion de los líquidos. Tres son las variedades de bombas que se describen generalmente en las obras de física: la *impelente*, la *aspirante*, y la *aspirante impelente*; las dos últimas fundadas en la presion atmosférica. La primera, en muchos tratados de física no deja de ser una bomba aspirante algun tanto modificada; pero en realidad, el nombre de impelente que se da á esta bomba, nos indica que no ha de jugar para nada el vacío ni la presion atmosférica, evitando de este modo una confusion fácil de comprender.

117. **Bomba impelente.**—La bomba impelente (*fig.* 74) consiste en un cilindro ó cuerpo de bomba *d b n m*, sumergido en el depósito del agua que se ha de elevar. Este cilindro se comunica por una válvula *a* con un tubo *F*, por el cual el agua marchará á la altura que se desee. En el interior del cuerpo de bomba se mueve un piston *p*, que tiene una válvula *c* aplicada sobre un

orificio central que le atraviesa, la cual se abre hácia el interior del tubo *F*. El piston *p* se mueve de arriba abajo por medio de una armadura de hierro, tal como se halla trazada en la figura; está perforado, y tiene una válvula en *c*.

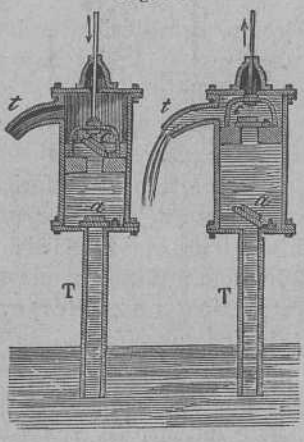
Fig. 74.



Cuando el piston desciende, la presion del agua abre la válvula *c*, llenando el cuerpo de bomba en el espacio comprendido entre las dos válvulas. Elevando el piston, la presion del agua obra sobre la válvula *a*, la cual deja pasar el líquido al tubo *F*, de donde no puede volver al depósito. La válvula *a* es evidente que se halla destinada para impedir el efecto de la presion de la columna líquida encerrada en el tubo *F* sobre la válvula *c*; en cambio, esta última impide vuelva el agua del cuerpo de bomba al depósito. Como en este aparato no juega mas que el impulso del piston y la presion del agua, se le denomina *bomba impelente*.

118. **Bomba aspirante.**—Este aparato (*fig.* 75) consiste en un cuerpo de bomba con un piston y un tubo de aspiracion *T*, por el cual se establece la comunicacion entre el cuerpo de bomba y el depósito del agua. Además existen dos válvulas *a* y *c*, la una en el punto de union del cilindro con el tubo de aspiracion, y la otra en el centro del piston. Estas dos válvulas se abren de abajo arriba.

Fig. 75.



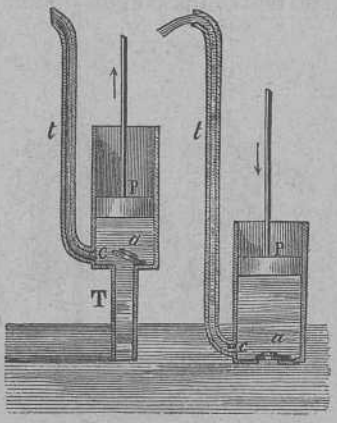
Cuando el piston se eleva, suponiéndole en la parte inferior del cuerpo de bomba, el aire contenido en el interior del tubo de aspiracion *T* se enrarece, y el agua del depósito se eleva á lo largo de dicho tubo por la preponderancia de la presion atmosférica exterior. Aquel líquido en su camino levanta la válvula *a*, pasando debajo del piston: cuando este desciende, el agua y el aire que han llegado al cuerpo de bomba no pueden volver al depósito; y de consi-

guiente, comprimidos por el piston, se abrirá la válvula *c*, pasando á la parte superior del mismo, y por el juego continuado de este, el agua ascenderá progresivamente. En un principio los movimientos de ascenso y descenso del piston no dan por resultado que el agua se eleve hasta la parte superior, porque primeramente sale todo el aire que existe en el tubo de aspiracion; pero despues de algunos golpes de piston, las válvulas se abren por el impulso mismo del agua, y una cantidad del líquido pasa por la válvula *c*, que sale por el tubo *t* de conduccion.

Aun en el supuesto de que el piston en su descenso tocase en el fondo del cuerpo de bomba, al elevarse nunca se produciria un vacío perfecto, y de consiguiente la longitud del tubo de aspiracion *T* debe ser menor de 32 piés; y si la válvula *c* se halla á esta altura del agua del depósito, no podria elevarse el líquido sobre dicha válvula. En general, la válvula *c* no se pone en Madrid á una altura mayor de 22 piés, suponiendo que la longitud del cuerpo de bomba sea de 2 piés y que llegue al depósito la misma cantidad de agua que se eleva por el tubo de aspiracion.

119. **Bomba aspirante é impelente.**—Este aparato se diferencia de la bomba aspirante en no tener válvula el piston *P* (*fig.* 76), y de aquí resulta que en su movimiento de descenso impele al agua que pasó al cuerpo de bomba y la hace marchar por el tubo lateral *t*. La bomba impelente tiene la desventaja de no ser contínua en sus efectos; así es que proporciona el agua con intermitencia. Para evitar este inconveniente, se agrega á esta bomba un depósito, herméticamente cerrado y lleno de aire, que se comprime por la llegada del agua al interior del depósito. Con esto se consigue una nueva fuerza, que aumenta los efectos de la bomba aspirante impelente, y si la abertura de salida es proporcionada, se origina un surtidor continuado con el agua que llena los depósitos del aire comprimido, sin embargo de reponerse en ellos el agua con la intermitencia de los movimientos del piston.

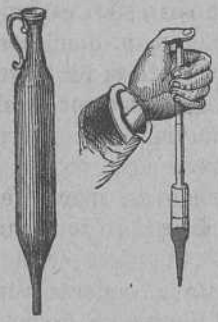
Fig. 76.



120. **Bomba de incendios.**—Cuando se combinan dos bombas aspirantes impelentes de tal modo que obran alternativamente, y

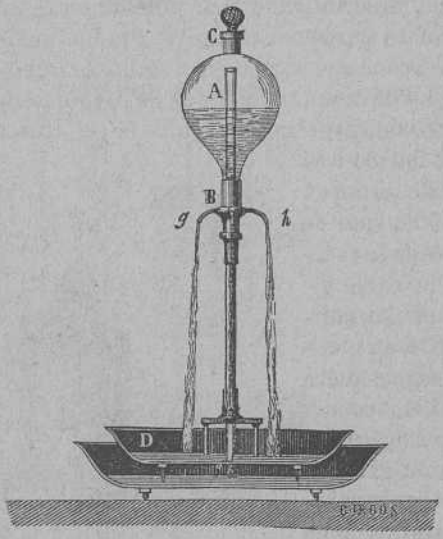
las dos hacen pasar el agua á un depósito de aire comprimido, resulta la bomba conocida bajo la denominacion de *bomba de incendios*.

Fig. 77. Fig. 78.



121. **Pipeta.**—Si se llena de agua un vaso de vidrio, y sobre el borde de la boca se coloca un papel, cuando se invierte el vaso, el agua no cae, á causa de la presion del aire atmosférico que obra sobre la superficie del papel; pero si en vez de un vaso de boca ancha tomamos uno de dos bocas estrechas (*fig.* 77) y le sumergimos en un depósito de agua, se llenará de este líquido, y cerrando con el dedo ó por cualquier otro medio la boca superior, se podrá sacar el vaso del depósito sin derramarse el agua. En esto están fundados los aparatos conocidos con el nombre de *pipetas* ó *cata-licores* (*fig.* 78), cuya segunda denominacion es conocida de la generalidad por el uso á que están destinados aquellos aparatos.

Fig. 79.

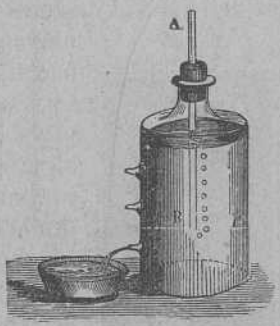


122. **Fuente intermitente.**—Este aparato fué inventado por Kircher, el cual le dió el nombre de *fuente mágica*: consiste en un globo de vidrio *A* (*fig.* 79), con una abertura en *C*, cerrada por un tapon esmerilado, y el fondo *B* está formado por un plano de metal que presenta tres ó cuatro aberturas, las cuales, haciendo girar el globo sobre el pié de la fuente, se corresponden con los tubos de salida. Por el centro del plano metálico que forma el fondo del globo de vidrio pasa el tubo *A B*, abierto por sus extremidades, y llega hasta cerca de la abertura *o*, cuyo diámetro es menor que la suma de los diámetros de los orificios de los tu-

bos de salida. Si se echa agua en el globo hasta llenar las dos terceras partes de su capacidad, y despues de bien cerrado se hace girar aquel de modo que las pequeñas aberturas de su fondo correspondan con los tubos *g* y *h*, el agua correrá por estos, cayendo en el vaso metálico *D*, que sirve de pié á la fuente, donde se elevará muy pronto el nivel, hasta cerrar la abertura *o* del tubo, dejando de correr el agua por los tubos *g* y *h*. En este estado, si el agua sale del vaso metálico *D*, penetra muy pronto el aire por la abertura *o*, y el curso del agua reaparece para volver á desaparecer algun tiempo despues, constituyendo así una série de intermitencias en la salida del líquido, por lo cual se ha dado á este aparato el nombre que lleva.

*123. **Frasco llamado de Mariotte.**—Este aparato, conocido en España en el siglo XIII, y que en la actualidad tiene poca aplicacion, está fundado en el mismo principio físico que la fuente intermitente, diferenciándose de ella en que la salida del líquido que en él se establece puede ser constante. Consiste en un frasco comun de vidrio (*fig.* 80), por cuyo tapon de corcho penetra un tubo *A B*, estrecho, y abierto por sus extremidades. Si en un punto de la pared del frasco, tal como en *o*, se hace una pequeña abertura lateral, el líquido corre, descendiendo rápidamente en el interior del tubo. La velocidad de salida se disminuye gradualmente hasta que la columna de agua encerrada en el tubo *A B* desciende y llega á la extremidad de dicho tubo, desde cuyo momento la salida del líquido es uniforme, penetrando el aire en el frasco por la extremidad *B* del tubo con la misma regularidad que sale el agua por la abertura *o*; regularidad que se conserva hasta que, descendiendo el líquido en el frasco, queda la extremidad del tubo fuera del agua. La salida del agua por la abertura *o* es constante, mientras la presion atmosférica que actúa en el interior del frasco por el tubo *A B* sobre la capa *c d* del líquido sea igual á la presion exterior que ejerce la atmósfera sobre la abertura *o*; y la velocidad de salida se puede aumentar ó disminuir á voluntad, elevando ó descendiendo el tubo; si permaneciendo este fijo, se abren orificios á diferentes alturas sobre la extremidad *B* del tubo, solo saldrá el líquido contenido en él hasta quedarse en el interior á la misma altura del

Fig. 80.



orificio, porque en este momento se equilibra la presion atmosférica que se ejerce en el interior por el tubo *A B*, y la misma presion exterior que actúa en la abertura *o* de salida.

Muchas de las lámparas que tienen los depósitos de aceite, de alcohol ó de otro líquido combustible mas altos que las mechas, son modificaciones de este frasco.

124. **Sifon.**—El *sifon* (*fig.* 81), segun algunos, fué inventado por Reiselius el año 1690; pero se le conocia ya en España cuatrocientos años antes con el nombre de *bebedor del agua*; consiste en un tubo encorvado *a b c*, de brazos ó ramas desiguales. Si se sumerge la rama mas corta en el depósito de un líquido cuando el tubo esté préviamente lleno de aquel, el líquido corre por la boca de la rama mas larga, continuando hasta que el nivel en el depósito descienda lo suficiente para dejar descubierta la extremidad del sifon. Este aparato se emplea para trasladar un líquido de un vaso á otro depósito, ó sea para trasvasar los líquidos. La explicacion física del sifon es sumamente fácil; supongamos una columna de agua en la rama del sifon desde el punto *b* hasta la superficie de nivel en el depósito, y otra desde el mismo punto *b* hasta *m*; las dos columnas, por su tendencia á descender, si cayesen á la vez, por la diferencia de longitud que entre ellas existe, se formaria en el punto *b*

Fig. 81.

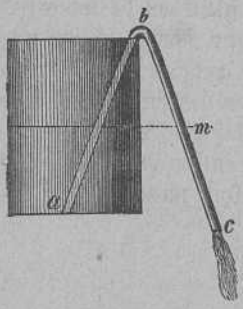
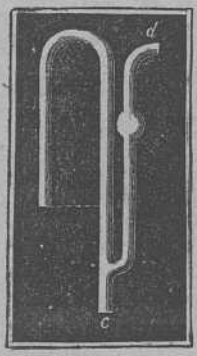


Fig. 82.



un vacío que el agua del depósito pasaria á llenar por la presion atmosférica, resultando de aquí la continuidad en el curso de los líquidos por el interior del sifon. En un solo caso se da lugar al equilibrio en las dos ramas del sifon, y es cuando aquellas son iguales, pues en este último, supuesto la presion atmosférica, seria igual en las dos bocas *a* y *c*; por esta razon, para que el sifon produzca el efecto deseado, es necesario que la extremidad de la rama por donde sale el líquido esté mas baja que el nivel del líquido en el depósito donde se sumerge la otra rama, y en este caso resulta la continuidad anteriormente expresada en el paso de los líquidos por el interior de este aparato.

Algunas veces se construyen los sifones con un tubo lateral *d* (*fig.* 82), y para llenar el aparato se cierra con el dedo la extremidad *c* y se hace la succion por *d*, lo cual seria en ocasiones peligroso ó incómodo de verificar por la extremidad *c*.

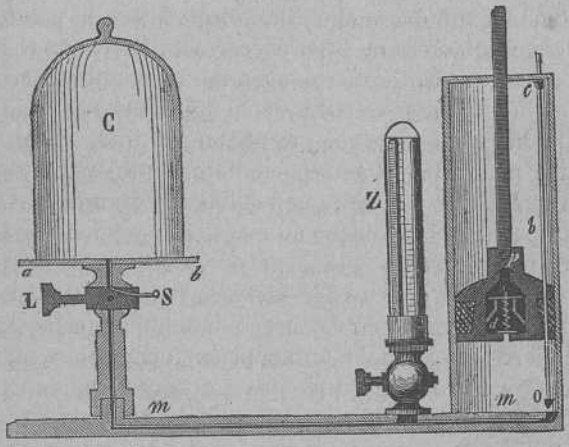
Por la teoría del sifon se explican las *fuentes intermitentes* que frecuentemente se encuentran en la proximidad de las montañas: estas fuentes, cuya explicacion, fundada en la teoría del sifon, la dió el ilustrado P. Fr. Martin Sarmiento en el siglo pasado, reciben el nombre de intermitentes, porque corren cierto tiempo, secándose despues, para correr de nuevo: algunas lo hacen muchos meses; otras corren y cesan de correr varias veces en un dia, hasta en una hora. Este fenómeno se explica por la existencia de cavernas en el interior de una colina ó montaña, donde se depositan las aguas que se filtran en el terreno hasta llenar dichas cavernas, las cuales se comunican con los valles, en donde manan las aguas por una especie de sifon natural.

CAPÍTULO VIII.

Aparatos fundados en la elasticidad y compresibilidad del aire.

125. **Máquina neumática.**—Este aparato (*fig.* 83) fué construido en 1650 por Otto de Guericke; es uno de los mas importantes que

Fig. 83.



posee la física, y está destinado á extraer el aire de un recinto cualquiera, consiguiéndose obtener por su medio capacidades ó

espacios vacíos. Esta máquina puede considerarse dividida en tres partes: 1.ª La *platina*, ó sea la superficie *a b*, perfectamente plana, de vidrio esmerilado ó de metal, sobre la que se colocan las campanas y vasos de forma diferente, de cuyo interior se desea extraer el aire. 2.ª El *cuerpo de bomba c m*, por el cual, y con el movimiento del piston *p*, se consigue verificar el enrarecimiento del aire encerrado en la campana *C*, con mas ó menos rapidez. 3.ª La *probeta* ó *barómetro truncado Z*, que sirve para conocer el grado de enrarecimiento que se ha conseguido por la máquina neumática.

Para explicarse el juego combinado de las diferentes piezas de la máquina neumática, téngase presente que la campana *C* se halla en comunicacion con el cuerpo de bomba por medio del tubo *m m*, y que el piston está atravesado por una varilla de metal *o c*, la cual se ajusta exactamente al agujero abierto en el piston para darla paso. En la extremidad *o* de esta varilla se encuentra soldada una válvula formada por un cono de metal guarnecido de cuero, que se adapta á la boca del tubo *m m* y la cierra herméticamente; la otra extremidad de la varilla lleva en *c* una pequeña salida ó tope: además el piston tiene en su interior otra válvula *d*, con un resorte en espiral alrededor del vástago, el cual la oprime sobre un orificio practicado en la base del piston, obligándola á cerrar este orificio cuando la presion interior es igual ó menor que la presion atmosférica.

Suponiendo el piston en la parte mas baja de su carrera, la extremidad del tubo *m m* se hallará cerrada por la válvula *o*, y la válvula *d* del piston se encontrará cerrada. Elevando el piston, la válvula *o* se eleva con él hasta algunas líneas sobre la base del cuerpo de bomba, donde se detiene á causa del tope que lleva en la extremidad *c* del vástago, y el piston continúa elevándose hasta la parte mas alta del cuerpo de bomba, dejando un vacío en todo el espacio que recorre, que se llenará con una parte del aire de la campana. Si hallándose en estas circunstancias se hace descender el piston, como este lleva el vástago de la válvula *o*, se cerrará la abertura del canal *m m*; pero disminuyéndose el volúmen del aire contenido en el cuerpo de bomba por la presion que sobre él ejerce el piston, se aumenta su fuerza elástica, y verificando contra la válvula *d* una presion mayor que la exterior de la atmósfera, obliga á abrirse dicha válvula, y de este modo el aire contenido en el cuerpo de bomba sale al exterior. Es evidente que continuando el movimiento del piston, y por el juego de las válvulas, se consigue extraer cantidades diferentes de aire, y

por consecuencia, el enrarecimiento del que llena la campana colocada sobre la platina.

En el tubo de comunicacion *m m* hay una llave *L*, que permite mantener el vacío ó dejar entrar el aire en la campana *C*, quitando el tapon metálico *S*, para lo cual es necesario volver la llave del lado del cuerpo de bomba.

La máquina neumática de un cuerpo de bomba que acabamos de describir, es bastante incómoda cuando el aire de la campana va quedando muy enrarecido, pues entonces el piston opone una resistencia á la elevacion, que no se puede vencer sino empleando una fuerza próximamente igual á la que seria necesaria para levantar una columna de mercurio de 76 centímetros: con el objeto de disminuir esta resistencia, se construyen las máquinas neumáticas con dos cuerpos de bomba, como se representa en la figura 63, y disponiendo los pistones de tal modo que el uno descienda cuando el otro se eleve, para que la presion del aire sobre el que desciende compense y destruya la resistencia ejercida por la misma fuerza sobre el que se eleva. Se tiene además la ventaja con los dos cuerpos de bomba, de emplear menos tiempo en hacer los experimentos. Babinet y Breton han introducido algunas modificaciones en las máquinas neumáticas, para conseguir mas facilidad en su uso y un grado de enrarecimiento y vacío mas perfecto.

Las anteriores máquinas neumáticas han sido hoy remplazadas por las de doble efecto de Bianchi, con un solo cuerpo de bomba, el cual tiene cuatro válvulas cónicas, dos en comunicacion con el recinto en que se quiere enrarecer el aire y las otras dos con el ambiente exterior. El juego de dichas válvulas cuando el piston trabaja es alternado, consiguiéndose extraer las menores cantidades del aire que, permaneciendo debajo del piston de las antiguas máquinas neumáticas las hacia defectuosas.

Tambien se han ideado en estos últimos años las máquinas neumáticas de mercurio, con el objeto de proporcionarse un vacío mas perfecto que el obtenido por las máquinas anteriores.

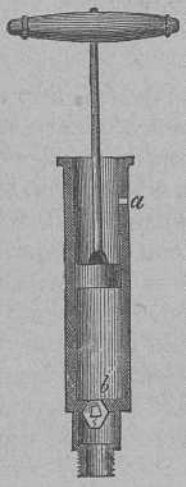
127. **Aplicaciones de la máquina neumática.**—Con este aparato se hacen multitud de experimentos que sirven para demostrar las propiedades físicas del aire atmosférico y de los cuerpos flúidos en general. Otto de Guericke verificó ya en su tiempo el experimento notable de los *hemisferios de Magdeburgo* (102), demostrando de este modo la presion de la atmósfera en todas direcciones; fuerza que con mucha posterioridad se aplicó como motora de los caminos de hierro denominados *atmosféricos*, por ser im-

pelidos los carruajes en los ferro-carriles por la fuerza de la presion atmosférica que obra sobre un piston encerrado en un tubo, y delante del cual se enrarece el aire valiéndose de la máquina neumática. En estos caminos de hierro, uno de los coches está unido con el piston motor.

Tambien se demuestra por medio de la máquina neumática la ley del descenso de los graves en el vacío; que los cuerpos en combustion se apagan en los vasos colocados sobre la platina de la máquina neumática en accion; que el humo es pesado; que el agua contiene aire en su interior; que el aire es absolutamente necesario para la vida; y por último, entre las mas importantes aplicaciones de la máquina neumática, se cuenta la de servirse de este aparato para la conservacion de las sustancias alimenticias.

126. **Máquina contra-neumática.**—La máquina *contra-neumática* ó de *compresion* se diferencia de la neumática en jugar las válvulas de los cuerpos de bomba en direccion opuesta, abriéndose de fuera á dentro, y en tener el depósito firmemente sujeto á la platina. Si este depósito es de vidrio, se le cubre por una red metálica, con lo cual se evitan los riesgos que pueden ocasionarse por la proyeccion de los trozos de vidrio de las campanas si llegan á romperse durante los experimentos. Esta máquina se usa rara vez. La máquina contra-neumática se trasforma en simple *bomba de compresion* (*fig.* 84) quitando la válvula al piston y haciendo un pequeño orificio *a* en la extremidad superior del cuerpo de bomba; y para que se pueda atornillar á los aparatos donde se necesite comprimir el aire, se coloca un tubo en el sitio donde se halla la válvula *b*, la cual, segun se deja dicho, se abre de dentro á fuera. Al descender el piston se comprime el aire contenido en el cuerpo de bomba, abre la válvula *b* y pasa al recipiente; al elevarse el piston, el peso de la atmósfera actúa sobre él hasta que pasa el orificio *a*, en cuyo caso el aire atmosférico entra en el cuerpo de bomba.

Fig. 84.

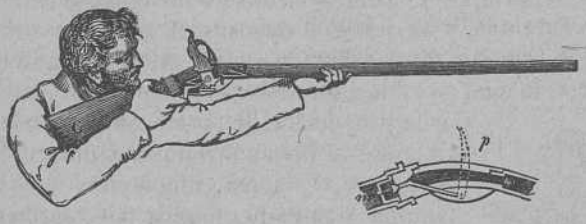


La bomba de compresion sirve para condensar en pequeños espacios los gases, tal como el gas del alumbrado cuando se le conduce en aparatos portátiles, para cargar la fuente de compresion y la escopeta de viento, y para hacer que se disuelva el ácido carbónico en la fabricacion de las aguas gaseosas artificiales.

En esta bomba, así como en la máquina contra-neumática, el límite de la compresion depende de la diferencia entre la fuerza elástica de los volúmenes de aire contenido en el cuerpo de bomba, cuando el piston se halla en la parte superior é inferior de aquel. Si el segundo volúmen es, por ejemplo, $\frac{1}{40}$ del primero, solo se podrá comprimir el aire 40 atmósferas, porque pasando este término, la fuerza expansiva del aire comprimido en el recipiente seria mayor que en el cuerpo de bomba, y no se podria abrir la válvula *b* para hacer pasar al recipiente el aire comprimido.

128. **Escopeta de viento.**—La parte principal de esta escopeta (*fig.* 85) es la culata *C*, la cual es metálica, está hueca, y lleva en

Fig. 85.



su extremidad una válvula que se abre de fuera á dentro, segun va representada en mayor escala en la seccion dada á la parte *m n* de la escopeta. Por medio de una máquina contra-neumática ó bomba de compresion, que se atornilla á la boca de la culata, se comprime el aire en ella hasta que adquiera una densidad de 8 ó 10 atmósferas. Cargada la culata, se separa la bomba de compresion y se reemplaza por el cañon, dentro del que se pone la bala atacada como en un fusil ordinario. Oprimiendo el pié de gato sobre la palanca *p*, esta abre momentáneamente la válvula *m*, y una parte del aire comprimido en la culata se escapa á lo largo del cañon y lleva delante de sí la bala, que se moverá con una fuerza capaz de atravesar una tabla cuyo grueso sea de una pulgada, á la distancia de 10 á 12 pasos.

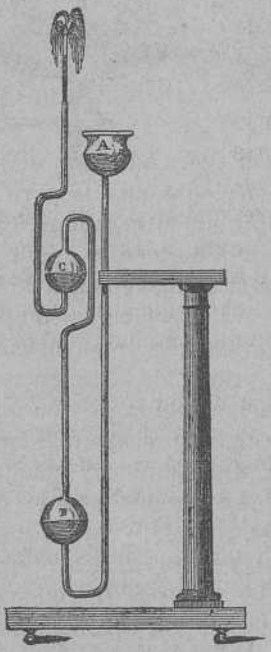
129. **Fuente de compresion.**—La *fuente de compresion*, la que generalmente se conoce con el nombre de *fuente de Heron*, y los *tubos de seguridad* en la química moderna, son aparatos cuya construccion está fundada en las propiedades de los gases comprimidos. La fuente de compresion (*fig.* 86) está formada por un

vaso metálico de paredes bastante gruesas, á cuya boca se atornilla un tubo, tambien metálico, provisto de una llave en su parte superior, que llega hasta cerca del fondo del vaso: á este tubo se atornilla una bomba de compresion de aire, despues de llenar de agua las dos terceras partes del vaso, con la cual se comprime el aire sobre dicha agua. Introducido el aire necesario para que funcione la fuente, se cierra la llave del tubo y se quita la bomba de compresion. Abriendo despues la llave, el agua saldrá en forma de surtidor, elevándose á una altura próximamente de 32 piés, si la presion interior es de 2 atmósferas, cuya altura se irá disminuyendo, porque aumentándose el volúmen del aire comprimido conforme va saliendo el agua, su fuerza elástica va siendo menor.

Fig. 86.

130. **Fuente de Heron.**—Esta fuente se compone de tres vasos y tres tubos (*fig.* 87). Se echa agua en el vaso *A* y se invierte el aparato para que pase al depósito *C*, hasta llenar las dos terceras partes de su capacidad: conseguido esto, se vuelve el aparato á su posicion primera, y se llena de agua el vaso superior *A*; al caer el líquido en el inferior *B* hace pasar el aire de este al intermedio *C*, y comprimiendo el flúido gaseoso al agua que existe en este tercer vaso, la hace salir en forma de surtidor por el tubo fijo al fondo del vaso *C*. Si el aire no opusiera resistencia y se pudiera destruir el rozamiento del líquido con el tubo de salida, se elevaria el agua sobre el nivel *C* á una altura igual á la diferencia de nivel en los vasos *A* y *B*.

Fig. 87.



Del principio de la fuente de Heron se sirvió Girard para construir sus lámparas, conocidas con el nombre de *lámparas hidrostáticas*, las cuales, bajo el punto de vista teórico, satisfacen á todas las condiciones de una buena lámpara, pero

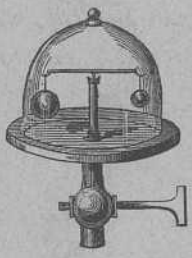
se han abandonado por la dificultad que ofrece la introduccion del aceite y su limpieza.

CAPÍTULO IX.

Equilibrio de los cuerpos sumergidos en los gases.

131. **Dasímetro ó baróscopo.**—Para demostrar que los cuerpos sumergidos en los gases pierden de su peso una cantidad proporcional al volúmen del gas desalojado, construyó Otto de Guericke el aparato que llamó *dasímetro* (*fig.* 88). Los principios físicos en que se funda el experimento con el dasímetro son los siguientes. Si de los brazos de una balanza pequeña se suspende una esfera grande y hueca, de vidrio ó de metal, y otra esfera de la misma sustancia, pequeña y maciza, de igual peso que la anterior, se presentarán aquellas esferas en equilibrio. Establecido el equilibrio y colocado el dasímetro en el recipiente de la máquina neumática, permanecen las esferas en aquel estado mientras exista el aire; pero haciendo el vacío, el equilibrio desaparece, observándose que pesa mas la esfera de mayor diámetro y que se restablece el equilibrio desde el momento en que el aire ha penetrado en el recipiente. Si las dos esferas fuesen de igual diámetro, la balanza permanece horizontal, esté ó no vacío el recipiente de la máquina: deduciéndose de esta experiencia que los cuerpos sumergidos en el aire pierden de su peso una cantidad igual al peso del volúmen del aire desalojado.

Fig. 88.

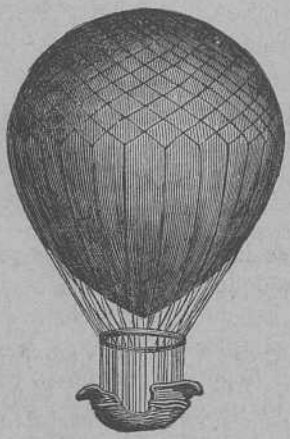


132. **Aerostacion.**—Se ha principiado á fundar sobre la ley anterior la parte de la física conocida con el nombre de *aerostacion*, cuyo objeto es sostener flotante en medio de la atmósfera un cuerpo y darle movimiento en diferentes direcciones. La primera parte del problema de la aerostacion trató de resolverla á mediados del siglo XVII el jesuita Lanna, proponiendo esferas huecas de cobre vacías, las cuales, segun él suponia, teniendo menos peso que el volúmen de aire que desalojaban, sostendrian flotante en la atmósfera una barca pequeña, donde podrian elevarse una ó mas personas y atravesar las nubes. En 1782, Caballo y Liethem-

ber resolvieron el problema de la aerostacion con una esfera de agua de jabon, llenándola de gas hidrógeno. Al siguiente año, los hermanos Montgolfier, fabricantes de papel, elevaron flotante un globo á 200 metros de altura, llenándole con aire enrarecido por el calor. Posteriormente á estas primeras experiencias, los globos se han llenado y continúan generalmente llenándose con gas hidrógeno, que en su mayor grado de pureza es 14,5 veces mas ligero que el aire atmosférico.

Los globos se construyen de forma esférica (*fig.* 89), empleando el papel y las telas de seda barnizadas, cuya resistencia se aumenta por medio de redes de cuerdas que cubren la mitad superior del globo, de cuyos extremos se suspende una pequeña barca, donde se coloca el aereonauta con el lastre necesario. En la parte superior del globo hay una válvula cerrada por medio de un resorte, que el aereonauta puede abrir por medio de una cuerda. Además, para seguridad, el globo lleva una pieza de tela, que al desplegarse constituye el *paracaidas*, y una ancla para fijarle en la tierra cuando trata el aereonauta salir de la barquilla.

Fig. 89.



Para que un globo se eleve en la atmósfera, es necesario que desaloje un volúmen de aire que pese mas que los materiales que le forman, con la barquilla, el aereonauta y todos cuantos objetos este lleva consigo. Cuando el aereonauta quiere descender, abre la válvula tirando de la cuerda, y deja salir un poco del gas que llena el globo; este desciende, porque saliendo el gas se disminuye su volúmen, y por consiguiente desaloja menos aire, haciéndose menor el empuje vertical. Si el aereonauta desea elevarse nuevamente, deja caer parte del lastre que lleva la barquilla.

No debe llenarse completamente de gas el globo, porque á medida que se eleva, hallándose el hidrógeno menos comprimido por el aire atmosférico, se dilata, y podria por su fuerza expansiva rasgar la tela que forma el globo, si la ascension fuese demasiado rápida ó llegase á mucha altura.

El problema de dar direccion á los globos se ha procurado re-

solver con alas, remos, timones y otros medios semejantes á los empleados en las maniobras para navegar sobre la superficie de las aguas; pero en esta parte, hasta ahora, no se ha pasado de ensayos con resultados poco importantes relativamente á lo que se prometieron los aereonautas. El problema de recorrer con un cuerpo flotante el espacio en todas direcciones, es mucho mas difícil que el de moverse un cuerpo sobre las aguas, que sabemos debe verificarse en el sentido de una superficie ó en dos dimensiones. Además, no disponiéndose en la actualidad de una fuerza que se doblegue tan rápidamente como el deseo y la necesidad lo pueden exigir, ante los impulsos y las resistencias variables del aire, en la aerostacion se aumenta la inseguridad y acrece el peligro, compañero de la poca resistencia que presentan las paredes de los globos, dando motivo á las desgracias que se recuerdan, y suficientes razones físicas para asegurar que esta parte de la ciencia progresará lentamente.

CAPÍTULO X.

Dinámica de los cuerpos gaseosos.

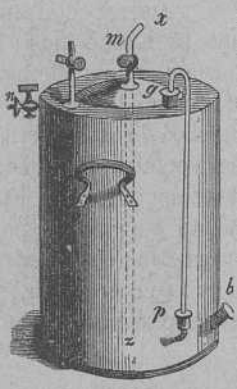
133. **Leyes de la salida de los gases de los depósitos que los contienen.**—Las leyes que rigen á la salida de los líquidos de los vasos que los contienen, corresponden á los cuerpos gaseosos en su movimiento al través de orificios ó simples aberturas, y por los tubos adicionales cuando salen de los depósitos en que se hallan encerrados; pero para la salida de los gases es necesario tener presente que aquellas leyes, cuando se formulan matemáticamente, presentan algunas diferencias por causa de la expansion que sufren los gases conforme se verifica su salida.

Tres problemas principales presenta el estudio de los gases en movimiento, y con especialidad el aire atmosférico. El primero es el que se refiere á la salida constante de un gas de los depósitos en que está contenido; el segundo, considerado el aire atmosférico como fuerza motriz, versa sobre los medios de aumentar, moderar y regularizar los efectos de aquella fuerza; y el tercero trata de los diversos aparatos que sirven para calcular la diferente velocidad con que se mueven las masas gaseosas.

134. **Gasómetros.** La salida constante de los gases se consigue por medio de los *gasómetros*, cuya forma es muy variable y sus

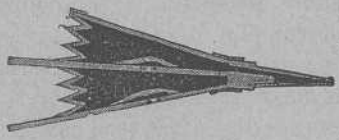
aplicaciones en química numerosas. Estos aparatos generalmente se componen de un depósito cilíndrico de zinc ó de cobre (*fig.* 90), con tres aberturas *m n b* y un tubo comunicante graduado *p g*. El gasómetro se comunica con un depósito de agua por la extremidad *x* del tubo de conduccion *x m z*. Las operaciones para hacer uso del gasómetro son sumamente sencillas. Cuando se introduce agua por la abertura *m*, cerrando la *b* y dejando abierta la *n*, se consigue por esta última abertura una corriente del aire encerrado en el gasómetro, cuya velocidad será proporcional á la velocidad y cantidad del agua que penetra en tiempos dados en dicho aparato. Suponiendo que se quiere obtener una salida constante de un gas, como, por ejemplo, el del alumbrado, lo primero que se debe hacer es llenar de agua el gasómetro. En este estado, y conforme se indica en la figura, se llenará el aparato de gas por la abertura *b*, lo que en virtud de la impenetrabilidad de los cuerpos, no se conseguirá sino saliendo por el mismo punto el agua. Una vez lleno el gasómetro del flúido elástico, se procede, como en el primer caso, haciendo llegar por el tubo central el agua del depósito. Tambien se emplea algunas veces como gasómetro el frasco de Mariotte (123) dándole una forma conveniente para obtener la salida constante de un gas.

Fig. 90.



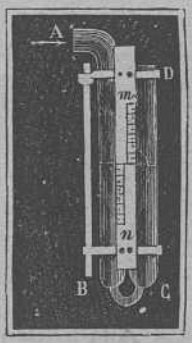
135. **Fuelles.**—Cuando se trata de aumentar la velocidad de salida de los gases, bien para hacerlos llegar á mayor distancia, bien para llenar mas pronto de gas un depósito, se hace uso de las máquinas de compresion denominadas en general *fuelles*. El fuelle mas sencillo es el conocido por la generalidad, y sirve para dar orígen á una corriente mas ó menos veloz de aire, que posteriormente produce efectos diferentes: pasando por carbones encendidos, para activar su combustion. Para los instrumentos músicos, como son los acordeones y órganos, se construyen los fuelles compuestos. Todos los fuelles están formados de cajas ó capacidades (*fig.* 91), cuyas paredes, ó son flexibles, ó por lo menos han de tener alguna porcion flexible. Interiormente los fuelles compuestos y de corriente contínua están di-

Fig. 91.



vididos en dos senos, con válvulas en unos puntos que permiten la entrada del aire en el fuelle, y en otros para salir por los tubos de conduccion. En los fuelles compuestos, las válvulas de los dos senos juegan invertidas, aumentándose recíprocamente la capacidad del uno cuando la del otro se disminuye, resultando de aquí la continuidad en la salida del aire con una velocidad poco variable.

Fig. 92.



136. **Anemómetros.**—La velocidad de las corrientes atmosféricas se aprecia por medio de los *anemómetros*. Estos aparatos pueden disponerse con formas diferentes: el de Lind (*fig.* 92), se compone de dos tubos *A B* y *C D*, de 18 milímetros de diámetro, llenos de agua, reunidos por medio de un tubo encorvado de 1 milímetro, y de una escala *m n*. Cuando la abertura *A* del anemómetro se pone en direccion contraria á la del viento, el impulso de este hace descender el líquido en el tubo *A B* y elevarse en el tubo *C D*. La direccion del viento se determina por medio de las veletas, aparatos bien sencillos, y que son tanto mas exactos cuanto mayor sea su movilidad; para conseguir la mayor movilidad en las veletas, debe el centro de gravedad de todo el aparato hallarse en la línea por donde pasa el eje de rotacion.

TERCERA PARTE.

ACCIONES MOLECULARES.

CAPÍTULO PRIMERO.

Atracciones y repulsiones moleculares.

137. **Equilibrio molecular de los cuerpos sólidos.**—Se demostró en la primera parte de este tratado (4), que si la fuerza de atraccion molecular prepondera en la materia, los cuerpos se presentan en el estado sólido, y por consecuencia, en ellos será necesario emplear esfuerzos mas ó menos grandes para alterar la condicion del equilibrio en que se presentan sus moléculas.

La elasticidad de los cuerpos sólidos prueba que sus moléculas se encuentran unidas en un estado de equilibrio estable, puesto que si aquellas cambian de lugar entre ciertos límites por la *traccion*, *flexion*, *torsion* ó *presion* de los cuerpos elásticos, vuelven las moléculas, despues de un número mas ó menos grande de oscilaciones, á su primitiva posicion, recobrando el cuerpo su anterior forma y volúmen, lo cual no sucede sino admitiendo entre ciertos límites el equilibrio estable en las moléculas de que se componen los cuerpos sólidos.

138. **Resistencia molecular.**—Si, como anteriormente se lleva dicho, el equilibrio es estable en las moléculas de los cuerpos sólidos, se comprende que si por la traccion, por la flexion, por la torsion ó por la presion se modificase la forma ó volúmen de aquellos, apartándose sus moléculas fuera de ciertos límites, se romperian. La resistencia que presentan los cuerpos á dejarse romper por una de aquellas acciones, se la conoce generalmente con el nombre de *resistencia de los materiales*, y con el de *tenacidad*, si la rotura se valúa por la fuerza de traccion mínima expresada en kilógramos, necesaria para verificar la rotura de barras cilíndricas ó prismáticas de los cuerpos que pueden re-

cibir estas formas, obrando aquella fuerza en sentido de la longitud de las barras. La tenacidad de las barras depende y es proporcional á su seccion trasversal, y de consiguiente, el número de las moléculas que han de ser separadas en aquella seccion, independiente de la longitud. Para estudiar estas leyes, debidas á Savart, se emplean varillas ó hilos metálicos suspendidos por una extremidad, y en la otra se fija un platillo para recibir los pesos que han de producir la rotura.

La resistencia de los materiales se modifica notablemente cuando los cuerpos se doblan antes de romperse; cambia tambien con su forma, variando con la estructura interior, granuda ó fibrosa, que presentan los cuerpos; habiéndose demostrado experimentalmente que son mas resistentes, si en vez de hallarse fijos por un extremo, se encuentran simplemente apoyados por los dos, y aun mas, si el cuerpo que ha de romperse está invariablemente fijo por sus extremidades.

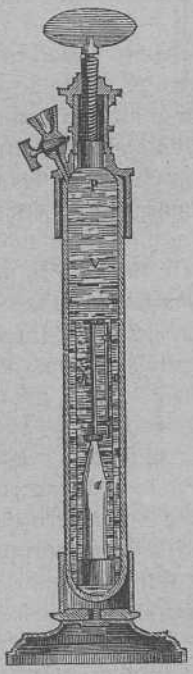
139. **Cristalizacion.**—En muchos líquidos, cuando se solidifican cambiando de estado, sus partículas se colocan en determinadas posiciones, ó poseen una tendencia á colocarse simétricamente, siempre que no actúen en ellos otras fuerzas, como lo seria un impulso exterior que agitase las moléculas líquidas en el acto de la solidificacion, ó un enfriamiento rápido en la masa de los cuerpos referidos. De aquí resulta una disposicion regular en la colocacion de las partículas de los cuerpos que del estado de liquidez pasan al de solidez, que da orígen á las *formas cristalinas* de la materia inorgánica. En la naturaleza, los *cristales* se distinguen por su forma, terminada en lo general por superficies planas: como ejemplos puede citarse los cristales de cuarzo, topacio, granate y otros.

Experimentalmente se puede dar orígen á las formas cristalinas por dos procedimientos: ó sorprendiendo á la naturaleza en el momento que por las acciones moleculares se están agrupando las moléculas de un líquido ó vapor para constituir un cuerpo sólido, ó abandonando la disolucion de un cuerpo en un líquido para que aquel se constituya con lentitud en el estado de solidez. Por medio de dos ejemplos se comprenderán mejor aquellos procedimientos. Si se deja enfriar lentamente bismuto fundido en un crisol, se forma, pasado algun tiempo, una costra sólida; pero si con el objeto de sorprender á la naturaleza, cuando el bismuto se está solidificando en virtud de la atraccion molecular, se perfora la citada costra sólida y se vierte el metal fundido del interior, obtendremos una cavidad incrustada de cristales cúbicos é irisantes

de bismuto: por el mismo procedimiento se pueden obtener cristales de azufre. Este último cuerpo tambien se obtiene cristalizado disolviéndole en aceite de trementina. El alumbre, la sal comun y el sulfato de cobre, que se disuelven fácilmente en el agua, se cristalizan por este segundo procedimiento. Las leyes de la simetría resultante de las acciones moleculares referidas en los cuerpos sólidos, se estudian en la ciencia denominada cristalografía.

140. **Acciones moleculares de los cuerpos líquidos.**—Uno de los fenómenos mas notables debidos á las acciones moleculares de los líquidos, es el de presentarse sus moléculas en equilibrio estable, como llevamos dicho de los sólidos. Para demostrarlo se valió Œrsted del aparato conocido bajo el nombre de *piezómetro*, con el cual, no solo se prueba la compresibilidad propia de los líquidos, sino su elasticidad perfecta. Este aparato (*fig.* 93) se compone de un vaso cilíndrico de vidrio *a*, terminado por un tubo *h*, largo y estrecho. El vaso y el tubo contienen agua destilada, terminándose la columna de este último líquido en el interior del tubo por un índice de mercurio *h*. El piezómetro está montado sobre una escala que indica proporciones iguales del volúmen del líquido contenido en el vaso *a* y en el tubo *h*, y se sumerge en un vaso muy resistente de vidrio *V*, lleno de agua, en cuya boca se halla fijo un piston comprimente *P*. Hallándose el aparato perfectamente lleno de agua, se comprime gradualmente el agua por medio de la rosca y el piston *P*; esta presion, obrando sobre el líquido encerrado en el interior del piezómetro, reduce su volúmen, cuya reduccion se aprecia por la posicion que ocupa el índice *h* de mercurio sobre la escala del piezómetro. En el momento en que la compresion se disminuye ó cesa, se nota que las moléculas líquidas en el interior del piezómetro, en virtud de la elasticidad, recobran sus primitivas posiciones, volviendo el índice de mercurio al lugar de donde partió.

Fig. 93.



141. **Capilaridad.**—Entre los efectos de las acciones moleculares que ejercen los líquidos cuando están en contacto con los

cuerpos sólidos, se cuenta el fenómeno de la adherencia entre las moléculas de la materia en uno y otro estado. Esta adherencia se reconoce por medio de una lámina de vidrio cuando se sumerge verticalmente en una masa de agua, notándose que las moléculas líquidas se elevan sobre su nivel en las inmediaciones de la superficie del vidrio. La elevacion del líquido se observa tambien entre dos láminas de vidrio colocadas paralelamente y muy próximas; notándose en definitiva, que si aquellas forman entre sí un ángulo agudo, el agua en el espacio intermedio de las referidas láminas se elevará, apareciendo el líquido con la forma curva representada en la *figura* 94.

Si las láminas de vidrio, en vez de ser planas, formasen un tubo cilíndrico de diámetro estrecho, el agua se elevaria en el interior de aquel tubo sobre el nivel exterior, terminándose en una superficie cóncava (*fig.* 95), constituyendo de este modo el fenómeno de la *capilaridad*, ó de los tubos que por tener diámetro estrecho se han denominado *capilares*. El fenómeno de la capilaridad no es tan sencillo como á primera vista parece; pues existen líquidos, tales como el mercurio, dentro del cual, si se sumergen tubos capilares de vidrio, en lugar de elevarse la columna en su interior, se deprime y además aparece con una superficie convexa, como se representa en la *figura* 96. La causa de este fenómeno inverso es la de ser sensiblemente nula la atraccion entre el vidrio y las moléculas del mercurio, y mayor ó dominante la atraccion intermolecular en aquel metal líquido mientras no moja ó se adhiera al vidrio.

Fig. 94.

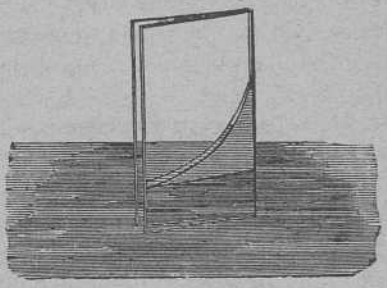
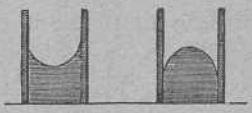


Fig. 95. Fig. 96



Las leyes de la elevacion y de presion capilar, son: 1.ª, que los líquidos en el interior de los tubos capilares se elevan ó se deprimen en razon inversa del diámetro de los tubos; 2.ª, que aquellas alturas y depresiones varían con la naturaleza del líquido y con la temperatura; 3.ª, que los líquidos en los tubos capilares presentan la superficie de equilibrio cóncava en el caso de que aquellos líquidos mojen las paredes de los tubos, y convexa en el caso contrario; 4.ª, que cualquiera que sea el diámetro de los tubos,

los líquidos por la atraccion capilar no salen por la extremidad superior de dichos tubos.

Muchos fenómenos naturales se explican por la capilaridad; entre aquellos se puede citar el fenómeno que presentan las tierras, las arenas, el azúcar y otros cuerpos semejantes, en los cuales, si se sumerge uno de sus puntos en un líquido, es suficiente para que todo el cuerpo se presente humedecido. La elevacion del aceite, del sebo, de la cera y de la estearina fundidas por las torcidas de las lámparas, la absorcion de los líquidos por las esponjas, la desecacion de la tinta con el papel de estraza ó sin cola, son otros tantos fenómenos fáciles de recordar, originados por la capilaridad. Además, la capilaridad en la naturaleza se presenta como una accion física importante que contribuye poderosamente á la elevacion de la sávia y de los jugos nutritivos en los vegetales, con los cuales se sostiene la vida pasando por el infinito número de vasos ó tubos capilares de que están formadas las plantas.

142. **Endósmosis y exósmosis.**—Algunos atribuyen á la capilaridad ciertos fenómenos complejos que presentan las láminas porosas y las aberturas capilares de los cuerpos, que pertenecen principalmente á los seres organizados. Una experiencia sencilla, mejor que una definicion, nos dará á conocer los fenómenos á que nos referimos. Si se toma un cilindro de vidrio cuyo fondo y boca estén cerrados con un trozo de vejiga, colocando espíritu de vino en el interior del vaso y sumergiendo el aparato en agua, se observa, trascurrido algun tiempo, que una porcion del último líquido ha pasado al interior del cilindro, mezclándose con el espíritu de vino, mientras que una cantidad pequeña de este habrá salido del vaso cilíndrico. A la salida del espíritu de vino al través de los poros de la vejiga en el aparato descrito, considerada como fenómeno físico, se la ha denominado *exósmosis*, mientras que el hecho contrario y simultáneo recibe el nombre de *endósmosis*.

No se debe confundir la endósmosis y exósmosis con la mezcla espontánea que tiene lugar cuando se ponen en contacto dos líquidos de diferente naturaleza ó distinto grado de concentracion, que no ejerzan accion química entre ellos; á esta simple mezcla se ha denominado *difusion* (100). En los fenómenos de endósmosis y exósmosis la difusion entre dos líquidos se verifica al través de una membrana orgánica ó por un diafragma poroso que los separa.

La *diálisis*, ó sea la separacion de los líquidos al través de las

membranas, es una aplicacion al análisis químico de la desigual difusion de aquellos, verificada al través de las membranas y tabiques porosos. Graham, que dió á conocer la diálisis el año 1861, dividió á este fin las diferentes sustancias en dos grupos, colocando en el primero las sustancias que poseen la propiedad de cristalizar, y las llamó *cristalóides*, y en el segundo todas aquellas que no cristalizan, como la goma, gelatina, albúmina, etc., y las denominó *colóides*.

Los cuerpos cristalóides son muy flúidos, tienen sabor marcado y se difunden fácilmente al través de las membranas y tabiques porosos: los colóides son viscosos, insípidos, y poco ó nada difusibles; por cuya circunstancia se pueden separar fácilmente de los cristalóides cuando están mezclados, sirviéndose para ello de membranas dialíticas, como el *papel pergamino* ó papel sin cola que se ha tenido un rato sumergido en ácido sulfúrico y barnizado despues con una ligera capa de albúmina que se coagula al calor. Por este medio se separa fácilmente el ácido arsenioso, que es muy difusible, de las materias orgánicas con que se halla mezclado.

La endósmosis y exósmosis son difíciles de explicar; dependen en mucha parte de las leyes que rigen á la vida de los seres organizados. Por esta razon, tanto los fenómenos de la vida en cuya produccion tienen parte la endósmosis y exósmosis, como los que se originan entre algunos cuerpos inorgánicos, tales como el aire atmosférico, el hidrógeno y el metal platino muy dividido (esponja ó musgo de platino), los conocen algunos físicos bajo la denominacion de *acciones catalíticas*, ó acciones que pasan en el contacto de las moléculas de los cuerpos, y que hasta el dia no se han explicado con claridad. La experiencia de Dovereiner dirigiendo un dardo de gas hidrógeno sobre la esponja de platino, de lo cual se sigue el enrojecimiento del platino y la inflamacion en medio del aire del gas hidrógeno, dan idea de la accion catalítica y molecular entre aquellos cuerpos, á la que nos hemos referido.

CAPÍTULO II.

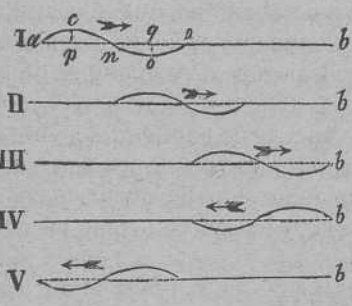
Movimiento ondulatorio.

143. **Movimiento ondulatorio en los cuerpos sólidos.**—Las moléculas de los cuerpos sólidos, en virtud de la fuerza de cohesion,

permanecen en estado de reposo y equilibrio mientras una causa exterior no las conmueve. Pero si las partículas de un cuerpo, por una causa cualquiera se conmueven, lo pueden verificar de tal modo que no se aparten fuera del límite de las atracciones moleculares: en este caso vuelven otra vez al estado de reposo, despues de aproximarse y separarse alternativamente, y cada vez menos del punto en el cual queda restablecido completamente el equilibrio. Estos movimientos intermoleculares que preceden necesariamente en los supuestos anteriores al estado de equilibrio en las moléculas, y cuando cesa el esfuerzo que las conmovió, se llaman *ondulaciones*, *vibraciones* y *oscilaciones*.

144. **Ondulaciones progresivas.**—Las ondulaciones pueden verificarse como se indica en la *figura* 97 *I*, ó sea principiando el movimiento en un punto *a* del cuerpo y trasmitiéndose á las partes inmediatas, originándose de este modo las *ondulaciones progresivas*. En las ondulaciones progresivas se llama *onda* á la curva *a c n o d*; á la parte *a c n*, *elevacion* de la onda; á la porcion *n o d*, *depresion* de la misma; siendo el punto *c* el de mayor altura, y el punto *o* el de mas baja depresion. La distancia *c p* es la altura de la onda, y *q o* es la profundidad de la misma, mientras que la recta *a n* es la longitud de la elevacion, y la distancia *a d* la longitud total.

Fig. 97.



145. **Ondulaciones estacionales.**—Cuando la onda que principia como en la *figura* 97 *II*, lo hace quedando en reposo las partes primitivamente conmovidas, el movimiento continúa progresando hasta el extremo del cuerpo, como en la *figura III*, de donde retrocede conforme se indica por las *figuras IV* y *V*. El resultado puede ser en muchos casos quedar una porcion media en el cuerpo en la cual continúa el movimiento, bien por causa del impulso directo, bien por el de retroceso: en este caso se dan lugar á las *ondulaciones estacionales*, como se indica en la *figura II*.

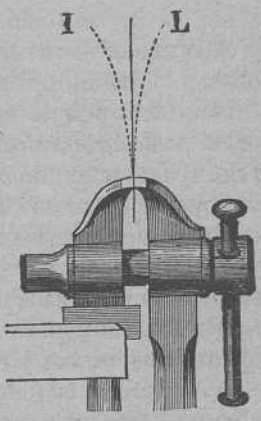
Si la causa que produce la agitacion en un cuerpo y las vibraciones estacionales continúa por mucho tiempo, toda la masa del cuerpo presenta el movimiento ondulatorio, en cuyo caso, segun se expresa en la *figura* 98, se forman los puntos *n n'*, que se han llamado *nodos* ó *nodales*, y están constituidos por las ondas pro-

gresivas por acceso y por retroceso, que necesariamente se establecen invirtiéndose sus elevaciones y sus recíprocas depresiones.

Para estudiar el movimiento vibratorio, supongamos un muelle de acero sujeto por uno de sus extremos (*fig.* 99), que se le hace cambiar su posicion por otra, tal como *I*; abandonándole en seguida, presentará en toda su masa una agitacion que llevará sus moléculas diferentes veces desde *I* hasta *L*, para volver despues de algun tiempo á su primitiva posicion de quietud. El movimiento observado, por corresponder en un momento á todas las partes de la masa, se llama *vibratorio*; y por actuar trasversalmente, tanto el impulso que cambió la forma primitiva del muelle, como su reaccion ó tendencia á recobrar aquella posicion, se llaman sus vibraciones *trasversales*. Supongamos suspendido un peso de un hilo metálico muy delgado; si elevamos el peso y le abandonamos en seguida, caerá produciendo una série mas ó menos prolongada de elevaciones y caidas verticales, hasta fijarse en su posicion de equilibrio, que dan lugar al movimiento vibratorio en el hilo metálico y á las vibraciones conocidas con el nombre de *longitudinales*. Por una razon análoga á la expuesta anteriormente, si se hace girar el peso sobre sí mismo, el hilo metálico se tuerce, y conforme al número de vueltas que se hayan dado á dicho hilo, gira; pero cuando se le abandone á sí mismo, marchará repetidas veces de derecha á izquierda y viceversa, presentando una idea de lo que se entiende en física por *vibraciones rotatorias*. Los cuerpos sólidos en los cuales domina la longitud y la latitud ó anchura, como son las placas metálicas, pueden presentar el primero y segundo género de vibraciones. En los sólidos que poseen sus tres dimensiones proporcionales, se desarrollan en muchas ocasiones en su masa los tres géneros de movimiento vibratorio.

Fig. 98.

Fig. 99.



146. **Movimiento ondulatorio en los líquidos.**—Uno de los fenómenos mas interesantes que hay que estudiar en física, es el del movimiento ondulatorio en las masas líquidas. Si en medio de una masa de agua como la que llena un

estanque, se deja caer una piedra, se nota en el punto del choque una agitacion en la masa líquida, que se trasmite en derredor y á distancia de aquel punto, y se conoce por una série de movimientos circulares que se llaman *ondas* ú *olas*. Observando con cuidado las ondas, se nota que el impulso que agita á las moléculas ondulantes del agua da orígen á la elevacion de unas moléculas sobre la superficie del nivel de la masa líquida, mientras que otras moléculas próximas descienden desde aquel exceso de altura en virtud de la gravedad. Si en vez de una piedra se dejan caer dos ó mas, producen cada una de ellas un sistema de ondas, á las cuales se ve pasar unas sobre otras y cruzarse sin confundirse, siempre que las conmociones no excedan de ciertos límites.

147. **Valor de la elevacion.**—El valor, tanto de la elevacion como de la depresion en las moléculas de los líquidos cuando se mueven ondulatoriamente, es igual al radio de la curva en la cual verifican sus movimientos vibratorios aquellas moléculas. El impulso que conmueve á las masas líquidas originando el movimiento ondulatorio, debe advertirse que no se extiende solo sobre la superficie de las masas, pues su influencia llega en el agua, segun los experimentos de Weber, hasta una profundidad igual á 360 veces la altura de una onda.

148. **Retroceso del movimiento ondulatorio.**—En el movimiento ondulatorio progresivo y directo, cuando las ondas chocan contra un cuerpo sólido, se reflejan, y el movimiento ondulatorio se presenta por retroceso en las masas líquidas, observándose que todas y cada una de las moléculas de una onda serán reflejadas sobre el obstáculo, como lo verifican los cuerpos elásticos (71), formando los ángulos de incidencia iguales á los de reflexion.

149. **Movimientos ondulatorios en los gases.**—En el aire atmosférico, el movimiento ondulatorio se verifica segun las mismas leyes que en las masas líquidas, pero con la diferencia de que si las ondulaciones en estas últimas se propagan en superficies planas y por círculos, el movimiento ondulatorio en las masas gaseosas se dispersa en el espacio por esferas siempre regulares y concéntricas, constituyendo ondas esféricas progresivas, alternativamente condensadas y enrarecidas, que marchan unas á continuacion de otras; y cuando varios puntos de una masa gaseosa están á la vez conmovidos, cada uno de ellos produce sistemas de ondas, que se propagan sin confundirse alrededor de sus centros respectivos, como sucede en las masas líquidas.

CAPÍTULO III.

Acústica.

150. **Sonido y ruido.**—Uno de los fenómenos físicos originados por los movimientos vibratorios de los cuerpos, es el de los sonidos, entendiéndose por *sonido* aquellos movimientos cuando afectan con regularidad nuestro sentido del oido. El *ruido* se diferencia del sonido en que, si bien produce sensaciones en el oido, las produce irregularmente. El estudio de los sonidos en todas sus variedades, su trasmision desde el punto donde principian hasta el oido, y la descripcion, tanto del órgano que sirve para aquella percepcion, como del que sirve para la produccion de la voz humana, son el objeto de la *acústica.*

151. **Sonidos musicales.**—Cuando diferentes sonidos se suceden y trasmiten con tal regularidad que la impresion que se percibe es la de un solo sonido, se le denomina *sonido musical.* Segun esta definicion, el órden, la regularidad y la sucesion en los movimientos vibratorios de los cuerpos, son los caractéres esenciales de los sonidos armoniosos ó musicales.

En el sonido musical deben distinguirse tres cualidades: la *intensidad*, el *tono* y el *timbre.* La intensidad ó fuerza del sonido depende de la amplitud de las oscilaciones. El tono, es decir, la gravedad ó altura del sonido, depende del número de vibraciones que ejecute un cuerpo sonoro en un tiempo dado, denominándose *sonidos graves* los producidos por un pequeño número de vibraciones, y *sonidos agudos* los originados por un gran número de aquellas. El timbre, ó sea el carácter distintivo de los sonidos, por el cual no se confunden en el oido los que proceden del acordeon con los del arpa ó piano, depende principalmente de la naturaleza del cuerpo sonoro, del modo con que se ha puesto en vibracion y de la naturaleza de los cuerpos que han de propagar el sonido.

152. **Trasmision de los sonidos.**—Los sonidos, una vez producidos en un punto, se trasmiten por el movimiento ondulatorio, percibiéndolos el oido á mas ó menos distancia. La distancia á que el oido percibe los sonidos, depende de la sensibilidad de este órgano, de la amplitud de las vibraciones sonoras y del medio ponderable en el cual se establece el movimiento ondulatorio.

153. **Leyes de la trasmision del sonido.**—Estas leyes, demostradas experimentalmente, son las siguientes: 1.ª Todos los sonidos, cualesquiera que sean su intensidad, su tono y su timbre, se propagan

en la atmósfera con la misma velocidad, marchando por el espacio atmosférico á razon de 340m,89 por cada segundo de tiempo á la temperatura de 16°. 2.ª La intensidad de los sonidos se disminuye cuando el aire que los ha de trasmitir se halla enrarecido: por esta razon Saussure observó que en la cima del monte Blanco, en los Alpes, un disparo de pistola produce un ruido menor que en los valles; y Gay-Lussac, en su viaje aereostático, notó que á 700 metros de elevacion, la intensidad de su voz se disminuia. En los gabinetes se demuestra esta ley tomando una campana de la cual se extraen por medio de la máquina neumática cantidades variables de aire; observándose, que conforme se enrarece este último, los sonidos que produce un timbre de relojería colocado en el interior de la campana, se debilitan progresivamente, hasta ver que cae el martillo sobre el timbre sin percibirse sonido alguno. 3.ª La velocidad para la trasmision de los sonidos es mucho mayor en el agua que en el aire; habiendo demostrado Colladon y Sturm, en el lago de Ginebra, que los sonidos recorren en 1 segundo de tiempo un espacio de 1435 metros, distancia que supone una velocidad 4 veces mayor en el agua que en el aire. 4.ª Los sonidos se trasmiten en los cuerpos sólidos con mucha mayor velocidad que en los líquidos. Biot ha llegado á demostrar por experimentos directos, que la velocidad de trasmision es de 10,5 veces mayor en el hierro que en el aire; y, segun Chladni, en el estaño es 7,5 veces mayor, 12 en el cobre, 17 en el vidrio, y desde 11 hasta 17 mas rápida en las diversas especies de maderas. 5.ª Cuando el movimiento ondulatorio se establece libremente en el aire, se forman esferas concéntricas en derredor del punto del primer impulso, disminuyéndose la intensidad de los sonidos en razon inversa de los cuadrados de las distancias.

154. **Cuerdas vibrantes**—En las cuerdas vibrantes se distinguen dos especies de vibraciones; unas en direccion perpendicular á las cuerdas llamadas *trasversales*, y otras en sentido de su longitud conocidas con el nombre de *longitudinales*. Las primeras se excitan con un arco de violin, por ejemplo, ó pulsando las cuerdas como en el arpa y en la guitarra, y las segundas frotando las cuerdas con un pedazo de paño espolvoreado con resina.

Las cuerdas vibrantes producen sonidos perceptibles cuando en 1 segundo de tiempo dan orígen á 32 medias vibraciones ó 16 impulsos; en cambio se percibe un sonido agudo, pero armonioso, cuando las vibraciones de la misma cuerda llegan á ser 16.000 por segundo. Sin embargo, en las cuerdas cortas y tensas de un instrumento músico se perciben sonidos agudísimos que, segun

los cálculos, están constituidos por 48.000 medias vibraciones ó 24.000 impulsos por segundo.

La experiencia ha demostrado que el número de vibraciones sonoras en una cuerda vibrante está en razon inversa de su longitud, de su diámetro y de la raíz cuadrada de su densidad, y en razon directa de la raíz cuadrada del peso ó fuerza que produce la tension.

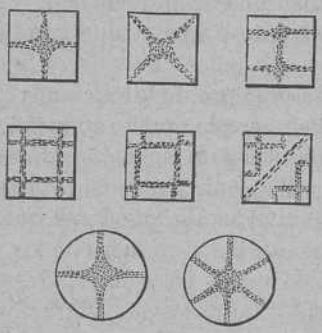
En general, la determinacion del número de vibraciones que constituyen los diferentes sonidos, ha ocupado mucho á los físicos en estos últimos años, inventando con el objeto referido la *sirena*, la rueda de *Savart*, por cuyo medio se determinan mecánicamente las vibraciones; el *vibróscopo*, con el cual se obtiene aquel número gráficamente; el *fonotógrafo*, que escribe el número de las vibraciones y además señala sus mas pequeñas irregularidades; el *caleidófono*, que reproduce en líneas luminosas las vibraciones sonoras de las varillas, y la composicion óptica de los movimientos vibratorios paralelos y rectangulares de las mismas; y, por último, el método llamado de las *llamas manométricas*, debido á Koeing, cuyo estudio pertenece á un curso de ampliacion de la Física.

155. **Puntos nodales.**—Las cuerdas vibrantes presentan en medio de sus moléculas agitadas por el movimiento vibratorio, otras moléculas que están tranquilas, lo cual se halla conforme con lo anteriormente expuesto: estos puntos de reposo en medio del movimiento vibratorio de las moléculas, se conocen bajo la denominacion de *nodos*, y tanto su número como su posicion relativa, tienen influencia sobre la intensidad, tono y timbre de los sonidos músicos producidos. La existencia de los puntos nodales y su número en las cuerdas vibrantes, fácilmente se puede reconocer colocando á lo largo de la cuerda vibrante cuerpos ligeros, como pequeños trozos de papel; y una vez establecido el movimiento vibratorio, se nota que los trozos pequeños de papel se mueven á lo largo de las cuerdas hasta quedar fijos en los puntos nodales de las mismas. Los instrumentos músicos construidos fundándose en las vibraciones de las cuerdas, son diferentes, pero la generalidad los conoce bajo la denominacion de *instrumentos de cuerda*.

156. **Placas vibrantes.**—Los cuerpos sólidos en que domina la longitud y la latitud, presentan leyes semejantes, respecto del número y amplitud de sus vibraciones, á las enunciadas anteriormente para las cuerdas, sustituyendo la longitud y la latitud de las placas á la longitud de las cuerdas, y su grueso al diámetro de estas. En las placas se presentan los puntos nodales enlazados y

constituyendo las *líneas nodales* (*fig.* 100), en las cuales Chladni comprobó los tres hechos ó fenómenos físicos siguientes: 1.° Un mismo sonido origina siempre en una placa la misma figura nodal ó sonora. Si el sonido cambia de tono músico, la primitiva figura se borra, presentándose otra diferente. 2.° A la nota ó sonido mas grave que puede originarse en una placa, corresponde la figura nodal mas simple, y viceversa. 3.° Si se toman placas de diferentes dimensiones y se producen vibraciones por el mismo método, las figuras nodales engendradas serán semejantes, sin embargo de la diferencia de los sonidos graves en las placas grandes y de los altos y agudos en las placas pequeñas.

Fig. 100.



Para hacer visibles las figuras nodales en las placas vibrantes, basta colocarlas sobre apoyos fijos y cubrirlas con polvo de licopodio, flor de azufre, magnesia ó arena fina; haciéndolas vibrar por el frote con manojos de cerdas ó arcos, se comprueban las leyes de Chladni, y se observan fácilmente las figuras nodales. Las campanas y los vasos de vidrio que contienen agua, puede demostrarse que corresponden por sus líneas nodales á las placas circulares, poniendo flor de azufre en el agua y produciendo un sonido por el frote de la cerda de un arco contra el borde del vaso. Los instrumentos músicos que se usan en la práctica y están fundados en las leyes acústicas de las vibraciones sonoras de las placas, son los timbales, el tan-tan ó gong-gong, los vasos armoniosos, y podrian comprenderse los acordeones en todas sus variedades.

157. **De la música.**—Los sonidos dan orígen á efectos que en vez de físicos son psicológicos, puesto que el alma siente placer, agrado ó dolor de las sensaciones resultantes de la simultaneidad ó sucesion de dos ó mas sonidos. Cuando los sonidos simultáneos son agradables se llaman *unísonos*; en el caso contrario, *discordantes*. La *armonía* consiste en el conjunto agradable de los sonidos, mientras que la *melodía* es una sucesion agradable de los mismos. La *música* puede definirse, diciendo que consiste en la combinacion infinitamente variada de los sonidos armoniosos,

formando un lenguaje capaz de conmover las pasiones propias del espíritu del hombre.

158. **Escala musical.**—En la música se cuentan siete notas ó sonidos fundamentales, conocidos por los nombres de *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *sí*; estos sonidos se reproducen siempre en el mismo órden por períodos de siete, llamando *gama* á cada uno de estos períodos. Los siete sonidos presentan la relacion mas sencilla en el número de sus vibraciones (1), resultando la armonía de la *escala diatónica*, cuyo mayor intervalo se llama *octava*, dividida en intervalos parciales, que son los sonidos fundamentales ya referidos. Entre estos últimos, la sensaciones y el agrado resultantes de aquellas, han dado orígen á la subdivision de intervalos entre

---

(1) El número de vibraciones que cada uno de los sonidos produce, se determina fácilmente con los aparatos construidos á este objeto que se indican en el párrafo 155, y representando el sonido mas grave, el *do* fundamental, por 1, se hallará que el número relativo de vibraciones que corresponde á cada una de las siete notas, es el que expresan las fracciones siguientes:

Notas	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*.
Número relativo de vibraciones	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$

La escala musical no concluye aquí, pues á esta gama sigue una série de gamas semejantes, en las cuales cada nota corresponde á un número doble de vibraciones que la del mismo nombre de la gama precedente.

Las fracciones anteriores, no solo representan el número relativo de vibraciones con relacion al *do* fundamental, sino tambien los intervalos sucesivos de las seis últimas notas con relacion á la primera. En el cuadro siguiente se expresan los intervalos entre las notas consecutivas:

Notas	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*.
Número relativo de vibraciones	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Intervalos		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

En los números anteriores se ve que los intervalos diferentes entre las siete notas, se reducen á tres, que son $\frac{9}{8}$ $\frac{10}{9}$ y $\frac{16}{15}$. Al primero, que es el mas grande, se llama *tono mayor*; al segundo, *tono menor*; y al tercero, que es el mas pequeño, *semitono mayor*. El intervalo entre el tono mayor y el menor es $\frac{80}{81}$, y se le denomina *coma*: para apreciar este sonido es preciso tener un oido muy ejercitado.

La gama, cuya relacion de vibraciones se ha indicado, es la diatónica, la cromática, segun se deja dicho, es la que procede por semi-tonos. Además, los músicos han intercalado entre las notas de la gama, otras que designan con el nombre de sostenidos y *bemoles*. Sostener una nota es aumentar el número de sus vibraciones en la relacion de 24 á 25; y bemolizarla es disminuir este número de vibraciones en la relacion de 25 á 24.

Se da el nombre de *acorde* á la simultaneidad de varios sonidos que producen en el oido una sensacion agradable, como el *acorde perfecto mayor*, *do mi sol* y el *acorde perfecto menor*, *la do mi*; siendo el acorde mas sencillo el *unísono*.

los tonos fundamentales, creándose con los semi-tonos la *escala cromática*, y se compone de trece sonidos.

159. **Órgano de la voz.**—Este aparato se parece á los instrumentos músicos que producen los sonidos por medio de tubos y boquillas; se halla compuesto de la *tráquea*, que es un tubo de paredes elásticas que sirve para conducir el aire desde el interior del pecho. La *laringe* es la parte superior de la tráquea, en cuya abertura correspondiente á la cámara posterior de la boca, se presentan dos membranas semicirculares, que se contraen y relajan cerrando mas ó menos el paso por donde pasa el aire. Además de estos órganos, que son los esenciales para la formacion de los sonidos, se cuentan como accesorios, pero de notable influencia en los sonidos articulados, la cavidad de la boca, la lengua, los dientes, la bóveda palatina ó del paladar, los labios y el interior de la nariz, todo lo cual contribuye á la modulacion y á dar timbres especiales á la voz articulada, de donde resultan, por ejemplo, los sonidos denominados por los gramáticos *labiales*, *paladiales*, *linguales* y *guturales* de las letras consonantes de todos los abecedarios conocidos.

La voz humana, siendo el resultado de la vibracion del aire en su salida al través de la laringe, y del movimiento vibratorio de todos los órganos ó partes que llevamos referidas, se han contado en ella números muy diferentes de vibraciones para la produccion de los sonidos. En la voz mas baja y profunda de un hombre, el aire da 192 vibraciones por segundo; en los sonidos mas altos, 633. Para los sonidos mas bajos en la voz de la mujer, las vibraciones son 576; en los altos de la misma voz, 1720; pero tanto con el órgano de la voz del uno como con el de la otra, rara vez se pasa el límite de dos escalas de tonos fundamentales.

160. **Órgano del oido.**—La parte mas principal de este sentido que puede describirse físicamente, se halla formada: 1.°, del *pabellon* ú oido exterior; 2.°, del *tímpano*, cavidad separada del pabellon por la membrana del mismo tímpano; y 3.°, del *laberinto*, que consiste en diferentes cavidades óseas, llenas de un líquido y tapizadas con una membrana sobre la cual se extiende en pequeños ramos el *nervio acústico*, parte esencial del oido, pues las restantes porciones pueden romperse, desaparecer ó no haber existido, sin que por eso dejen de percibirse las sensaciones originadas por los sonidos.

La distancia á que puede llegar el oido humano en la percepcion de los sonidos es muy variable, dependiendo de la intensidad de los sonidos, de la naturaleza del medio que los trasmite, y

de algunas otras circunstancias físicas, como los vientos y la humedad, tratándose del aire; pero principalmente depende del grado diferente de sensibilidad del órgano del oido.

161. **Ecos y resonancias.**—Al oido llegan de dos maneras diferentes los sonidos: directamente ó reflejados. Cuando el movimiento ondulatorio del aire que trasmite los sonidos encuentra un obstáculo, las ondas sonoras se reflejan, formando ángulos de reflexion iguales á los de incidencia; y de aquí resulta que el oido percibe el sonido directo y puede percibir posteriormente el sonido reflejado. Si entre una y otra percepcion trascurre mas de un décimo de segundo, que es el mayor intervalo entre dos sílabas consecutivas para que se puedan distinguir con claridad, al sonido reflejado se le denomina *eco*. El eco puede ser *simple*, ó sea aquel en el cual no se percibe mas que uno de los sonidos reflejados; y *múltiplo*, cuando se perciben dos ó mas veces las sílabas ó palabras reflejadas. El eco multiplicado de Aldernach, en Bohemia, repite tres veces siete sílabas; el de Ludley, en el Rhin, repite hasta diez y siete veces; pero antiguamente tuvo gran nombradía el eco de la tumba de Metelo, en Roma, que se dijo repetia ocho veces el primer verso de la Eneida de Virgilio.

La *resonancia* es un eco imperfecto, en el cual los sonidos reflejados se sobreponen á los sonidos directos, pero sin confundirse completamente. Se observan las resonancias en algunos templos, en el interior de los arcos de los puentes, y en algunos salones, en los cuales se reconocen las resonancias por la prolongacion de los sonidos y porque se oscurecen las voces articuladas, siendo difícil distinguirlas claramente.

Las resonancias, si bien oscurecen los sonidos los hacen mucho mas intensos; resultando que si las reflexiones de los sonidos se verifican sobre paredes ú obstáculos de forma particular y de naturaleza vibrante propia para la armonía agradable, es posible conseguir la mayor intensidad de los sonidos y eliminar en mucha parte el inconveniente de la oscuridad en las sensaciones; como ejemplos prácticos fundados en este principio, podemos citar los salones de eco ó resonancias secretas, los *salones de música* y los aparatos denominados *bocina* y *trompetilla acústica*. La bocina, como su nombre lo indica, sirve para trasmitir la voz á grandes distancias; y de la trompetilla acústica se sirven las personas que tienen cierta torpeza en el oido, para percibir los sonidos con mas claridad.

CUARTA PARTE.

DEL CALÓRICO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Efectos del calórico é hipótesis sobre la naturaleza de este agente.

162. **Calórico.**—En la naturaleza existen algunos agentes cuya esencia es desconocida, pero que se les estudia por los efectos ó fenómenos á que dan orígen en los cuerpos. El hielo se funde, y el agua, bajo la influencia del fuego, se trasforma en vapor. Estos dos hechos tan conocidos demuestran la existencia de una causa, á la cual se ha denominado *calórico*. Puede además evidenciarse la presencia de dicho agente por las sensaciones á que da orígen en los séres animales. En este último supuesto se confunden con frecuencia, bajo la denominacion de *calor*, la causa de las percepciones y los efectos resultantes. Por esta razon algunos han creido conveniente denominar á dicha causa calórico, con el objeto de diferenciarla de sus consecuencias inmediatas.

163. **Hipótesis sobre la naturaleza del calórico.**—Uno de los fenómenos propios de los cuerpos que poseen una gran cantidad de calórico, es el de prestar parte de aquel agente á otros cuerpos inmediatos. Esto sucede, en la apariencia, saliendo el calórico del cuerpo que le posee para pasar á los que relativamente con el primero tienen menos calórico y se llaman *frios;* y de aquí resultó la opinion que se sostuvo antiguamente, de que el calórico era una sustancia material é imponderable, que se desprendia ó emanaba de unos cuerpos para pasar á otros. Posteriormente otros físicos, fijando su atencion en los efectos análogos y semejantes que se originan por la luz y el calórico, han sostenido que los dos no son mas que un solo agente modificado por la naturaleza para producir fenómenos, al parecer, completamente diver-

sos. En la actualidad, la opinion que se generaliza con apariencia filosófica de ser fundada, es aquella en que se supone que los fenómenos del calor, á semejanza de los de la luz, dependen de una sustancia *etérea* que llena todos los espacios del universo, y en cuyo éter se pueden originar movimientos vibratorios y ondulatorios. La velocidad y amplitud en cierto grado de aquellos movimientos de las moléculas del *éter*, dan lugar en esta teoría á los fenómenos del calor. El estudio del calórico constituye en la actualidad una ciencia que tiene por objeto el conocimiento de sus efectos, propiedades y leyes.

Medidas de las temperaturas.

164. **Termómetro** (1).—Uno de los efectos que el calórico produce en los cuerpos, es el de *dilatarlos* haciendo variar su volúmen sin aumentar su peso. En este efecto del calórico se funda la construccion de los *termómetros*, cuyo solo nombre expresa que son aparatos destinados á medir el calor sensible de los cuerpos, que tambien se denomina su *temperatura*, determinando sus variaciones. Si los termómetros sirven para apreciar diferencias muy pequeñas de calor, reciben el nombre de *termóscopos*, y el de *pirómetros* cuando se destinan á medir temperaturas muy elevadas.

165. **Termómetros líquidos.**—El aceite, el alcohol ó espíritu de vino, el agua y el mercurio son líquidos cuyos volúmenes se aumentan con regularidad entre ciertos límites de temperatura. Por esta razon, demostrada por la experiencia, se construyeron alguna vez termómetros de aceite, y en la actualidad se construyen con mercurio, no pocos con alcohol, y para algunos experimentos delicados sobre el calor que es propio de los rayos solares, con agua que tiene en disolucion algunas sustancias colorantes.

166. **Construccion del termómetro de mercurio.**—La construccion de este termómetro supone tres operaciones diferentes: 1.ª, eleccion del tubo; 2.ª, modo de llenarle y cerrarle; 3.ª, determinacion de los puntos extremos de la escala, y division de esta en partes proporcionales.

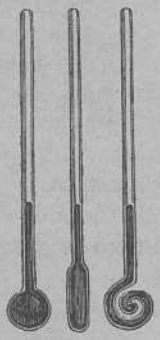
1.ª Los tubos termométricos han de presentar un diámetro igual en toda su longitud; pues de no ser así, los grados del termómetro tendrian dimensiones diferentes en puntos diversos de

(1) Aun cuando el estudio del termómetro exige el conocimiento de toda la teoría del calor, preferimos empezar desde luego dándole á conocer, porque sin el auxilio de este instrumento no se podria entender debidamente aquella.

la escala. El procedimiento que generalmente se sigue para averiguar si el diámetro interior del tubo es igual en toda su extension, consiste en hacer recorrer por todo el tubo una gota de mercurio, midiendo de trecho en trecho la longitud que ocupa en cada una de sus diversas posiciones. El impulso del índice metálico deberá verificarse comprimiendo una pequeña esfera hueca de goma elástica sujeta al extremo del tubo, para evitar por este medio la introduccion de la humedad. Cuando el índice de mercurio en todas partes se presenta con igual longitud, el tubo podrá considerarse como perfectamente cilíndrico, ó estará *calibrado.*

2.ª Elegido el tubo, se suelda ó sopla en uno de sus extremos un depósito esférico, cilíndrico ó en espiral (*fig.* 101). El termómetro se llena calentando el depósito con la llama de una lámpara de alcohol para que se enrarezca el aire, y se sumerge inmediatamente la extremidad abierta del tubo en mercurio puro perfectamente seco. Por el enfriamiento se reducirá el volúmen del aire que quedó en el interior, y la presion atmosférica obligará á una porcion de mercurio á penetrar en el tubo que pasará al depósito. En este estado se calienta el aparato segunda vez, para que por la accion del calor se evapore el mercurio que desalojará el aire del interior del termómetro. Sumergiendo de nuevo la extremidad del tubo en mercurio, el metal penetra rápidamente hasta llenar por completo todo el depósito y el tubo procurando que al reducirse el volúmen del metal líquido por el enfriamiento, deje un espacio de suficiente extension para trazar la escala. Lleno ya el instrumento de mercurio, se calienta el depósito segunda vez, y en cuanto el líquido llena el tubo, se cierra su extremidad á la lámpara.

Fig. 101.

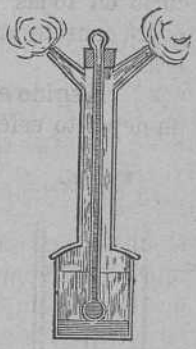


3.ª Para trazar la escala, ó graduar el termómetro se han elegido dos puntos invariables, fáciles de hallar en las mismas circunstancias, y se corresponden con la temperatura de fusion del hielo y con la de ebullicion del agua bajo la presion atmosférica de 76 centímetros: el primero, porque la columna del mercurio del termómetro desciende sensiblemente hasta el mismo punto en el hielo fundente, permaneciendo estacionaria mientras dura la fusion; y el segundo, porque se ha observado que todos los termómetros tambien permanecen estacionarios sumergidos en el

vapor procedente del agua en ebullicion, cuando la presion atmosférica es constante.

El primer punto de la escala termométrica se obtiene rodeando de nieve ó pequeños fragmentos de hielo fundente que provenga de agua pura el depósito y la parte del tubo que contiene el mercurio, este desciende lentamente, y en el punto donde queda estacionado se hace una señal. Se obtiene el segundo punto sumergiendo el depósito y casi todo el tubo del termómetro en el vapor del agua hirviendo bajo la presion de 76 centímetros (*fig.* 102), y en el punto donde se detiene la columna líquida se marca una segunda señal como la anterior. El espacio comprendido entre estas dos señales le dividió Celsio en 100 partes iguales, las que posteriormente se han llamado grados centígrados. Reaumur dividió aquel espacio en 80 partes, y Fahrenheit en 180, á partir desde el grado arbitrario 32 (*fig.* 103); constituyendo, por esta diferencia de las escalas, el termómetro centígrado, usado por los franceses, el de Reaumur, mas generalizado en el Norte de Europa, y el de Fahrenheit, mas conocido en Inglaterra y el Norte de América.

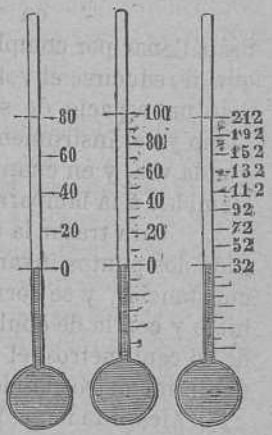
Fig. 102.



Se comprende que será fácil continuar la escala fuera de sus límites fijos, aumentando cuanto se desea el número de grados sobre 100 y bajo 0 grados.

Estos se indican ordinariamente haciéndoles preceder el signo menos; por ejemplo: —2° designa 2 grados bajo cero. Para trazar directamente la escala es necesario tener en cuenta una rectificacion indispensable, cuando no se construye el termómetro á la orilla del mar ó bajo la presion atmosférica de 76 centímetros del barómetro. Esta rectificacion, segun Biot, consiste en señalar el grado 100 una division mas alta sobre la extremidad de la columna, cuando el termómetro se halla en los vapores del agua hirviendo, por cada 27 milímetros de descenso en el barómetro. Para la construccion del termómetro en Madrid, es necesario tener presente que la temperatura del vapor del agua en ebullicion es de 97°,52 centí-

Fig. 103.



grados, segun las experiencias verificadas en estos últimos años.

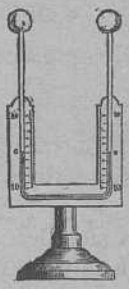
167. **Comparacion de las escalas termométricas.**—Como las relaciones aritméticas entre los grados de las escalas centígradas, Reaumur y Fahrenheit, son sencillas, fácilmente pueden convertirse los grados de temperatura de las unas en grados de las otras dos, por medio de simples comparaciones numéricas. La misma extension en las escalas de los termómetros se tiene dividida en 100, 80 y 180 partes; de consiguiente, los espacios de 1 grado de aquellas guardarán entre sí la misma razon que tienen los números citados; pero sabemos que aritméticamente $\frac{100}{180}=\frac{5\times20}{9\times20}=\frac{5}{9}$ y $\frac{100}{80}=\frac{5\times20}{4\times20}=\frac{5}{4}$; de aquí se deducen las siguientes reglas para convertir los grados de unas en otras escalas, multiplicando por $\frac{5}{4}$ los grados Reaumur para convertirlos en centígrados, y viceversa por $\frac{4}{5}$ para convertir un número cualquiera de grados centígrados en grados de Reaumur. Relativamente á los de Fahrenheit, es necesario recordar que el 0 de temperatura de este termómetro, se cuenta 32 grados de su escala mas bajo que en los de Reaumur y centígrado; y tendremos que para convertir los grados de Fahrenheit en centígrados, se restan primero 32°, y la diferencia se multiplica por $\frac{5}{9}$. Por ejemplo, se desea saber á cuántos grados centígrados equivalen 62° Fahrenheit, y tendremos $62-32=30$; $30\times5=150$ y $\frac{150}{9}=16{,}6$ centígrados; por el contrario, si se desea saber cuántos grados marcaria el termómetro de Fahrenheit cuando el de Reaumur señala 20, se multiplicaria este número por $\frac{9}{4}$, y al resultado obtenido se aumentarian los 32° que hay hasta el 0 del segundo termómetro.

168. **Cero absoluto de temperatura.**—El cero del calor en las tres escalas termométricas anteriores, que son las generalmente admitidas, no tienen relacion alguna con el cero real, ó sea aquel en que los cuerpos hubieran perdido absolutamente todo su calor. Sobre el cero absoluto en la temperatura de los cuerpos, la ciencia actualmente no presenta mas que algunas conjeturas; y por esta razon las escalas de los termómetros deben considerarse como una cadena cuyos eslabones se cuentan de abajo arriba y viceversa, desde uno que se ha convenido en mirarle como fijo, y no desde el primer eslabon de la cadena.

169. **Termómetros líquidos de máxima y de mínima temperatura.**— El termómetro se construye algunas veces con el objeto de observar las temperaturas mayores y menores de las cavernas, de las aguas de un estanque ó lago, de un pozo artesiano, ó la máxima y la mínima temperatura del aire de un dia, de un mes ó de un año. Para esta clase de observaciones, Rutherford construyó dos termómetros: el de *máxima temperatura*, que consiste en un termómetro de mercurio, delante de cuya columna se mueve un pequeño cilindro de acero, consiguiéndose de este modo que al dilatarse el mercurio lleve delante de sí el referido índice; y como el mercurio no se adhiere al hierro, le abandona cuando desciende la temperatura, quedando indicado el máximo grado de calor; este termómetro debe situarse horizontalmente. El termómetro de *mínima temperatura* es de alcohol; tiene, como el anterior, un índice, pero de esmalte y sumergido en el alcohol, cuyo líquido al contraerse por el enfriamiento se lleva el índice hácia el depósito, quedando fijo en el punto de la escala hasta donde descendió la columna termométrica, y de este modo indica la mínima temperatura.

170. **Termómetro diferencial de Leslie.**—Este aparato (*fig.* 104) sirve para apreciar pequeñas cantidades de calor. Se compone de dos esferas llenas de aire, unidas por un tubo en forma de U, que contiene ácido sulfúrico coloreado. El nivel de este enrasa con el cero de dos escalas, y sus descensos ó elevaciones sobre aquellos puntos indican las diferencias mas pequeñas de calor entre las dos esferas. Para graduar este termómetro se hace que las columnas queden á un nivel, en el cual, segun se ha dicho, se marca el cero; despues se rodea una de las esferas con hielo fundente, y se sumerge la otra esfera en agua á 10°, el líquido se elevará hácia la esfera fria, empujado por la dilatacion del aire de la caliente, y en el punto donde se queda fijo se marca 10°, y se divide el espacio recorrido en 10 partes iguales, cuyas divisiones se prolongan por la parte superior é inferior de los puntos 0 y 10. El profesor Schmith ha llegado á construir, segun Gehler, un termómetro diferencial de Leslie, con el que, se asegura, fué posible apreciar $\frac{1}{1000}$ grado del de Reaumur.

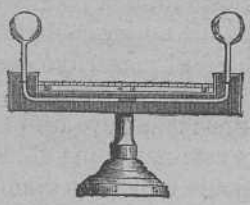
Fig. 104.



171. **Termóscopos.**—Estos aparatos pueden considerarse como una modificacion del anterior, y les han dado formas diferentes.

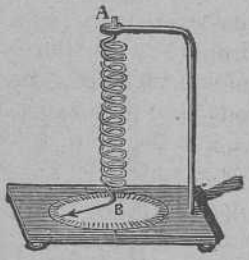
El termóscopo de Rumford consiste (*fig.* 105) en dos esferas de vidrio que contienen aire atmosférico separado por una gota de ácido sulfúrico coloreado, que se halla en la mitad de la rama horizontal cuando la cantidad de aire contenido en ambas esferas es la misma, é igual tambien la temperatura. Si suponemos la gota líquida en el cero de la escala, correrá hácia la derecha ó hácia la izquierda, conforme la temperatura del aire en una de las bolas sea mayor ó menor que la contenida en la esfera contraria.

Fig. 105.



172. **Termómetro metálico de Breguet.**—Este termómetro (*fig.* 106) está fundado en la desigual dilatabilidad de los metales. Se compone de una cinta metálica *A B* arrollada en hélice, fija por una extremidad, y en la otra lleva una aguja horizontal próxima á un limbo y plano circular dividido en grados. La hélice está formada por tres láminas metálicas, plata, oro y platino: estas láminas son muy delgadas y están unidas en toda su longitud. El oro ocupa el centro; la plata, que es el metal mas dilatable, forma la parte interna de la hélice, y la externa el platino. Las variaciones de temperatura hacen se arrolle ó desarrolle la hélice, y la aguja *B* marcha de derecha á izquierda y viceversa, coincidiendo con los diferentes puntos de una escala circular que se corresponden con los grados del termómetro centígrado. El termómetro metálico en ocasiones se prefiere al de mercurio por su gran sensibilidad.

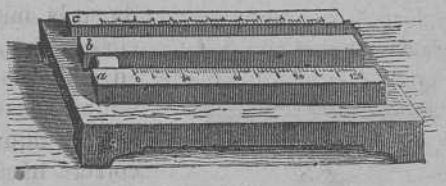
Fig. 106.



173. **Pirómetros.**—Estos aparatos termométricos se emplean, como llevamos expuesto anteriormente, para determinar el calor en el interior de los hornos de fundicion, dentro de los cuales los termómetros ordinarios quedarian inutilizados. El *pirómetro* mas conocido, y que se usa con frecuencia, es el de Wedgwood: está fundado en el grado de contraccion que por la accion del calor sufre un cilindro de arcilla, cuyo diámetro se mide observando el punto á que desciende entre tres reglas convergentes de metal *a b c* (*fig.* 107), que forman un ángulo muy pequeño. La longitud de cada una de estas barras es de 30 centímetros, de modo que forman una longitud total de 60 centímetros. La graduacion

de la escala principia en el punto á que llega el cilindro de arcilla préviamente colocado en un recinto caliente cuya temperatura es próximamente de 500° centígrados. En aquel punto de las reglas, Wedgwood colocó el cero de su pirómetro y le dividió en 240°, calculando cada grado pirométrico próximamente igual á 72° centígrados.

Fig. 107.

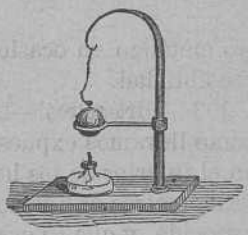


CAPÍTULO II.

Dilatacion de los cuerpos por el calor.

174. **Dilatacion de los cuerpos sólidos.**—Considerada en general la dilatacion de los cuerpos sólidos por el calor, ha dado lugar á estudios muy importantes. Para demostrar la dilatacion en los cuerpos sólidos, empleó s'Gravesande el anillo de su nombre (*figura* 108). Este aparato consiste en un anillo metálico de un diámetro poco mayor que el de una esfera, tambien metálica, que pasa fácilmente al través del anillo cuando está fria; pero calentándola, su volúmen se aumenta de tal modo, que llega un momento en que no es posible hacer que pase por el anillo del aparato. Otras experiencias podrian citarse que demuestran el mismo hecho físico; pero basta recordar la práctica que siguen los obreros cuando colocan las llantas ó aros de hierro en el borde de las pinas de las ruedas. Para ello, los aros metálicos están muy calientes, enfriándolos despues con agua, con el objeto de que queden sólidamente fijos al contraerse ó al volver al volúmen que tenian antes de elevarse su temperatura. La dilatacion de los cuerpos sólidos se llama *lineal* cuando se considera en sentido de la longitud, como en los hilos metálicos; se denomina *cuadrada* cuando se refiere á las superficies, y *cúbica* á las tres dimensiones de los cuerpos.

Fig. 108.



175. **Coeficiente de dilatacion de los sólidos.**—La dilatacion que sufre la unidad de volúmen de un cuerpo cuando se eleva su tem-

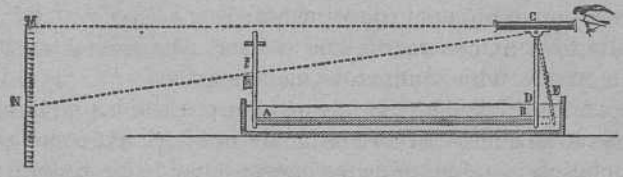
peratura de cero á 1 grado, y segun algunos, de cero á 100° centígrados, se ha llamado *coeficiente de dilatacion*. Expresados numéricamente los coeficientes de dilatacion de los diferentes cuerpos, se han formado tablas, y entre los que se expresan en estas, pueden citarse por sus frecuentes aplicaciones los coeficientes de dilatacion que corresponden á los cuerpos siguientes:

Vidrio	0,0008	Cobre	0,0017
Platino	0,0009	Laton	0,0018
Hierro	0,0012	Plata	0,0019
Oro	0,0014	Plomo	0,0028

Si á estas cantidades ó coeficientes de dilatacion los llamamos d, podrian hallarse con facilidad las dilataciones, lineal en supercie y cúbica de los cuerpos. Suponiendo la longitud del cuerpo á cero grados igual á la unidad, cuando se le haya expuesto á la accion de 100 grados de calor, su longitud se habrá aumentado y será $1+d$. Si el cuerpo se dilata en dos dimensiones, la dilatacion cuadrada será de $(1+d)^2=1+2d+d^2$; pero en esta expresion d es una cantidad sumamente pequeña segun la tabla anterior; de consiguiente, su cuadrado seria inapreciable, resultando que la dilatacion cuadrada de un cuerpo sólido, despreciando el valor d^2 por su pequeñez, queda reducida á $1+2d$. La dilatacion cúbica en los sólidos es igual á $(1+d)^3=1+3d+3d^2+d^3$; en cuya ecuacion, despreciando como en el caso anterior los valores infinitamente pequeños en que entran por factores el cuadrado y el cubo de d, se simplificarán, quedando expresada la dilatacion cúbica por $1+3d$, ó igual al *triplo* de la dilatacion lineal.

El método seguido por Lavoisier y Laplace para determinar el coeficiente de dilatacion de los sólidos, consiste en colocar horizontalmente una barra del cuerpo cuya dilatacion se quiere estudiar, en una caja rectangular de cobre puesta sobre un hornillo. Dicha barra *A B* (*fig.* 109) se apoya sobre dos cilindros de vidrio

Fig. 109.



y se halla fuertemente sujeta por la extremidad *A* á una lámina de vidrio unida á un travesaño de hierro *t* que la mantiene fija, y la extremidad *B* se halla en contacto con otra lámina de vi-

drio $C\ D$, móvil alrededor de un eje C; la extremidad C de esta varilla lleva fijo un anteojo, cuyo eje es perpendicular á la misma, y sirve para dirigir la visual á una mira $M\ N$ colocada á 200 metros de distancia.

Se echa primero hielo fundente en la caja, en cuyo caso la posicion de la varilla $C\ D$ debe ser perpendicular á la barra $A\ B$, y por consiguiente el anteojo está horizontal, como se indica en la figura, coincidiendo con el cero de la mira. Se reemplaza en seguida el hielo por agua ó aceite, y calentando la caja, la barra se dilata, empuja la varilla $C\ D$, haciéndola tomar la posicion $C\ E$; en este caso el eje del anteojo sigue la direccion oblícua $C\ N$. La dilatacion de la barra es fácil de determinar, sabiendo que el aumento de 1 milímetro en su longitud hace correr al retículo del anteojo C, 744 milímetros sobre la mira $M\ N$; de donde se deduce la posibilidad de apreciar un aumento en la longitud de la barra $A\ B$ de $\frac{1}{744}$ de milímetros.

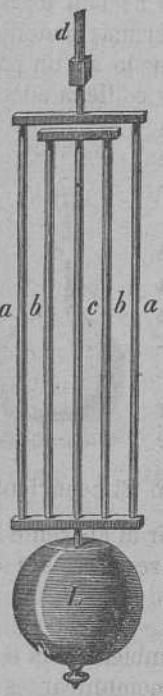
Por este medio se ha llegado á demostrar que, si bien el coeficiente de dilatación de los metales varía de un grado á otro en las temperaturas muy altas, puede considerarse como constante entre cero y 100 grados.

776. **Coeficiente de dilatacion cúbica de los sólidos.**—Se ha determinado numéricamente el coeficiente de dilatacion cúbica en algunos cuerpos, labrando pequeñas barras de ellos que se sumergen en una capacidad cilíndrica de vidrio llena de mercurio, y que tiene una pequeña boca de salida. En este aparato bajo la influencia del calor se dilatan el mercurio y el cuerpo sumergido. Cuando esto ocurre, una parte del metal líquido se extravasa y se recoge, pesándola para reducirla á centímetros ó partes de centímetro cúbico. Es evidente que si de dicho peso y volúmen se resta, el que corresponde á la dilatacion del mercurio, quedará la cantidad tambien en peso y volúmen que se refiere á la dilatacion que es propia al cuerpo cuyo coeficiente se deseaba conocer. Cuando se sigue este procedimiento experimental es necesario no olvidarse de la dilatacion de las paredes de la vasija. La dilatacion de los cuerpos cristalizados tambien se ha determinado por los ángulos diedros de los cristales, cuando estos por el calor se dilatan; habiéndose reconocido en muchos de los cristales naturales que las variaciones de aquellos ángulos presentaban diferencias bajo la influencia de los mismos cambios de temperatura en el todo de la masa, ha quedado demostrado por induccion que los cristales de espato islándico, la esmeralda y otros presentan diversos coefi-

cientes de dilatacion en la direccion de sus ejes cristalográficos, paralelamente á estos, y perpendicular y oblícuamente á los mismos.

177. **Aplicacion de la dilatacion á los péndulos.**—Entre las aplicaciones de mas interés científico que ha presentado la dilatacion de los cuerpos sólidos, se cuenta la construccion de los péndulos de compensacion ó de longitud invariable, y de consiguiente que producen oscilaciones isócronas. Las maderas se dilatan longitudinalmente mucho menos que los metales; por esta razon se creyó compensar directamente los péndulos construyéndolos antiguamente con vástagos y barras de madera. La misma razon física dió lugar para que el péndulo del reloj de la Sociedad Real de Edimburgo se construyese con el vástago ó barra de mármol negro, sustancia que presenta dilataciones sumamente pequeñas. Pero estas compensaciones de los péndulos, si bien fueron las directas y sencillas, no eran exactas matemáticamente. Para conseguir una compensacion mas perfecta, Harrison y Graham construyeron sus péndulos; el primero fundándose en la diferente dilatacion de dos barras metálicas dispuestas de modo que mientras la una aumenta la longitud del péndulo, la otra por su dilatacion en sentido inverso acorta la longitud del vástago del mismo; el del segundo se compensa por la elevacion del centro de gravedad del péndulo, como consecuencia de la dilatacion del mercurio.

Figura 110.



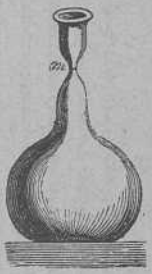
El sistema mas general de Harrison para compensar los péndulos, es el representado en la figura 110; la lenteja *L* se halla sostenida por bastidores metálicos, formados con varillas de acero y laton; en el bastidor exterior las varillas verticales *a a* son de acero, y en el interior las varillas *b b* son de laton, de cuya parte superior pende la varilla *c* y la lenteja *L*; todo el sistema está sostenido por una lámina flexible de acero *d*, que se encorva á cada semi-oscilacion. El aumento de temperatura hace se dilaten las barras *a a* y baje la lenteja, y por consiguiente el centro de oscilacion, pero la dilatacion del bastidor interior *b b* fijo en el pié se verifica hácia la parte superior y eleva la lenteja, estableciéndose así la compensacion deseada.

178. **Dilatacion de los cuerpos líquidos.** Los grados de liquidez en

los cuerpos dependen de la atraccion molecular, fuerza cuyos efectos se destruyen gradual y sucesivamente por el antagonismo y poder contrario del calórico; en este supuesto, es evidente que cada uno de aquellos cuerpos debe presentar, como los sólidos, diversa cantidad de dilatacion con cambios iguales de temperatura; si bien los coeficientes de dilatacion de los cuerpos líquidos son mucho mayores que los de los cuerpos sólidos. En estos cuerpos debe distinguirse la *dilatacion aparente* y la *dilatacion real* ó *absoluta*. La dilatacion aparente es el aumento que experimenta el volúmen de un líquido encerrado en una vasija que tambien se dilata; la dilatacion absoluta es lo que se aumenta el volúmen del líquido haciendo abstraccion de la dilatacion de la vasija.

179. **Coeficiente de dilatacion de los cuerpos líquidos.**—De lo dicho en el párrafo anterior se deduce, que para determinar el coeficiente de dilatacion de los líquidos, hay que establecer una diferencia entre el coeficiente de dilatacion aparente y el de dilatacion absoluta. Varios son los procedimientos que se han usado para hallar estos coeficientes de dilatacion, pero el mas sencillo es el siguiente: se toma un vaso (*fig.* 111) terminado en un pequeño embudo, que además tenga una marca *m*, y se llena sucesivamente de mercurio, de agua, de aceite ó de espíritu de vino hasta la marca *m*: pesándole cuando la temperatura de los líquidos es de 0°, se obtendria cierto número de unidades de peso. Posteriormente se eleva á 100° la temperatura de los líquidos contenidos en aquel vaso. Separando la cantidad de los líquidos que por dilatacion hubiere pasado sobre la marca *m*, se vuelve á pesar el aparato, en cuyo caso quedará expresado el valor de las dilataciones por la diferencia de los pesos. Por este medio se ha encontrado que el coeficiente aparente del mercurio es $\frac{1}{6487}$ de su volúmen á cero. El coeficiente de dilatacion absoluta se obtiene con solo añadir al aparente lo que corresponda á la dilatacion del vaso, y resulta para el mercurio $\frac{1}{5550}$.

Fig. 111.

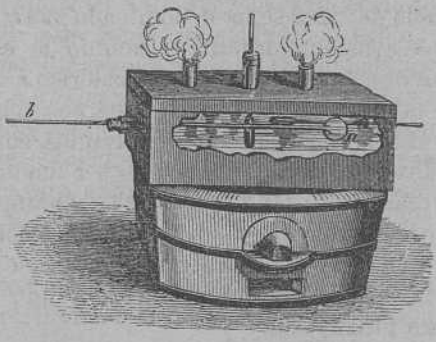


El coeficiente de la dilatacion del mercurio tambien se ha determinado fundándose en las leyes de los tubos comunicantes y comparando las alturas de aquel metal en los dos brazos ó ramas de uno de aquellos tubos; primero en el caso de tener las dos columnas comunicantes del mercurio igual temperatura, suponga-

mos la de 0°, y despues calentando una de ellas á 100° mientras la primera rodeada de hielo fundente se conserva á 0°. Verificado el aumento parcial del calor referido, las dos columnas no se corresponden á la misma línea de nivel, y su diferencia representa la dilatacion ocurrida en la columna correspondiente de mercurio. Dicha extension lineal dividida por 100 nos daria el coeficiente de dilatacion del mercurio. Para determinar el coeficiente de dilatacion de los líquidos muy volátiles, se comprende que no servirian los dos procedimientos indicados. En el caso de dichos cuerpos volátiles, se ha adoptado el camino de construir con ellos varios aparatos semejantes á los termómetros, pero de paredes muy resistentes, para despues, exponiendo algunos de aquellos á la accion igual del calor, compararlos por las dilataciones que señalan en escalas de volúmen geométricamente trazadas y divididas de un modo uniforme.

180. **Dilatacion de los cuerpos gaseosos.**—La dilatacion de los gases por el calor es mucho mayor que la que en igualdad de circunstancias presentan los cuerpos sólidos y los líquidos. La dilatacion notable de estos cuerpos se explica fácilmente, pues en los sólidos y líquidos la atraccion molecular se opone á la facultad repulsiva del calórico; pero en los gases y flúidos elásticos, la atraccion molecular es sensiblemente nula en sus efectos, y además las moléculas se presentan en un estado permanente de repulsion, la cual por la accion del calórico se hace mayor, resultando el aumento de volúmen con un coeficiente de dilatacion en los gases, que es próximamente 1000 veces mayor que en los cuerpos sólidos.

Fig. 112.



181. **Coeficiente de dilatacion de los gases.**—Por largo tiempo ha sido desconocido el coeficiente de dilatacion de los gases, por la dificultad de obtenerlos perfectamente puros y desecados. Gay-Lussac, con el aparato representado por la *figura* 112, que se compone de un termómetro de aire *a b*, cuyo depósito *a* tiene una capacidad 1000 veces mayor que la del espacio comprendido entre dos de las divisiones trazadas en el tubo, halló

que el aire perfectamente seco, encerrado en el termómetro *a b*, hacia marchar un índice ó gota de mercurio desde 0 hasta la division 379, cuando la temperatura en el interior de la bola del termómetro pasaba de 0° hasta 100°. Por un procedimiento análogo obtuvo Dalton un resultado numérico muy aproximado. El coeficiente de dilatacion del aire, segun Rudberg, es de 365, mientras que, segun los últimos trabajos de Regnault, un volúmen de 1000 unidades de aire cuya temperatura cambie de 0° á 100°, se aumenta hasta llegar á ser 366,5 unidades mayor. Habiéndose observado que la dilatacion de los cuerpos gaseosos es igual á la del aire, ó que las diferencias que presentan los coeficientes de dilatacion de los flúidos elásticos son muy pequeñas, se tiene adoptado el número $\frac{366,5}{1000}$ como la expresion del aumento del volúmen de los gases cuando su temperatura varía entre los límites citados.

CAPÍTULO III.

Cambio de estado de los cuerpos.

182. **Fusion.**—Los cuerpos sólidos por la accion del calórico se dilatan, y muchos pueden pasar al estado líquido. A este cambio de estado de los cuerpos se llama *fusion*, y se verifica cuando los cuerpos sólidos poseen una temperatura que las observaciones han enseñado es siempre la misma para cada uno de ellos; á este grado de calor se ha denominado *punto de fusion*, el cual permanece constante durante el cambio de estado de los cuerpos, cualquiera que sea el orígen del calórico á que se hallen expuestos; de donde se deduce que los cuerpos sólidos se funden por el calor acumulado, exceptuándose algunos, entre los cuales se cuenta el diamante, que no han podido ser fundidos completamente hasta el dia. Las sustancias vegetales y animales por la accion del calor se descomponen sin fundirse, sucediendo lo propio con algunos minerales. En la siguiente tabla se indican los puntos de fusion ó grados diferentes de calor que necesitan varios cuerpos para fundirse:

Hierro forjado	2118°	Bismuto	256°
Níquel	2000	Estaño	230
Oro	1102	Azufre	111
Cobre	1092	Sódio	90
Plata	1022	Cera blanca	66
Bronce	950	Fósforo	44
Zinc	423	Hielo	0
Plomo	334	Mercurio	—40

183. **Calórico latente.** Un fenómeno notable se observa en la fusion de los cuerpos en el momento de cambiar de estado, y consiste en desaparecer una cantidad grande de calórico en medio de la masa fundida. Este calórico insensible al termómetro, se emplea únicamente en producir el cambio de estado, y se le ha dado el nombre de *calórico latente*, para distinguirle del *calórico sensible* ó que produce efectos termométricos.

El calórico latente del agua se puede determinar mezclando 1 kilógramo de agua á 79° centígrados con 1 kilógramo de nieve, y se obtienen 2 kilógramos de agua á 0°. Los 79° de calor que desaparecen ó no producen efecto sensible en el termómetro, se han gastado en convertir el kilógramo de nieve en 1 kilógramo de agua á 0°; de lo cual se infiere que el calórico latente de dicho líquido será igual á 79°.

El calor latente no se aniquila ó destruye en las masas líquidas y fundidas, sino que existe en ellas, en cantidades variables, y segun los cálculos de Irving:

En el agua es de.....	79	En el zinc.....	274
En el azufre.....	80	En el estaño.....	278
En el plomo.....	90	En el bismuto.....	300
En la cera.....	97		

De los anteriores números se deduce que 1 kilógramo de hielo necesita para fundirse 79 veces tanto calor como el que necesita 1 kilógramo de agua para ganar 1 grado termométrico en su temperatura. El azufre, la cera, etc., necesitan, segun la misma tabla, 80, 90, 97, etc., veces el número de unidades del calor que son necesarias para que 1 kilógramo de aquellos cuerpos gane 1 grado de calor.

184. **Solidificacion.**—El paso del estado líquido al de sólido se llama *solidificacion* ó *congelacion*. La solidificacion se efectúa en cada cuerpo colocado en igualdad de circunstancias, á una temperatura fija, que es la de su fusion, y desde el instante en que principia aquella hasta que se termina, no varía la temperatura del líquido, lo cual depende de que queda libre todo el calórico latente absorbido durante la fusion. Muchos líquidos, como el alcohol y el éter, no se solidifican aun cuando se les someta á las temperaturas mas bajas que se pueden producir; no habiéndose conseguido hasta hoy, relativamente al alcohol, mas que darle tal densidad de 110° á 120° bajo cero, que el referido líquido no se vierte del vaso aun cuando por algunos momentos se mantenga boca abajo.

185. **Mezclas frigoríficas.**—Si toda fusion supone el cambio de una cierta cantidad de calórico libre ó sensible á los termómetros en calórico latente, es fácil comprender la teoría física de las *mezclas frigoríficas*, que reciben este nombre por producirse con ellas frios intensos. Estas se forman generalmente por la mezcla de la sal comun y del hielo machacado, cuyo último cuerpo hemos visto que absorbe para fundirse una cantidad de calórico capaz de elevar á 79 grados la temperatura de una masa de agua igual á la suya, ó capaz de elevar 1° una masa 79 veces mayor; y como la sal comun al disolverse se liquida, lo cual no puede verificarse sin que á su vez la sal convierta en latente cierta cantidad de calórico libre que no recibe directamente de ningun foco, resulta que por la fusion y disolucion se produce un enfriamiento proporcional. Se prueba fácilmente que al disolverse una sal en el agua desciende la temperatura del líquido por el cambio de estado de aquella: echando sal comun en el agua y agitándola rápidamente despues de haber sumergido en el líquido la esfera de un termómetro, se observa que el agua se enfria mientras dura la disolucion de la sal. La sal de Glauber, disolviéndose en el ácido clorhídrico, origina un descenso de temperatura de +10° á —17°, conforme á los principios anteriores.

Vapores.—Medida de su tension.

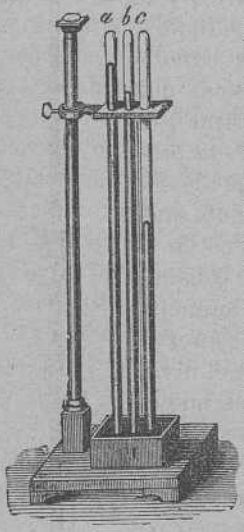
186. **Evaporacion.**—El cambio de los cuerpos sólidos y líquidos que pasan al estado de vapor, se ha llamado *evaporacion*. La evaporacion puede verificarse en el vacío, en espacios de aire ó de otros líquidos elásticos, bajo la influencia directa del fuego, y tambien espontáneamente.

187. **Teoría de la evaporacion; vapores en el vacío.**—Mucho tiempo se sostuvo la opinion de que los vapores no podian existir sin estar disueltos en el aire ó en otro gas que, respecto del vapor ejerciera una accion semejante á la del agua sobre las sales disueltas; y que así como una sal no podia liquidarse sin la fuerza disolvente de un líquido, del mismo modo un líquido no podria evaporarse ó gasificarse sin la presencia de un gas disolvente del vapor.

Para demostrar la inexactitud de esta opinion, bastará estudiar experimentalmente la evaporacion de los líquidos en el vacío de Torricelli. Supongamos tres tubos de barómetro (*fig.* 113) cargados con mercurio segun las reglas establecidas en el párrafo 105, y que se inviertan en una cubeta ó vaso *U* que contenga el

mismo metal líquido; las columnas barométricas se presentarán en los tres tubos con igual altura. Una vez dispuestos los tres barómetros, si por medio de una pipeta curva se introducen algunas gotas de agua en el barómetro *b*, el agua se elevará hasta el vacío barométrico, é instantáneamente la columna del barómetro descenderá algunos milímetros. Este descenso no puede atribuirse al peso del agua, porque este peso es casi insensible relativamente al del mercurio que ha descendido; ni tampoco puede admitirse que la causa sea el aire, suponiendo que el agua, antes de pasar al interior del barómetro, ha sido hervida; de consiguiente la causa estará en la misma agua, que al hallarse en el vacío toma una forma invisible como la del aire; en cuyo estado el agua posee las propiedades de la tension, expansion y elasticidad que son propias de los gases. El agua en este caso se dice que se ha evaporado en el vacío barométrico, y por consecuencia sin disolvente particular. La depresion barométrica observada cuando el agua se evapora en la cámara del vacío de Torricelli, indica tambien el valor de la *fuerza elástica* ó *tension* propia de los vapores del agua, cuya tension queda expresada por la diferencia de las alturas en los barómetros. Si el barómetro *b* aparece 20 milímetros mas bajo que el barómetro *a*, la presion del vapor del agua es igual á una fuerza representada por el peso de una columna de mercurio de 20 milímetros de altura.

Fig. 113.



Si en vez de agua se hace llegar á la cámara del barómetro éter sulfúrico, se observa que la columna de mercurio desciende próximamente á su mitad de altura, como se indica en el barómetro *c*; de donde se deduce que la máxima tension que puede adquirir el vapor del éter á la temperatura ordinaria, es casi igual á la presion ejercida por una columna de aire, cuya altura es la mitad de la de toda la atmósfera. Como se supone un exceso del líquido que produce el vapor en la cámara barométrica, es evidente que el vapor ha debido adquirir la mayor tension de que es capaz á la temperatura ordinaria, y mientras esta no varíe, la tension del vapor permanecerá constante; lo cual demuestra que para una temperatura determinada hay un límite en la cantidad

de vapor que puede formarse en un espacio dado, circunstancia que se expresa diciendo que el espacio se halla *saturado* de vapor.

188. **Caractéres diferenciales entre los vapores y gases cuando no sufren presiones grandes.**—La evaporacion del agua, del espíritu de vino, del éter sulfúrico y de otros líquidos diferentes en el vacío de Torricelli, proporciona uno de los medios para demostrar experimentalmente las analogías y diferencias físicas que existen entre los gases y vapores. Para demostrar esta diferencia se hace uso del barómetro de cubeta profunda (*fig.* 114), con el cual y suponiendo que la cámara barométrica contiene vapor de éter, se nota que. sumergido el tubo barométrico mas ó menos en el mercurio de la cubeta, se consigue aumentar ó disminuir el espacio ocupado por el vapor. Si se aumenta aquella capacidad, la columna de mercurio conserva una altura constante de 400 milímetros sobre el nivel del mercurio de la cubeta, de donde se deduce que el vapor del éter, como el aire y en general los gases, poseen un poder expansivo indeterminado, llenando cada vez mayores espacios, sin disminuirse su fuerza elástica. Por el contrario, cuando el tubo barométrico se sumerge mas en la cubeta, el volúmen del vapor se disminuye y llega al estado de saturacion, en el cual el éter evaporado se condensa, apareciendo muy pronto en forma líquida sobre el nivel del mercurio. El éter líquido aumenta conforme la capacidad del vacío se disminuye, hasta llegar á un límite, que es el de la conversion completa de todo el vapor en una masa líquida. De los experimentos anteriores se deduce: 1.°, que los vapores en el vacío poseen la expansibilidad indeterminada de los gases; y 2.°, que la fuerza elástica ó de tension de los vapores está limitada por su cambio de estado cuando se liquidan. Liquidados en los tiempos actuales por grandes presiones y enfriamiento los gases que los antiguos llamaron permanentes las diferencias entre estos y los vapores, se comprende tienden marcadamente á desaparecer de la ciencia.

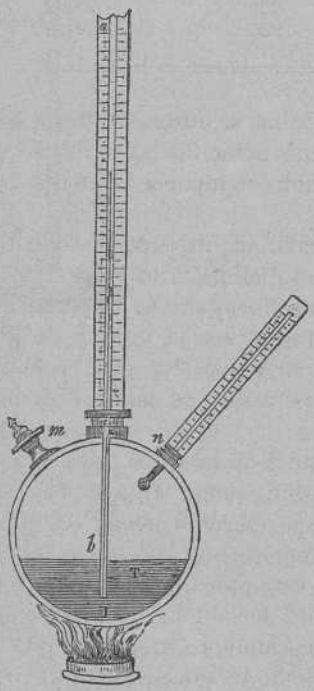
Fig. 114.

189. **Tension del vapor del agua á temperaturas inferiores á 0°.**—Para determinar la tension del vapor del agua á temperaturas inferiores á 0°, se emplea un barómetro con la cámara del vacío encorvada para sumergirla en varias mezclas frigoríficas. La tension del vapor en este caso, como en el anterior, se mide por la

depresion de la columna de mercurio comparada con la de un barómetro ordinario colocado en la misma mezcla frigorífica.

190. **Tension del vapor del agua entre 0° y 100°.**—Para determinar la tension del vapor del agua á temperaturas que no pasen de 100°, se emplea un barómetro que la cámara del vacío contenga vapor acuoso. El tubo barométrico se coloca dentro de un cilindro de vidrio, hueco y abierto por sus dos extremos, que descansa sobre el fondo de la cubeta donde se halla sumergida la extremidad abierta del tubo, y se eleva hasta la misma altura del tubo barométrico: dentro de este cilindro se echa agua hasta cubrir el tubo, y despues se aumenta gradualmente la temperatura, observando las diferencias de alturas de aquel barómetro con las de otro barómetro normal que le acompaña. Cuando el agua del cilindro rompe á hervir, el mercurio del barómetro que contiene el vapor del agua se nivela con el de la cubeta, lo que prueba que el vapor posee, á la temperatura de la ebullicion del agua, una tension igual á la presion atmosférica. Para que el agua del cilindro tenga la misma temperatura en toda su longitud durante los experimentos, Regnault ha reemplazado el cilindro de vidrio por otro de palastro, y por medio de un agitador hace se mezclen constantemente las diversas capas del líquido.

Fig. 115.



191. **Tension del vapor del agua á temperaturas superiores á 100°.**—La tension que el vapor del agua adquiere á temperaturas superiores á 100°, puede determinarse por medio del aparato (*fig.* 115); se compone de un vaso esférico, el cual contiene mercurio en el fondo *U* y agua en la porcion *T*: además tiene un tubo *a b*, cuya extremidad inferior está abierta y se sumerge algunos centímetros en el mercurio, hallándose dicho tubo sobre una escala, y fijo á rosca al vaso esférico. Por la llave *m* se extrae el aire del interior del aparato, mientras que en la abertura *n* se halla un termómetro. Si se calienta este apa-

rato, la presion del vapor hará que se eleve el mercurio en el tubo *a b*, y cuando llegue á los 76 centímetros, entonces la fuerza elástica del vapor acuoso será igual al peso de una atmósfera; si el mercurio en la escala llega á 152 centímetros, la fuerza elástica del vapor es de 2 atmósferas, y así sucesivamente. Poniendo en relacion las fuerzas elásticas adquiridas con las temperaturas indicadas por el termómetro, obtendríamos los resultados siguientes, expresados por el peso de la atmósfera considerada como unidad de comparacion.

Temperaturas en grados centígrados.	Fuerza elástica de los vapores en atmósferas.	Temperaturas en grados centígrados.	Fuerza elástica de los vapores en atmósferas.
100	1,00	182	10,33
121	2,07	200	15,49
145	4,13	215	20,66
160	6,20	226	25,82
172	8,26	236	30,99

Comparando los números de la tabla anterior, resultan dos consecuencias que podrian considerarse como las leyes físicas de la fuerza elástica de los vapores, cuando aquella se aumenta por causa del calórico.

La primera es que el vapor del agua, adquiriendo 100° de calor, temperatura con la cual hierve aquel líquido, la fuerza de tension del vapor es 1 atmósfera. Posteriormente se ha comprobado que todos los vapores, cualquiera que sea el líquido de que se hayan originado, presentan una fuerza elástica igual á la del peso de la atmósfera, cuando su temperatura es la de ebullicion del líquido.

La segunda consecuencia que resulta de la tabla anterior, es la de que la fuerza elástica de los vapores se aumenta en una progresion mucho mas rápida que la que sigue ó puede seguir la temperatura; pues, segun la tabla numérica, son necesarios 100° de calor en el vapor del agua para que este posea la fuerza de tension de 1 atmósfera, y adquiridos 100°, bastan 21° mas para que la fuerza elástica del vapor acuoso se duplique, mientras que es suficiente una diferencia de 10°, pasando la temperatura del vapor de 226° á 236°, para que adquiera una tension mayor de 5 atmósferas.

191. **Tension de los vapores en un espacio desigualmente caliente.**—

Hasta ahora se lleva estudiada la fuerza expansiva de los vapores en el vacío, suponiendo toda la masa vaporosa con igual temperatura; pero los vapores podrian ocupar espacios desigualmente calientes que se comuniquen entre sí, y en este caso la tension de los vapores se equilibra en todos los puntos, presentándose con la tension que corresponde á la temperatura del recinto mas frio.

Para demostrar esto basta poner en comunicacion dos matraces que contengan agua; el uno se rodea de hielo fundente, y el otro se coloca sobre un hornillo para que la temperatura del agua sea de 100°. La tension del vapor en el primer matraz, si estuviese solo, seria de 4,6 milímetros, y de 760 en el segundo; pero hallándose en comunicacion, el vapor que contínuamente llena el matraz caliente se precipita por su exceso de tension en el matraz frio, y se condensa inmediatamente, resultando de aquí que el vapor no puede adquirir una tension superior á la que le corresponde á cero, que es la temperatura del matraz frio.

192. **Mezcla de los vapores y de los gases.**—El cambio de estado de los cuerpos líquidos que pasan á vapores, cuando se verifica en un espacio lleno préviamente de aire ú otro gas cualquiera simple ó compuesto, se verifica del mismo modo que en el vacío, pero presentando el fenómeno de la difusion, que se reconoce poniendo éter sulfúrico en dos campanas, la una llena por mitad de aire atmosférico, la otra conteniendo hidrógeno, que es 14,5 veces mas ligero que el aire, y se observará que los vapores del éter son, por su cantidad y fuerza de tension, iguales en las dos campanas. Sin embargo, en la que contenia hidrógeno, el vapor del éter adquiere toda su tension y deja de evaporarse en la mitad del tiempo que en la campana que contiene el aire; de donde se deduce que los vapores del éter penetran en un cuerpo gaseoso con tanta mayor rapidez cuanto menor es su densidad. Esta diferente facultad de la difusion de los vapores en los espacios llenos de uno ó mas gases, no se opone á las leyes físicas de las mezclas de los gases y vapores, demostradas experimentalmente por Dalton. Estas leyes son dos: 1.ª, la tension de los vapores originados de un líquido cualquiera en un espacio limitado son iguales, bien el espacio esté vacío, bien contenga préviamente algun gas; 2.ª, la fuerza elástica de una mezcla de vapores y gases es igual á la suma de las fuerzas elásticas de los vapores y gases mezclados, conservando el gas la misma elasticidad que corresponde á su volúmen primitivo. El físico Regnault, contra la generalidad de la segunda ley, ha observado que la fuerza elástica del vapor del agua en el aire y en el gas nitrógeno puro se debilita un poco (de

2 á 3 por 100), comparándola á igual temperatura que en el vacío: de lo cual podria deducirse la posible existencia de algunas causas cuya naturaleza es desconocida, y que se oponen á la difusion completa de los líquidos evaporados en los espacios préviamente llenos de otros cuerpos gaseosos y vapores.

193. **Calor latente de los vapores.**—La conversion del calórico libre en calórico latente cuando los sólidos se funden (183), tiene aplicacion al fenómeno de la evaporacion de los líquidos que pasan al estado de vapor cuando el calor, acumulándose en su masa, desaparece, siendo insensible á los termómetros. De aquí el admitir en este fenómeno *calórico latente* como en la fusion, dándole el nombre de *calórico de elasticidad* ó *de vaporizacion*.

Las leyes físicas mas notables del calórico latente en los vapores, son: 1.ª, que el calor latente se aumenta en los vapores conforme el calor sensible se disminuye, y viceversa, se disminuye cuando este último se aumenta; 2.ª, que la cantidad de calórico latente varía en los diferentes vapores; y 3.ª, que el calor latente de los vapores parece ser proporcional á su volúmen.

Para determinar con exactitud el calórico latente de los vapores de líquidos diferentes, Despretz ha hecho numerosas investigaciones, llegando á formar la siguiente tabla:

Agua.....	540	Éter.....	96
Alcohol.....	207,7	Aceite esencial de trementina.	77

Estos números expresan el calor latente de los vapores de los líquidos á que se refieren, á la temperatura de su ebullicion bajo la presion de 76 centímetros; de donde se deduce que 1 gramo de agua á la temperatura de 100° absorbe, al evaporarse, una cantidad de calor capaz de elevar de 0 á 1° una masa del mismo líquido 540 veces mayor; por consiguiente, el calor total absorbido por el agua para cambiar de estado, á partir de la temperatura del hielo fundente, es de 640°.

194. **Evaporacion espontánea.**—Cuando los cuerpos líquidos y sólidos se convierten lentamente en vapores por una temperatura moderada, se dice que su evaporacion es *espontánea*. El agua, despues de las grandes lluvias, desaparece de la superficie del terreno donde cayó, por la evaporacion espontánea de aquel líquido, la cual se verifica con los fuertes calores del verano y durante los frios del invierno.

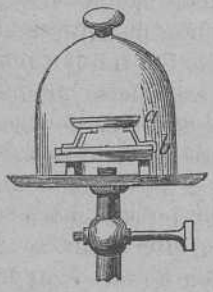
La cantidad del calórico que se combina con los vapores pasando al estado latente durante la evaporacion espontánea, procede de dos causas, á saber: del calor libre de las masas líquidas

y del calórico que poseen los cuerpos inmediatos; por esta razon todas las masas líquidas como los cuerpos sólidos inmediatos presentan descensos de temperatura ó enfriamiento por causa de la evaporacion. Este frio se produce de un modo semejante al que se origina en las mezclas frigoríficas y en la disolucion de las sales, llegando á ser el enfriamiento por la evaporacion tanto mas grande, cuanto mas rápidamente se verifique el cambio de estado de los líquidos que espontáneamente se están evaporando.

Tres problemas físicos presenta el estudio de la evaporacion espontánea de los líquidos; el primero es el del enfriamiento originado por aquel cambio lento de estado de los cuerpos líquidos; el segundo el de las leyes físicas de la evaporacion espontánea del agua en medio del aire atmosférico; y el tercero versa sobre los procedimientos seguidos para medir y calcular la cantidad de vapor de agua que puede existir en un momento dado en la atmósfera, procedente de la evaporacion espontánea, de cuyo tercer problema nos ocuparemos en el estudio de la metereología.

195. **Frio producido por la evaporacion.**—Algunos experimentos y sencillas observaciones bastan para dar una idea del grado de enfriamiento que se puede conseguir por la evaporacion espontánea de los líquidos. Si tomamos un termómetro y se cubre la bola con una capa de algodon humedecida con agua, espíritu de vino ó éter sulfúrico, la evaporacion de estos líquidos se verifica, y el termómetro indica temperaturas mas bajas conforme la evaporacion tiene lugar en la esfera de dicho termómetro. Si dejamos caer algunas gotas de espíritu de vino ó éter sulfúrico sobre la mano, se siente frio, que puede ser intenso si la evaporacion del éter es muy rápida.

Fig. 116.



Por el experimento de Leslie se demuestra que el enfriamiento por la evaporacion puede llegar á congelar y solidificar muchos cuerpos líquidos. Este experimento se practica colocando bajo el recipiente de la máquina neumática, un vaso de vidrio *b* (*figura* 116) con ácido sulfúrico concentrado, y sobre este vaso se coloca una cápsula metálica ancha y poco profunda *a* en la cual se echa agua. Conviene que la distancia del ácido sulfúrico y el fondo de la cápsula no exceda de 4 á 6 centímetros. Haciendo con rapidez el vacío, se observa que despues de algunos minutos aparecen en el agua pequeñas agujas de hielo, cuyo número se au-

menta conforme se verifica el vacío. Los resultados obtenidos por este experimento pueden servir para probar la buena construccion de una máquina neumática, y su explicacion física es muy sencilla. El agua de la cápsula se evapora en el vacío; y al hacerlo convierte en latente una cantidad de calórico muy considerable que toma de su masa y de las paredes de la cápsula que contiene el líquido; los vapores segun se forman son absorbidos por el ácido, y de aquí resulta un enfriamiento en el agua y la congelacion referida.

Por un experimento semejante al que se acaba de describir, valiéndose de la evaporacion rápida de un líquido muy volátil, se puede solidificar el mercurio contenido en la esfera de un termómetro.

196. **Causas que influyen en la evaporacion espontánea del agua.**—El estudio de las causas que influyen en la evaporacion espontánea del agua en medio del aire, presenta grande interés, porque dicha evaporacion se verifica en cantidades muy notables sobre la superficie de la tierra y de los mares, dando orígen á muchos de los fenómenos que tienen lugar en la atmósfera. Estas causas son las siguientes: 1.ª La extension de la superficie; en efecto, la evaporacion espontánea se verifica solo en la superficie de los líquidos, por cuya razon será proporcional con la extension de aquella superficie. 2.ª La agitacion del aire; el agua se evapora con tanta mayor rapidez, cuanto mas grande es la agitacion del aire ó de las corrientes atmosféricas. 3.ª La temperatura; la evaporacion se aumenta con la temperatura de la masa líquida. 4.ª La presion atmosférica; la evaporacion se aumenta ó disminuye en razon inversa de la presion que sufre el líquido. 5.ª Influye muchísimo en la evaporacion la sequedad de la atmósfera; pues si el aire atmosférico tiene préviamente vapores acuosos, la evaporacion del agua será muy escasa, y nula cuando el aire se halla saturado ó satisfecho del vapor del agua: en este estado una cantidad mas de vapor se liquidaria en medio de la atmósfera. 6.ª Los vapores acuosos contenidos en un aire saturado de ellos, no tienen influencia sobre la evaporacion de otro líquido; así, el alcohol, el éter, etc., se evaporan con la misma facilidad en el aire húmedo que en el aire seco: exceptúanse las disoluciones salinas, cuyos vapores son idénticos á los del agua pura.

Ebullicion.

197. **Fenómeno de la ebullicion.**—Cuando la temperatura de los

líquidos que se están evaporando es suficiente para que los vapores adquieran una fuerza de tension igual á la de 1 atmósfera, los líquidos presentan un fenómeno caracterizado por la presencia y formacion de pequeñas burbujas de vapor en el interior de las masas líquidas expuestas á la accion del fuego. El volúmen de aquellas burbujas y su número se aumenta conforme los líquidos se calientan, notándose que en parte se contraen y algunas desaparecen cuando se elevan al través del líquido, dando orígen á un ruido débil y característico. Cuando el calor continúa obrando en las masas líquidas, las burbujas ó esferas de vapor corren mas largo trayecto, hasta romperse en la superficie del nivel del líquido. La agitacion resultante en los líquidos por los movimientos ascensionales de las burbujas ó esferas de vapor, y el ruido que las acompaña, constituyen el fenómeno de la *ebullicion*.

198. **Circunstancias que hacen variar el punto de ebullicion.**—La ebullicion de los líquidos se verifica con grados de temperatura que pueden ser diferentes para un mismo líquido cuando varian las circunstancias que le rodean; entendiéndose por *punto de ebullicion* el grado de calor que necesitan los líquidos para hervir y dar orígen á vapores cuya fuerza de tension sea igual á la de la presion atmosférica. Las principales circunstancias que hacen variar el punto de ebullicion de un líquido, son: la naturaleza y forma de la vasija que le contenga, las sustancias que puede tener en disolucion el líquido y la presion atmosférica. Gay-Lussac fué el primero que observó que los líquidos hervian mas fácilmente en vasos cuyos fondos tienen puntos salientes ó presentan asperezas, que en los vasos de fondo plano y liso. Tambien notó que el punto de ebullicion era 2 grados mas alto en los vasos de vidrio que en los metálicos.

El punto de ebullicion del agua se retarda por las sales que pueda contener en disolucion; el agua saturada de sal comun no rompe á hervir hasta los 109°; y saturada de carbonato de potasa, su punto de ebullicion se retrasa hasta los 140°.

La presion de la atmósfera influye sobre la ebullicion de los líquidos, disminuyendo el grado de calor del punto de ebullicion conforme se disminuye la presion atmosférica. Por esta razon es necesario tener muy en cuenta la presion barométrica para fijar el punto de ebullicion de un líquido en una ó diferentes regiones de la tierra donde el barómetro puede presentar alturas diversas.

Saussure halló en la cima del monte Blanco que el agua hierve á 82°,2, mientras se sabe que en el fondo de las minas el agua

para hervir necesita una temperatura mayor que en la superficie de la tierra. Por esta razon, Wollaston propuso la aplicacion del termómetro para medir alturas, y últimamente Regnault ha ideado el aparato denominado *hipsómetro*. Este aparato se compone de varios tubos dispuestos de manera que entran los unos en los otros, como los de un anteojo, sirviendo el inferior de caldera para la ebullicion del agua. Se suspende un termómetro en el interior del tubo, de modo que el depósito de aquel se halle á la distancia de 2 ó 3 centímetros sobre el agua, que se calienta por medio de una lámpara de alcohol.

Fundándose en la experiencia, Regnaul ha construido la siguiente tabla de referencia entre los puntos de ebullicion del agua y las alturas barométricas.

Temperaturas de ebullicion.	Alturas barométricas en milímetros.	Temperaturas de ebullicion.	Alturas barométricas en milímetros.
93°,5.....	599,49	97°,0.....	682,03
94, 0.....	610,74	97, 5.....	694,56
94, 5.....	622,17	98, 0.....	707,26
95, 0.....	633,78	98, 5.....	720,15
95, 5.	645,57	99, 0.....	733,21
96. 0.....	657,54	99, 5.....	746,50
96, 5.....	669,69	100, 0.....	760

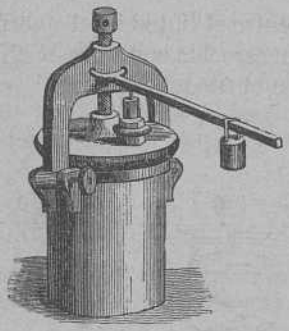
De la tabla anterior resulta, que el punto de ebullicion del agua se disminuye en 1 grado centígrado próximamente por cada 27 milímetros de descenso en el barómetro, y de consiguiente, el descenso de 1 grado del punto de ebullicion equivale á una altura sobre el nivel del mar de unos 300 metros.

Se demuestra que disminuyendo la presion se acelera el punto de ebullicion de los líquidos colocando bajo el recipiente de la máquina neumática un vaso con agua á la temperatura de 30 á 40°, y haciendo el vacío se verá que la ebullicion comienza cuando la presion interior es igual á la tension del vapor á 30 ó 40°, cuya ebullicion continúa mientras siga extrayéndose el vapor que se forma.

Aumentando la presion sobre los líquidos, se retarda su punto de ebullicion: para demostrarlo nos podemos servir de la *marmita de Papin* (*fig.* 117), que consiste en un vaso de bronce de paredes muy gruesas, con una tapadera que puede fijarse perfectamente por medio de un tornillo, en la que hay una válvula de seguridad dispuesta para cargarla con pesos diferentes. En este

aparato el agua llega á adquirir temperaturas superiores á 100° sin hervir, y la tension del vapor puede ser considerable si la válvula de seguridad está cargada con bastante peso; pero en el momento en que la tension del vapor es superior á la presion ejercida por la válvula de seguridad, esta se abre y la ebullicion principia con violencia extraordinaria.

Fig. 117.



Como, segun lo expuesto, el agua hierve en vasos abiertos y en algunos puntos elevados de la tierra mucho antes de adquirir la temperatura de 100°, por esta razon, en el hospicio de San Bernardo, no siendo bastante para la preparacion de los alimentos la temperatura de 88°,2 á que hierve el agua en aquel establecimiento, se hace uso frecuente de la marmita de Papin.

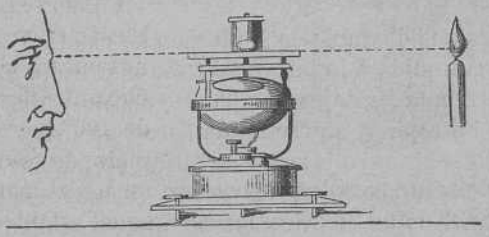
199. **Fenómeno del estado esferoidal.**—En la ebullicion del agua se observa un fenómeno notable, cuando aquel líquido se pone en contacto con un vaso metálico cuyas paredes poseen una temperatura excesivamente mayor que la correspondiente al agua en ebullicion.

La forma del líquido cambia, y no se acomoda á la figura del vaso, sino que se presenta con forma *esferoidal*, rodando como una gota de vidrio fundido, sin ebullicion perceptible, y disminuyéndose lentamente su volúmen. El estado esferoidal de las masas líquidas le explican algunos por la repulsion probable entre las paredes de los vasos fuertemente calentados y la masa del líquido, en cuyo supuesto el esferoide no toca á las paredes del vaso, y el calor de estas pasa al esferoide líquido solo por irradiacion: de este modo, y atendiendo á la mala conductibilidad de los líquidos, se da razon: 1.°, del descenso de la temperatura bajo del punto de la ebullicion en el momento en que aquellos toman el estado esferoidal; y 2 °, de la evaporacion lenta que se nota en los referidos esferoides. Boutigny ha demostrado experimentalmente que todos los cuerpos en estado esferoidal conservan una temperatura mas baja que la de su ebullicion, sea la que quiera la correspondiente al vaso en que se hallan contenidos los líquidos, y que en el agua es de 96°,5. De aquí se deduce que si se hace pasar al estado esferoidal un líquido como el ácido sulfuroso puro, que hierve á—10°, su temperatura en la forma esferoidal

será menor, y colocando un poco de agua sobre aquel esferoide, se solidifica á muy corta distancia de la plancha metálica enrojecida por el fuego, sobre la cual el ácido sulfuroso se halla en estado esferoidal.

Para observar que no hay contacto entre el líquido y el cuerpo caliente, se vierte un gramo de agua ennegrecida con tinta de china, sobre una lámina de plata enrojecida al fuego dispuesta horizontalmente. El líquido pasa inmediatamente al estado esferoidal, y colocando la llama de una bujía á cierta distancia en la prolongacion de la placa (*fig.* 118), se ve dicha llama entre el esferóide y la placa. Para percibir con mas claridad la llama, se debe cubrir el esferoide con un cilindro hueco de plata, que tenga en su base dos aberturas diametralmente opuestas y en la direccion del eje.

Fig. 118.



200. **Liquefaccion de los vapores y de los gases.**—El enfriamiento, la compresion y la absorcion de los gases y vapores de los cuerpos líquidos, son los tres medios por los cuales se ha conseguido la liquidacion de los vapores y la muy difícil de los gases, conocidos hace algun tiempo con el nombre de *permanentes*.

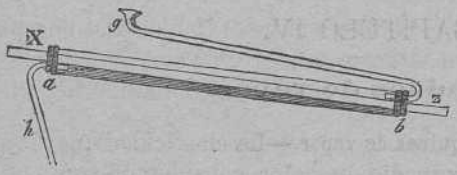
Cuando los vapores se liquidan, se desprende todo el calórico que habian absorbido al formarse. Por la considerable cantidad de calor que abandona el vapor del agua al regresar al estado líquido, se emplea para calentar las habitaciones, dirigiéndole por tubos de hierro, en los que condensándose el vapor, desprende el calórico que calienta el aire mas próximo, y por corrientes contínuas el de toda la habitacion.

Liquefaccion de los vapores. El enfriamiento es la accion física mas generalmente empleada para dar orígen á este cambio de estado de los cuerpos vaporosos. Dicho enfriamiento se consigue fácilmente poniendo en contacto los vapores con un cuerpo frio, como puede uno convencerse estudiando la operacion de destilar, en la cual un cuerpo se evapora para ser liquidado con posterioridad.

El aparato preferible para destilar es el tubo condensador de

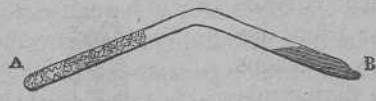
Liebig. Este aparato (*fig.* 119) se compone de un tubo *a b*, ancho é inclinado, que contiene en su interior otro *X z* por el cual pasan los vapores. Entre las paredes de los tubos se hace llegar agua fria por el tubo *g*, procedente de un depósito, la cual sale por el tubo *h*. Los vapores que llegan por *X* pierden su calórico latente y toman la forma líquida á lo largo del tubo inclinado. Este tubo condensador presenta ventajas comparado con los tubos excesivamente largos y en espiral, que se llaman serpentines, y en los aparatos de destilacion, cuyo interior es difícil de limpiar.

Fig. 119.



Liquefaccion de los gases. Siendo excesivamente grande la cantidad de calórico latente que se cambia en libre por la liquidacion de los vapores y gases, Faraday halló que por el solo enfriamiento no se conseguia la liquidacion de algunos gases, que era preciso, además, someterlos á grandes presiones, empleando para conseguirlo un tubo de vidrio grueso doblado por su mitad (*fig.* 120), desprendiéndose en este aparato, por la reaccion química de las sustantancias colocadas en el extremo *A* del tubo, una cantidad considerable de gas, que acumulándose gradualmente en un espacio pequeño, ejerce una presion enorme, en virtud de la cual se liquida una parte del cuerpo gaseoso. La liquidacion por el procedimiento de Faraday se favorece sumergiendo la extremidad *B* del tubo en una mezcla frigorífica.

Fig. 120.



Posteriormente Thilorier, Natterer y Bianchi, inventando aparatos en los cuales se comprimen los gases hasta un número considerable de atmósferas, consiguieron liquidar otros gases, y últimamente Cailletet y Pictet han liquidado los únicos cinco gases que se habian resistido á todos los experimentos, á saber: el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, dentóxido de nitrógeno y óxido de carbono. Para obtener tan notable resultado, dichos dos químicos han ideado aparatos muy resistentes en los cuales se pueden someter los gases á presiones que exceden de 600 atmósferas, produciendo al propio tiempo descensos de temperatura de —140°,

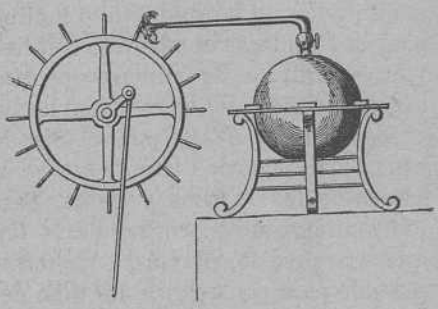
por la rápida expansibilidad de otros gases que, liquidados en los mismos aparatos, se les da libre salida al aire por tubos ú orificios de pequeño diámetro.

CAPÍTULO IV.

Máquinas de vapor.

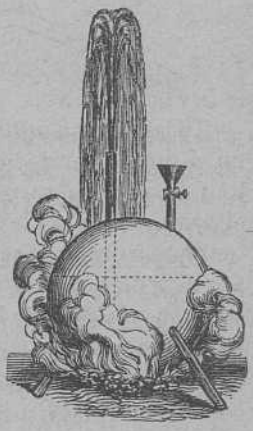
201. **Historia de las máquinas de vapor.**—La elasticidad que el vapor del agua adquiere por medio del calor, considerada como una fuerza, puede llegar á ser tan enérgica como se desee; cuya fuerza se consigue anular casi instantáneamente enfriando con rapidez los vapores.

Fig. 121.



Los antiguos no pusieron en relacion el principio físico anteriormente enunciado con la dinámica de su tiempo, aunque Heron de Alejandría construyese máquinas que se movian por el choque de un surtidor de vapor de agua como se indica en la *figura* 121, ó que giraban en virtud de la reaccion del vapor cuando sale por tubos doblados en la misma direccion, y aplicados á orificios hechos en puntos diametralmente opuestos en las paredes de las vasijas metálicas muy movibles donde se formaba el vapor.

Fig. 122.

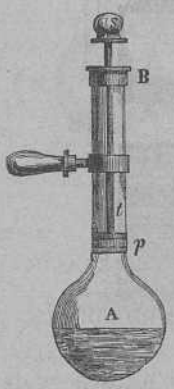


Salomon de Caus, en 1612, ya empleó la compresion del vapor como medio y fuerza mecánica para elevar el agua, construyendo una variedad de fuente de compresion (*fig.* 122), modelada por otra que indicó Heron.

El marqués Worcester, Savery y Newcomen se propusieron, y el último llegó á realizar con un objeto útil, la construccion de la primera máquina movida por la facultad elástica del vapor del agua, conocida ya como excesivamente grande en la época de aquellos físicos

por las experiencias de Papin, y que alternativamente se puede reducir á cero por la condensacion y liquidacion fácil del vapor. Esta alternativa de la existencia de una fuerza y su destruccion momentánea y oportuna, dan lugar á la continuidad en los efectos mecánicos de aquella fuerza. Además, la condicion física de la fuerza elástica de los vapores, de sobrepasar si conviene á las mayores resistencias conocidas, estableció prácticamente la posibilidad de conseguir con ella efectos dinámicos débiles, moderados y enérgicos, que es el carácter mas importante de las fuerzas motoras para la industria.

Fig. 123.



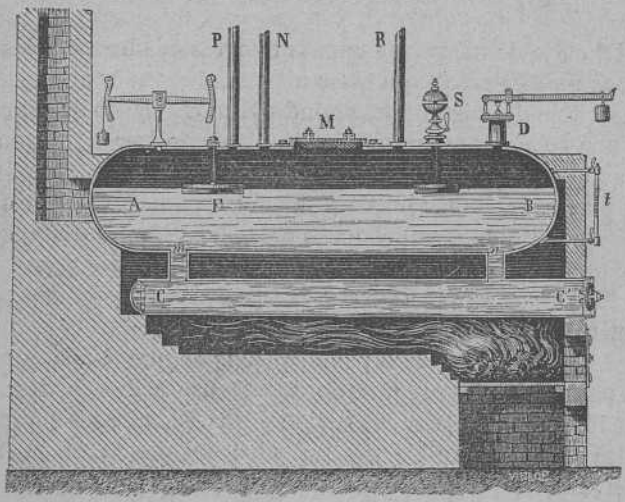
202. **Aparato fundamental de las máquinas de vapor.**—Este aparato (*fig.* 123) se compone de un tubo de vidrio $B\,p$, abierto por un extremo y terminado por una capacidad esférica A. En el interior del cilindro ó cuerpo de bomba existe un piston cubierto con cáñamo deshilado ó fieltro de sombrero, con el objeto de que este se ajuste perfectamente al cilindro ó tubo de vidrio. Si el piston desciende por un esfuerzo aplicado á la barra $s\,t$, y por medio de una lámpara de espíritu de vino se calienta en la capacidad esférica A un poco de agua, en cuanto hierva este líquido el piston se elevará por la fuerza elástica del vapor formado. En este estado, colocando la capacidad esférica del aparato en agua fria, el vapor se condensa, se produce un vacío, y la presion atmosférica, obrando sobre el piston, le hará descender.

Todas las máquinas de vapor tienen un *generador* ó *caldera* y un cilindro ó cuerpo de bomba provisto de su correspondiente piston; en el primero se evapora el agua y se origina la fuerza; en el segundo se aplica esta para producir el movimiento del piston, que se trasmite por su barra á las palancas y otras piezas diferentes de una máquina mas ó menos complicada.

* 203. **Calderas de las máquinas de vapor.**—En las máquinas de vapor fijas, las calderas ó generadores del vapor se componen ordinariamente de un gran cilindro de hierro $A\,B$ (*fig.* 124), terminado generalmente por dos casquetes esféricos; debajo de este cilindro, y á iguales distancias, se hallan colocados paralelamente otros dos cilindros $C\,C'$ de menor diámetro, llamados *hervideros*, de los cuales solo se ve uno en el grabado: estos se comunican con el cilindro principal por dos tubos $m\,n$, de menor

diámetro que los hervideros. El agua que ha de originar el vapor llena completamente los hervideros y la mitad de la caldera, y se la hace llegar á esta por el tubo *R*. La caldera está colocada en un horno de ladrillos, dispuesto de tal modo, que la llama y todos

Fig. 124.



los productos de la combustion pasen envolviendo á los hervideros y la parte inferior de la caldera al dirigirse á la chimenea, que generalmente es de gran altura, para conseguir mucho tiro en el hogar.

En la parte superior se encuentran varias aberturas: la *M*, que es la mayor, está destinada para inspeccionar el estado de la caldera y hacer su limpieza; la abertura *D* está cerrada por una válvula de seguridad igual á la descrita en el párrafo 115. Para mayor seguridad, se suele soldar á un orificio practicado al lado de la válvula de seguridad una lámina metálica formada por una aleacion fusible á una temperatura menor que la necesaria, para que el vapor adquiera la tension límite en la caldera. Además hay otras piezas destinadas á hacer conocer la altura del nivel del agua en la caldera: tales son el flotador *F*; el tubo de vidrio *t*, en el que el agua se eleva á la misma altura que está en la caldera, y el *silbato de alarma S*, el cual recibe este nombre por dar un aviso cuando no hay bastante agua en la caldera. El tubo *P* sirve para conducir el vapor á la máquina, y el tubo *N* para conducir

el vapor á un manómetro de Bourdon, que indica la tension del vapor en el interior de la caldera.

204. **Division de las máquinas de vapor.**—Las máquinas de vapor pueden dividirse en tres clases: 1.ª, por el modo de obrar el vapor en el piston; 2.ª, por el efecto mecánico útil que se puede sacar de la fuerza expansiva de los vapores; y 3.ª, por los cambios que se hagan sufrir á los vapores despues que han producido su efecto útil.

La 1.ª clase de máquinas cuenta tres variedades: 1.ª, las *máquinas de un solo efecto*; en estas máquinas el vapor obra por una sola superficie del piston, originando el movimiento de este último en una sola direccion, volviendo el piston por el mismo camino, actuando sobre él la presion atmosférica, y el peso de algunas piezas de la maquinaria. Como en estas máquinas una parte del movimiento se debe á la presion de la atmósfera, se las conoce tambien con el nombre de *máquinas atmosféricas*.

2.ª *Máquinas de doble efecto*; en estas máquinas el vapor obra alternativamente sobre y debajo del piston.

3.ª *Máquinas expansivas*; son aquellas en que el piston recorre una parte de su camino, tanto de ascenso como de descenso, moviéndose por la fuerza de tension ó elasticidad de los vapores, y en otra se continúan los movimientos del piston de la fuerza expansiva del vapor.

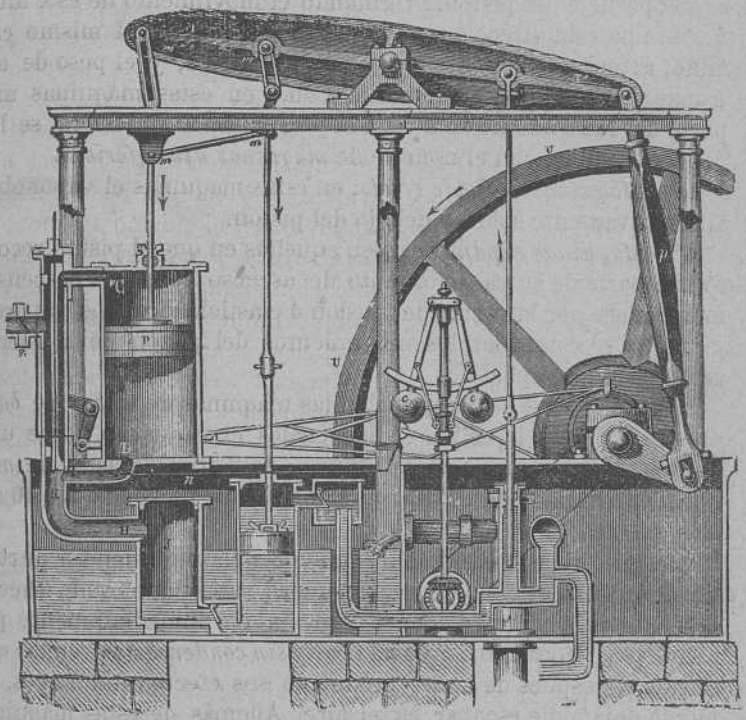
En la 2.ª clase se comprenden las máquinas de vapor de *baja presion*, que son aquellas en las cuales el vapor no posee una fuerza elástica mucho mayor que la de 2 atmósferas, y de *alta presion*, ó en las que el vapor adquiere una fuerza de 2 á 10 atmósferas.

Las máquinas comprendidas en la 3.ª clase pueden ser de *condensacion*, en las cuales, despues que el vapor ha elevado ó hecho descender el piston, se condensa mediata ó inmediatamente poniéndole en contacto con agua fria, y *sin condensacion*, en las que el vapor, despues de haber producido sus efectos dinámicos, se pierde dejándole escapar en el aire. Además de estas máquinas existen otras muchas, que sin embargo de corresponder á una de las variedades anteriormente citadas, llevan el nombre de los constructores que han modificado alguna de las piezas ó mecanismo de las máquinas movidas por el vapor.

205. **Máquina de doble efecto, ó máquina de Watt.**—Entre todas las máquinas de vapor, una de las mas notables es la de doble efecto, primeramente construida por Watt. Esta máquina tiene una caldera ó generador del vapor, que se halla en relacion con

el aparato motor por el tubo *Z* (*fig.* 125). Al vapor, pasando por dicho tubo, se le hace llegar alternativamente por *C* y *D* sobre y debajo del piston *P*, que se moverá en el interior de un cilindro cerrado por sus dos extremos. Cuando el piston se eleva, el vapor que se halla sobre aquel vuelve á salir por *C*, pero toma el camino del tubo *H H*, pasando al condensador *J*, que se halla sumergido en agua fria. Por el contrario, cuando el piston desciende

Fig. 125.

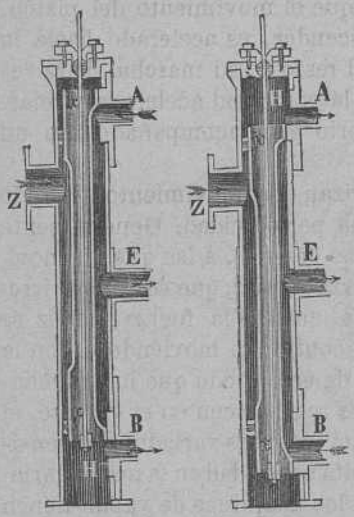


mientras el vapor de la caldera obra directamente sobre aquel, el vapor que existia debajo sigue el camino del citado tubo *H* para pasar al condensador. Estas son las partes esenciales de las máquinas de vapor construidas por Watt; pero conviene tener algun conocimiento del uso de las restantes piezas de un aparato que al primer golpe de vista parece muy complicado.

Caja de distribucion del vapor. Watt ideó, entre otros mecanismos para verificar la distribucion del vapor sobre y debajo del

piston, la válvula que se ha llamado en *D* por su forma (*fig.* 126). Con este aparato, el vapor que llega por el tubo *Z* y llena la capacidad *H*, puede pasar directamente sobre y debajo del piston por los tubos *A B*; pero es evidente que podríamos con una pieza *x x*, moviéndose sobre el plano en que se hallan las dos aberturas *A B*, cerrar y tener abierta alternativamente una de aquellas comunicaciones. La válvula en *D* puede presentarse en las dos posiciones que se indican en las figuras, dejando alternativamente pasar el vapor en la direccion que señalan las flechas, con la ventaja además de que cuando en una de aquellas posiciones el vapor de la caldera pasa por el tubo *A*, en el mismo momento la abertura *B* se halla en comunicacion independiente con el tubo *E*, y marcha al condensador, cuya comunicacion tambien se ha expresado con un trazo terminado en flecha, la cual sirve para indicar el nuevo camino que sigue el vapor despues de haber producido todo su efecto útil, y en el momento en que su permanencia debajo ó sobre el piston impediria el movimiento de toda la máquina.

Fig. 126.



Paralelógramo. Conseguida la distribucion y salida del vapor debajo y sobre el piston, este comunica su movimiento en línea recta á un sistema de palancas articuladas *m m m m* (*fig.* 124), conocidas con el nombre de *paralelógramo*: su objeto es mantener la varilla del piston en la direccion del eje del cilindro, cuyo movimiento, si en vez de aplicarse por el paralelógramo se hiciese directamente sobre el extremo de una sola palanca, quedaria muy pronto inutilizada la barra del piston y la abertura por donde penetra en el cuerpo de bomba.

Cuando el piston se eleva, la extremidad izquierda de la palanca presenta el mismo movimiento, y viceversa el extremo opuesto de la palanca, que alternativamente aparecerá elevándose cuando el piston á su vez desciende. Estos movimientos de la palanca *T T'* se cambian en movimiento circular por una barra

tal como *p*, y una manivela ó manubrio cuyo eje, girando, da orígen á muchas de las importantes aplicaciones que tienen las máquinas de vapor.

El movimiento del piston es irregular, por la razon física de que llega á dos posiciones en la parte superior ó inferior del cilindro, donde pierde su velocidad antes de cambiar la direccion de su movimiento: de aquí resulta que el movimiento del piston, cuando principia á elevarse ó descender, es acelerado hasta la mitad del camino y retardado en el resto de su marcha. Para regularizar los efectos mecánicos de la velocidad acelerada y retardada del piston, el eje del manubrio gira acompañado con un volante ó regulador *U U*.

Volante. Los volantes regularizan los movimientos cuando estos cambian ó varian con alguna periodicidad. Generalmente consisten en ruedas ó grandes masas pesadas, á las que da movimiento de rotacion la primitiva fuerza motriz, que se supone irregular; pero en virtud de la inercia, cuando la fuerza motriz se disminuye ó se anula, los volantes continúan moviéndose con la velocidad adquirida, consiguiendo de este modo que los elementos diferentes de un movimiento se regularicen en el volante, el cual devuelve en cambio de estos movimientos variados uno sensiblemente uniforme, que es de absoluta necesidad en la maquinaria.

Además de las piezas descritas, las máquinas de vapor tienen dos cuyo conocimiento es interesante: una es la *excéntrica*, que sirve para poner en movimiento la válvula en *D*; y otra el *regulador de Watt.*

Fig. 127.

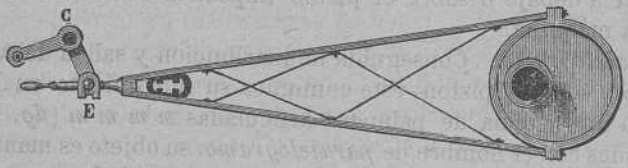
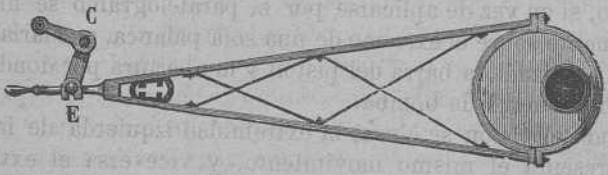


Fig. 128.



Excéntrica. La excéntrica (*figs.* 127 *y* 128) consiste en una pieza circular unida al eje del volante, cuyo centro no coincide con el de dicho eje. La circunferencia de la excéntrica tiene un

anillo metálico con una barra que se termina en el punto *E*; la distancia entre el centro de la excéntrica y dicho punto cambia conforme aquella gira, pasando el brazo *E C* de una palanca que simultáneamente gira sobre el centro *C*, de la posicion que presenta en la figura 127 á la posicion indicada en la figura 128; de este modo se consigue que el extremo *E* del brazo *E C* de palanca, recorra una cuerda de circunferencia que es igual al diámetro de la trazada por el punto central del plano excéntrico. En el centro *C* existe una barra cuyo extremo pone en movimiento de vaiven y viceversa á la válvula en *D*.

Regulador de Watt. El regulador de Watt consiste simplemente en dos péndulos unidos *c c* (*fig.* 125), los cuales, con la rotacion mas ó menos rápida que adquieren en la máquina de vapor y por la fuerza centrífuga desarrollada, se apartan, recorriendo un arco de circunferencia que expresará la fuerza motriz del vapor. Este aparato se convierte en regulador poniéndole en relacion por medio de varillas metálicas con una válvula colocada en el tubo *Z*, por donde pasan los vapores desde la caldera á la válvula en *D*; en cuyo supuesto, conforme los péndulos se apartan ó se aproximan simultáneamente, se abre ó cierra mas ó menos la válvula citada, dando lugar á que el vapor llegue al aparato motor en cantidades variables, quedando hasta cierto punto regularizados sus efectos mecánicos. Este sistema para la regularizacion se expresa en la figura 125 por la línea *n*; y por su medio, si el vapor llega con exceso al aparato motor, las esferas del regulador se separan proporcionalmente, ponen en movimiento el sistema de palancas arriba indicado, y se cierra en parte la válvula del tubo *Z*. Por el contrario, cuando el vapor no llega en la cantidad necesaria para originar el movimiento, entonces las esferas del regulador se aproximan por consecuencia de la pérdida de la velocidad con todo el aparato, originándose en el sistema de palancas unidas con el regulador un movimiento invertido, y la máxima abertura en la válvula, la que dejará pasar en este último supuesto la mayor cantidad posible de vapor.

Si en las máquinas de vapor se suprime el aparato condensador y el volante, y se reemplaza este con dos ruedas de paleta en los extremos del eje, contando con la resistencia de los líquidos y el peso de los cuerpos flotantes, que en los barcos hacen veces de volantes reguladores, se tienen las máquinas de vapor aplicadas á la navegacion; pero como en las naves es una cuestion interesante la del espacio ó su capacidad interior, la palanca de la máquina que llevamos descrita se ha cambiado con ventaja por

una barra trasversal ó balancin, que ocupando el medio de los buques, deja libre la mayor capacidad posible en aquellas obras del arte naval.

206. **Locomotoras.**— Las máquinas de alta presion para mover

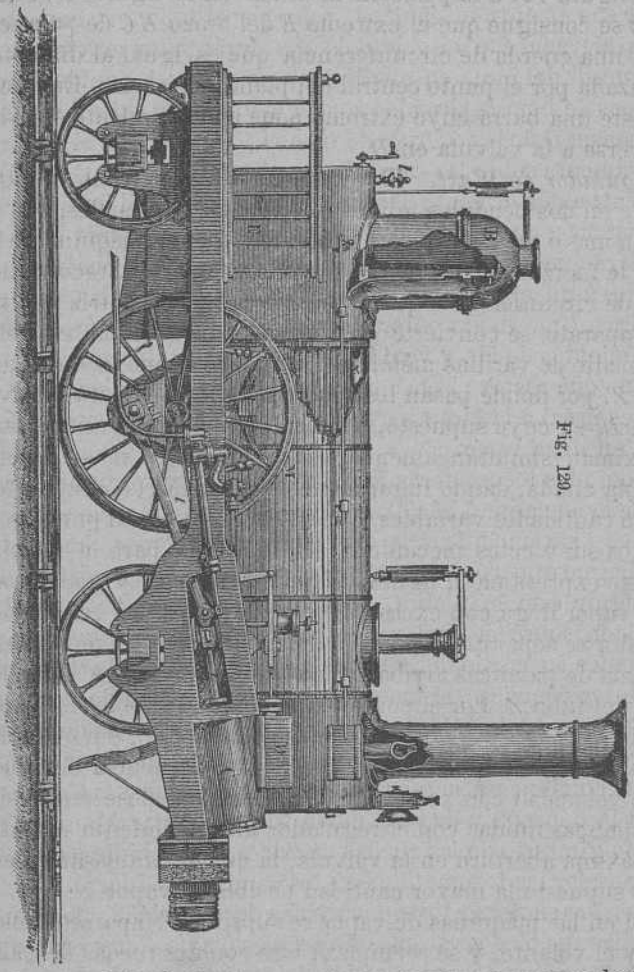


Fig. 129.

sobre la superficie de la tierra enormes pesos con gran velocidad, se han llamado *locomotoras de los caminos de hierro*, y su descripcion puede verificarse con la *fig.* 129, en la cual *E* representa el fogon para calentar directamente el agua. El humo, los vapores y los gases que resultan de la combustion, se les hace pasar por tubos horizontales tendidos en el agua contenida en el gene-

rador ó caldera, hasta que por último pasan á la caja de humo y luego á la chimenea.

La cantidad de vapor originada en las locomotoras, es proporcional á los medios enérgicos que para calentar el agua se emplean, recogiéndose el vapor en la cámara *B*. El vapor, para producir sus efectos mecánicos, pasa por el tubo *x x*, cuya boca se halla elevada con el objeto de que durante los movimientos tumultuosos del agua en ebullicion, no pase el líquido á los dos cuerpos de bomba situados á cada lado de la caja de humo. La válvula en *D* de los cuerpos de bomba *C* distribuyen el vapor alternativamente sobre las caras de los pistones como en la máquina de Watt anteriormente descrita, dando orígen al movimiento de los pistones, cuyas barras se hallan unidas con otras articuladas *l l*, para que la direccion de su movimiento sea constante; y por último, á un eje *F*, en cuyos extremos se hallan las dos ruedas motoras. Una vuelta entera de las ruedas motoras supone los dos movimientos de ida y venida de los pistones; de consiguiente, el camino que recorre la máquina con los dos movimientos de aquellos, es igual á la circunferencia de las ruedas motoras desarrollada en línea recta.

Como las locomotoras han de marchar á voluntad del mecánico hácia adelante ó hácia atrás, es indispensable que aquel tenga medios para modificar la distribucion del vapor, haciendo que este llegue antes ó despues delante ó detrás de los pistones. Para conseguir esta maniobra, la máquina se para, procurando que el piston sobre el cual va á obrar inmediatamente el vapor se encuentre en medio del cilindro *C*; y moviéndose la válvula en *D* por dos excéntricas, el maquinista hace uso, bien de la excéntrica que origina en la válvula citada el movimiento de derecha á izquierda, ó bien de la otra, consiguiendo que el vapor recíprocamente comience á actuar sobre una de las bases del piston ó sobre la opuesta; y de este modo se dará lugar á que el movimiento giratorio de las ruedas motrices se principie para avanzar ó retroceder las locomotoras en los caminos de hierro.

Las locomotoras tienen válvulas de seguridad, manómetros, planchas fusibles y válvulas de señales ó aviso, cuyo ruido penetrante es producido por la salida del vapor al través de una abertura circular sobre la cual se halla una semi-esfera metálica ó timbre *t*, de bordes delgados, que se corresponden con la abertura citada. Estos bordes metálicos vibran cuando el vapor se escapa, produciendo el silbido prolongado y bien conocido de las locomotoras.

CAPÍTULO V.

Calorimetría.

207. **Capacidad calorífica de los cuerpos.**—Cuandos dos cuerpos con temperaturas diferentes se mezclan, aunque sus pesos sean iguales, presentan el fenómeno físico particular en sus grados de calor, considerados como cantidad, de distribuirse desigualmente entre los cuerpos mezclados. Así, mezclando 1 kilógramo de mercurio á 100° con 1 kilógramo de agua á cero, la temperatura de la mezcla es próximamente 3°; de donde se deduce, que el grado de calor que hace subir la temperatura de una masa de mercurio á 97°, es solo suficiente para variar en 3° el calor libre de una masa de agua igual. Luego el agua puede recibir 33 veces mas calor que el mercurio en igualdad de peso.

Posteriormente se ha observado que cada uno de los cuerpos conocidos necesita absorber una cantidad diferente de calórico libre para que su temperatura se presente 1 solo grado mas elevada, afectando á los termómetros. Esta cantidad de calórico sirve para determinar la *capacidad calorífica* de los cuerpos, la cual tiene relaciones con la densidad ó peso específico de los mismos, y con el número y cantidad de los átomos que al reunirse constituyen las moléculas de los compuestos: por esta razon algunos á la *capacidad calorífica* la han cambiado su denominacion por la de *calor específico* de los átomos y moléculas.

Muy pocos cuerpos presentan en la naturaleza mayor capacidad para recibir el calor, y calor específico mas grande que el agua; y tanto por esta propiedad, como por ser fácil proporcionarse aquel líquido en todas partes, se le ha considerado como el mas propio para establecer la unidad de comparacion del calor específico de todos los cuerpos, tanto orgánicos como inorgánicos.

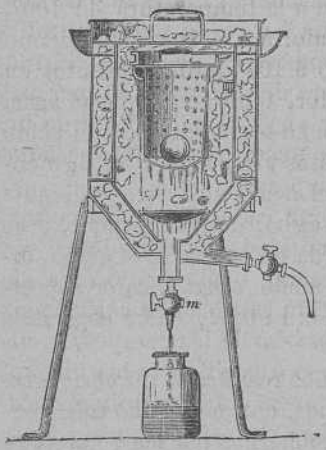
208. **Métodos diferentes que se emplean para determinar el calor específico de los cuerpos.**—Tres son los métodos generalmente adoptados para calcular y medir el calor específico de los cuerpos; estos métodos y los resultados numéricos conseguidos, que generalmente se disponen en columnas y tablas, constituyen la parte de la física denominada *calorimetría*.

1.° *Método de las mezclas.* El primer método de la calorimetría, es el conocido con el nombre de *método de las mezclas*, el

cual está fundado en la mezcla de pesos determinados de los cuerpos cuyo calor específico se desea conocer con el agua, á diferentes temperaturas. Este método se deja indicado con un ejemplo en el experimento citado en el párrafo anterior.

2.° *Método de la fusion del hielo.* El segundo método se funda en la fusion del hielo, y ha dado lugar á que Lavoissier y Laplace construyesen el aparato que el primero denominó *calorímetro* (*fig.* 130). Este aparato consiste en tres vasos cilíndricos y concéntricos, dejando entre sí dos espacios anulares y una capacidad en el interior de aquellos vasos.

Fig. 130.



En los espacios anulares se pone hielo machacado, y en la capacidad interior el cuerpo cuyo calor específico se desea conocer. Cuando el cuerpo es sólido, se coloca directamente en la capacidad interior del calorímetro; si es líquido, en vasos de estaño de paredes delgadas. Supongamos que la temperatura del cuerpo cuyo calor específico se desea conocer sea de 100°; conforme se enfrie, fundirá el hielo del espacio anular medio, y en proporcion saldrá el agua resultante del deshielo por la llave de fuente *m*. El hielo del espacio anular exterior impedirá que el calor del aire que rodea el aparato funda alguna parte de la nieve que se halla próxima al cuerpo sobre el cual se experimenta; pero conviene, durante los experimentos, que la temperatura del aire no sea menor de 0° ni mucho mayor de 10°; en el primer caso, porque el hielo en el interior del calorímetro se halla á una temperatura bastante baja; y en el segundo, porque saliendo el agua del interior del aparato, penetraria una corriente de aire que fundiria con su calor una cantidad mas ó menos grande de hielo en el interior del calorímetro. Colocando diferentes sustancias dentro del calorímetro, supongamos un vaso de estaño con un kilógramo de agua á 79°, se halla que se funde 1 kilógramo de hielo: el mismo vaso de estaño, con una cantidad igual en peso de esperma de ballena, á la misma temperatura de 79°, funde 500 gramos de hielo; deduciéndose de aquí, que si el calor específico del

agua es 1, corresponderá á la esperma de ballena 0,5 de calor específico.

3.° *Método del enfriamiento.* El tercer procedimiento experimental de la calorimetría lleva el nombre de *método del enfriamiento*, porque consiste en colocar los cuerpos calentados á una misma temperatura en un recinto frio, y medir el tiempo que tarda cada uno de aquellos cuerpos en enfriarse descendiendo á una misma temperatura. Si suponemos un vaso de vidrio con ácido sulfúrico cuya temperatura sea de 100°, gastará 25,8 minutos en enfriarse, llegando á presentar una temperatura de 65°. Si en lugar del ácido se pone en el vaso agua á la temperatura de 100°, tardará 40 minutos en descender su calor á 65°. Pero suponiendo que el vidrio de las paredes del vaso á 100° tarde 5 minutos en perder por enfriamiento 35° de su calor, tendremos que el agua tardará 40'—5'=35' en perder 35° de su temperatura, y el ácido sulfúrico 25',8—5'=20',8. Con estos datos y la proporcion siguiente, hallaríamos el calor específico del ácido sulfúrico diciendo: 35 minutos que tarda en enfriarse el agua, divididos por 1, peso específico del agua, *es* á 20',8 que tarda en enfriarse el ácido, divididos por 1,847, peso específico del ácido, *como* 1, calor específico del agua, *es* á *x*; ó sea 35 : 11,26 : : 1 : 0,32, calor específico del ácido sulfúrico.

209. **Calor específico de los átomos.**—Los resultados numéricos relativos al calor específico de los cuerpos, han adquirido una verdadera importancia en la química moderna, por las relaciones que Dulong y Petit han hallado entre los productos del calor específico por el peso de los átomos de los diferentes cuerpos. Este producto es en todos los cuerpos simples muy aproximado ó casi constante, resultando de aquí que por una division se podria respectivamente hallar el peso atomístico de un cuerpo simple cuyo calor específico fuese conocido, por esta razon, como aquel producto en los cuerpos metálicos simples es de 0,375, si el calor específico del oro es de 0,0298, el peso atomístico seria $\frac{0,375}{02980,}=12,5$.

El producto de multiplicar el calor específico de un cuerpo compuesto de otros dos, por el peso de la molécula compuesta, ha resultado de 0,762, ó próximamente de $2\times375=750$; de lo cual se puede deducir la consecuencia de que, si dos átomos diferentes se reunen para formar una molécula, conservan el calor específico que cada uno poseia antes de la combinacion.

En el agua, segun la consecuencia anterior, siendo su calor específico 1 y su peso atomístico 1,125, tendremos $0,375\times3$; pero

hallándose constituidas las moléculas del agua de 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno, cada uno de los átomos al parecer conserva todo el calor que posee antes y despues de la combinacion; y en general, puede conjeturarse con probabilidad que cada uno de los átomos materiales, sea la que quiera su naturaleza, posee la misma cantidad de calor.

CAPÍTULO VI.

Propagacion del calor.

210. **Dinámica del calor.**—Estudiados los efectos del calórico cuando se acumula y condensa en la masa de los cuerpos, falta para completar el estudio de este agente indicar los fenómenos que produce cuando se mueve, bien al través de los espacios llenos de materia, bien al través del vacío. En la *dinámica del calor* se estudia la velocidad de propagacion de este flúido, su direccion, desviaciones, y la disminucion de sus efectos sensibles, cuando al trasladarse de unos puntos á otros, cruza espacios llenos ó vacíos.

A la propagacion del calor de unos puntos á otros de una misma masa se llama *conductibilidad*; y cuando el paso de este flúido se verifica á distancia, de la misma manera que llega á nosotros el calor del sol, se denomina *radiacion*.

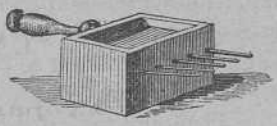
Conductibilidad.

211. **Conductibilidad de los sólidos.**—Supongamos que una barra metálica ú otro cuerpo se expone por uno de sus extremos á la accion calorífica de la llama de una lámpara de espíritu de vino; si la extremidad opuesta de la barra se halla en contacto con un termómetro, se observa una elevacion de temperatura originada por el calor de la llama, que en este caso se dice ha sido conducido á lo largo de la barra, ó *cuerpo conductor* del calórico. Haciendo la observacion anterior con diferentes cuerpos sólidos, se nota, que mientras unos se calientan con prontitud y el termómetro señala cantidades notables de calor trasmitido, otros, por el contrario, se calientan lentamente, señalando el termómetro pequeñas diferencias en la temperatura. A los cuerpos que dejan pasar fácilmente el calor por su masa, se les ha denominado

cuerpos buenos conductores, y á los segundos, ó que difícilmente dejan pasar el calor, *cuerpos malos conductores*.

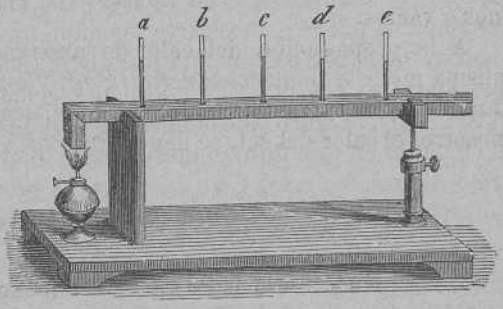
Los metales son buenos conductores; las piedras, las tierras, las maderas, el serrin, la pluma y todas las borras son malos conductores; peores todavía los líquidos, y mucho peores los flúidos elásticos.

Fig. 131.



Para comparar la conductibilidad de los metales, Ingenhoux se valió de un aparato semejante al representado por la *fig.* 131, el cual consiste en una caja rectangular de laton que tiene en una de sus caras, y en una misma línea horizontal, 6 ó 7 orificios, á los cuales se fijan cilindros de igual longitud y del mismo diámetro de los metales plata, cobre, estaño, hierro y plomo, cubiertos de una ligera capa de cera. Ingenhoux llenaba la caja de su aparato con agua hirviendo, consiguiendo por su medio determinar el grado de conductibilidad de los metales por la distancia á que se habia fundido la cera, á partir de la lámina metálica donde se hallan colocados los cilindros ó barras. En estos experimentos siempre resulta que en la plata es donde la cera se funde á mayor distancia, siguiendo á esta por su menor conductibilidad el cobre, y así sucesivamente las demás, segun el órden indicado.

Fig. 132.



Despretz tambien ha estudiado el fenómeno de la conductibilidad del calor en los cuerpos metálicos, sirviéndose de barras prismáticas de diferentes metales, dispuestas del modo que indica la *fig.* 132, colocando termómetros á distancias iguales y en oquedades llenas de mercurio. Despretz, en sus experimentos cubrió la superficie de las barras con una capa delgada de barniz, con el objeto de evitar las pérdidas y diferencias del calor consiguientes á la radiacion y dispersion que presentan todas las superficies de los cuerpos calientes, como veremos muy pronto. Disminuido de este modo el error consiguiente á la pérdida del calor que lleva-

mos manifestado, aquel físico observaba las alturas de los termómetros, llegando á demostrar la exactitud de la ley de Lambert sobre la conductibilidad de los cuerpos para el calor, á saber: *que cuando las distancias del foco calorífico se aumentan en progresion aritmética, los excesos de la temperatura sobre el aire ambiente se disminuyen en progresion geométrica.*

Esta ley puede considerarse como tal en aquellos metales cuya conductibilidad es tan grande que pasa rápidamente el calor al través de su masa sin pérdidas sensibles; pues en aquellos otros en que la temperatura se eleva lentamente, la citada ley se convierte en una simple aproximacion, sin aplicaciones de interés.

La siguiente tabla formada por Despretz, en la que la facultad conductriz del oro está representada por 1000, indica el órden de conductibilidad relativa de los principales metales y otras sustancias:

Oro	1000	Zinc	363
Platino	981	Estaño	303
Plata	973	Plomo	179
Cobre	898	Mármol	24
Hierro	374	Porcelana	12

212. **Conductibilidad de los líquidos.**—La mala conductibilidad de los líquidos puede demostrarse tomando un vaso de vidrio en el cual se introduce por una abertura lateral la esfera de un termómetro que se coloca horizontalmente, echando agua en el vaso hasta cuatro ó cinco líneas mas arriba del termómetro, y poniendo flotante en este líquido una cápsula metálica con espíritu de vino, se inflama este, y sin embargo de producirse un gran calor sobre el agua, no se observa que la temperatura del termómetro se eleve.

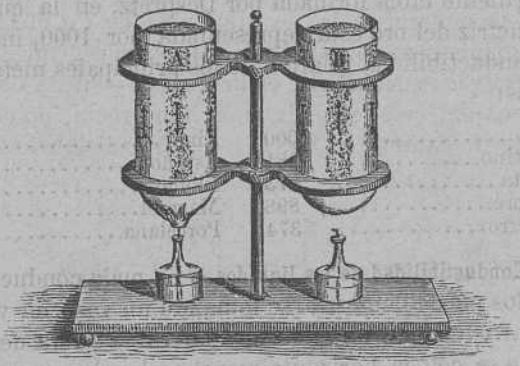
Aun cuando los líquidos son malos conductores del calor, se eleva pronto su temperatura uniformemente en toda la masa cuando á las vasijas que los contienen se coloca sobre un foco calorífico, siendo esto debido á la movilidad extraordinaria de sus moléculas. Para hacer perceptibles los movimientos de las moléculas líquidas cuya temperatura se eleva, se echa en un vaso de vidrio *A* (*fig.* 133), lleno de agua y colocado sobre un foco calorífico, una sustancia reducida á polvo fino, que se mantenga en suspension en el líquido, tal como el polvo de resina ó el de sucino. Calentándose primeramente las moléculas interiores del líquido por el contacto con las paredes mas calientes del vaso, se dilatan y se elevan en virtud de su ligereza, arrastrando las partículas de resina; pero las moléculas de la superficie de nivel, que

se hallan mas frias y por consiguiente mas densas, caen al fondo del vaso por el eje ó en la direccion que indican las flechas, marchando con ellas, como con las anteriores, las partículas flotantes de la sustancia resinosa.

Separando el vaso del foco calorífico, las corrientes aparecen invertidas como en el vaso *B*; porque enfriándose primero las paredes del vaso, las capas del líquido inmediato se hacen mas pesadas y descienden, elevándose por el eje las mas calientes.

213. **Conductibilidad de los gases.**—La movilidad extraordinaria

Fig. 133.



de las moléculas gaseosas impide que pueda apreciarse su mala conductibilidad; pero se reconoce en los cuerpos esponjosos y muy divididos, cuyo grado de conductibilidad es pequeño, aun cuando se les comprima: la conductibilidad se disminuye mucho mas, y casi se anula cuando entre los poros de aquellos cuerpos se introduce aire ú otro gas cualquiera.

214. **Aplicaciones.**—Las dobles puertas y vidrieras en las habitaciones, y el uso de las borras y de las pieles en los trajes, se explican físicamente como medios empleados para evitar las pérdidas del calor, por la mala conductibilidad del aire y de aquellas materias. Por el contrario, la frialdad que se siente cuando se sumerge la mano en el mercurio, se toca un trozo de hierro, etc., depende de la buena conductibilidad de dichos cuerpos.

Si se quiere conservar en una vasija un líquido caliente por mucho tiempo, se coloca dentro de otra de mayor diámetro, y el espacio que queda entre una y otra se llena de sustancias malas conductoras del calor. En esta misma propiedad está fundado el modo de conservar el hielo cubriéndole de paja.

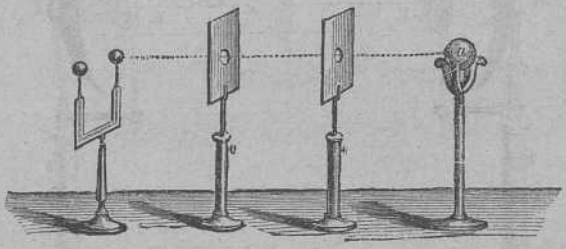
Radiacion del calor.

215. **Calor radiante.**—Cuando dos cuerpos poseen diferentes temperaturas, su calórico presenta una tendencia á equilibrarse por causa de la conductibilidad, si aquellos están en contacto; pero si están separados, lo conseguirán por la *radiacion*: entendiéndose por radiacion la marcha del calórico libre de los cuerpos al través del espacio en líneas rectas y en todas direcciones.

La intensidad de los efectos termométricos producidos por el calor radiante, se disminuye en razon inversa de los cuadrados de las distancias. Esta ley es análoga á la de la gravitacion, á la que presenta la intensidad del sonido cuando se trasmite por el espacio, y en general es la ley dinámica de los efectos de las fuerzas é impulsos que obran desde un punto central cualquiera.

216. **Propagacion del calórico en línea recta.**—Puede demostrarse que los rayos del calor se dirigen en línea recta, colocando una esfera de hierro caliente *a* (*fig.* 134) á cierta distancia del termó-

Fig. 134.



metro diferencial de Leslie, y poniendo entre este y aquella dos pantallas que tengan aberturas en el centro: se observa que la temperatura del termómetro se eleva cuando aquellas aberturas se corresponden en línea recta, mientras en el caso de no hallarse en dicha línea las citadas aberturas, el termómetro no presenta la mas pequeña variacion en la altura de su columna, ó son negativos los efectos del calórico radiante.

217. **Velocidad del calórico.**—La velocidad del calórico radiante en su marcha por el espacio vacío, se ha considerado tan excesiva, que se supuso igual á la velocidad de la luz; pero en la actualidad se tiene demostrado que la velocidad del calórico es 0,8' partes de la que corresponde á la luz, y por consecuencia de algunos cálculos aproximados, que el calor recorre 54.333 leguas por segundo.

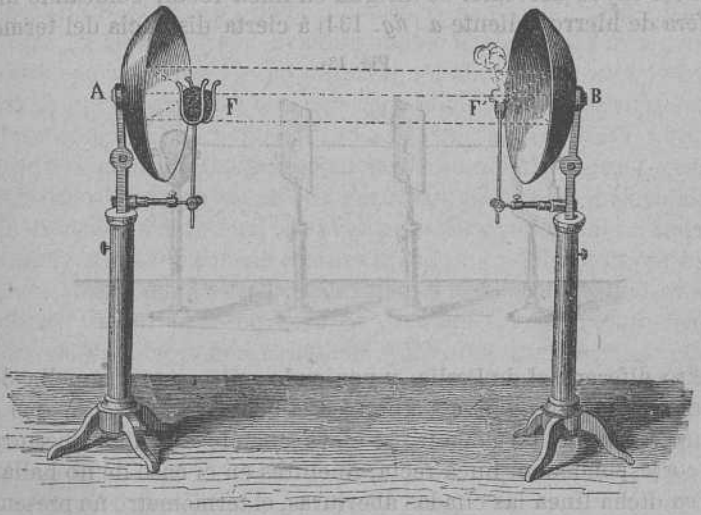
Cuando el calor radiante, moviéndose con la velocidad ante-

riormente indicada, encuentra á los cuerpos, en los unos es reflejado, en los otros es absorbido, y en todos, despues de absorbido, puede quedar el calórico constituido en radiante, cuya propiedad se ha denominado *emisiva* de los cuerpos; no faltando algunos en que el calórico radiante es absorbido parcialmente en el interior de las masas, desapareciendo ó disminuyéndose la intensidad de los efectos termométricos del calórico radiante.

218. **Reflexion del calórico.**—Cuando los rayos del calor llegan á la superficie de los cuerpos, continúan moviéndose en forma radiante, pero cambia su direccion por efecto de la *reflexion*, en la cual el calor sigue la ley de los cuerpos perfectamente elásticos, *formando los ángulos de incidencia iguales á los de reflexion.*

Para demostrar las leyes de la reflexion del calor, se emplean dos espejos parabólicos de metal *A B* (*fig.* 135), colocados de

Fig. 135.



modo que sus ejes se correspondan en una línea recta. Suponiendo en el foco *F* de uno de los espejos la llama de una lámpara de espíritu de vino, ó mejor una esfera de hierro enrojecida, ó carbones encendidos, y en el foco *F'* del otro espejo un cuerpo que se pueda inflamar, como la yesca, la pólvora, el fósforo ó la madera, en este estado los rayos del foco del calor *F* se reflejan en la superficie del espejo metálico *A*, y por ser parabólica y partir el calor radiante del foco *F*, sus rayos se reflejan paralelamente al eje *F F'*. Llegando paralelos los rayos sobre el segundo espejo, este los vuelve á reflejar hácia su foco, donde suponemos coloca-

dos los cuerpos inflamables. Pero si los rayos del calor, al partir del foco de una parábola, son reflejados paralelamente, los ángulos de incidencia sobre aquella superficie curva son iguales con los de reflexion, lo cual está fundado en una de las propiedades demostradas por la geometría en la parábola. Evidenciándose en definitiva la principal ley del cambio de direccion del calor reflejado, formando los ángulos de incidencia iguales á los de reflexion en la superficie de los obstáculos que se oponen á su marcha.

Dispuesto convenientemente el aparato anterior, se puede conseguir la inflamacion del fósforo, de la yesca y de la madera á una distancia de 15 á 20 piés, y de una manera semejante, sustituyendo el cuerpo en combustion por un trozo de hielo, se observará el fenómeno conocido antiguamente bajo la denominacion de *reflexion del frio*, que en realidad no es un fenómeno diverso, sino mas bien el resultado de invertirse las acciones físicas del experimento anteriormente referido; poniendo un termómetro como foco calorífico que radia su calórico hácia el espejo, y en el opuesto hielo, la temperatura en el termómetro se disminuye sensiblemente con la apariencia de una irradiacion de frio.

219. **Facultad reflectante.**—La cantidad de calor reflejada por los cuerpos es grande en unos y se halla muy disminuida en otros. Esta accion, ejercitada por la materia de los cuerpos, sobre el calor, se ha llamado *facultad reflectante*. Esta es grande en los metales, y muy diferente, por los escasos efectos de la reflexion, en los restantes cuerpos de la naturaleza. Leslie halló experimentalmente que, entre los metales, el laton posee la mayor facultad reflectante, mientras Novili y Melloni la han creido hallar en el mercurio y en el cobre.

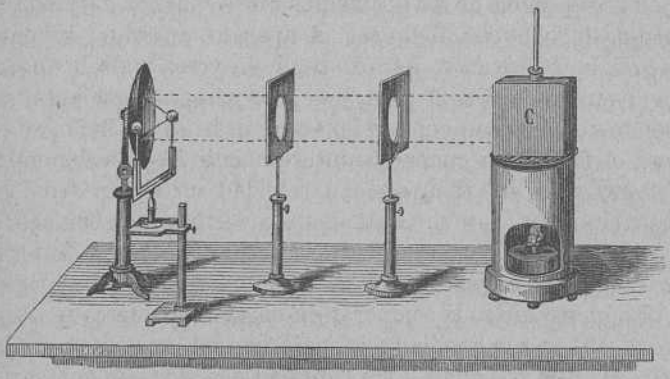
Relativamente á la facultad reflectante de algunos cuerpos, Leslie formó la tabla siguiente, representando por 100 la del laton:

Laton	100
Plata	90
Estaño laminado	85
Estaño sin laminar	80
Hierro pulimentado	77
Acero	70
Plomo	60
Tinta de china	15
Vidrio	10
Vidrio cubierto por una capa de cera ó aceite	5
Negro de humo	0

220. **Facultad radiante.**—Colocados los cuerpos en las mismas

circunstancias, no emiten la misma cantidad de calor, ó lo que es lo mismo, no todos poseen la misma *facultad radiante*; siendo en general mayor la cantidad de calor que radian, cuanto mas elevada sea su temperatura y mas ásperas sus superficies, como lo demostró Leslie sirviéndose del aparato (*fig.* 136), que consiste en

Fig. 136.



un termómetro diferencial, colocada una de sus esferas en el foco de un espejo reflector, y á corta distancia de este foco un cubo metálico *C*, lleno de agua, que se calienta por medio de una lámpara de alcohol, cuyas caras, unas están bruñidas, otras ásperas y cubiertas de negro de humo, de papel blanco ú otros cuerpos diferentes. Por este medio y como resultado de sus experimentos, Leslie halló que los cuerpos, por su facultad radiante, se podian colocar en el órden siguiente:

Negro de humo.....	100	Hierro fundido.....	23
Agua.....	100	Mercurio.....	22
Papel.....	98	Plomo pulimentado.....	19
Vidrio.....	90	Estaño.....	14
Tinta de china.....	88	Laton muy pulimentado..	7
Plomo.....	45	Plata pulimentada.....	5

221. **Facultad absorbente.**—Aun cuando la reflexion del calor en la superficie de los cuerpos se halla sujeta á la ley anteriormente demostrada, no se debe creer que todo el calor radiante que llega á los cuerpos es reflejado, pues la observacion enseña que una parte de aquel calor se pierde en el acto de la reflexion, dispersándose bajo la superficie de los cuerpos en todas direcciones, elevando sensiblemente su temperatura, ó convirtiéndose en calórico latente de las mismas masas. A este fenómeno se le conoce con el nombre de *absorcion*; y siendo diferente la cantidad

de calor que los cuerpos absorben, se les ha supuesto dotados de una facultad ó *fuerza absorbente* variable.

Las leyes de la facultad absorbente de los cuerpos, son las siguientes:

1.ª La facultad absorbente de los cuerpos está en razon inversa de su facultad reflectante, existiendo muchos en los cuales la facultad absorbente está en razon directa de la facultad radiante. 2.ª La facultad absorbente de un cuerpo, supuestas las demás circunstancias iguales, se disminuye en razon del ángulo que forman los rayos caloríficos con la superficie de los cuerpos, aumentándose la facultad absorbente conforme aquel ángulo se aproxima á ser recto. 3.ª La facultad absorbente de los cuerpos guarda relaciones con la capacidad que estos tienen para conducir el calor al través de su masa.

Por la tercera ley se comprende la posibilidad de que un cuerpo reciba, en virtud de su facultad absorbente, una cantidad de calor sensible á los termómetros, igual á la que perdia por irradiacion. En este caso, es evidente que resultará la temperatura del cuerpo ó del espacio lleno de materia con un calor constante; pero siendo este un efecto de la igualdad ó de la compensacion entre las pérdidas y adquisiciones del calor, se le ha llamado *equilibrio de la temperatura* de un cuerpo ó de un espacio, añadiendo, aunque con impropiedad, el calificativo de *movible* al equilibrio de temperatura resultante en un espacio donde es absorbida tanta cantidad de calor como la que se pierde por la irradiacion desde el recinto hácia otros espacios.

222. * **Radiómetro.**—Como consecuencia del diferente modo de actuar el calor radiante sobre los cuerpos, segun el estado físico de su superficie, citaremos el *radiómetro de Crookes*.

Consiste este ingenioso aparato en una cruz hecha de alambre delgado de aluminio, en cuyos extremos se hallan soldados unos rombos del mismo metal, que tienen ennegrecida una de sus caras y dirigidas en el mismo sentido. En el punto en que se cruzan los dos alambres hay una cavidad cónica de ágata ó cristal por la que se apoya el molinete sobre una punta muy aguda de acero; todo él se encuentra encerrado dentro de un globo de vidrio del que se ha extraido el aire del mejor modo posible.

Expuesto este aparato á la radiacion producida por un cuerpo caliente, á la luz de una bujía, á la del sol, etc.; gira con una velocidad proporcional, segun su autor, á la intensidad de la radiacion, separándose del cuerpo radiante las caras ennegrecidas del molinete.

Varias son las explicaciones que se han dado sobre este aparato, mas hasta ahora no hay ninguna que satisfaga completamente. La mas acertada, á nuestro juicio, es la de Govi; supone este físico que todos los cuerpos, aun en el vacío mas perfecto, retienen cierta cantidad de aire adherido á su superficie, y en el caso actual el negro de humo, por su naturaleza esponjosa, le condensa en mayor cantidad que la superficie brillante del aluminio. De aquí que, sometido este aparato á la accion de un foco calorífico, el aire condensado en el negro de humo dilatándose, empuje hácia adelante las caras ennegrecidas del molinete de un modo análogo á lo que sucede en el torniquete hidráulico (98).

En el caso de un foco luminoso, los rayos absorbidos por las caras negras del molinete, podráu convertirse en calor oscuro y producir el mismo efecto que anteriormente.

Últimamente Riecke ha establecido la ecuacion del movimiento del radiómetro, suponiendo que este es producido por una presion constante, normal á la superficie de las caras de los rombos, y por un tratamiento proporcional á la velocidad de rotacion; y refiriendo aquellas presiones á centímetros de agua, dice el autor que vendrian representadas por 0,00002 y 0,00006.

223. **Trasmision del calórico radiante.**—En la facultad absorbente de los cuerpos, llevamos indicado que los rayos del calor pueden dispersarse en el interior de los cuerpos, elevándose su temperatura; pero existen muchos en los cuales una parte del calor radiante continúa su camino al través de las masas, del mismo modo que lo verifica la luz al través de los cuerpos diáfanos. Los cuerpos que pueden considerarse como diáfanos para el calor, se llaman *diatermos*, y *atermos* los que no dejan pasar el calor radiante que llega á su superficie.

Los experimentos verificados con el aparato de los espejos reflectores (*fig.* 134), demuestran que el aire atmosférico en pequeñas masas es un cuerpo sensiblemente diatermo; de consiguiente deja pasar casi todo el calor radiante sin disminuir sus efectos en los termómetros; sin embargo, la atmósfera entera no puede considerarse como perfectamente diaterma, pues en ella desaparece una cantidad variable de calor radiante del sol con el número de capas atmosféricas que aquellos rayos de calor atraviesan cuando cambian las alturas de nivel sobre la superficie de la tierra, y cuando varía la declinacion del sol durante los períodos anuales y diurnos, respecto de un punto cualquiera de la superficie de nuestro planeta.

La propiedad diatermana de los cuerpos sólidos y líquidos se

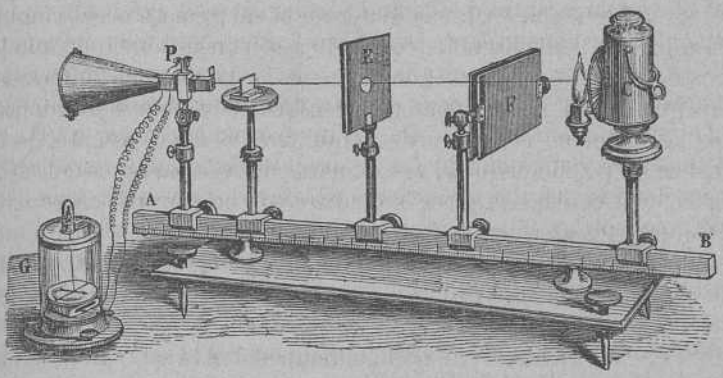
ha encontrado que no tiene relaciones con su diafanidad respecto de la luz, si bien para la diatermancia se exige que los cuerpos no sean completamente opacos. Melloni ha observado que entre los cuerpos sólidos diáfanos, el mas atermo es el hielo incoloro del agua destilada, y el mas diatermo la sal gema ó la sal comun cristalizada; llegando el físico citado á la consecuencia de que la cantidad de calor radiante que dejan pasar los cuerpos diatermos, exceptuando la sal gemma, crece conforme se aumenta la intensidad del calor en el orígen de donde irradia aquel agente, de lo cual se ha podido deducir, que la naturaleza de los rayos del calor no es idéntica cuando precede de diferente orígen; por esta razon los cuerpos diatermos se han dividido en *athermocróicos*, ó que dejan pasar todos los rayos del calor, y *thermocróicos*, ó que no dejan pasar sino los de una naturaleza, absorbiendo los de otra.

Si el calor radiante cae oblícuamente sobre la sal gemma tallada con facetas paralelas, presenta señales positivas de cambios de direccion al través del espesor de aquel cuerpo, á cuyo cambio de direccion se ha llamado *refraccion del calor*. Cuando la sal gemma se talla en forma de lentes, el calor radiante se reune en un punto llamado *foco*. Si el trozo de sal gemma se talla en forma de prisma, el calor se dispersa en el interior, con tendencia á la descomposicion en rayos, que sucesivamente son absorbidos en mas ó menos número cuando se dan á la sal gemma tintas diferentes. El Dr. Forbes ha pasado mas adelante en sus investigaciones, estudiando la influencia y fenómenos que resultan por la accion del calórico radiante cuando obra sobre el calórico latente de la turmalina y de las láminas de mica, comprobando, que el calórico radiante presentaba, como el flúido lumínico, fenómenos que indican su *polarizacion*.

El aparato termoscópico de que Melloni se sirvió para sus investigaciones, está representado en la *figura* 137; se compone de una regla horizontal *A B* de cobre, de 1 metro de longitud, en la que se colocan cinco columnas movibles. La primera sostiene la lámpara *C* de Locatelli, de simple corriente de aire, sin chimenea de vidrio y con un reflector. La segunda columna sostiene una pantalla *F*, formada de dos láminas metálicas. En la tercera columna se halla fija otra pantalla *E*, tambien metálica, con una abertura circular en su centro para dar paso á los rayos caloríficos. En el cuarto sosten se colocan los cuerpos cuya facultad diaterma se quiere reconocer. En el quinto y último sosten se podria colocar un termómetro diferencial muy sensible; pero Melloni

hace uso de una pila termo-eléctrica P y de un galvanómetro G, de cuya construccion nos ocuparemos en otro lugar.

Fig. 137.



Con el aparato anterior ha obtenido Melloni los resultados siguientes:

De 100 rayos caloríficos,	la sal gemma deja pasar.....	92°
	el espato islándico.....	62
	el cristal de roca ahumado.....	57
	el carbonato de plomo.....	52
	la cal sulfatada.....	20
	el alumbre.....	12
	el sulfato de cobre.....	0

Las relaciones del calor con los sonidos, la que este agente presenta con la luz, y su dinámica, consideradas científicamente, constituyen la parte mas difícil de la ciencia del calor: por esta razon nos ha parecido conveniente tratar la dinámica despues de la estática del calor, por ser esta mas elemental, mejor conocida y mas fácil de comprender.

CAPÍTULO VII.

Orígenes del calor.

224. **Principales orígenes del calor.**—Los principales orígenes ó fuentes del calor son los rayos solares, los cambios en la fuerza de agregacion molecular de los cuerpos, las diferencias de la capacidad calorífica de estos, las combinaciones químicas, la electricidad, el calor terrestre, el calor vital y diferentes acciones mecánicas.

225. **Calor solar.**—La influencia del calor de los rayos solares se siente con mas ó menos energía sobre la superficie de la tierra; y conforme á las leyes de la facultad absorbente que poseen todos los cuerpos para el calor radiante, los efectos del calor solar en la temperatura de los cuerpos varian con el ángulo de inclinacion: de consiguiente aquellos efectos serán mayores cuando los rayos del sol se aproximan á la perpendicular en su incidencia, bien en los períodos del año que llamamos verano, bien en el período denominado dia, influyendo la ley física citada en el trascurso y sucesion de las estaciones, enlazadas invariablemente con la marcha de la tierra en derredor de su eje y en derredor del sol.

Los efectos caloríficos de los rayos directos del sol pueden aumentarse reconcentrándolos en puntos dados por medio de lentes y espejos que, por originar la inflamacion y fusion de muchos cuerpos, se han llamado lentes y espejos ustorios.

226. **Cambio de estado de los cuerpos.**—Los cambios de agregacion molecular convierten el calórico latente de los gases y vapores en calórico libre cuando aquellos se liquidan, ó cuando líquidos se solidifican, dando orígen á cantidades mas ó menos grandes de calórico sensible á los termómetros, elevándose la temperatura de los cuerpos; pero á los cambios en la agregacion molecular generalmente acompañan diferencias en la capacidad calorífica y combinaciones químicas frecuentes.

227. **Combinaciones químicas.**—Entre los diferentes manantiales de calor en las combinaciones químicas, el mas enérgico es la combustion, que es el resultado de la combinacion de dos cuerpos con desprendimiento de calor y luz. El estudio detallado de la combustion pertenece en su mayor parte á la química, que es donde nos ocuparemos de ella.

Las corrientes eléctricas tambien pueden considerarse como un orígen enérgico de calor, pues veremos que por su medio se funden fácilmente el oro, la plata y algunas otras sustancias que resisten á la accion de las mas altas temperaturas.

228. **Calor propio del globo.**—La tierra, considerada como fuente del calor, ha sido estudiada por Reish, Marcet, de la Rive y Erman, quienes observaron las variaciones de la temperatura en las minas profundas y en los pozos artesianos, llegando, despues de numerosas investigaciones, á la consecuencia de que la temperatura se aumenta 1° por cada 30 á 40 metros que se gana en profundidad, y pasada una línea ó plano de nivel determinado bajo la superficie de la tierra; habiendo dado lugar este hecho á la su-

posicion física de que la tierra puede considerarse como un cuerpo caliente que se enfria en medio del espacio por la irradiacion de su calor; pero como por otro lado recibe el calor solar, se origina en las inmediaciones y bajo la superficie terrestre una capa ó plano de temperatura constante, donde aparece resuelto en la naturaleza el problema del equilibrio movible del calor ó de la temperatura constante.

229. **Calor vital.**—En la vida de los seres orgánicos se produce una gran cantidad de calor, siendo debida la produccion de este calor en su mayor parte á la respiracion, á la digestion, y sobre todo á las funciones del sistema nervioso. La temperatura del hombre en el estado de salud mas completo, es de 36°,6, cualquiera que sea el calor del aire atmosférico que le rodea; la temperatura de los pájaros llega á 40°. Los vegetales, cuya defensa contra el frio debe existir en su interior, tambien presentan una diferencia en su temperatura, y de consiguiente sus organismos ejercen funciones con las cuales se originan cantidades de calor mas ó menos considerables.

230. **Calor desprendido en las acciones mecánicas.** La compresion, la percusion y el rozamiento son manantiales de calor: en efecto, cuando por medio del *eslabon neumático* comprimimos el aire en él contenido, se llega á inflamar la yesca colocada en la parte superior del piston, siendo esto debido á que el calor latente del aire se convierte en libre por la compresion.

Un fenómeno inverso se observa cuando los gases se dilatan, llegando á descender su temperatura considerablemente por pasar á latente cierta cantidad de calor libre. Para observar este hecho, basta colocar bajo el recipiente de la máquina neumática un termómetro, y se verá descender la columna cuando se hace el vacío; este descenso de la columna termométrica cesa en cuanto deja de hacerse el vacío, principiando á elevarse aquella por el calórico que sobre el termómetro radian los cuerpos inmediatos. Si penetra el aire repentinamente en la campana, el gas se comprime instantáneamente, y la columna del termómetro se elevará sobre el grado que marcaba antes de penetrar el aire.

La *percusion* ejercida sobre el acero y el pedernal desenvuelven una cantidad de calor tan considerable, que las pequeñas partículas de acero que se desprenden al verificar la percusion, se combinan rápidamente con el oxígeno del aire, inflamándose y produciendo una luz muy viva; de esta propiedad se ha sacado partido para inflamar la pólvora en las antiguas armas de fuego, la yesca y otros cuerpos fáciles de quemar. Tambien batiendo los

metales con el martillo, ó comprimiéndolos por el choque de un volante, se calientan de un modo bastante sensible.

El *rozamiento* rápido producido por el torno, ó con dos trozos de madera de diferente dureza, desarrolla tal cantidad de calor, que llega á inflamarse uno de los cuerpos entre los que se verifica el rozamiento: dos pedazos de hielo frotados en un recinto cuya temperatura sea inferior de 0, proporcionan la cantidad de calor necesaria para fundirse. Estos efectos, al parecer, son debidos al movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos; porque siendo muy pequeña en el rozamiento la compresion de dichas moléculas, no puede atribuirse la elevacion en la temperatura de los cuerpos á que su calor latente pase al estado de calor sensible por la segunda accion mecánica.

---

* Los experimentos sobre el calor por medio de las pilas termo-eléctricas y el aparato de Melloni, y los trabajos hechos en estos últimos años sobre los orígenes de aquel agente de la naturaleza, han dado motivo para que Whewell recuerde á los físicos, que *los grandes progresos de la educacion intelectual* han sido efecto, en todos los siglos, de algun descubrimiento científico, fundamental é importante, ó de la agrupacion de descubrimientos nuevos y desconocidos de la antigüedad.

Este aserto de Whewell se está verificando en nuestros dias con los estudios del calor, que tienden á trasformar completamente la ciencia de dicho agente, reemplazando el método seguido para estudiarla con otro mas apropiado, por el cual se estrecharán íntimamente, con inmensas ventajas en el porvenir, los lazos entre la parte experimental y la teórica de esta seccion ó rama del saber humano.

En ella, gracias á los esfuerzos de Tyndal, Regnault, Verdet y otros, se ha casi evidenciado, *que los fenómenos del calor en la naturaleza son el resultado de un cierto movimiento*. Como consecuencia de este hecho, aquellos físicos, fundándose en trabajos experimentales, han intentado con singular acierto hallar *el equivalente mecánico del calor*. Admitida aquella primera idea, todos los trabajos de la actualidad se dirigen á afirmarla mas y mas, explicando, segun ella, *los cambios de estado de la materia, su expansion ó dilatacion, su combustion, calórico latente y fenómeno de la conductibilidad*, como consecuencias mecánicas de los movimientos vibratorios y ondulatorios de las partes infinitamente pequeñas ó elementos físicos de los cuerpos ponderables.

El *calor radiante* como movimiento trasmisible, considerado á partir del sol y las estrellas fijas, y recíprocamente de la tierra en todas direcciones á través del espacio, con intensidades variables, produciendo efectos físicos proporcionales cuando se los estudia en los seres vegetales y animales, y por último, las curiosas é importantes investigaciones que se verifican en la actualidad, para tener ideas físicamente definidas de la *constitucion del sol*, completan el cuadro de los nuevos estudios y forma distinta que presentan la ciencia experimental del calor y mecánica por su principio fundamental, cuyo ligero bosquejo nos ha parecido conveniente presentar.

QUINTA PARTE.

DE LA LUZ.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones generales.

231. **Óptica.**—La *óptica*, cuya palabra se deriva de otra griega que significa *ver*, tiene por objeto el estudio de las propiedades de la luz ó del agente que actúa en el sentido de la vista humana, dando orígen á las sensaciones percibidas de las imágenes y de los colores. La luz tambien se la considera como un agente de la naturaleza, semejante al calórico y á la electricidad; sin embargo, la luz presenta la diferencia de hallarse universalmente extendida y llenando los espacios insondables del universo, mientras que el calor y la electricidad con especialidad, no se puede demostrar hasta la evidencia que existan mas allá de los límites de nuestro globo. Algunos han denominado á la causa de la luz *lumínico*, y le definen diciendo ser un flúido perfectamente elástico, imponderado ó que no se ha podido pesar, y que por sus efectos da orígen á las percepciones de las formas y colores de los cuerpos.

232. **Hipótesis sobre la naturaleza de la luz.**—La naturaleza del lumínico es desconocida; sin embargo, existe un hecho comprobado por numerosas observaciones, por el cual nos acercamos cuanto es posible al conocimiento de la esencia de la luz. El hecho á que nos referimos es el siguiente: los fenómenos luminosos no pueden originarse sin la presencia en el espacio de los cuerpos ponderables; ó lo que es igual, por el vacío perfecto puede pasar la luz, pero en el vacío no pueden tener su orígen los fenómenos luminosos. La percepcion de la luz en el punto del espacio donde se halla un trozo de fósforo ú otro cuerpo ponderable cuando con ellos se sostiene la combustion, y la misma observacion verificada en mayor escala sobre los cuerpos que reciben el nombre de astros, y que son visibles á la vez desde diferentes

lugares de la tierra, comprueban la existencia de la materia ponderable allí donde se percibe y se produce la luz.

La existencia de la materia ponderable en los puntos donde se está originando una parte de los fenómenos luminosos, ha sido el fundamento de la primera hipótesis sobre la naturaleza de este agente. El lumínico, en esta hipótesis, consiste en una emanacion de sustancia material, porque lo es la de los cuerpos de donde parte; sustancia dotada de elasticidad perfecta, y tan tenue que no ha sido posible pesarla. Esta hipótesis se completa con la distincion de los cuerpos en *luminosos* y en *oscuros*. De los primeros, las partículas del lumínico salen con una velocidad inmensa, recibiendo en definitiva la hipótesis el nombre de *teoría óptica de las emanaciones*, presentada por Newton y desarrollada posteriormente por Laplace y Biot.

La hipótesis anterior es sencilla, y la demostracion de sus principios fundamentales se comprende bien; pero entre los fenómenos ópticos existen algunos que, por no tener una explicacion clara en la hipótesis de las emanaciones, han dado lugar á la teoría primeramente expuesta por Descartes, Huigens y Euler sobre la naturaleza de la luz, y con posterioridad desarrollada por Young, Fresnel, Frauenhofer y Herschel. En esta segunda hipótesis, los efectos de la luz se supone que pueden originarse por los movimientos de un *flúido etéreo* muy sutíl, cuya elasticidad es perfecta, que puede recibir y trasmitir movimientos vibratorios y ondulatorios. Esta segunda hipótesis, conocida con el nombre de *teoría de las vibraciones y ondulaciones* para explicar los fenómenos ópticos, se halla actualmente adoptada por la generalidad.

233. **Cuerpos luminosos.**—Los cuerpos luminosos en la hipótesis de las emanaciones, son todos aquellos de los cuales se puede desprender el flúido sutíl denominado lumínico. En la hipótesis de las ondulaciones, son todos los cuerpos que pueden conmover vibratoriamente al éter que tienen en su interior ó al de las inmediaciones, y lanzar por ondas el movimiento vibratorio á largas distancias.

En la primera teoría, los cuerpos oscuros ó no luminosos por sí son visibles cuando á ellos llega la luz de los otros cuerpos y despues de reflejarse la emanacion luminosa en su superficie. En la segunda hipótesis, el movimiento ondulatorio, causa de la luz, llega á la superficie de los cuerpos oscuros que existen en medio del éter, para ser revocadas las ondas de una manera igual á las ondas sonoras, cuando al tocar sobre un obstáculo son reflejadas formando el eco.

234. **Cuerpos diáfanos, traslucientes y opacos.**—Los cuerpos que no son luminosos por sí, cuando reciben la luz presentan capacidades diferentes para trasmitir por sus masas el lumínico, dividiéndose en tres clases, á saber: cuerpos *diáfanos*, *traslucientes* y *opacos*.

La diafanidad perfecta, ó sea la propiedad de un cuerpo á dejar que toda la luz que llega á su superficie pase por su masa, no existe en la naturaleza, pues si existiese quedaria dicho cuerpo enteramente invisible. El aire, el agua y el vidrio son cuerpos muy diáfanos, pero no lo son perfectos, pues cuando el lumínico toca á sus superficies, en parte es reflejado, y no solo es reflejado en la superficie sino en las moléculas interiores de sus masas; resultando de aquí una disminucion en la luz, y por consecuencia estableciéndose el principio de que un cuerpo sólido, líquido ó gaseoso será tanto mas trasparente cuanto mayor sea la luz trasmitida y menor la reflejada por sus moléculas. Como la cantidad de la luz reflejada depende del número de moléculas que se contienen en un espacio dado, tendremos que la diafanidad de los cuerpos se disminuye conforme se aumenta su densidad y viceversa; siendo evidente, por otra parte, que los espesores de los cuerpos, el arreglo molecular de las superficies y el que las corresponde interiormente, dan lugar á cambios en la diafanidad, demostrables por las observaciones siguientes.

Al través de una lámina delgada de vidrio se distingue bien un objeto; pero aumentándose el espesor del vidrio por la superposicion de muchas láminas, la percepcion del objeto se hace cada vez mas confusa. La superficie bruñida del cristal le da un grado de diafanidad, que se disminuye cuando aquel cuerpo está rayado, deslustrado ó lleno de asperezas. La interposicion del agua, del aceite ó de otros líquidos entre las moléculas de muchos cuerpos, los convierte en traslucientes, como sucede al papel comun.

Los cuerpos opacos no trasmiten la luz por el interior de sus masas; de consiguiente á su través no son visibles los objetos. La opacidad no es una propiedad absoluta, pues aun los metales cuando se reducen á hojas delgadas, como sucede en los panes de oro, son algo traslucientes, percibiéndose á su través, expuestos á la luz directa del sol, un color ó luz verdosa.

En la hipótesis de las emanaciones, la diafanidad de los cuerpos, se explica suponiendo que la sustancia sutíl de la luz pasa en cantidad variable al través de la masa, mientras que la opacidad de los cuerpos es efecto de su impenetrabilidad para la luz.

En la hipótesis de las ondulaciones, la trasparencia y opacidad se explican diciendo que el éter, además de llenar los espacios vacíos, existe en el interior de todos los cuerpos, dispuesto á recibir vibraciones y á trasmitirlas por ondas al través de los espacios llenos de materia ponderable, la cual puede destruir una parte del movimiento vibratorio ó anularle; de cuyas acciones de la materia ponderable sobre los movimientos vibratorios del éter, resulta la trasparencia de los cuerpos en sus diferentes grados y la opacidad.

235. **Trasmision de la luz.**—Los cuerpos luminosos por sí poseen un color que les es particular; así, la llama rojiza de las bujías ordinarias y el hierro ú otro cuerpo enrojecido por el calor, producen una luz roja, mientras que la del sol es perfectamente blanca. Sea la que quiera la sensacion, notaremos que mirando un punto luminoso desde cualquier sitio, si se interponen pantallas que tengan aberturas entre el observador y aquel orígen de la luz, solo será visible el objeto luminoso cuando las aberturas se corresponden en línea recta; de donde se deduce que la luz se trasmite en dicha direccion por un espacio lleno de materia homogénea. La línea que sigue la luz al propagarse por el espacio, se llama *rayo*; muchos rayos reunidos forman un *manojo* ó *haz luminoso*.

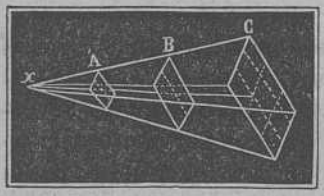
Observando que los cuerpos luminosos son visibles á la vez desde infinitos lugares, se pueden deducir las siguientes consecuencias: 1.ª Que la luz emana ó conmueve el éter en todas direcciones por líneas rectas divergentes. 2.ª Que la luz, como el calor en movimiento, es radiante al través de los espacios.

236. **Velocidad de la luz.**—Los antiguos creyeron que la luz se trasmitia con una velocidad infinita, hasta que el astrónomo dinamarqués Rœmer, en 1675, demostró que la velocidad de la luz era de 54,000 leguas por segundo de tiempo. La velocidad de la luz se determinó observando el tiempo que trascurre entre dos ocultaciones consecutivas de uno de los satélites de Júpiter en el cono de sombra que este planeta proyecta detrás de sí, y se halló igual á $42^h\ 28'$ y $36''$. Pero de hacer la observacion cuando la tierra se encuentra en el punto mas próximo á Júpiter, á hacerla desde puntos que disten mas de aquel, se nota que las ocultaciones se atrasan cada vez, y que este retraso es de $16'$ y $26''$ cuando han trascurrido seis meses de la primera á la última observacion. Esta diferencia es debida al tiempo que la luz emplea en recorrer el espacio que media entre aquellos dos puntos, que es el diámetro de la órbita terrestre. Se sabe que la distancia media de los

extremos de dicho diámetro es de 54 millones de leguas, y que el movimiento de la luz es uniforme; luego su velocidad se obtendrá dividiendo el espacio por el tiempo, y resultará que aquel flúido corre por segundo de tiempo 54,000 leguas, ó próximamente 77,000 de 4,000 metros. Siendo el diámetro de la órbita terrestre dos veces la distancia media entre la tierra y el sol, la luz debe tardar 8' y 13" en llegar del sol á nosotros.

237. **Intensidad de la luz.**—Cuando se comparan detenidamente las impresiones que se producen en el sentido de la vista por la luz que llega á la superficie de los cuerpos oscuros con la distancia del orígen luminoso, se observa que la intensidad de aquellas sensaciones se disminuye conforme la distancia del cuerpo luminoso se aumenta. Compárense entre sí las superficies *A*, *B*, *C* (*figura* 138), que pueden suponerse bases de otras tantas pirámides semejantes, en cuyo vértice comun *x* se halla colocado un punto luminoso. Las moléculas radiantes ó las ondas del éter que llegan á la primera superficie *A*, tendrán que dispersarse proporcionalmente hasta iluminar toda la superficie *B*, y en el espacio que media entre este último plano y la superficie *C* continuarán divergiendo y dispersándose hasta cubrir y hacer visible todo el plano *C*; pero la intensidad se disminuye, segun la observacion, conforme la distancia del punto luminoso se aumenta. Es evidente que las superficies *A*, *B*, *C* crecen como los cuadrados de las distancias, siendo *B* cuatro veces mayor que *A*, y *C* nueve veces mayor; pero la cantidad de luz originada en *x* la suponemos constante; luego su intensidad en los planos *A*, *B*, *C* decrecerá conforme se aumentan los cuadrados de las distancias.

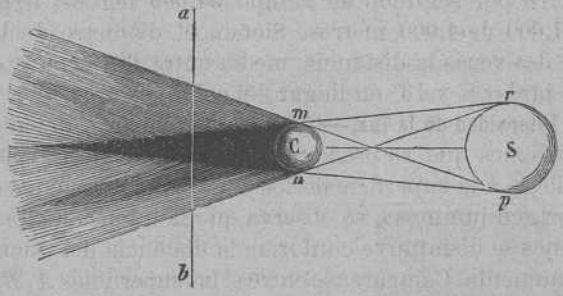
Fig. 138



238. **Sombra y penumbra.**—En un cuerpo opaco, la superficie que dista mas del punto luminoso, es evidente que no puede estar iluminada. Esta superficie se dice que se halla en la *sombra*. La porcion sombría de un cuerpo presenta una línea límite que separa la parte clara del cuerpo de la sombría; esta línea depende siempre de la forma del cuerpo y de la posicion y magnitud relativa que tienen en el espacio el punto luminoso y el cuerpo iluminado. Supongamos (*fig.* 139) un cuerpo luminoso en *S* y otro en *C*; trasmitiéndose la luz en líneas rectas divergentes, existen dos rayos *r m* y *p n*, que siendo tangentes al cuerpo *C*, señalarán á la vez sobre su superficie la posicion de dos pun-

tos *m n*, límites entre la parte clara y la sombría. Si en vez de dos tangentes suponemos otras muchas, hallaríamos una série de

Fig. 139.



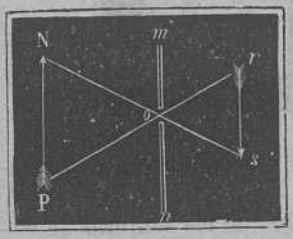
puntos en el cuerpo, por los cuales, haciendo pasar una línea, quedaria señalado el límite de la sombra. Como los rayos luminosos tangentes ó que tocan en un solo punto á los cuerpos continúan moviéndose en el espacio, es evidente que existirá mas allá del cuerpo opaco *C* un espacio, al cual, por faltar la luz, se llama tambien sombra; pero proyectada ó producida por los mismos cuerpos.

Cuando la luz parte de un punto, se tiene averiguado que la prolongacion de todos los rayos luminosos tangentes á la superficie de aquellos, constituye espacios sombríos ó sombras de forma regular. Estas generalmente son conos ó pirámides truncadas, cuya base menor está constituida por la línea límite por la porcion iluminada del cuerpo, en el supuesto de que la luz llega de un punto luminoso ó de un cuerpo de menor diámetro que el iluminado. El espacio sombrío será un cilindro ó un prisma cuando el cuerpo luminoso y el opaco sean iguales. La parte sombría volverá á ser cónica, apoyándose la base del cono sobre el cuerpo oscuro, si el diámetro del orígen luminoso es mayor que el del cuerpo que ha de proyectar la sombra (*fig.* 139). En el primer caso, la sombra puede considerarse infinita; en el segundo, la sombra, como en el anterior, tambien se prolongaria hasta el infinito; y en el tercero, la sombra tendrá por límite el vértice del cono ó pirámide formada por la concurrencia de los rayos luminosos tangentes.

Las sombras geométricas presentan el fenómeno de iluminarse gradualmente por la luz que parte de los diferentes orígenes que pueden existir á la vez en el espacio, y por la que un solo cuerpo luminoso produce en los diversos puntos de su extension; resultando que en las sombras cuya teoría matemática es el fun-

damento de la perspectiva, se reconoce físicamente la sombra verdadera, ó sea el espacio en el cual el cuerpo ha interrumpido completamente el paso de la luz, en derredor de cuyo espacio existen zonas mas ó menos iluminadas, que constituyen las *penumbras*. Para reconocer la sombra verdadera y la penumbra en el espacio geométrico sombrío proyectado por un cuerpo opaco, es suficiente cortar con un plano blanco *a b* (*fig.* 139) la sombra proyectada por el cuerpo *C*, y se observa en la seccion una porcion oscura, que es la sombra física verdadera, y la penumbra correspondiente, de cuyas zonas mas ó menos claras se tratará mas adelante. Sin embargo, conviene notar que los diámetros de las sombras verdaderas y la amplitud de las penumbras está entre sí en razon inversa, disminuyéndose además la amplitud de las últimas conforme se disminuye la distancia entre el cuerpo opaco y el plano secante de las sombras geométricas.

Fig. 140.

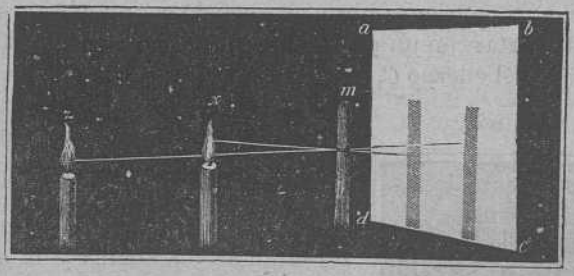


La dimension de la amplitud de las penumbras, y el movimiento en línea recta de los rayos luminosos, tanto directos como reflejados por los cuerpos, explicarán el siguiente fenómeno físico. Sea (*fig.* 140) un objeto *N P*; *m n* un plano que presenta una abertura en *o*; suponiendo un plano blanco colocado en un espacio ó cámara oscura, tendremos que los rayos *N o* y *P o*, moviéndose en línea recta continuarán su camino por el espacio oscuro hasta tocar en el plano blanco. Estando colocado este último á una distancia tal que las penumbras de los bordes de la abertura *o* sobre aquel sean próximamente nulas, la imágen del objeto *N P* se presentará en el plano blanco muy clara y bien trazada; pero como los rayos *N s* y *P r* se cruzan en la abertura *o*, es evidente que la imágen del objeto *N P* deberá presentarse invertida, como lo está en *r s*.

239. **Fotómetros.**—La comparacion de las sombras de un cuerpo cuando está iluminado por la luz de diferentes orígenes, ha dado lugar á diversos procedimientos fotométricos para comparar la intensidad relativa de dos luces. El mas sencillo, ideado por Rumford, consiste en colocar un cuerpo opaco, tal como una varilla de madera *m* (*fig.* 141), delante de un plano blanco *a b c d*, é iluminarla por dos luces *x z*, cuya intensidad luminosa se quiere comparar. La varilla *m* proyectará dos sombras sobre el plano blanco por la luz que recibe de *x z*; pero como á la vez aque-

llas sombras están iluminadas recíprocamente por los rayos que proceden de los puntos luminosos que las originan, resulta que los efectos de la intensidad de la luz son iguales cuando sensi-

Fig. 141.



blemente la iluminacion de las sombras sea la misma, é indicarán diferencias en el caso contrario.

Ahora, si la igualdad en la iluminacion de las sombras se verifica cuando los cuerpos luminosos están á igual distancia del plano *a b c d*, los focos luminosos actúan con la misma intensidad; pero si la igualdad en la iluminacion de las sombras se establece solo con la condicion de colocar uno de los focos á doble distancia del plano blanco de la que se halla el otro foco luminoso, en este caso la intensidad del mas distante será cuatro veces mayor, y así sucesivamente.

Wheatstone, cuyos sorprendentes trabajos sobre la percepcion de las sensaciones producidas en la vista por los cuerpos puestos en movimiento le han dado mucha celebridad, ha sido el inventor del fotómetro, generalmente empleado para comparar la diferente intensidad luminosa de las bujías de cera, de estearina y de sebo, ó de las luces de gas, cuya composicion puede ser diferente. El fotómetro de Wheatstone consiste en una esfera bruñida, de acero, *a* (*fig.* 142), clavada en un plano circular de corcho. Si se hace girar el plano de corcho con mucha rapidez entre dos luces colocadas en *M* y *N*, la imágen de las dos luces, vistas en la esfera de acero, producen las sensaciones de dos curvas de luz dispuestas como se indica en la *fig.* 143, las que siendo de igual claridad, indican que la intensidad y fuerza de la luz en los orígenes *M* y *N* son equivalentes; determinando

Fig. 142.

Fig. 143.

la distancia entre el fotómetro y las luces en cuestion, será tanto mas intensa la de aquella que, hallándose mas apartada, produzca una sensacion igual á la de la luz que sirve de comparacion. Bunsen tambien ideó un fotómetro fundado en que una mancha pequeña de grasa en un trozo de papel blanco colocado en el centro perforado de una pantalla, desaparece sensiblemente á la vista, cuando aquel papel recibe los rayos de luz de dos bujías que le iluminen con igual intensidad á la vez por uno y otro lado. El fotómetro de Bunsen, llamado en Francia de bolsillo, ha sido perfeccionado por sus frecuentes aplicaciones para determinar la fuerza iluminante de las diferentes clases de bujías y luces de gas por Burel y otros.

En la teoría de la emision, la intensidad de la luz, ó su facultad iluminante, se explica por la fuerza mas ó menos enérgica de la emision, y por la cantidad de materia luminosa lanzada y puesta en movimiento por los cuerpos luminosos. En la teoría de las vibraciones, el fenómeno de la intensidad luminosa es un efecto de la amplitud y velocidad de las vibraciones y de la cantidad de la masa etérea puesta en estado vibratorio y ondulatorio en el foco donde se origina.

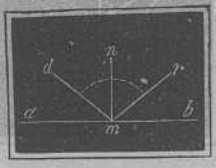
CAPÍTULO II.

Reflexion de la luz.

240. **Catóptrica.**—Se ha dado el nombre de *catóptrica* á la parte de la física que trata de los rayos de la luz reflejados por las superficies planas ó curvas de los cuerpos, y de la formacion de las imágenes en los espejos.

241. **Leyes de la reflexion de la luz.**—Cuando un rayo de luz en su camino encuentra un cuerpo opaco, retrocede, tomando una direccion con la cual los ángulos de incidencia y de retroceso ó reflexion son iguales. Si en vez de un solo rayo llega á la superficie de los cuerpos opacos un haz de luz, en este caso, que es el que se observa generalmente en la naturaleza, se nota: 1.° Que una parte de los rayos de que se compone el manojo luminoso se refleja, formando los ángulos de incidencia y de reflexion iguales. 2.° Que otra parte del haz de luz retrocede en el espacio ó se refleja irregularmente y con muy diversas direcciones. Se llama *ángulo de incidencia* al *d m n* (*fig.* 144), formado por el rayo directo y la perpendicular *m n*;

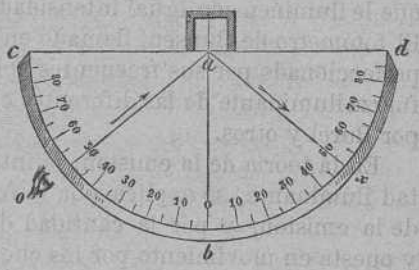
Fig. 144.



y *ángulo de reflexion* al *n m r*, formado por la misma perpendicular y la direccion que despues del retroceso toma el rayo de luz.

Para demostrar experimentalmente los fenómenos enunciados, se emplea el aparato *fig.* 145, formado por un plano circular *b c d*, que en su centro tiene fijo un espejo ó superficie reflectante *a*. Colocado un objeto en *x*, por la reflexion en el espejo *a* se verá desde el punto *o*, lo cual no puede suceder sino en el caso de que los ángulos *x b a* y *b a o* sean iguales. Si el aparato se halla colocado en un recinto ó cámara oscura, y el rayo luminoso que llega con la direccion *x a* fuese del sol, notaríamos que la imágen de este se percibiria en *o*; pero además, desde muchos lugares de la cámara oscura se distingue el espejo *a*, lo cual no puede verificarse sin que una porcion del manojo ó haz luminoso se refleje irregularmente.

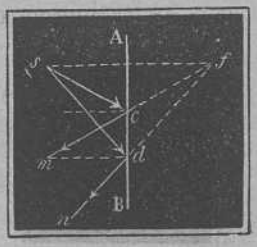
Fig. 145.



En la hipótesis de las emanaciones se supone á la materia de la luz dotada de la elasticidad perfecta de los flúidos elásticos (232), y la reflexion de la luz es la consecuencia inmediata. En la teoría de las vibraciones, las ondas luminosas, cuando hallan un obstáculo, retroceden como si cambiase el centro ó punto de impulso del movimiento ondulatorio del lado opuesto de la superficie de los cuerpos, y de aquí resultan los efectos de la reflexion, tal como se llevan indicados.

Si en el aparato *fig.* 145 se sustituye el plano de reflexion *a* por superficies reflectoras cóncavas ó convexas, se observan los mismos fenómenos, reflejándose el haz luminoso formando el ángulo de incidencia igual al de reflexion, y una parte de aquel irregularmente; pero en esta segunda experiencia aquellos ángulos están formados por el rayo incidente, el reflejado y la perpendicular á un plano tangente ó normal á la superficie curva.

Fig. 146.

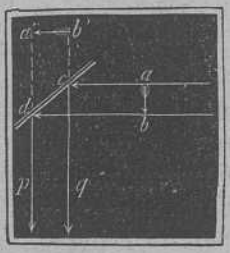


242. **Reflexion en los espejos planos.**—Supongamos un punto luminoso en *s* y un espejo plano *A B* (*fig.* 146); los rayos *s c* y *d s*, divergentes, formando los ángulos de incidencia iguales con los de reflexion, tomarán en la superficie

del espejo una direccion *c m* y *d n*, que tambien será divergente con relacion á un punto *f*, donde se reunirán los rayos, suponiendo que se prolongasen detrás del espejo. El punto donde concurren dos ó mas rayos luminosos se llama *foco real*, y *foco virtual* aquel en el cual concurririan suponiendo prolongados los rayos de la luz. En la teoría de las ondulaciones, los focos virtuales se consideran como centros de impulso de los rayos reflejados cuya posicion en los espejos planos se halla á una distancia detrás de la superficie reflectante, que es igual á la que media entre dicha superficie y el punto *s*, orígen de la luz.

Considerando á las imágenes en los espejos planos como el resultado de la reflexion de los rayos luminosos de un objeto, y reflejándose aquellos con las mismas relaciones geométricas, tendremos que, siendo todos los rayos directos perpendiculares á la superficie del espejo, se reflejarán paralelos, y las imágenes originadas serán exactamente iguales á las de los objetos, como diariamente se observa con los espejos planos. En el supuesto de que los rayos luminosos lleguen oblícuamente á la superficie del espejo, supongamos con una inclinacion de 45°, como se presenta en la *fig.* 147, los rayos *a c* y *b d* son reflejados con el mismo ángulo en la direccion *d p* y *c q*; pero hallándose los focos virtuales de las reflexiones detrás del espejo y á igual distancia de la que media entre el espejo y el objeto, la imágen *a b* se percibe en la posicion *a' b'*, y cuando el objeto *a b* es vertical, su imágen se percibe horizontal. Si el ángulo de 45° se disminuye, y la posicion del observador fuese la representada en la *fig.* 148, en este caso la imágen del objeto se presenta invertida completamente, como se observa en las orillas de los rios.

Fig. 147.

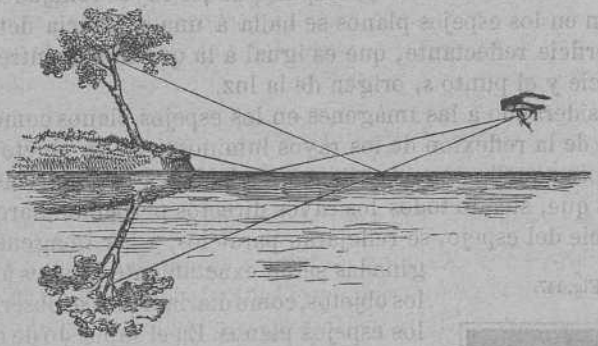


243. **Multiplicacion de las imágenes en los espejos angulares y paralelos.**—Si un objeto se coloca entre dos espejos planos que formen un ángulo cualquiera, las imágenes del objeto se repiten en aquellos espejos por las reflexiones sucesivas, tantas veces menos una cuantas se halle contenido en 360° el ángulo formado por los espejos; de consiguiente, el número de imágenes, conocido que sea el ángulo de los espejos, será igual á $\frac{360}{a} - 1$.

Como en el supuesto de ser paralelos los espejos, el ángulo *a* que forman es igual á cero, tendremos que en ellos el número de imágenes estará expresado por el valor de un quebrado cuyo de-

nominador es infinitamente pequeño, pues le suponemos igual á cero; luego el número de imágenes seria infinitamente grande, segun uno de los principios aritméticos de los quebrados, y físicamente el número de imágenes en los espejos paralelos se-

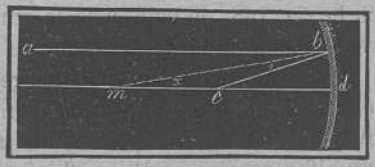
Fig. 148.



ria infinito, si los rayos de la luz no perdieran su intensidad por la reflexion irregular y al través del espesor del vidrio de los espejos cuando se origina cada una de las imágenes.

244. **Reflexion en las superficies curvas.**—Cuando los rayos luminosos caen sobre un espejo cóncavo ó convexo, se reflejan bajo la misma ley que si la incidencia se verificase sobre un plano tangente á la superficie curva del espejo. Supongamos un espejo cóncavo *b d* (*fig.* 149), cuya superficie corresponde á una esfera que tiene el centro en *m*. La línea *m d* indica la direccion de un rayo de luz, que por pasar por el centro del espejo, es el eje del cono luminoso que parte de un punto distante y toca en la superficie del espejo. Mientras el rayo *m d* es reflejado sobre su misma direccion, no es difícil averiguar la direccion que tomará otro rayo paralelo *a b*; pues conocido el centro *m* de la esfera, trazaríamos el radio *m b*, y construyendo los ángulos *i i'* iguales, tendríamos que el rayo *a b*, reflejándose, tomaria la direccion *c b*. Repitiendo la construccion anterior para otros rayos que llegasen sobre los puntos del espejo entre *d* y *b*, una vez reflejados, todos aquellos se reunen en el punto *c*.

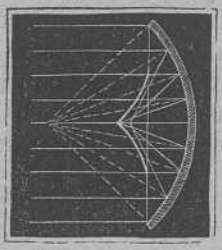
Fig. 149.



245. **Del foco en los espejos cóncavos.**—La posicion del punto *c* ó foco en los espejos cóncavos (*fig.* 149), puede determinarse fácilmente, suponiendo que los rayos luminosos directos proceden de un punto infinitamente lejano, en cuyo supuesto aquellos rayos podrán considerarse sensiblemente paralelos. En este caso, sea *a b* el rayo luminoso paralelo al eje del espejo, *m c* el radio de la esfera á que corresponde dicho espejo, y tendremos que los ángulos *i x* son iguales por alternos internos entre las dos paralelas *a b* y *m d*, cortadas por la secante *m b*; pero el ángulo de reflexion y el de incidencia son iguales; luego el de reflexion tambien será igual al ángulo *x*, en cuyo caso los lados *b c* y *c m* del triángulo *b c m* serán iguales; si el rayo *a b* está muy próximo al eje, de modo que intercepte un arco infinitamente pequeño, se tendria $bc+cm=bm=r$ y $mc=\frac{r}{2}$; de donde se deduce que el foco de los rayos paralelos muy próximos al eje del espejo, se halla siempre sobre el mismo eje y en la mitad del radio de la esfera.

* Si los rayos luminosos forman con el eje del espejo un ángulo mayor de 15°, en este caso se cortan en puntos que se aproximan á la superficie del espejo, dando lugar al fenómeno óptico conocido con el nombre de *aberracion de esfericidad*: esta consiste en la desviacion de los rayos reflejados en la superficie de los espejos, en virtud de la cual, en vez de reunirse en un punto, se extienden sobre una superficie; además, los rayos reflejados se cruzan en su camino, y allí donde se reunen forman puntos con luz mas intensa, constituyendo las curvas representadas en la *fig.* 150, á las cuales se las ha llamado *cáusticas por reflexion.*

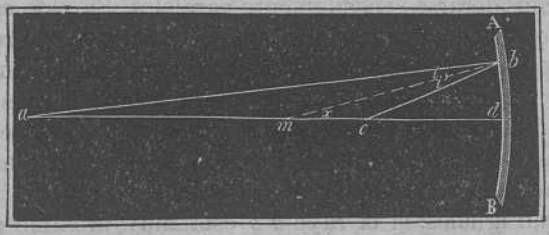
Fig. 150.



246. **Cambio de posicion en el foco de los espejos cóncavos.**—Cuando los rayos luminosos tienen su orígen á una distancia conmensurable ó limitada, el foco de dichos rayos cambia de posicion. Supongamos (*fig.* 151) un punto luminoso *a* y un espejo *A B*; el rayo *a b* es divergente respecto del *a d*. Si el punto *m* es el centro de la superficie esférica del espejo, tendremos que, trazado el radio *m b*, y haciendo que los ángulos *i i'* sean iguales, el rayo luminoso *a b* será reflejado en la direccion *b c*; resultando además: 1.° Que el rayo *b c* corta al eje en el punto *c*. 2.° Que la distancia del foco *c* al centro *m* de la esfera se disminuye conforme se aproxima al punto luminoso *a*, pues cada vez los ángulos *i i'* irán

siendo menores, hasta que el punto luminoso ocupe el centro de la esfera, en cuyo caso los rayos de la luz, que serán radios de la

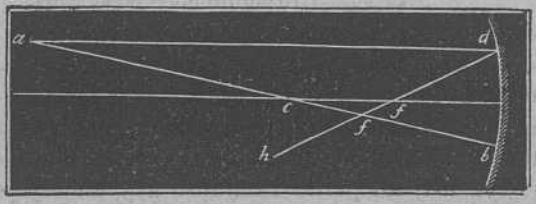
Fig. 151.



superficie curva, ó normales, se reflejarán en su misma direccion, coincidiendo el foco y el orígen de la luz en el centro *c*. Si continúa el punto luminoso aproximándose, en este tercer supuesto el foco se separa cada vez mas, hasta el momento en que ocupando el orígen de la luz la mitad del radio de curvatura, los rayos luminosos serán reflejados en el espacio paralelamente, ó teniendo su foco en el infinito. Por último, cuando el punto luminoso se aproxima todavía mas á la superficie del espejo, en este caso los rayos se reflejan divergentes hácia el espacio, teniendo un foco virtual detrás del espejo ó en la prolongacion de aquellos rayos.

Todo lo expuesto anteriormente tambien tiene aplicacion en el caso que el punto luminoso no se halle situado sobre el eje del espejo. Supongamos (*fig.* 152) el espejo *d b* y un punto luminoso

Fig. 152.



en *a* fuera del eje. Si por el punto luminoso *a* y el centro *c* de la esfera á que corresponde el espejo se tira la línea *a c b*, se la podrá considerar como el eje del cono luminoso que parte del punto *a*: el foco se hallará sobre el eje *a b* y en el punto *f'* del radio *c b*. Si el orígen luminoso *a* se aproxima á la superficie del espejo, en este caso el foco se aproxima al centro *c*.

Para hallar experimentalmente el foco de un espejo, basta tomar una lámina delgada de metal y hacer en ella cuatro ó seis aberturas circulares de 4 milímetros próximamente de diámetro, procurando que en derredor de una de ellas se encuentren las otras simétricamente abiertas. Colocando la lámina metálica en el hueco de la ventana de una habitacion oscura, entrará la luz por las aberturas practicadas en la lámina; y si se recibe la luz que pasa por aquellas sobre un espejo cóncavo, las imágenes de las aberturas se reflejarán, y el punto en que reunidas producen la imágen mas clara, aquel será el foco del espejo.

247. **Formacion de las imágenes de los espejos cóncavos.**—Suponiendo que en los espejos cóncavos las imágenes de los objetos resultan como en los planos, de la reflexion de los rayos luminosos en las superficies de los mismos, se observarán los fenómenos ópticos siguientes, conformes con las leyes de la formacion de los focos y direccion de los rayos reflejados por las superficies cóncavas:

1.° La imágen de un objeto que, por la distancia á que se encuentra, sus rayos luminosos se puedan suponer paralelos al eje de los espejos cóncavos, se hallará en el foco de los mismos, apareciendo con un diámetro mucho menor.

2.° Cuando los objetos cuyos rayos se reflejan en los espejos cóncavos se hallan colocados á una distancia conmensurable ó limitada del centro de la esfera, la imágen se hallará entre aquel centro y el foco del espejo, observándose que las imágenes son mas pequeñas y que además se presentan invertidas.

3.° Si el objeto está colocado á una distancia del espejo que sea igual al radio, la imágen en el espejo se pintará por reflexion á la misma distancia, pero invertida en el espacio y con iguales dimensiones.

4.° Si el objeto se coloca entre el centro de la esfera y el foco del espejo, la imágen se pinta invertida en el espacio, á una distancia cada vez mayor y con magnitud creciente.

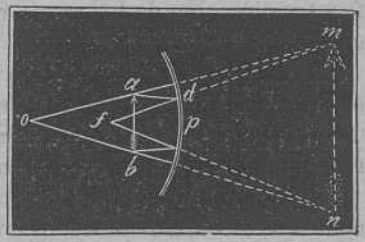
En óptica, las imágenes que se forman en el espacio, y cuya existencia se reconoce colocando en la direccion de los rayos luminosos planos blancos, los cuales se hallan dispuestos en cámaras ó recintos oscuros, las mismas imágenes recogidas en placas metálicas, á las que la química puede haber dado una especie de sensibilidad, y las que son el resultado de la seccion de los haces de la luz por el plano sensible é interior del ojo humano, se han denominado *espectros*, los cuales son imperceptibles en medio del espacio, á no ser reflejados los rayos luminosos que constituyen

los espectros sobre algun otro cuerpo; de consiguiente, las imágenes aéreas que resultan por la reflexion en los espejos cóncavos, segun los cuatro supuestos anteriores, se han llamado *espectros físicos* de aquellos espejos.

5.° Si el cuerpo luminoso se coloca en el punto medio del radio del espejo, su imágen desaparecerá en el espacio; y suponiendo que aquel fuese una bujía encendida, la superficie reflectante devolverá paralelos los rayos luminosos, apareciendo la superficie del espejo iluminada.

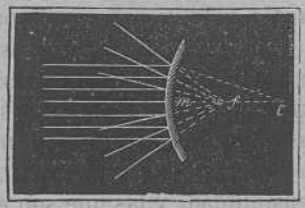
6.° Cuando el cuerpo está entre el foco de los rayos paralelos y el espejo, la imágen cambia de lugar, y no se presenta en el espacio aéreo sino detrás del espejo. Esta imágen es directa, y además se presenta amplificada, tanto mas cuanto mas próximo se halla el objeto al foco del espejo, como se puede demostrar con un espejo cóncavo (*fig.* 153) y un objeto *a b*, cuya imágen se percibirá amplificada en *m n*, observándola desde el punto *o* delante del espejo. Por la propiedad de amplificarse en este último caso las imágenes, se ha llamado á los espejos cóncavos, de *aumento*; y como por su medio se reunen en un foco los rayos luminosos y caloríficos de un orígen cualquiera, se pueden producir temperaturas muy elevadas, y por sus relaciones con el calor, reciben el nombre de *espejos ustorios*.

Fig. 153.



243. **Del foco en los espejos convexos.**—En los espejos convexos se observan fenómenos físicos análogos á los de los cóncavos, pero si bien en sentido inverso; así se nota (*fig.* 154) que los rayos luminosos se reflejan divergentes en las superficies convexas, cuando las cóncavas los hacen convergentes, y de aquí resulta que los rayos de luz paralelos presentan en los espejos convexos un foco virtual en *f*, cuya posicion, suponiendo que los rayos proceden de un orígen luminoso muy distante, como el sol, corresponde á la mitad del radio *c m* de la superficie esférica. Si el orígen luminoso se aproxima á la superficie de los espejos convexos, la posicion del foco cambia, si-

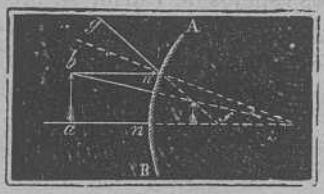
Fig. 154.



guiendo una ley semejante á la observada en los espejos cóncavos.

249. **Formacion de las imágenes en los espejos convexos.**—Las imágenes en los espejos convexos aparecen, no en el espacio y en espectro, sino detrás de la superficie del espejo, y disminuidas en sus dimensiones. Sea *A B* un espejo convexo (*fig.* 155), y *b a* un objeto; cayendo el rayo *a n* normalmente sobre la superficie del espejo, se reflejará sobre sí mismo en la direccion *n a*. El rayo *b n'* se reflejará respecto del primero divergentemente en la direccion *n' g*; pero el punto *f* de interseccion entre el rayo *n' g* reflejado y el eje del espejo, determina la posicion del foco virtual; además los rayos *g n'* y *a n* prolongados señalan la posicion tambien virtual y detrás del espejo de un objeto *b a*, cuya imágen se ve detrás de aquel, recta y mas pequeña que el objeto.

Fig. 155.



250. **Espejos cilíndricos y cónicos.**—Los espejos cilíndricos y cónicos obran, respecto de la reflexion, como espejos planos en el sentido del eje, y como espejos convexos en el sentido perpendicular ó trasversal al eje. De aquí resulta, que si se observa la imágen de un objeto por medio de aquellos espejos (*fig.* 156), una de las dimensiones, supongamos la longitud del objeto en la imágen, será igual á la del mismo objeto; pero la anchura de la imágen se disminuirá notablemente en el espejo cilíndrico. Fundándose en estos principios, se han construido los espejos denominados *anamórficos*, ó sean aquellos con los cuales, observando por reflexion un objeto préviamente dibujado con anchura excesivamente grande, se reducirá esta en la imágen reflejada por un espejo cilíndrico; observando un efecto semejante cuando los objetos, estando dibujados irregularmente en planos circulares, se observan las reflejadas en espejos cónicos. En ambos casos la irregularidad desaparece, y los dibujos vistos por reflexion en los espejos anamórficos se perciben regularizados.

Fig. 156.

La intensidad de la luz reflejada se ha dicho anteriormente que

se pierde en parte por causa de la reflexion irregular, y por la disminucion de la velocidad del movimiento vibratorio del éter en el interior de los cuerpos diáfanos: de aquí resulta que en los espejos se disminuye la intensidad de la luz, orígen de la percepcion de las imágenes.

Los espejos metálicos son los que reflejan con mas regularidad la luz que reciben, y en los que la intensidad de la luz incidente sufre menores pérdidas; por esto, y por no dar orígen á la multiplicidad de imágenes que producen los espejos de vidrio, se prefirieron hace algun tiempo á los espejos metálicos para la construccion de los aparatos ópticos que se describen mas adelante.

CAPÍTULO III.

Refraccion de la luz.

251. **Dióptrica.**—La parte de la óptica que trata de los fenómenos que se originan por los rayos luminosos cuando pasan por el interior de los cuerpos diáfanos, ha recibido el nombre de *dióptrica*.

252. **Fenómeno de la refraccion.**—Si observamos la imágen de un objeto al través del vidrio ó del agua, se percibe aquella como si el objeto estuviera iluminado débilmente, lo cual hace sospechar con fundamento que el vidrio y el agua ejercen alguna accion sobre los rayos de luz que atraviesan por sus masas. Para reconocer todos los fenómenos que presentan los rayos luminosos, suponiendo que crucen por una masa de agua, se toma una vasija ó cuba que no sea trasparente *a c d b* (*fig.* 157): supongamos además que dicha cuba está llena de aire; un objeto cualquiera *s* en el anterior supuesto, no seria visible desde el punto *o*. Pero si se echa agua en la cuba ó vasija, se observará que la imágen del objeto *s* cambió de posicion, pasando al punto *n*, lo que supone un cambio de direccion en el rayo *s z*, el cual, en vez de seguir el camino en línea recta, forma un ángulo en el punto *z* para continuar por la línea *z o*. A este cambio de direccion, en virtud del cual los rayos de luz que se mueven por medios de diferentes densidades se aproximan ó se apartan de la perpendicular al punto de inmersion, se ha llamado *refraccion de la luz*. Al rayo directo *a b* (*fig.* 158) se le conoce bajo la denominacion de *rayo incidente*, mientras que en la direccion *b e* que aquel sigue en el interior del agua, lleva el nombre de *rayo refractado* ó de

refraccion. Tambien se distingue el ángulo de incidencia, que es el *a b c*, formado por el rayo incidente y la normal á la superficie *n m* del medio refringente, y el ángulo de refraccion *d b e*, constituido por el rayo refractado y la misma normal prolongada bajo la superficie *m n* anteriormente citada.

Si el agua en el vaso ó cuba de cristal se sustituye por el aceite, por el alcohol ó por una masa de vidrio, se observa el mismo

Fig. 157.

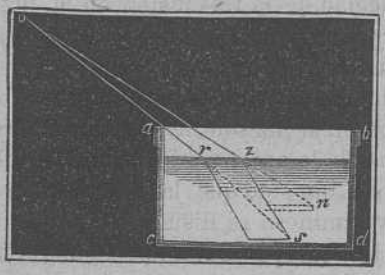
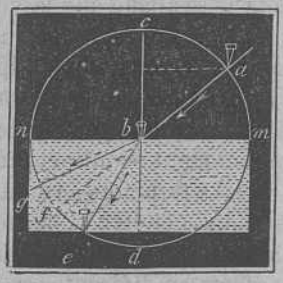


Fig. 158.



fenómeno que con el agua; pero el valor de los ángulos de refraccion, suponiendo constante el de incidencia *a b c*, es diferente para cada uno de los cuerpos diáfanos contenidos en el aparato, notándose desde luego que el cambio de direccion del rayo incidente es mayor en el espíritu de vino que en el agua, mas en el aceite que en el espíritu de vino, y todavía mayor al través de un espesor de vidrio cuya superficie coincidiese con la del nivel *m n* á que llegaron aquellos líquidos en el interior del aparato.

253. **Leyes de la refraccion.**—El fenómeno de la refraccion de la luz está sujeto invariablemente á las cuatro leyes siguientes:

1.ª *Los rayos luminosos, cuando pasan de un medio menos denso á otro mas denso, se quiebran ó refractan aproximándose á la perpendicular, y viceversa, se apartan de la perpendicular en el caso contrario.* Los mismos fenómenos se presentan cuando un rayo de luz pasa de un medio menos á un medio mas refringente, y al contrario, aun cuando sus densidades puedan ser variables.

2.ª *El rayo incidente, el refractado y la perpendicular en el punto de incidencia á la superficie de desviacion, son líneas rectas que se hallan situadas en un mismo plano.*

3.ª *Los ángulos de incidencia y de refraccion corresponden á los lados opuestos de la perpendicular en el punto de incidencia.*

4.ª *Siendo homogéneo el medio refringente, la direccion del*

rayo luminoso despues de la refraccion permanece constantemente recta.

*254. **Explicacion y teoría de la refraccion.**—En la hipótesis de las emanaciones, la refraccion se explica en la suposicion de que los diferentes cuerpos diáfanos ejercen atraccion sobre la sustancia de la luz al penetrar en sus masas. Si esta atraccion es enérgica por parte de los cuerpos, los hace muy refringentes; y por el contrario, si la citada atraccion de la materia ponderable de los cuerpos actúa con menos energía, estos son poco refringentes. En aquella hipótesis se añade que la velocidad de la trasmision en la luz se aumenta al través de los cuerpos muy refringentes y se retarda al pasar por los menos refringentes.

En la teoría de las vibraciones, los supuestos que se establecen para explicar la refraccion de la luz son menos en número y completamente contrarios á los de la antigua hipótesis. En la teoría de las vibraciones se supone tan solo que la movilidad y la elasticidad del éter vibrante y luminoso se disminuyen al través de la materia ponderable de los cuerpos diáfanos; disminucion que afecta en diferente grado á los movimientos ondulatorios de la luz, conforme es diferente la materia de los cuerpos; resultando en esta hipótesis que los cuerpos poseen una facultad refringente tanto mayor cuanto mas se disminuye la velocidad de los movimientos vibratorios del éter que en forma de rayos de luz se trasmiten al través de sus masas, y viceversa.

255. **Índice de refraccion.**—La relacion que entre sí guardan los valores de los ángulos de incidencia y de refraccion en un mismo cuerpo, es siempre constante: dicha relacion se la conoce con el nombre de *índice de refraccion*. Como cada uno de los cuerpos diáfanos posee un índice de refraccion propio, se han formado tablas por cuyo medio es suficiente la simple lectura para hallar el valor relativo de la facultad refringente de los diferentes cuerpos.

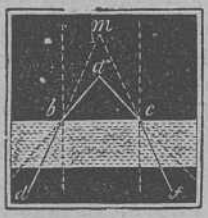
El valor de los índices de refraccion se deduce aritméticamente por la ecuacion $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}=n$, en la cual i es el ángulo que forma el rayo incidente, r el ángulo de refraccion y n el índice que se busca. Si al ángulo de incidencia se le supone constante en la superficie de diferentes cuerpos, será r diverso, y por consecuencia el índice n será tambien variable.

* Relativamente á la facultad refringente de los cuerpos, hasta ahora no se ha encontrado ninguna ley constante á que esté sujeta la citada facultad en uno mismo ó en diferentes cuerpos;

lo único que se sabe es que influye la densidad variable que presentan algunos de aquellos, y su composicion química. Respecto á esta última, entre otros hechos, se ha comprobado que los cuerpos combustibles ó formados por algun cuerpo combustible, tal como el diamante, el alcohol, el aceite esencial de trementina, etc., presentan una facultad refringente notable; por cuya razon Newton, fundándose en la refraccion, sospechó que el diamante y el agua, cuyas facultades refringentes eran relativamente grandes, contenian elementos combustibles, lo cual se ha demostrado con posterioridad, puesto que el diamante es carbono puro, y en el agua se ha comprobado la existencia del hidrógeno, gas muy combustible.

256. **Refraccion al través de los medios terminados por superficies paralelas.**—Cuando los rayos luminosos inciden paralelos sobre una superficie plana, continúan despues de la refraccion con direccion paralela; si los rayos *a b* y *a c* son divergentes como en la *figura* 159, en este caso se disminuye la amplitud del ángulo que podria suponerse formado por las prolongaciones de los rayos refractados *d b* y *f c*, en el supuesto de que los rayos *a b* y *a c* pasan de un medio menos denso á otro mas refringente. Por el contrario, la divergencia se aumenta en los rayos incidentes cuando pasan de un medio mayor á otro de menor refringencia.

Fig. 159.



Teniendo presentes estos principios de la refraccion en los medios terminados por superficies paralelas, y que las estrellas pueden considerarse como puntos luminosos en el espacio, cuyos rayos de luz llegan hasta la tierra despues de recorrer el vacío y atravesar diferentes espesores ó capas atmosféricas, las cuales pueden considerarse en cortas extensiones como superficies planas, es posible adquirir una idea de la refraccion astronómica y de sus efectos relativamente á la posicion de los astros. Las capas de aire, conforme se aproximan á la tierra, sabemos que sus densidades son mayores; por consiguiente, los rayos de luz sufren una refraccion tanto mayor cuanto mas se van acercando á la tierra; así es que siguen una direccion curva, por una de cuyas tangentes veremos el astro, y por consiguiente elevado respecto de su posicion verdadera, dejando de producirse este fenómeno cuando el astro se halle en el zénit. Por esta razon se ve el sol antes de hallarse sobre el horizonte, y asímismo se sigue viendo despues de haber pasado bajo el mismo horizonte.

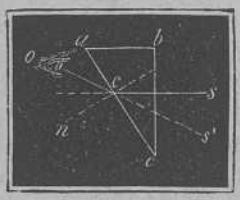
257. **Reflexion total.**—Los rayos de la luz, pasando de un medio mas á otro menos refringente, sabemos (252) que cambian de direccion separándose de la perpendicular en el punto de incidencia; de aquí resulta que si los rayos directos llegan á una cierta inclinacion de incidencia, pueden continuar su camino por la superficie del medio menos refringente; y si la inclinacion se aumenta mas, en lugar de refractarse son reflejados en la referida superficie al través del medio mas refringente, en que se les supone que se mueven directamente. Al ángulo de incidencia con el cual los rayos directos se refractan, tomando la direccion de la superficie de uno de los medios diáfanos, se le denomina *ángulo límite* de la refraccion, pues cuando aquel se aumenta, la refraccion se convierte en *reflexion total* de los rayos de la luz.

258. **Espejismo.**—El *espejismo* y la *fata morgata* son fenómenos ópticos debidos á la reflexion total de los rayos luminosos que, partiendo de los cuerpos, atraviesan capas atmosféricas de diferente densidad. El fenómeno del espejismo consiste en la percepcion bajo cada objeto lejano de su imágen invertida, y como si se viera por reflexion en una gran masa de agua ó pintada en las nubes, debido, como se deja dicho, á que las capas atmosféricas se hallan enrarecidas por su contacto con un suelo muy caliente, verificándose el fenómeno de la reflexion total. El espejismo se produce principalmente en las llanuras arenosas y áridas del Bajo Egipto; y la fata morgata se presenta con frecuencia á los navegantes, viendo estos la imágen invertida de las costas ó de los buques lejanos, produciéndose el efecto del espejismo en sentido inverso de este, y solo en el caso de que la temperatura del mar sea inferior á la del aire, porque entonces las capas atmosféricas que tocan al agua son las mas densas.

259. **Prismas.**—Se da el nombre de *prismas* á todos los medios diáfanos cuyas superficies de incidencia y de emergencia están inclinadas. En los prismas se llama *arista* la línea de interseccion de las dos superficies ó lados, y *base* la superficie opuesta al ángulo del prisma, el cual tambien recibe el nombre de *ángulo de refraccion*, por ser el que sirve para determinar el índice de refraccion de los diferentes cuerpos. Los prismas triangulares son aquellos en los que la seccion trasversal es un triángulo. Se da generalmente el nombre de *seccion* al plano donde corresponden y pueden, segun las leyes de la refraccion, considerarse situados los rayos incidentes, refractados y emergentes. Suponiendo que el triángulo *d b c* (*fig.* 160) sea la seccion principal de un prisma, si de un punto *s* parte un rayo luminoso y cae perpendicularmente sobre el lado

del prisma, continuará en la misma direccion al través del cuerpo diáfano; pero llegando aquel rayo oblícuamente sobre el lado opuesto del prisma, se refracta pasando al aire, y separándose de la perpendicular *c n* en el punto *c* de emergencia, donde toma la direccion *c o*. Desde el punto *o* se notan dos fenómenos ópticos: el primero es, que la imágen del punto *s* se presenta mas baja y en la prolongacion del rayo *o s'*; y el segundo, que aquella imágen aparece teñida con colores; de este último fenómeno se tratará mas adelante. Si el ángulo del prisma estuviese vuelto hácia arriba, la imágen del objeto apareceria mas elevada; de donde se deducen las relaciones que tienen los cambios de posicion aparente de los objetos con la posicion recíproca de la arista de los prismas. El ángulo *s c s'* tambien se ha llamado de *desviacion*.

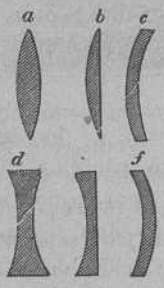
Fig. 160.



Los cuerpos trasparentes, cuando se terminan en muchas superficies, constituyen poliedros, en los cuales los rayos de la luz toman diferentes direcciones, multiplicándose las imágenes en tanto número como facetas ó caras tenga el poliedro por el lado donde llegan los rayos luminosos. Estos poliedros constituyen los aparatos anamórficos por refraccion.

260. **Lentes.**—La refraccion de la luz tambien puede verificarse en medios diáfanos terminados por superficies curvas, á los cuales por su forma se los conoce bajo la denominacion de *lentes*, que pueden ser esféricas si las superficies que las constituyen son partes ó porciones de esferas, y respectivamente elípticas y cilíndricas.

Fig. 161.



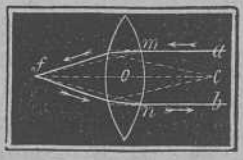
261. **Division de las lentes.**—Las lentes se dividen en seis variedades, resultantes de la combinacion entre las superficies planas y esféricas, recibiendo las lentes diversos nombres. La lente *a* (*fig.* 161) es *biconvexa*, cuyo nombre expresa que las dos porciones esféricas de que está formada son convexas; y recíprocamente la *b* recibe la denominacion de *plano-convexa*, la *c cóncavo-convexa*, y tambien recibe el nombre de *menisco* ó *lente periscópica*, cuya lente se subdivide en tres variedades: con la convexidad mayor que la concavidad, y respecto de las imágenes, esta actúa sobre los rayos de la luz como las lentes convexas; con igual concavidad que

convexidad, ó de caras paralelas, en cuyos meniscos la refraccion se verifica como en los vidrios planos; y con la concavidad mayor que en la convexidad, en cuya tercera variedad de lentes se producen los efectos de las lentes cóncavas. La lente *d* es *bicóncava*, la *e plano-cóncava*, y la *f* es una lente *periscópica* ó *menisco*, cuya concavidad es mayor que la convexidad. En todas las lentes, la línea que pasa por los centros de sus dos superficies y es normal ó perpendicular á ellas, se llama *eje de la lente*.

Las lentes en lo general se construyen de vidrio, pero en ocasiones se tallan de cristal de roca y de algunas piedras preciosas, como el diamante, segun propuso Brewster, y con algunos líquidos que toman ó adquieren una forma lenticular encerrándolos en vasos doblemente cóncavos ó convexos.

262. **Refraccion de la luz en las lentes convexas.** — Para determinar las leyes dióptricas ó de la refraccion de los rayos luminosos en las lentes, se las considera formadas de dos prismas unidos por su base en las convexas, y en contacto por sus vértices en las lentes cóncavas: en cuyo supuesto, las leyes de la refraccion de las lentes son semejantes á las conocidas en los prismas, y se tendrán: 1.ª El rayo luminoso *c o* que sigue la direccion del eje de la lente convexa (*fig.* 162), confundiéndose con él, pasa sin presentar cambio alguno en su direccion. 2.ª Todos los rayos paralelos al eje de la lente, como son *b n*, *a m*, el primero, que podríamos suponerle atravesando por un prisma cuyo vértice está vuelto hácia abajo, se desvia de su direccion en el punto *n* para aproximarse y cortar en un punto *f* al eje *c o*; y recíprocamente, el segundo rayo *a m*, que pasa por un prisma cuyo vértice está vuelto hácia arriba, cambia de direccion convergiendo hácia el mismo punto *f* de concurrencia, al cual se llama *foco principal*, y á la distancia *f o distancia focal*. 3.ª Si el centro de impulso de los rayos luminosos se hallase en el punto *f*, foco de una lente *biconvexa*, despues de la refraccion dichos rayos siguen con direccion paralela al eje, lo cual es evidente, siendo este fenómeno el inverso del que se establece por la ley anterior. 4.ª Cuando la distancia que media entre los puntos orígen de los rayos divergentes y las lentes es diversa, la distancia focal para aquellos rayos será tanto mayor cuanto menor sea la que media entre el orígen de la luz y el foco de las lentes. 5.ª Cuando los rayos luminosos divergentes proceden de un punto situado entre el foco y la superficie de la lente, en este último caso divergen cada vez

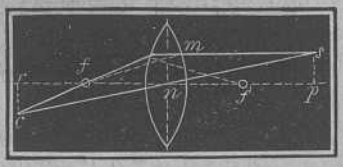
Fig. 162.



mas despues de su emergencia en la segunda superficie de la lente.

263. **Imágenes de los objetos vistos al través de las lentes convexas.**— Los fenómenos ópticos de las imágenes formadas por las lentes pueden reducirse á dos, á saber: á la posicion ó lugar que ocupa la imágen en el espacio, y á la magnitud aparente de los objetos. La posicion puede fijarse suponiendo un punto luminoso *s* (*figura* 163), cuyo lugar en el espacio se desea determinar despues de la refraccion en la lente biconvexa *m*. En este supuesto, sea *m s* un rayo paralelo al eje de la lente; este rayo se refractará concurriendo en el foco de la lente, conforme se tiene expuesto en la segunda de las reglas anteriores: si prolongamos su direccion, y por el centro *n* de la lente se traza la línea *c n s*, la imágen del punto luminoso *s* se halla en el punto *c* de interseccion de la línea *s c* y de la prolongacion *f c* del rayo refractado.

Fig. 163.



Determinada la posicion de un punto cuyos rayos luminosos han sido refractados, se puede determinar la posicion de otros puntos de un mismo cuerpo, quedando conocido el lugar que ocuparian en el espacio las imágenes formadas por la refraccion al cruzar la luz las lentes convexas.

Por medio de la operacion gráfica anterior se comprueba otro hecho, y es, que la distancia de la lente donde se forman las imágenes mas claras y como flotantes en el espacio, es tanto menor en una lente convexa cuanto mayor es la distancia del objeto cuya imágen se desea percibir.

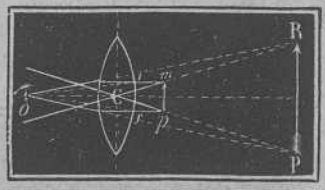
Además, determinada la posicion de los dos puntos extremos *p s* de un objeto en un lado de la lente, se observa el fenómeno, propio á las lentes convexas, de presentarse invertida la imágen en *c r* por causa del cruzamiento de los rayos *f c* y *f r* en el foco despues de la refraccion sufrida, aumentándose las dimensiones de la imágen aérea conforme se la examina á mayor distancia de la superficie de la lente, y conforme se varía la distancia entre el objeto y la superficie opuesta de dicha lente.

Las imágenes aéreas que se originan por las lentes convexas, podrian recogerse sobre un plano blanco colocado en un recinto ó cámara oscura, y por este medio se demuestra experimentalmente todo lo expuesto sobre los efectos de la refraccion de la luz en aquellos aparatos.

264. **Efectos de las distancias relativas entre una lente convexa y la**

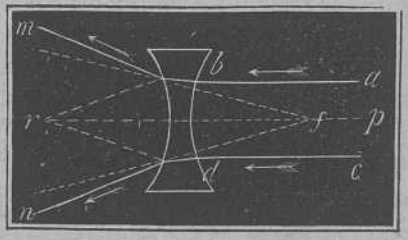
vista.—Si el plano blanco de que se habla en el párrafo anterior se sustituye con el órgano de la vision que el hombre posee, se nota, que interponiendo una lente convexa *C* (*fig.* 164) entre el objeto *p m* y la vista colocada en *o*, se pueden combinar las distancias de la lente de tres maneras, á saber: el órgano de la vision en el foco de la lente, entre el foco y la superficie de la lente, y á mayor distancia que el foco. Suponiendo el objeto entre el foco y la superficie de la lente, los rayos paralelos *m r* y *p s*, se refractan convergentemente hácia *o*; pero como la imágen se refiere á la prolongacion de los rayos *o R* y *o P*, tendremos que aquella la veremos mas distante, directa y notablemente amplificada por la divergencia de los rayos, y en la posicion *R P*. Por esta razon las lentes convexas se llaman vulgarmente *vidrios de aumento*, cuyas aplicaciones en la construccion de los aparatos ópticos son muy repetidas, sirviendo para ampliar las imágenes y aumentar en puntos dados la facultad iluminante de la luz.

Fig. 164.



265. **Refraccion en las lentes cóncavas.**—En estas lentes, los rayos que siguen exactamente por el eje principal, no sufren cambio en su direccion; pero los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 165) que caen paralelos al eje cuando inciden sobre los dos prismas unidos por el vértice de que se suponen formadas las lentes cóncavas, se refractan desviándose de su direccion, el rayo *a b* apartándose en un sentido del eje, y el *c d* en el sentido opuesto, cuyos cambios de direccion son inversos á lo expuesto en las lentes convexas; resultando que los rayos emergentes en las lentes cóncavas continúan divergiendo, y de aquí la consecuencia de que no pueden tener un foco real en *r*; pero si los rayos divergentes refractados en las lentes cóncavas se prolongasen, presentarian un foco virtual en *f*.

Fig. 165.

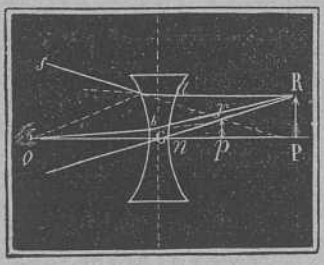


Cuando los rayos luminosos que inciden en las lentes cóncavas son divergentes, se aumenta aquella divergencia despues de la refraccion; de consiguiente, el punto del primer impulso luminoso parece que se aproxima á la superficie de las lentes.

266. **Imágenes de los objetos al través de las lentes cóncavas.**—De lo expuesto anteriormente resulta, que las lentes cóncavas no dan orígen á imágenes aéreas que pudieran ser examinadas por el procedimiento indicado en el párrafo 263, sino que los objetos, cuando se miran al través de las lentes cóncavas, se ven directamente, notándose que las imágenes no están invertidas, son menores, y aparecen en puntos menos distantes.

Sea un objeto *R P* (*fig.* 166), que se mire desde el punto *o*, al través de una lente cóncava; el rayo *P n* no se refracta por hallarse sobre el eje, y por lo tanto el rayo luminoso se refiere al mismo punto del espacio, de donde realmente procede. Del punto *R* partirán rayos luminosos, tales como *R a* y *R b*; por la refraccion muchos de estos se pierden antes de llegar al punto *o*; pero el rayo *R b*, respecto del *R a*, es divergente, y siguiéndole en su camino se observa que por incidir próximo al eje de la lente y aumentada su divergencia, corta á este último en el punto *o*, llegando por consecuencia al interior del órgano de la vista. Si se prolonga el rayo *o b*, corta en *r* al eje del cono luminoso que se origina en *R*. Este último punto se refiere al punto *r*; pero un objeto se puede suponer siempre que es un conjunto de puntos radiantes de luz invariablemente enlazados, y de aquí resulta que la imágen del objeto *R P* se percibe al través de la lente *C* en *r p*, con las condiciones de ser directa, de hallarse mas próxima y de presentarse disminuida en sus dimensiones. Este último hecho, como un efecto de las propiedades físicas de las lentes cóncavas, ha dado motivo para que la generalidad las denomine *vidrios de disminucion*.

Fig. 166.



CAPÍTULO IV.

Dispersion y acromatismo.

267. **Propiedades físicas de la luz en el sistema de las emanaciones.**—En la hipótesis de las emanaciones, ó teoría corpuscular, una vez terminado el estudio de los fenómenos catóptricos y dióptricos de la luz y el de las leyes que rigen á la formacion de las imágenes, se pasa al estudio de las propiedades físicas de la luz, en el su-

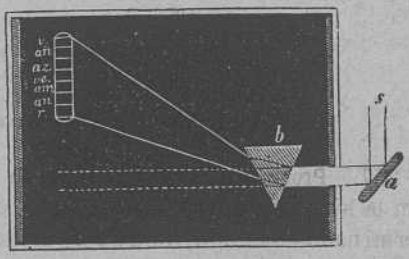
puesto fundamental de que dicho agente es una materia sutil. El número de propiedades físicas en la materia emanada de los cuerpos luminosos, es tan grande en la hipótesis ó teoría de las emanaciones, que la luz por ella se convierte en un agente muy complicado. La luz blanca del sol, en la citada hipótesis, se la supone dotada con propiedades cromáticas, caloríficas, químicas, fosforogénicas, fluorogénicas y eléctricas. Además, la materia luminosa en contacto con las diferentes sustancias ponderables de los cuerpos presenta otras propiedades, que originan la doble refraccion, las inflexiones é interferencias y la polarizacion, que son fenómenos ópticos de que muy pronto nos ocuparemos.

268. **Descomposicion de la luz.**—La luz solar ó blanca puede producir siete diferentes sensaciones en el órgano de la vista, las que se han denominado *colores*. Estos colores pueden ser originados de la luz blanca por tres medios, á saber: por refraccion, por reflexion y por destruccion del movimiento vibratorio en un número mas ó menos grande de las moléculas del éter, cuyas ondas trasmiten la causa productora de los efectos luminosos. Cuando se emplea este último procedimiento, se dice, en la hipótesis de las emanaciones de la luz, que esta ha sido descompuesta por absorcion.

Por refraccion se pueden fácilmente observar los colores valiéndose de los cuerpos diáfanos tallados en forma de prisma, que son los aparatos mas apropósito para el estudio de los colores en la luz solar. Estos han recibido el nombre de *colores prismáticos*, ó el de *espectro solar*, por la imágen aérea y coloreada del sol que resulta por la refraccion de los rayos solares al pasar por los prismas.

Si en un recinto ó cámara oscura se recibe un haz de rayos solares *s a* (*fig.* 167) reflejado en *a*, y se le hace llegar á un prisma *b*, trazando las perpendiculares en las dos incidencias del rayo, cuando pasa del aire al vidrio por un lado del prisma y cuando sale del vidrio al aire por el lado opuesto, y los ángulos de las dos refracciones, tendremos que el haz luminoso se dirige hácia el espacio *v r*, donde se dibuja la imágen del sol prolongada en el sentido de la altura del

Fig. 167.



prisma y teñida con colores conocidos generalmente bajo el nombre de *colores del iris*, que físicamente se han denominado como se lleva expuesto, colores prismáticos, colores propios de la imágen refractada del sol, espectro solar, ó colores elementales de la luz blanca.

En el experimento anterior se pueden observar los seis fenómenos siguientes:

1.° Colocando el plano donde se pinta la imágen ó espectro coloreado del sol á diferente distancia del prisma refringente, la imágen se presenta aumentada en su longitud; de donde se deduce que sus rayos son divergentes.

2.° Cuando aquel plano se halla á corta distancia del prisma, se percibe una imágen que en su centro no tiene color, ó es blanca, y en los extremos se nota, en el uno el violado y en el otro el rojo; pero conforme se aumenta progresivamente la distancia, las tintas son mas numerosas, hasta que se perciben fácilmente siete colores diferentes en este órden: *rojo*, *anaranjado*, *amarillo*, *verde*, *azul*, *añil* y *violado*. Newton fué el que añadió entre el azul claro y el violado el color intermedio denominado añil ó azul mas oscuro; y segun aquel célebre físico, la luz blanca se compone de dichos siete colores.

3.° Constantemente el color rojo recorre un camino mas próximo al vértice de los prismas, y el violado sigue una línea mas distante de aquel vértice; resultando que los colores del espectro se arreglan con el órden indicado en la *figura* 167.

4.° Si se coloca un objeto en medio de los colores del espectro, se nota que la intensidad de la luz reflejada sobre la superficie de aquel cuerpo es grande en el amarillo y se debilita hácia los extremos del espectro, lo cual se observa cuando se lee un escrito iluminado con la luz amarilla del espectro ó con cualquiera de los otros colores: en cuyo caso el referido escrito se puede leer á mayor distancia cuando la iluminacion es amarilla, disminuyéndose la distancia de las percepciones claras conforme se pasa el objeto de aquel á otro color de los del espectro.

5.° Si se hace caer el espectro solar sobre un termo-multiplicador, la intensidad del calor refractado varía en las partes diferentemente coloreadas, siendo mayor en el rojo cuando la luz es descompuesta con un prisma de crown-glas, y en el amarillo si el prisma es de agua: habiéndose observado que el máximum de calor se aleja tanto mas del amarillo hácia el rojo cuanto mas diaterma (222) es la sustancia del prisma. Así, empleando un prisma de sal gemma, que es el cuerpo mas diatermo, la mayor

intensidad del calor se halla fuera del espectro como á 1 centímetro del rojo.

6.° Colocando algunos cuerpos en el sitio donde se pinta la imágen ó espectro coloreado del sol, unos se ennegrecen, como el cloruro de plata, y otros pierden completamente su color, como sucede á algunos principios colorantes de orígen vegetal. Estos fenómenos químicos no se presentan con la misma intensidad en todos los colores del espectro, pues el rayo violado obra con mas energía sobre el cloruro de plata que los demás colores, cuya accion se extiende mas allá del espectro visible con la misma intensidad que dentro de aquel color. Sin embargo de decolorar el espectro solar las materias vegetales, la luz contribuye en primer término á la formacion de la materia verde en las plantas.

Si el haz de rayos paralelos que llegan del sol atraviesa prismas diáfanos de diferentes sustancias y cuyo ángulo refringente es el mismo en todos ellos, darán lugar á la formacion de espectros igualmente coloreados, pero de longitud diferente. Si en vez de un haz ó manojo luminoso suponemos un rayo de luz blanca partiendo de un solo punto luminoso, además de cambiar de direccion, se dispersa tambien en forma de abanico y se presentan en el espectro de un solo rayo luminoso las tintas coloreadas del espectro solar.

269. **Espectro complementario.**—Por *espectro complementario* se entiende aquel cuyas tintas coloreadas están invertidas respecto de las de otro espectro, y que superpuesto sobre el segundo da orígen á la luz blanca; y de aquí el llamar *colores complementarios* á los que reunidos forman la luz blanca.

* 270. **Rayas del espectro.**—Fraunhofer, artista de Munich, fué el primero que demostró en el espectro solar la existencia de ciertas líneas oscuras sumamente finas, paralelas á las aristas del prisma, llamadas *rayas del espectro*, cuyo número, posicion y dimensiones son invariables en las bandas coloreadas. Si se mira el espectro con una lente que aumente mucho las imágenes, se llegan á contar hasta 600 de aquellas, notándose ocho mas visibles que las otras; al conjunto de todas se ha dado el nombre de *rayas de Fraunhofer*. En el espectro solar tienen posiciones fijas estas rayas; mas en los espectros de una luz artificial, la de las estrellas ó la luz eléctrica varía el número y posicion relativa de las rayas.

Estudiando Wheatstone los diferentes espectros de la luz producida por el enrojecimiento y fundicion de algunos cuerpos, llegó á descubrir dos hechos notables para la física y química moder-

nas, y cuyo porvenir é importancia científica no es fácil calcular. El referido físico halló como resultado de sus investigaciones: 1.°, que si la luz procedia de la plata fundida, del carbon enrojecido, del platino incandescente, ó de cualquiera otro cuerpo sólido en igual estado, el espectro se presenta formando un todo contínuo y uniforme por su colorido é intensidad luminosa; y 2.°, que si el espectro procede de la luz de cuerpos gaseosos incandescentes que forman llama, se presenta coloreado y dividido por bandas y líneas oscuras fáciles de determinar.

Los anteriores hechos dieron motivo á nuevas investigaciones coronadas de los mas notables resultados. Kirchhoff, Bunsen y Crookes, segun las indicaciones que preceden, estudiaron los espectros que se pueden formar con la luz del arco luminoso eléctrico establecido entre dos polos de carbon, entre un polo de carbon y otro formado por cuerpos metálicos simples ó por aleaciones metálicas, y los espectros formados de la luz que procede de la combustion del alcohol que tenga en disolucion sales diversas. Los experimentos referentes á los espectros producidos por la luz eléctrica, han demostrado que el espectro del arco luminoso formado entre dos polos de carbon, tiene cierto número de rayas como las de Fraunhofer, pero dispuestas de modo que corresponden las rayas oscuras donde en el espectro solar se hallan las claras, y vice-versa para las claras; además, cuando préviamente se coloca un cuerpo metálico ó una aleacion en uno de los polos, los colores y sus rayas se cambian de número y lugar, correspondiendo un arreglo diferente en cada uno de los espectros conforme se varían aquellos metales, habiéndose hallado por este procedimiento un espectro especial para la plata, diverso de los que corresponden al hierro, zinc, plomo y demás metales.

Estudiando los espectros luminosos de un modo análogo, pero con la luz procedente de la llama del alcohol, que tenia disueltas varias sales, se han notado diferencias muy perceptibles en el órden de los colores y rayas de los espectros correspondientes: de cuya comparacion han resultado indicaciones suficientes para suponer que existia un nuevo metal análogo al potasio, pero que no podia considerársele idéntico, pues su espectro luminoso se presentaba caracterizado por dos rayas aisladas en la parte azul del espectro. A este nuevo metal, indicado por las observaciones ópticas en las aguas madres del agua de que se ha extraido el iodo y bromo, se le ha denominado *cesio*. Del mismo modo, los trabajos ópticos ó espectrométricos han indicado la existencia de un segundo cuerpo en otras experiencias, caracterizado por dos rayas

rojas muy brillantes, al cual se le ha dado el nombre de *rubidio*, y además otro metal nuevo denominado *talio*, caracterizado por una raya de un colorido verde muy brillante. Últimamente Reich y Reichter han descubierto un nuevo metal en las blendas de Freiberg, caracterizado por dos rayas azules, al que han dado el nombre de *indio*. La determinacion del número de las rayas de Fraunhofer en los espectros, de sus lugares, dimensiones y distancias, constituye en la actualidad la parte de la óptica denominada *espectrometría*.

271. **Inalterabilidad de los colores del espectro, y recomposicion de la luz blanca.**—Si se hacen pasar los colores prismáticos por un segundo prisma, se nota que su número no se aumenta, si bien la intensidad luminosa despues de la segunda refraccion varía en cada uno de los rayos de la luz; el mismo fenómeno se verifica cuando en vez de todo el espectro pasa por el segundo prisma uno de los rayos coloreados: en este caso tampoco se descompone el rayo luminoso en otros diferentes. Del fenómeno anteriormente enunciado se ha deducido que la luz está compuesta de los siete colores del prisma, por cuya razon se conocen tambien con el nombre de *colores elementales* ó componentes simples de la luz.

Para justificar todavía mas la denominacion de elementales que se da á los colores prismáticos, se hacen los siguientes experimentos: se toman siete espejos, sobre cada uno de los cuales se hace caer uno de los colores del espectro, dando una posicion tal á los espejos, que los siete colores del iris, al reflejarse en su superficie, se superpongan en un punto; en cuyo caso se obtiene un espacio iluminado por la luz blanca. Segundo: si se recibe el espectro solar sobre una lente convexa, la imágen de los siete colores en el foco de la lente vuelve á presentarse blanca por la refraccion en la lente, que da orígen á la superposicion de las bandas coloreadas en el foco de aquella.

* 272. **Teoría de los colores en los sistemas de las emanaciones y de las vibraciones.**—En la hipótesis de las emanaciones, la materia luminosa se compone de siete sustancias ó rayos diferentes por la sensacion que originan en el sentido de la vista. Aquellos rayos pueden estar reunidos, y entonces constituyen la luz blanca. Los colores de los cuerpos se explican diciendo que, si las superficies absorben una parte de los rayos luminosos, la diferencia que queda hasta los siete de la luz blanca constituye ó es la causa de la coloracion propia de los cuerpos: y de aquí resulta que los cuerpos blancos devuelven ó reflejan todos los rayos, los cuerpos rojos solo los rayos rojos, absorbiendo los seis colores restantes,

y los cuerpos negros los absorben todos. La dispersion de los colores de la luz blanca al través de un prisma, se explica en la misma hipótesis, suponiendo que los cuerpos trasparentes ejercen una accion refringente diversa sobre cada uno de los rayos de luz coloreada; por consecuencia, su refraccion es diferente, resultando que al salir del prisma se *dispersan* en el espacio, apartándose en bandas teñidas con las tintas que corresponden á cada uno de aquellos rayos de luz.

En la teoría de las vibraciones y ondulaciones del éter, la coloracion de la luz depende de las velocidades diferentes que poseen las moléculas del éter; así, en esta teoría, se supone que los rayos rojos se originan por la mitad en número de las vibraciones necesarias para producir el color azul; pero como el espacio que tienen que recorrer las ondas sea igual, tendremos que la amplitud de las ondas en el color rojo ocupa casi doble espacio que las de color azul. Fresnel ha hallado que la longitud de las ondas en los colores prismáticos, tomando por unidad el milímetro, es la siguiente:

Rojo.....	0mm,000620	Azul.....	0mm,000475
Anaranjado...	0 ,000583	Añil.....	0 ,000449
Amarillo.....	0 ,000551	Violado.....	0 ,000423
Verde.....	0 ,000521		

* 273. **Diferente refrangibilidad de los colores del espectro.** La diferente velocidad que poseen las moléculas del éter, da lugar á que las moléculas etéreas que vibran con mas rapidez, sufran en los cuerpos trasparentes una refraccion mayor que aquellas otras moléculas que vibran con mas lentitud, siendo esta la causa de la dispersion ó separacion de los rayos que se llamaron de materia esencialmente diferente de la luz blanca ó compuesta, en la hipótesis de las emanaciones.

Newton supuso que los cuerpos poseian una facultad dispersiva para los rayos luminosos, proporcional á su fuerza refringente; sin embargo, esta suposicion se ha demostrado con posterioridad que no es exacta, midiendo la longitud de los espectros solares formados por un prisma lleno de agua y por otro de flint-glas. En este caso se hallan las relaciones de la amplitud de los espectros por el procedimiento siguiente: Los índices de refraccion son en el rayo rojo de 1,330, y de 1,344 en el rayo violado al atravesar el prisma de agua. Tomando la diferencia de aquellos números como la verdadera expresion de la dispersion de la luz y causa de la longitud del espectro, estaria representado este

por 1,344—1,330=0,014. En el prisma de flint-glas, los índices de los colores rojo y violado son 1,628 y 1,671; su diferencia de 0,043 nos da á conocer que la facultad dispersiva del flint-glas es tres veces mayor que la del agua, y que el espectro solar será tambien tres veces mayor que el producido por este último líquido. Pero comparado el valor 0,043 de la facultad dispersiva del flint-glas con el correspondiente á la del crown-glas, se ha hallado que el de esta última sustancia es la mitad que el de aquella, y sin embargo, los dos medios poseen próximamente el mismo índice de refraccion.

Acromatismo.

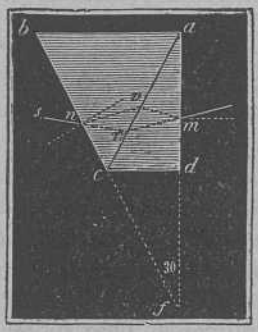
274. **Luz acromatizada.**—Dispersándose la luz siempre que se refracta, se creyó imposible por mucho tiempo el que pudiera pasar por los prismas ó por las lentes sin presentarse los fenómenos de los colores visibles del espectro, que, como llevamos indicado, son un efecto de la dispersion ó divergencia en la direccion de los rayos. Aquella imposibilidad fué disputada por algunos de los hombres mas célebres en las ciencias, hasta que Dollon, á mediados del siglo pasado, dió á conocer la construccion de los prismas y lentes, que, por refractar la luz sin la coloracion de las imágenes, se llamaron *acromáticos*, y á los rayos refractados de la luz blanca sin dar orígen á las sensaciones de los colores del iris, *rayos de luz acromatizados*, cuyo nombre se deriva de *cromos*, color, y *a*, partícula privativa.

275. **Aberracion cromática.**—Para comprender los principios fundamentales de la construccion de las lentes acromáticas, conviene tener conocimiento exacto del defecto que se quiere evitar, el cual en las lentes se conoce bajo la denominacion de *aberracion cromática*. La aberracion cromática de las lentes consiste en los anillos ó bandas coloreadas que rodean las imágenes de los cuerpos cuando se las mira al través de aquellos aparatos, cuyos bordes y perfiles se oscurecen tanto mas cuanto mayor es la curvatura ó el aumento que producen las lentes, y cuanto mayor es la distancia entre estas y los objetos cuyas imágenes aéreas se observan por refraccion.

276. **Prismas acromáticos.**—Conocida la aberracion cromática en los prismas y en las lentes, se puede disminuir aquella aberracion ó hacerla desaparecer, en el supuesto de tener dos prismas (*fig.* 168) *b c a* y *a c d*, superpuestos é invertidos sus ángulos de refraccion. Los dos prismas reunidos, si se prolongan sus lados *b*

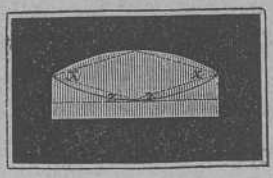
c y a d, producirán los mismos efectos de refraccion que el prisma a f b, cuyo ángulo de refraccion f es igual á la diferencia de los ángulos de refraccion de los dos prismas reunidos, porque b c a es ángulo externo del triángulo a c f, y de consiguiente, igual á la suma de los ángulos f y a; luego tendremos el ángulo b f a=b c a—c a d. El rayo s n será refractado en el primer prisma en la direccion n v, y además sus colores se dispersan; el violado v separándose del vértice del prisma, y el rojo r, por apartarse menos. Pero la facultad dispersiva del flint-glas es doble que la del crown-glas, y por consecuencia tendremos que, si los prismas de la figura fuesen de aquellas sustancias, continuándose el movimiento del rayo s n despues de la primera refraccion por el segundo prisma invertido del aparato, cuyo ángulo refringente a es la mitad que c, el rayo rojo r y el violado v se reunen en el punto m de emergencia, donde pasa la segunda refraccion conforme á las leyes ordinarias, pero sin la descomposicion ó coloracion de la luz. El rayo habrá cambiado, sin embargo, de direccion al través de los prismas, presentándose además acromatizado en su emergencia. Este aparato, compuesto de dos prismas, el uno de flint-glas y el otro de crown-glas, se denomina *prisma acromático*.

Fig. 168.



277. **Lentes acromáticas.**—Las lentes acromáticas están construidas fundándose en los principios anteriores; y por la simple inspeccion de la *figura* 169, se notará que, considerando las lentes formadas por la reunion de dos prismas, en aquellas se cuentan los prismas invertidos x x, z z, de los cuales x x son de flint-glas y z z de crown-glas. Con dos prismas á dos lentes no se compensan exactamente mas que dos colores, y por la naturaleza de aquellos dos vidrios se acromatizan generalmente en las imágenes el rojo y el violado. La agregacion de un nuevo prisma de flint-glas al sistema anterior acromatizaria y haria desaparecer otros dos colores, tales como el anaranjado y el azul; pero como el espectro coloreado presenta una série continuada de tintas, se comprende la casi imposibilidad de acro-

Fig. 169.



matizar completamente todas aquellas; y si suponemos que se consiguiese, el rayo luminoso perderia tanta intensidad, que seria inútil ó muy débil para el estudio de las imágenes percibidas por refraccion.

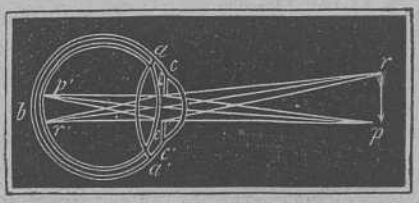
CAPÍTULO V.

De la vision.

278. **Descripcion del ojo humano.**—Entre los sentidos que posee el hombre, se cuenta el de la vista, cuyo estudio físico en todas sus partes aparece lleno de interés. En aquel aparato, creado para ser, en medio de su pequeñez material, un inmenso espejo donde llegan ó pueden llegar las imágenes del universo, bien merece que fijemos detenidamente nuestra atencion, pues al hacerlo así se halla uno en el límite donde concluye el mundo exterior y físico, desde donde, si fuera posible dar un paso mas, nos hallaríamos en medio de esa inmensa oscuridad que por todos los puntos de acceso presenta para las ciencias físicas el mundo espiritual.

El aparato óptico de la vista humana es próximamente esférico, por cuya causa se llama *globo del ojo* (*fig.* 170). Se halla situado en una cavidad huesosa llamada *órbita*, y en él se distinguen: primero, una membrana fibrosa *a b a'*, blanca, que se llama *esclerótica* ó *córnea opaca* en la parte posterior, y *córnea trasparente* en la anterior; debajo de la córnea, y como si la tapizase, se halla otra membrana, conocida con el nombre de *coróidea*; sobre este tapiz negro se extiende en el interior del globo del ojo una red de nervios, denominada *retina*; debajo de la parte anterior de la córnea existe un tabique *c c'*, que recibe el nombre de *iris*, el cual está taladrado en su centro por un agujero llamado *pupila*; este tabique divide al globo del ojo en dos cámaras ó capacidades: una anterior, dentro de la cual se halla un líquido parecido al agua, al que se ha dado el nombre de *humor acuoso*; otra posterior, que contiene una sustancia sólida de forma lenticular, trasparente y parecida al cristal, que lleva el nombre de *cristalino*; y otro líquido, denominado *humor vítreo*. Además es esencial al globo del ojo el *nervio óptico*, y

Fig. 170.



muy conveniente un sistema de músculos que le hacen girar en su órbita, y dos tabiques membranosos, llamados *párpados*, que guarnecidos de las *pestañas* impiden la entrada de cuerpos extraños que pudieran serle ofensivos.

En la hipótesis de las emanaciones, las imágenes y sus colores los produce la luz en la retina de un modo cuya esencia es desconocida. En la hipótesis de las vibraciones, la perfecta quietud en el éter de la retina, origina la impresion de la oscuridad; el movimiento vibratorio de las moléculas de luz trasmitido á los nervios, y la excitacion vital que este movimiento debe producir en aquellos órganos, es la causa de las percepciones de las imágenes y de los colores. Pero siendo necesario que la luz llegue á la retina para percibir las sensaciones aisladas de la que cruza los espacios en todas direcciones procedente de diferentes orígenes, era indispensable que la retina tuviese un aparato aislador ó cámara oscura como la descrita en el párrafo 286.

279. **Formacion de las imágenes en el ojo.**—La formacion aislada de las imágenes en la retina, se comprende fácilmente por medio de la *figura* 170, que representa una seccion dada en el ojo humano de delante á atrás. Los dos haces cónicos de luz de los extremos r p de un objeto, serán refractados hácia la pupila por el humor acuoso, cuya superficie anterior es convexa. En la lente cristalina, cuya forma es biconvexa, aunque irregular, los conos luminosos que se han cruzado en la pupila sufrirán una refraccion, en virtud de la cual los rayos tienden á reunirse en un foco, continuando su movimiento á través del humor vítreo, que llena lo restante de toda la capacidad del globo del ojo. Al humor vítreo y á la lente cristalina llega la luz aislada del exterior; pero por presentar el primero una superficie de emergencia cóncava y con diferente índice de refraccion, se modifica convenientemente la distancia focal del cristalino, dando lugar para que los focos r r' incidan exactamente en la retina. Esta concentracion en la retina de los conos de luz que llegan de los extremos r p de un objeto, cuando la distancia no pasa de ciertos límites, da orígen á las sensaciones por las cuales se reconocen los lugares de los puntos r p, resultando la claridad de las imágenes y de las percepciones.

280. **Propiedades del órgano de la vision para acomodarse á las distancias.**—Cuando la distancia del objeto se aumenta, los conos de luz que proceden de los extremos y bordes de los cuerpos se mezclan con los conos de luz originados en los puntos intermedios r á p (*fig.* 170), y su resultado será reunirse en los focos origina-

dos por el cristalino en el interior del globo del ojo, rayos que proceden de diferente orígen, y de aquí la percepcion confusa de los objetos distantes.

Además, segun los principios de la refraccion en las lentes convexas, la distancia de los focos es diferente conforme se aumenta ó se disminuye la del punto luminoso á la lente: de consiguiente, el cristalino presenta, cuando recibe rayos luminosos que proceden de largas distancias ó de objetos pequeños á cortas distancias, una variacion focal. Para evitar sus efectos, segun algunos fisiólogos, el globo del ojo humano cuenta con medios en virtud de los cuales se acorta y alarga el diámetro antero-posterior del ojo, con el objeto de que se aumente la distancia que media entre el cristalino y la retina cuando el foco de los rayos pasa detrás de esta, y para que se disminuya aquel espacio cuando los objetos están muy distantes y el foco se forma antes de la retina. Otros fisiólogos sostienen la opinion de que el globo del ojo conserva constantes sus dimensiones, explicando la propiedad que aquel sentido tiene para acomodarse á las distancias, por la compresion ó por el cambio de posicion del cristalino.

281. **Defectos del órgano de la vision.**—Las distancias y los diámetros muy pequeños de los cuerpos originan impresiones confusas; pero este defecto podria ser permanente en el aparato óptico del ojo, con la sola condicion de cambiar la curvatura ó la facultad refringente de los humores de aquel aparato, constituyéndose los órganos de vista corta ó *miope*, y el de vista larga, cansada ó *présbita*. Una persona tiene buena ó regular vista cuando distingue con claridad y sin trabajo los caractéres regulares de imprenta á la distancia de 25 á 30 centímetros; pero si para leer aquellos se tiene necesidad de disminuir la distancia, la vista se dice corta; por el contrario, cuando es necesario aumentar dicha distancia para distinguir los objetos, la vista se llama cansada ó présbita.

282. **Medios de remediar los defectos de la vision.**—Consistiendo, físicamente consideradas, la miopía y la presbicia en la falta de facultad del aparato de la vision para acomodarse á las distancias, se conocen dos medios diferentes de evitar aquellos defectos de la vista. Cuando la miopía es consecuencia de la lectura ó escritura muy continuadas, del trabajo de los grabadores, ó de cualquier otro hábito de ver objetos muy pequeños á cortas distancias, ese defecto se puede remediar acostumbrándose en las grandes llanuras, ó desde las orillas del mar, á distinguir los objetos distantes. El hábito en este caso, aumentando la energía del globo

del ojo para acomodarse á las distancias, hace desaparecer despues de algun tiempo la miopía observada.

El segundo medio para evitar la miopía y la presbicia, consiste en el uso de las lentes cóncavas para la primera, y convexas ó de aumento para la segunda. En la miopía, ó en el defecto de la vista corta, las imágenes se forman antes de la retina, y el ojo no cuenta con fuerza suficiente para adelantar aquellas hasta encontrar la imágen; en cuyo caso, una lente cóncava, retirando el foco de los rayos luminosos, hace que las imágenes caigan en la misma retina. En la presbicia, por el contrario, las imágenes de los objetos próximos caen detrás de la retina, y de aquí el uso de las lentes convexas, que acortan la distancia focal del aparato óptico de la vision, hasta conseguir la coincidencia de las imágenes con la red nerviosa que sirve para las percepciones claras y distintas. La vista corta es un defecto frecuente en la edad media de los hombres. La vista cansada es mas general en la ancianidad.

Otros defectos y no pocas ilusiones puede presentar la vista humana, pero en su mayor parte dependen del estado especial del nervio óptico. Algunas personas ven mejor con la luz escasa del crepúsculo, y aun de noche, que durante el dia: este defecto se conoce con el nombre de *nictalopía*. Otras no distinguen todos los colores del iris, lo cual se ha denominado *daltonismo*. Algunas ven los objetos pequeños duplicados, *diplopía*, pudiéndose citar otros muchos defectos de la vista, permanentes ó accidentales, pero cuyo estudio no corresponde á la física. Sobre la percepcion clara y distinta de las imágenes, además de los defectos que puede presentar el órgano de la vision, influye tambien el acromatismo, que no es perfecto en este órgano, la intensidad de la luz que ilumina los objetos, la magnitud de las imágenes y el tiempo que permanecen estas últimas en la retina.

Para demostrar que el globo del ojo no es perfectamente acromático, basta tomar una lámina con una abertura de una línea de diámetro en su centro, y colocándola á 10 ó 12 centímetros del globo del ojo, se mira á un objeto distante, y se verán anillos coloreados, los cuales indican que, aun cuando el aparato óptico de la vision es muy acromático, no lo es perfectamente. Mirando de pronto caractéres impresos muy pequeños, tambien se nota que, cuando el globo del ojo no tiene tiempo para acomodarse á la distancia focal, aquellos caractéres aparecen con anillos coloreados.

Las imágenes no se perciben distintamente por la retina cuando los objetos son muy pequeños. El límite de amplitud de un ob-

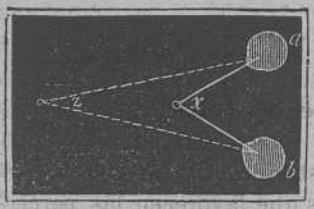
jeto para que forme una imágen distinta, no puede ser menos de 0,001 de pulgada, formando los rayos extremos un ángulo de medio minuto; de donde se deduce que la distancia á que podria colocarse un objeto para que todavía se origine en la retina una imágen distinta, no puede pasar de 68 á 69,000 veces mayor que el diámetro ó amplitud del objeto; por esta razon las estrellas, cuya distancia es mucho mayor, producen una sensacion de luz, pero no una impresion de su imágen ó de su magnitud aparente. La imágen de un objeto es necesario que produzca una impresion durable, si la percepcion ha de ser clara y distinta: el tiempo de esta duracion para la luz blanca es un décimo de segundo; á la luz blanca sigue la amarilla; despues la de color rojo, y por último la azul, cuya luz es la que necesita menos tiempo para producir en la retina una impresion distinta, suponiendo iguales las demás circunstancias. De aquí resulta, físicamente consideradas, las ilusiones mas ó menos agradables que se producen por el movimiento rápido de los cuerpos inflamados, los cuales originan en el espacio la impresion de una línea continuada de luz; los fuegos artificiales y las ilusiones ópticas originadas por el *taumátropo*, por las láminas *stereoscópicas* de Stampfer, por el *fenakistícopo*, y otros muchos aparatos y planchas que se explican fundándose en los principios anteriores.

283. **Vision simple.**—El aparato óptico del órgano de la vision, además de aislar la luz que ha de producir las imágenes en la retina, influyen en él varios hechos para la determinacion exacta de la magnitud, posicion, movimiento y distancia de los objetos cuyas imágenes se perciben. Estas relaciones entre el ojo humano considerado como aparato óptico y el mundo exterior, se pueden estudiar: 1.°, cuando la vision se verifica con un solo ojo; y 2.°, cuando se verifica con los dos. El fenómeno que se presenta á nuestra consideracion en el primer caso, es el de que, conforme á los principios de la óptica, las imágenes de los objetos se pintan invertidas en la retina, y sin embargo, aquellas se ven directas. Segun algunos, el percibir los objetos directos cuando la inversion de las imágenes en la retina es real, depende de las percepciones por los otros sentidos, que rectifican en un principio las originadas por el órgano de la vision, adquiriendo el alma el hábito de referir arriba lo que en la retina se pinta debajo, y vice-versa.

284. **Vision doble.**—Siendo doble el órgano de la vision, se podria preguntar: ¿por qué causa física no se percibe mas que una imágen del objeto que se mira? Los fisiólogos han dado diferen-

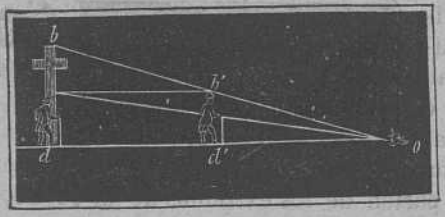
tes explicaciones de la formacion de las imágenes. Muller explica este fenómeno comparando los dos órganos de la vision á dos ramas vegetales que tuviesen una sola raíz, y de consiguiente llevarian al alma una sola percepcion; otros la explican con probabilidad por la circunstancia de que la imágen del objeto no la refiere el alma al lugar donde se halla, sino el punto *z* (*fig.* 171) de insercion de los dos ejes ópticos que forman el ángulo llamado de *paralaje*, y por consecuencia, la percepcion es única. No faltan algunos que explican la sensacion única de las dos imágenes por el hecho de pintarse aquellas sobre puntos semejantes en las dos retinas.

Fig. 171.



* 285. **Determinacion de la distancia por el órgano de la vision.**—La distancia de los objetos fácilmente se puede determinar por medio del *ángulo óptico*, que es el formado por los rayos extremos de un objeto cuyo vértice se halla en el centro de la pupila. Si se observa un objeto tal como *b d* (*fig.* 172) desde un punto *o*, tendremos que el ángulo óptico será *b o d*; y suponiendo á este conocido, se podria hallar por la siguiente ecuacion la altura del objeto, cuando préviamente estuviera determinada la distancia; pues teniendo $\frac{b\,d}{D} = \text{tang. } b\,o\,d$, con facilidad se trasforma en $b\,d = \text{tang. } b\,o\,d \times D$, en cuya ecuacion D es la distancia.

Fig. 172.



Tambien se podria calcular la distancia de los objetos por el valor del ángulo de paralaje, el cual se aumenta conforme aquella distancia se disminuye. Pero con mas frecuencia la distancia de un objeto conocido se determina por la intensidad de la luz de su imágen en la retina, fundándose en que la intensidad luminosa se disminuye conforme la distancia se aumenta. Como los procedimientos de medir con la vista se reducen á comparar entre sí dos ó mas espacios, se comprenderá que, siendo estos cortos, los errores que comete el órgano de la vista en sus apreciaciones son menores. Las apreciaciones de las distancias serán tanto mas exactas cuanto mayor sea la suma de percepciones relativas al

ángulo óptico, al de paralaje, ó á la intensidad de la luz que forman las imágenes, y al número de objetos conocidos con los cuales se puede comparar aquel cuya distancia se desea conocer.

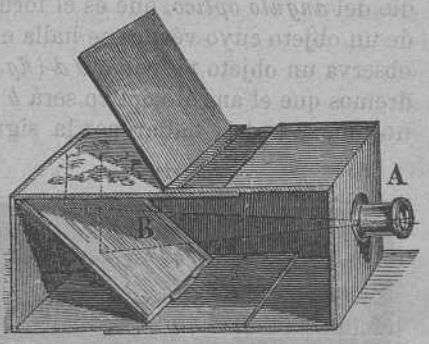
CAPÍTULO VI.

Instrumentos de óptica.

286. **Cámara oscura.**—Se han construido, fundándose en los principios anteriores, aparatos ópticos que favorecen las percepciones de la vista humana: unos aislando la luz antes de llegar al órgano de la vision, otros amplificando las imágenes de la retina, y no pocos dando orígen á las ilusiones ópticas con las cuales las percepciones se refieren á objetos muy diferentes.

El instrumento óptico mas sencillo entre los construidos, y cuyo objeto es aislar la luz y las imágenes en su interior, es la *cámara oscura* (*fig.* 173): consiste en un espacio rectangular ó cámara cerrada, que tiene en uno de sus costados una abertura *A*. En el fondo de este aparato se fija un vidrio esmerilado y semidiáfano, donde se dibujan invertidas las imágenes, ó un espejo con la inclinacion de 45° á la direccion de los haces de luz que parten de los extremos de un objeto, el cual, si está vertical, aparecerá su imágen en el espejo *D* en posicion horizontal.

Fig. 173.



En ocasiones, en la cámara oscura el espejo inclinado se reemplaza con un prisma de ángulo recto y lados iguales, cuya hipotenusa, ennegrecida ó sostenida por un plano oscuro, hace las veces de un verdadero espejo, que cambia las posiciones de las imágenes como en el segundo caso anteriormente enunciado de la cámara oscura. Para concentrar la luz y aclarar mas las imágenes dibujadas en la cámara oscura, se coloca en *A* una lente convexa, ó un sistema de dos lentes, cuyo foco se hace coincidir sobre el plano que directamente recibe las imágenes, ó

sobre aquellos que las reflejan. La cámara oscura sirve para delinear y dibujar la vista de un edificio ó campo.

287. **Daguerreotipo.**—Desde el descubrimiento de la cámara oscura, muchos físicos trataron de ver cómo se podian fijar invariablemente sobre un plano las imágenes que se forman en el fondo de aquel instrumento; pero estaba reservada esta gloria á Daguerre. Este físico, fundándose en las acciones químicas que la luz ejerce sobre ciertas sustancias, y principalmente sobre el cloruro y el ioduro de plata (268, 6.°), consiguió en 1839 fijar las *imágenes fotográficas*, denominándose el aparato de que se valió para ello *daguerreotipo*, el cual no es mas que una cámara oscura, en cuyo fondo, y para recibir las imágenes, se colocan hojas delgadas de cobre plaqueadas con plata, preparadas para recibir la impresion de la luz. Suponiendo perfectamente limpia la superficie de la plata, se la expone primero á los vapores del iodo, los cuales obran químicamente sobre la plata y constituyen una cubierta sensible para la luz de los rayos solares; pero con frecuencia, además del iodo, se hace uso de otras sustancias denominadas aceleratrices, porque aumentan la sensibilidad química del ioduro de plata formado; entre estas últimas se cuenta el bromo. Preparada la placa daguerriana, se coloca en el foco de la cámara oscura, ó sea donde se dibuja la imágen, con la mayor correccion posible, sobre el plano trasluciente de vidrio, y á los pocos segundos habrá recibido la imágen, la cual no se distingue en un principio, pero aparece muy pronto exponiendo la placa en la oscuridad á los vapores del mercurio. Cuando la imágen se ha manifestado, se lava la placa con una disolucion hirviendo de sal comun, con lo cual la porcion de ioduro de plata que pudiera quedar sobre la placa desaparece, evitándose de este modo la accion ulterior de la luz, que alteraria la correccion de la imágen.

Talbot ha empleado un procedimiento diferente para producir y fijar las imágenes químicas originadas por la accion de la luz sobre los mismos compuestos de plata, extendidos sobre papel cuyo nombre es el de *talbotipo* ó *calotipo*. El procedimiento de Talbot consiste: 1.° En preparar y hacer impermeable la superficie del papel comun, extendiendo un cuerpo gelatinoso disuelto, tal como la cola de pescado ó la goma disuelta en el agua. 2.° Se extiende sobre la superficie del papel preparado con la cola de pescado, una disolucion de bromuro y de ioduro de potasio, que se secará al fuego con prontitud; despues se extiende en la oscuridad sobre el papel una capa uniforme de nitrato de plata disuelto en agua, en cuyo caso el papel es sensible y se halla apropósito

para recibir las imágenes recogidas en la cámara oscura. 3.º Cuando el papel de Talbot se saca de la cámara oscura, no presenta señales de las imágenes; pero si se le sumerge en un baño formado con una disolucion de ácido pirogállico que contenga unas gotas de ácido acético cristalizable, despues de algunos minutos principia á presentarse una imágen negra, cuya intensidad se aumenta gradualmente, la cual es debida al galato de plata que se forma en todos los puntos donde el ioduro y bromuro de plata principiaron á descomponerse por la accion de la luz. Las partes del papel sobre las cuales no ha actuado la luz, quedan blancas, y para que la accion de la luz sobre estas no haga desaparecer la imágen, ennegreciendo el ioduro y bromuro que en ellas existe, se lava el papel en una disolucion de hiposulfito de sosa, que disuelve el ioduro y bromuro de plata, dejando inalterable la imágen. La imágen así obtenida recibe el nombre de *imágen negativa*, por presentarse las tintas invertidas; es decir, que las partes mas claras aparecen oscuras, y vice-versa las oscuras. Esta imágen negativa sirve para producir cuantas se deseen positivas, ó cuyas tintas estén nuevamente invertidas, hallándose por consiguiente en su órden natural.

Las imágenes negativas pueden obtenerse sobre vidrio, prefiriéndose este para los retratos y el papel para los paisajes. En el primer caso se emplea el colodion sobre el vidrio, en vez de la cola de pescado, que se usa para fijar el ioduro y bromuro de potasio sobre el papel.

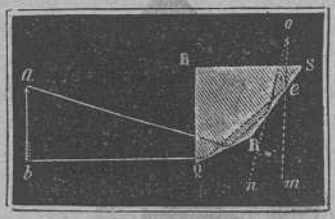
Para obtener una *imágen positiva*, se cubre la imágen negativa con una hoja de papel preparado y sensible, como el que se empleó para obtener la imágen negativa; se comprimen despues estas hojas entre dos láminas de vidrio, y se exponen á la accion de la luz, de tal modo, que las partes oscuras de la imágen negativa produzcan sombra sobre el papel preparado, obteniéndose á poco tiempo la imágen positiva, fijándola despues segun se ha dicho, lavándola en una disolucion de hiposulfito de sosa.

Sobre el vidrio se obtienen pruebas positivas, introduciendo la lámina de vidrio en cuanto se saca de la cámara oscura, en una disolucion saturada de protosulfato de hierro, apareciendo en el acto de la inmersion una imágen negativa, la cual se hace positiva introduciendo nuevamente la lámina en un baño de agua destilada, para hacer que desaparezca el exceso de protosulfato de hierro; y vertiendo sobre ella al sacarla del baño una disolucion de cianuro de potasio, se ve en la cara opuesta dicha imágen.

Se lava despues, y se cubre con una capa de betun de Judea, para evitar todo roce que la pueda alterar.

288. **Cámara lúcida.**—Wollaston construyó un aparato óptico para dibujar las imágenes, que por su aplicacion, semejante á la de la cámara oscura, denominó cámara, pero no hallándose aisladas en la oscuridad las imágenes como en aquella, se le distingue con el nombre de *cámara lúcida*. Esta consiste (*fig.* 174) en un prisma cuadrangular *S R Q B*, en el cual el ángulo *B* es recto, el *R* es de 135°, y los *Q* y *S* de 67°,5. Si un rayo luminoso *b Q* incide perpendicularmente sobre el lado *B Q*, penetrará sin refraccion sensible, para ser completamente reflejado en la cara *Q R* del prisma, con lo cual el rayo de luz *b* sigue la direccion *Q e*, pero en el punto *e* vuelve á ser reflejado completamente, saliendo del prisma en la direccion de *e o*. Tambien los rayos que llegan del punto *a b* sufren dos reflexiones análogas en las caras *Q R* y *S R* del prisma, resultando que dichos puntos *a b*, vistos desde *o*, se refieren á los puntos *m* y *n*.

Fig. 174.



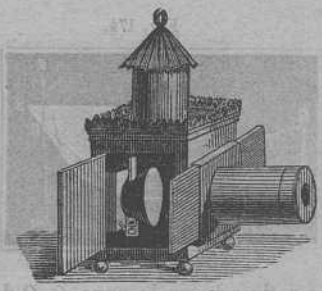
La cámara clara, como se dijo de la oscura, se ha modificado convenientemente para conseguir los resultados de su aplicacion con mas facilidad. Alguna de las modificaciones consiste en interponer lentes entre el punto por donde los rayos salen del prisma despues de sus dos reflexiones y el punto *o*; Chevalier añadió algunos vidrios coloreados que favorecen la percepcion simultánea de los contornos y del lapicero que ha de trazarlos; y por último, Amici sustituyó con un prisma rectangular el cuadrangular de la cámara de Wollaston, añadiendo Powel y Lealand al citado prisma un espejo de acero bruñido y circular, cuyo diámetro es próximamente de una línea; en este caso los rayos luminosos de los objetos sufren en el prisma una sola refraccion, para ser despues de su emergencia nuevamente reflejados sobre el espejo metálico: la imágen en este es limpia, el delineante puede colocarse á mayor distancia que con el prisma de Wollaston, y con mucha mas facilidad se perciben el lapicero que ha de trazar y la imágen que ha de ser trazada. Esta es la cámara que generalmente acompaña á los microscopios.

La cámara oscura se halla unida á otros aparatos ópticos, y en este caso los aparatos reciben el nombre de *linterna mágica*, *fantasmagoría*, *microscopio solar*, *microscopio de gas*, *aparato foto-*

génico de Dubosq, y otros diferentes, para los cuales la cámara oscura es mas ó menos esencial.

289. **Linterna mágica.**—La *linterna mágica* es un aparato que sirve para obtener sobre un plano blanco, en una habitacion oscura, imágenes amplificadas de objetos pequeños. Consiste en una caja (*fig.* 175) de madera ó de metal, en cuyo interior hay un reflector cóncavo y una luz: una de las paredes de esta caja tiene un orificio á la misma altura del reflector, en el cual se halla colocada una lente convergente, y un tubo en cuya extremidad hay otra lente convergente. Los objetos se colocan invertidos delante del orificio, los cuales son iluminados por los rayos que del espejo reflector recoge la primera lente, y por medio de la segunda lente se dibujan, notablemente amplificados y derechos, sobre un plano blanco colocado en un recinto oscuro.

Fig. 175.



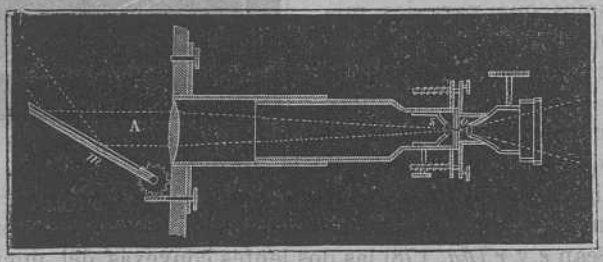
290. **Fantasmagoría.**—En el supuesto de verse las imágenes al través de planos trasparentes, la cámara oscura recibe el nombre de *fantasmagoría*, que no es mas que una linterna mágica de grandes dimensiones, con la cual se perciben los objetos con las ilusiones ópticas de creer que aquellos cambian de lugar, de magnitud y de formas. Lo primero en las cámaras fantasmagóricas se consigue por el movimiento de todo el aparato; lo segundo por el mismo movimiento y con el uso de lentes, y lo tercero con lentes de figura irregular.

291. **Microscopio solar.**—El *microscopio solar* es una linterna mágica en la cual la luz de la lámpara de esta última se reemplaza con la luz directa del sol. Este aparato consiste en un espejo *m* (*fig.* 176) que refleja la luz del sol sobre una lente biconvexa *A*, que se halla colocada en el hueco de una ventana. En el foco de esta lente, y donde el cono de la luz solar es mas vivo, se coloca un objeto cuyos bordes, fuertemente iluminados, dan orígen á un segundo cono de luz divergente; si en la direccion de este cono de luz se coloca un plano blanco dentro de la cámara oscura, se verá una imágen notablemente amplificada. La intensidad de la iluminacion de las imágenes en el microscopio solar se aumenta por medio de dos lentes *s o*. En el microscopio solar de gas se reemplaza la luz del sol con la de Drumont, que es la

que resulta del enrojecimiento de un trozo de cal viva por un dardo de gas hidrógeno que se quema en medio de gas oxígeno.

* El *aparato fotogénico* de Dubosq consiste en una linterna mágica con una lente concentradora de la intensidad de luces artificialmente sostenidas, como las de las lámparas de Drumont y

Fig. 176.



la eléctrica, con el objeto de estudiar experimentalmente las leyes ópticas de los rayos luminosos refractados y dispersados; pero el uso de este aparato se comprende, mejor que por su descripcion detallada, con él á la vista, y desde el momento en que con dicho aparato se desea seguir un curso óptico y experimental; por esta razon no es necesaria una explicacion minuciosa de las diferentes partes de que está compuesto.

292. **Microscopio simple.**—Como la amplitud de las imágenes depende del ángulo óptico, resulta que el microscopio mas sencillo consiste en una lámina delgada de metal, carton, ó una tarjeta con una abertura como la que se presenta cuando se taladra con una aguja gruesa, al través de la cual la imágen de la cabeza de un alfiler aparece notablemente amplificada si se la mira al través de la abertura circular de la lámina, y en tanto mayor grado cuanto mas próximo de la lámina se coloca el objeto sobre el cual se fija la vista. La razon física de verse esta imágen amplificada, se comprende recordando las relaciones que existen entre el ángulo de vision, el óptico y la magnitud, que crece conforme se aumenta el valor angular de aquel.

El microscopio simple se compone de una lente convexa (*fig.* 177). Si colocándose en *o* se mira el punto *c*, extremo de un objeto *b c*, este se referirá á la posicion que realmente ocupa; pero los rayos paralelos al eje de la lente, despues de su refraccion, cortarán al eje en el foco *a*, en cuyo supuesto el punto *b* se percibirá en la direccion *a b'* y en el punto *b'* que se halla determinado por la interseccion de las dos líneas *b b'* y *a b'*, con lo

cual el ángulo visual *b a c* se aumenta, convirtiéndose en *b' a c'*, resultando de aquí una imágen virtual amplificada.

293. **Microscopio compuesto.**—Los microscopios compuestos están formados de la reunion de dos ó mas lentes convexas. Los principios físicos de la construccion de estos aparatos son los mismos que para los microscopios simples; pero en el microscopio compuesto se añade una caja cilíndrica ó tubo, cuyo interior está pintado de negro, que sirve de aislador de la luz exterior, por cuyo medio se consigue que la imágen virtual amplificada que ha de dibujarse en la retina, produzca la impresion con la mayor claridad. Sean *e* y *r* (*fig.* 178) las dos lentes convexas del microscopio; la lente *r* se llama *ocular*, y la opuesta *e*, que se halla en presencia y mas próxima al objeto, *objetiva*. Si desde el punto *o* se mira el objeto colocado en *s s*, tendremos que los dos rayos extremos de *s s* se reunirán en el foco de la lente *e*, para constituir despues, y divergentes en *s' s'*, una imágen real y amplificada; pero cayendo este sobre la segunda lente *r*, serán de nuevo sus rayos extremos refractados para reunirse en el foco *o*, desde donde se percibirá una imágen virtual *s'' s''*, mucho mas amplificada en proporcion del ángulo visual *s'' o s''*. Si se supone que la facultad amplificadora del objetivo es 20, la imágen real *s' s'* será 20 veces mayor; y si el ocular amplifica 5 veces, el aumento de las imágenes en el microscopio compuesto será $20 \times 5 = 100$.

Fig. 177.

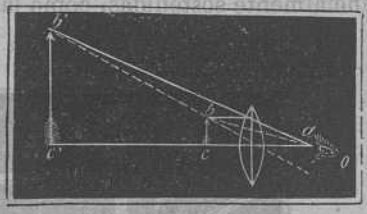
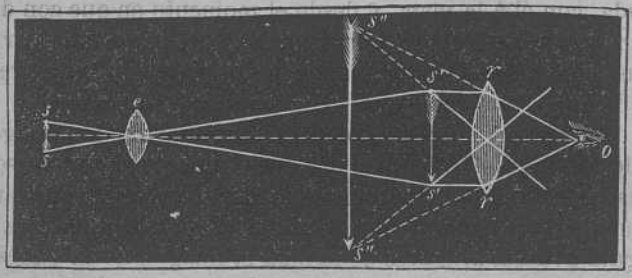


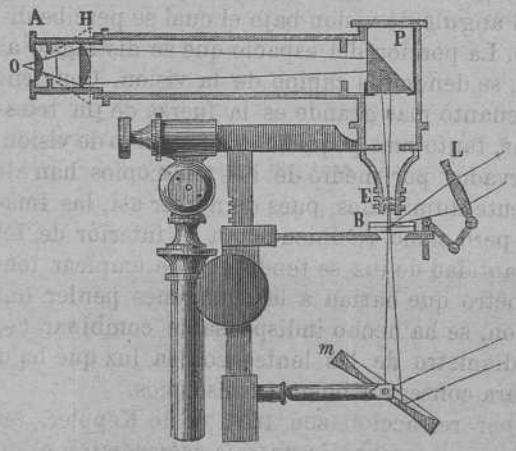
Fig. 178.



294. **Microscopio de Amici.**—El microscopio de Amici (*fig.* 179), está dispuesto para percibir las imágenes dirigiendo la vista ho-

rizontalmente. Este aparato se compone de un espejo cóncavo m, indicado por Newton, cuyo destino es el de iluminar fuertemente los objetos que han de estudiarse, y una lente convergente L, que en algunos microscopios se reemplaza con un prisma de lados curvos, para iluminar los cuerpos opacos; de una lámina metálica B, que se denomina *porta-objetos*, y es donde, colocados estos, se iluminan por uno de los medios indicados anteriormente. En el caso de emplear el espejo m, la luz que se refleja en él se hace pasar por un diafragma que sirve para eliminar una parte de los rayos luminosos, proporcionándose la iluminacion mas conveniente. Todas estas piezas se llaman accesorias del microscopio. En la extremidad E del tubo se fijan los objetivos, que por primera vez se construyeron acromáticos en 1824, por Fulley en Lóndres, y por Chevalier en Paris. El prisma P que usó Amici, cambia la direccion vertical de los rayos luminosos en horizontal. La lente ocular A podria ser una sola; pero como los objetivos presentan la aberracion cromática, se emplean generalmente para disminuir aquel defecto, dos lentes oculares plano-convexas, semejantes á las que Huyghens inventó con el objeto de disminuir los efectos de la aberracion de esferidad en los telescopios, y que Boscowich halló de aplicacion interesante para los microscopios, por disminuirse por el mismo medio la aberracion cromática de estos últimos aparatos. Algunos á la lente H la llaman de Campani, que construyó oculares para el microscopio con lentes plano-convexas que se tocaban por el centro de sus convexidades, y con las cuales consiguió que el campo donde se perciben las imágenes sea sensiblemente una superficie plana.

Fig. 179.



295. **Telescopios.**—El principio óptico de la construccion de los telescopios, es el de amplificar el ángulo visual de un objeto como

en los microscopios, diferenciándose estos aparatos en que los primeros amplifican el ángulo visual pequeño de un objeto grande que se halla distante, y los segundos, como se lleva expuesto en el párrafo 292, amplifican el ángulo visual pequeño de los objetos microscópicos próximos.

Los telescopios se dividen en dos clases: á la primera pertenecen los que amplifican las imágenes por una série de refracciones, y en la segunda se comprenden aquellos que tienen lentes y espejos; estos tambien se llaman telescopios por reflexion.

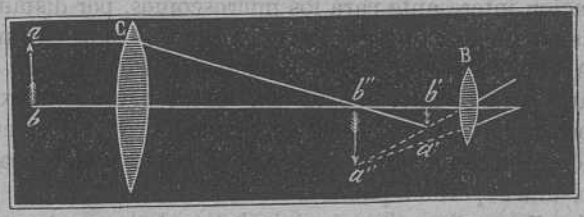
En el telescopio, la facultad amplificadora de las imágenes se halla dividiendo el ángulo visual cuando se mira al través de aquel aparato, por el ángulo de vision bajo el cual se percibe directamente el objeto. La porcion del espacio que se distingue al través del telescopio, se denomina campo de la vision. Conviene tener presente que, cuanto mas grande es la fuerza de un telescopio para amplificar, tanto mas pequeño es su cambio de vision.

Los objetos observados por medio de los telescopios han de estar convenientemente iluminados, pues de no ser así, las imágenes se oscurecen; pero como recibiendo en el interior de los telescopios mucha cantidad de luz se tendrian que emplear lentes de excesivo diámetro que harian á las imágenes perder una parte de su correccion, se ha hecho indispensable combinar con mucho cuidado el diámetro de las lentes con la luz que ha de producir el efecto para conseguir buenos telescopios.

Los telescopios por refraccion son tres: el de Keppler, que tambien se conoce bajo el nombre de *anteojo astronómico*; el del jesuita Rheita, denominado *anteojo terrestre*, y el de Galileo, construido por Jansen. Los dos primeros consisten en lentes convexas reunidas en tubos de metal, madera ó carton, y el tercero en un juego de dos ó mas lentes, pero convexas las unas y cóncavas las otras.

296. **Anteojo astronómico y terrestre.**—El anteojo astronómico se

Fig. 180.

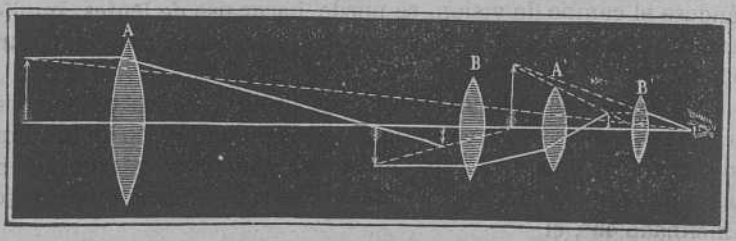


compone (*fig.* 180) de dos lentes biconvexas *C* y *B*, que poseen

distancias focales. La imágen del objeto *a b* se hallará en espectro é invertida despues del foco *a' b'*; los rayos extremos de esta imágen real, refractados por la lente *B*, se perciben en *a" b"* con un ángulo visual *a" o b"*, conservándose invertida la imágen, y proporcionalmente amplificada.

Con el aparato anterior, cuyo solo nombre nos dice que sus principales aplicaciones se refieren á los estudios astronómicos, no resultan grandes inconvenientes de la inversion de las imágenes. Para evitar esta inversion, que pudiera inducir á errores en las percepciones de los objetos sobre la tierra, se ha construido el *anteojo terrestre*, que en realidad no consiste mas que en dos anteójos astronómicos reunidos, para que la imágen invertida por las dos lentes *A B* (*fig.* 181) del primero, se vuelva directa

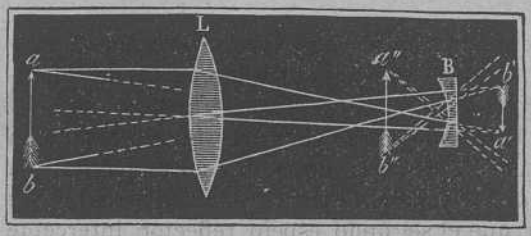
Fig. 181.



por medio del segundo anteojo astronómico, formado por las lentes *A'* y *B'*. De las cuatro lentes que constituyen el anteojo terrestre, la *A* se ha denominado objetiva, y las otras tres, *B A' B'*, oculares.

297. **Anteojo de Galileo.**—Este anteojo, que tambien se conoce con el nombre de *anteojo de teatro*, es de pequeñas dimensiones; se compone (*fig.* 182) de una lente convexa *L* y de otra cóncava *B*, colocadas en un tubo de modo que se correspondan sus ejes, y á una distancia igual á la diferencia de la longitud focal de las dos lentes. Por esta razon, colocada la lente cóncava antes de que se invierta la imágen *b' a'*, caerán convergentes los rayos luminosos sobre aquella lente; pero al

Fig. 182.

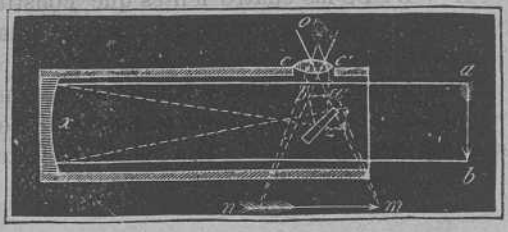


atravesarla, los rayos convergentes se refractarán divergentes, observándose la imágen directa en *a'' b''* amplificada por el aumento del ángulo visual. Los anteojos de teatro presentan los objetos en un campo de vision muy reducido, de donde resulta que no pueden amplificar mucho las imágenes, si bien las producen muy distintas cuando los vidrios son claros y se hallan colocados de modo que se correspondan sus centros.

Los telescopios de refraccion presentan en su uso algunos defectos, dependientes de las aberraciones. El de la aberracion cromática se ha evitado por la construccion de las lentes objetivas acromáticas. Las ventajas que estas lentes proporcionan son: 1.ª, que las imágenes de los objetos no presentan anillos ni bandas coloreadas; 2.ª, que el campo de vision se aumenta, porque no hay que hacer uso tan frecuente de los diafragmas ó tabiques en el interior de los tubos de los telescopios; y 3.ª, que aumentándose el campo de vision, se puede hacer uso de lentes amplificadoras de mayor fuerza, sin perder claridad la imágen de un objeto.

298. **Telescopio de Newton.**—El mas antiguo de los telescopios de reflexion es el de Newton, que consiste en un tubo de madera en cuyo fondo hay un espejo cóncavo y metálico *x*. La imágen del objeto *a b* (*fig.* 183) primeramente se refleja hácia otro espejo *z* inclinado 45°, el cual dirige los rayos extremos de la imágen hácia el punto *o*, donde se percibe amplificada por medio de la lente *c c'*. Como en las dos reflexiones que sufren los rayos luminosos en el telescopio de Newton no existe la aberracion cromática de las lentes, estos telescopios se prefieren á los de refraccion, que no son acromáticos.

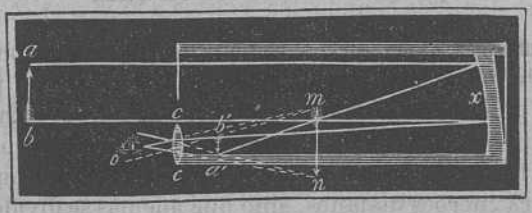
Fig. 183.



299. **Telescopio de Herschel.**—Para evitar en este telescopio una de las dos reflexiones del de Newton, en el cual se pierde una parte de la claridad de las imágenes por la reflexion irregular, y además, para evitar que el segundo espejo reflector intercepte los rayos de luz mas influyentes para la percepcion de las imágenes, Herschel construyó su telescopio (*fig.* 184) con un solo

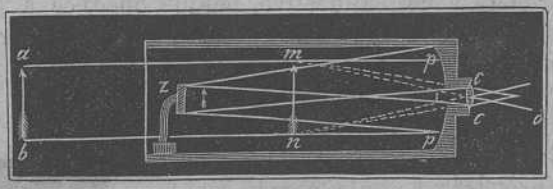
espejo reflector cóncavo é inclinado x, para que por reflexion caigan los rayos extremos de un objeto $a\ b$ sobre la lente ocular $c\ c$, al través de la que se percibe la imágen $m\ n$.

Fig. 184.



300. **Telescopio de Gregory.**—Los dos telescopios anteriores presentan grandes dificultades para poderlos dirigir hácia un punto del espacio, necesitándose mecanismos complicados para hacerles que giren y se muevan; además se tienen que emplear anteojos suplementarios é investigadores, los cuales se hallan fijos en las paredes de los tubos de los grandes telescopios de reflexion. Para evitar estos inconvenientes, construyó Gregory el telescopio conocido con el nombre de *Gregoriano* (*fig.* 185), formado por un

Fig. 185.



espejo objetivo $p\ p$ metálico, cóncavo y taladrado en su centro, y otro mucho menor, tambien metálico, z. Las imágenes son reflejadas en el primer espejo para caer en el segundo, que á su vez las dirige incidentes sobre una lente $c\ c$, al través de la cual se perciben las imágenes amplificadas. Los piés de sostén de estos telescopios astronómicos constituyen mecanismos mas ó menos complicados, con el objeto de conseguir que el eje del telescopio siga la marcha de un astro.

CAPÍTULO VII.

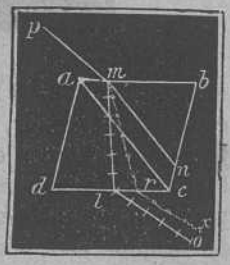
Doble refraccion, interferencias, difraccion y polarizacion de la luz.

301. **Doble refraccion.**—En el sistema de las emanaciones, se supone que la luz posee la propiedad de dividirse en dos porciones diferentes la luz blanca cuando sus rayos penetran, segun observó Bertholin en 1647, por un trozo de espato islándico. En esta sustancia, los rayos de luz, no solo cambian de direccion como en los restantes cuerpos diáfanos, sino que además se dividen los rayos luminosos en dos, siguiendo diferente camino al través de la citada sustancia, por cuyo motivo se ha denominado al fenómeno observado *doble refraccion*.

El espato islándico es el cuerpo diáfano que presenta mas marcada la doble refraccion; pero se ha notado, aunque con menos claridad, en el rubí, en la turmalina, en la esmeralda, y en muchos otros cuerpos diáfanos que existen cristalizados en la naturaleza.

Cuando se divide en dos el rayo *p m* de la luz blanca (*fig.* 186) que atraviesa un cristal de espato islándico *a b c d*, se denomina *ordinario* al rayo *m l*, y al *m r extraordinario*, habiendo recibido el primero aquel calificativo porque obedece á las leyes ordinarias de la refraccion; pero las leyes que sigue el rayo extraordinario son diferentes, por cuya causa se le conoce recíprocamente con esta última denominacion. Los cuerpos líquidos y los gaseosos no han presentado señales de doble refraccion, y entre los cuerpos sólidos solo se ha notado este fenómeno en las sustancias cristalizadas en todos los sistemas cristalinos, excepto el cúbico. Sin embargo, los cuerpos cristalizados en este sistema, y los que no cristalizan, como el vidrio, pueden adquirir aquella propiedad comprimiéndolos desigualmente, ó por el enfriamiento despues de haberlos sometido á una temperatura elevada.

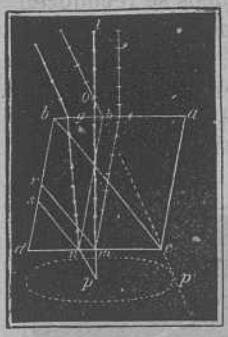
Fig. 186.



Los cristales birefringentes presentan en su interior una ó dos líneas, en cuya direccion los rayos de la luz pasan sin que se perciba el fenómeno de la doble refraccion; á dichas líneas se las ha denominado *ejes de los cristales*.

302. **Duplicacion de las imágenes por la doble refraccion.**—El fenómeno de la doble refraccion se observa cuando las facetas naturales ó artificialmente talladas no son paralelas ó perpendiculares al eje del cristal. Sea (*fig.* 187) la seccion principal de un romboedro de espato islándico cuyas caras naturales son *a b c d*; estas, no siendo paralelas ni perpendiculares al eje *b c*, se presenta á su través el fenómeno de la doble refraccion, y mirando por el romboedro una marca negra *p*, el rayo luminoso *p m* en su incidencia se divide en dos respecto de la línea *m r*, paralela al eje en el punto de inmersion de la luz, tomando el rayo ordinario la direccion *m l*, y el extraordinario, separándose mas de *r m*, sigue por el camino *m f*. Otro rayo luminoso *p n*, respecto de su eje *n s*, tambien presentará el rayo ordinario *n g* y el extraordinario *n h*; este último, refractado de nuevo en el aire, corta al rayo ordinario *m l* en el punto *o*, desde el cual se percibirán dos imágenes, una en la direccion perpendicular *o p*, y otra en la prolongacion del rayo extraordinario *o h* y hácia el punto *p'*. De lo expuesto se deduce la duplicacion de las imágenes, en el caso de que los rayos no son perpendiculares ó paralelos á los ejes de doble refraccion.

Fig. 187.



La explicacion física del fenómeno de la doble refraccion, segun Fresnel, no depende de alguna propiedad desconocida de la luz, sino de la diferente cantidad y grado de elasticidad que el éter presenta en los puntos diferentes del interior de ciertos cuerpos cristalizados, y de aquí se puede deducir que el movimiento ondulatorio de la luz se propaga con velocidad desigual en ciertas direcciones, pero guardando relaciones con los ejes de cristalizacion; resultando que en la emergencia de los rayos luminosos en uno de aquellos medios diáfanos, las ondulaciones mas veloces tienen un índice de refraccion menor que las ondas, cuyo movimiento de traslacion es mas lento, y de aquí no se infiere que se divida en dos el rayo de la luz blanca, sino que existen ó pueden existir dos movimientos ondulatorios en el éter que contienen los cuerpos con índices de refraccion diferentes, dándose lugar para que se propague la luz y se perciba la impresion de una imágen en dos distintas direcciones.

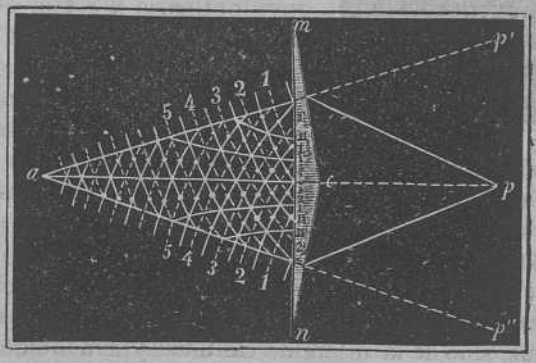
303. **Interferencias.**—Cuando los rayos de luz que proceden de dos orígenes se mueven en el espacio formando entre sí un ángu-

lo muy agudo, en la interseccion de aquellos rayos la intensidad de la luz se aumenta en unos puntos, mientras que en otras partes de la misma interseccion la luz se aniquila á sí propia. A estos fenómenos se les conoce bajo la denominacion de *interferencias*.

Las interferencias se pueden observar por refraccion y por reflexion; pero en ambos casos, cuando la luz es blanca, los efectos de la interferencia consisten en observar en la luz solar bandas oscuras y claras, estas últimas con los colores del iris, mientras que las interferencias de los rayos homogéneos se reconocen por la intensidad de las fajas luminosas, y no por la coloracion, que desaparece.

Los fenómenos resultantes de las interferencias por refraccion pueden comprenderse por la experiencia siguiente de Fresnel. Si desde un punto luminoso *p* (*fig.* 188) muy distante, se hacen incidir rayos luminosos sobre los dos lados del prisma *m n*, desde el punto *a* se percibirá el punto luminoso *p* duplicado y como si estuviera en los dos centros de impulso luminoso *p'* y *p''*. En el espacio intermedio de aquellos dos centros, que son las imágenes virtuales del punto *p*, se notan un sinnúmero de fajas paralelas á la arista del prisma, cuyas fajas, mientras las unas son claras y brillantes, las inmediatas son oscuras. Si se cubre uno de los lados del prisma, la interferencia de los rayos no se verifica, y todo el fenómeno desaparece.

Fig. 188.



En la hipótesis de la emision, la causa de las interferencias era un nuevo misterio, atribuido por los físicos que aceptaron aquella hipótesis como propiedad de los rayos de la luz, mientras que las interferencias, en la hipótesis de las vibraciones, son un efecto que satisfactoria y fácilmente se explica, sin aumentar las propiedades y los supuestos sobre la naturaleza de la causa de los fenómenos luminosos. La posibilidad de que dos ondas que se cortan en el espacio puedan producir el equilibrio en una molécula del éter que estando en reposo recibe dos impulsos vi-

bratorios que actúan en direccion contraria y con igual intensidad, y de que dos ondas que marchan paralelas, cayendo sobre dos puntos próximos, aumentan la intensidad luminosa, son las dos posibilidades mecánicas supuestas que, aplicadas á los fenómenos observados en la experiencia de Fresnel, explican con claridad los hechos anteriormente referidos.

El centelleo de las estrellas se explica satisfactoriamente por las interferencias, mientras que en la hipótesis de las emanaciones este fenómeno se ha contemplado mucho tiempo por los físicos y por los astrónomos emisionistas como un misterio insondable de la luz. Por las interferencias de la luz se explica tambien el fenómeno de los anillos y ráfagas coloreadas que se producen cuando la luz atraviesa láminas delgadas de diferentes sustancias sólidas y gaseosas. Este fenómeno le observó por primera vez Boyle, y Hook indicó que para su formacion influia de un modo muy notable la compresion; pero á Newton se debe su principal conocimiento, y por esto se les ha denominado *anillos de Newton*, quien suponia, para explicar la formacion de estos anillos, que la luz posee las propiedades de los fáciles y difíciles accesos para la trasmision.

304. **Difraccion.**—Grimaldy anunció por primera vez que la luz, cuando pasaba por los bordes de los cuerpos, se desviaba de la direccion rectilínea, cayendo dentro de la sombra de los cuerpos opacos, cuya desviacion de la luz se ha llamado *inflexion* ó *difraccion*. Para tener una idea de los fenómenos resultantes de la difraccion, bastará tomar una carta ú hoja de carton delgada y hacer en ella con un cortaplumas una hendidura estrecha y longitudinal. Si se mira la llama de una bujía al través de la hendidura, y mejor hácia una abertura estrecha por donde penetre la luz del sol en una habitacion oscura, se notará en los bordes de la hendidura de la carta una série de bandas claras y oscuras allí donde no deberia existir la luz, por corresponder á los espacios que están en la sombra de los bordes de la hendidura longitudinal supuesta.

En la hipótesis de la emision, se explica la difraccion por la propiedad de ser atraida y repelida la luz en los bordes de los cuerpos, y si por ella suponemos que se pueden explicar las bandas claras exteriores á la sombra de los cuerpos, se deben contemplar muy arbitrarias aquellas suposiciones é insuficientes para dar razon de la formacion de las bandas y puntos oscuros, que se presentan en el interior de la parte clara de la hendidura por donde pasa la luz.

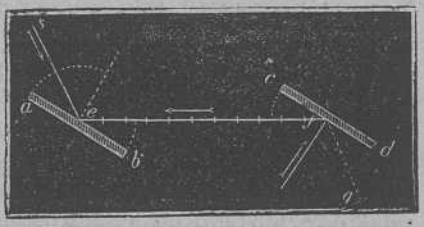
En la teoría de las ondulaciones, la difraccion no pasa de ser un efecto de las interferencias de la incidencia de la luz en los puntos límites de un cuerpo, que al reflejar la luz se convierten en centros de impulso luminoso, ó de ondas cuya direccion en el espacio forma un ángulo muy agudo y proceden de un mismo orígen; condiciones que son las esenciales para que, conforme llevamos expuesto, se originen las interferencias.

305. **Polarizacion.**—La luz que ha sido reflejada por una superficie ó refractada ordinaria y extraordinariamente al través de un medio diáfano, da orígen á los siguientes fenómenos: 1.° Cuando incide segunda vez sobre una superficie reflectora, desaparece una cantidad de luz muy notable por las dos reflexiones sucesivas. 2.° Si se refracta al través de un medio diáfano, se trasmite, perdiéndose mucha parte de aquella luz. 3.° Haciendo incidir el rayo luminoso en un medio doble refringente, no se duplica, como sucede á la luz blanca y directa del sol.

A la luz que da orígen á estos fenómenos se la ha llamado *polarizada*. Pero como la observacion ha enseñado que si la reflexion y refraccion se verifican bajo ángulos determinados, los fenómenos característicos de la luz polarizada que llevamos examinados llegan á su máximum de intensidad, se han denominado *ángulos de polarizacion perfecta* aquellos con los cuales la luz incidente posee la propiedad de originar los fenómenos expuestos en su mayor grado de intensidad.

En el vidrio, el ángulo de polarizacion se ha encontrado ser de 33°; por esta razon, si se producen dos reflexiones sucesivas con un rayo *s* de luz de una bujía en los espejos *a b* y *c d* (*figura* 189), quedará polarizado con la primera reflexion, y por la disminucion de la intensidad luminosa en la segunda reflexion apenas será perceptible el rayo de luz *s* cuando se la observa en la direccion *f g*.

Fig. 189.



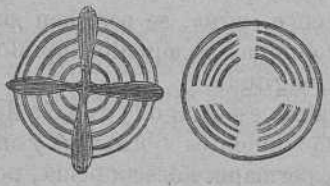
La explicacion física de la polarizacion de la luz se sostiene en el sistema de las vibraciones: 1.°, en el supuesto de que el movimiento vibratorio de las moléculas del éter se verifica perpendicularmente á la direccion en que se propaga el movimiento ondulatorio, y cuyas vibraciones son causa de la luz; y 2.°, en el principio de que un cuerpo material, reci-

biendo diferentes impulsos infinitamente pequeños que den orígen á movimientos, estos es posible que existan concurrentes sin destruirse, de lo cual resultaria que las moléculas del éter pueden presentar movimientos vibratorios en dos planos perpendiculares, en cuyo caso se presentará la luz blanca ordinaria; pero si el movimiento vibratorio de las moléculas del éter se simplifica vibrando en un solo plano, se obtendrá la luz que se ha denominado *luz polarizada*.

306. **Polarizacion cromática.**—Si la luz polarizada es trasmitida por láminas de diferentes cuerpos, principalmente de los cristalizados que se tallan por facetas perpendiculares al eje de cristalizacion, en este caso se presentan los fenómenos de las franjas coloreadas interrumpidas por anillos oscuros y bandas que alternativamente se pueden iluminar y oscurecer, haciendo girar el medio trasparente empleado para este estudio de los diferentes espectros de la luz polarizada.

El aparato para estudiar estos espectros se compone de dos placas de turmalina montadas en forma de una pinza; por la primera placa la luz ordinaria se polariza por refraccion. Si una vez polarizada la luz se la hace pasar por un trozo de espato islándico tallado con facetas perpendiculares al eje del cristal de espato, y se observa el espectro descompuesto de la luz polarizada al través de la segunda lámina de turmalina, aparecerá el espectro luminoso como se presenta en la *fig.* 190, en el caso de que las dos placas de turmalina se corten perpendicularmente; mientras que haciendo girar la segunda placa de turmalina 90°, aparecerá el espectro como en la *fig.* 191, en el cual los claros, las fajas oscuras y la cruz del centro se invierten, pasando á oscuros los claros, y vice-versa. Al estudio físico de los espectros luminosos formados por la luz polarizada, se le conoce bajo la denominacion de *polarizacion cromática*.

Fig. 190. Fig. 191.



* 307. **Polarizacion rotatoria.**—Cuando á un rayo de luz polarizado préviamente por reflexion ó refraccion se le hace pasar al través de un romboedro de espato islándico, se notará que las dos imágenes del rayo polarizado cambian de intensidad, hasta casi desaparecer una de las imágenes, adquiriendo la otra su máxima claridad conforme se hace girar el espato islándico sobre sí mismo. El arco que tiene que recorrer el espato islándico es el de un cuadrante, para que casi desaparezca una de las imágenes, adqui-

riendo la otra su mayor intensidad. Á este fenómeno observado por el giro del espato islándico al través del cual pasa un rayo de luz polarizado, se ha denominado *polarizacion rotatoria de la luz.*

Biot notó un fenómeno cromático en el paso de un rayo de luz polarizada al través de una placa de cristal de roca tallada perpendicularmente al eje de cristalizacion: este fenómeno consiste en que un rayo de luz que pasa por aquella placa, cuando cruza despues por un prisma de espato islándico, el rayo se duplica, apareciendo las imágenes teñidas con los colores complementarios del iris.

La polarizacion rotatoria del cristal de roca se ha comprobado que existe en otros cuerpos cristalizados, y en muchos otros disueltos en los líquidos, en cuyo caso estos se llaman *activos* sobre la luz.

El arco ó el ángulo de rotacion del prisma de espato islándico es diferente en los diversos cuerpos, y de aquí se ha deducido que la facultad rotatoria ejercida por aquellos sobre la luz polarizada es variable con la composicion química y con la cantidad de los elementos que constituyen los cuerpos compuestos; de donde ha resultado en la actualidad uno de los medios de análisis químico mas delicado con la luz polarizada. El agua, el alcohol, el éter y otros líquidos no son activos; en cambio, el azúcar disuelto, las gomas, el aceite esencial de trementina, la estricnina y otros muchos cuerpos son activos sobre la luz, y si bien su accion es mucho menor cuando se hallan disueltos en el agua, se perciben sus efectos rotatorios disponiendo de columnas de aquellos líquidos de 25, 30 y hasta 50 centímetros de longitud.

308. **Orígenes de la luz.**—La naturaleza especial ó la esencia del primer impulso que da orígen á los movimientos vibratorios y ondulatorios del éter, causa de la luz, permanece desconocida, por cuya razon la ciencia no puede pasar de la enumeracion de las fuentes ú orígenes de la luz, las cuales pueden reducirse á la luz del sol y á la de las estrellas, al calor cuando enrojece los cuerpos, á las combinaciones químicas, á la compresion, á la fosforescencia y á la electricidad.

SEXTA PARTE.

DEL MAGNETISMO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Propiedades de los imanes.

309. **Magnetismo.**—En los dos tratados anteriores nos hemos ocupado del estudio de los fenómenos originados por los agentes denominados calórico y lumínico; pero existen algunos cuerpos que presentan fenómenos particulares, dependientes sin duda de otro agente. Estos fenómenos se diferencian de los caloríficos y luminosos porque no afectan como aquellos al sistema material de las percepciones humanas, y sin embargo, la causa que los origina se da á conocer en ciertos metales por la existencia de fuerzas que obran atractiva y repulsivamente, y por la tendencia que presentan aquellos, suponiéndolos muy movibles, á tomar una direccion constante con relacion á puntos determinados del horizonte. Estos fenómenos se han denominado *magnéticos*, y á su causa hipotética se llamó antiguamente *flúido magnético* ó *magnetismo*.

Los antiguos conocieron ya la fuerza atractiva del *iman natural* ó *piedra iman*, denominada por ellos *magnes*, la cual, químicamente considerada, es un óxido de hierro cuya fuerza atractiva se ejerce especialmente sobre otros imanes ó sobre el mismo hierro, el acero, níquel, cobalto y otros cuerpos compuestos en que entra como componente uno de los metales citados. Además se ha notado: 1.°, que dicha fuerza atractiva decrece cuando aumenta la distancia, y varía con la temperatura; 2.°, que si se establece el contacto entre el iman y los cuerpos atraidos, estos se fijan sobre aquel con una fuerza mas ó menos poderosa; 3.°, que colocando los imanes de modo que puedan moverse libremente, adquieren una direccion constante con relacion á puntos determinados de la tierra; y 4.°, que la virtud magnética de un iman

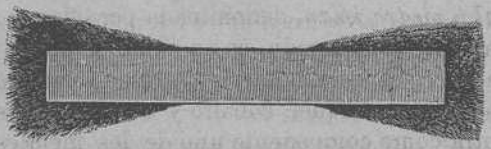
puede comunicarse fácilmente á las barras de acero y hierro, por sencillos procedimientos que mas adelante se estudian.

310. **Imanes naturales y artificiales.**—Por la propiedad que tienen los imanes de comunicar su virtud magnética á las barras de acero conservándola estas, se han dividido los imanes en *naturales* y *artificiales*; los primeros se hallan en las minas de óxido de hierro magnético, y los segundos se construyen artificialmente con el acero; á estos, cuando se les da una forma de agujas y se les coloca sostenidos de modo que se muevan fácilmente, se les denomina *brújulas* ó *agujas magnéticas*. A los imanes artificiales tambien se les da la forma de barras y herraduras, y en este caso se les da el nombre de *barras imantadas* é *imanes en forma de herradura*, construyéndose en ocasiones imanes compuestos de dos ó mas barras, dos ó mas herraduras de acero, y de manojos de hilos de hierro imantado, que han dado orígen á los nombres de *haces*, *manojos* y *baterías magnéticas*.

311. **Polos y línea neutra.**—En los imanes naturales y artificiales es fácil reconocer que la traccion magnética se ejerce desigualmente en los diferentes puntos de la superficie de aquellos, puesto que hay partes del iman que parecen dotadas de mayor virtud atractiva, mientras que en otras no existe esta propiedad. Esto se observa rodeando una piedra iman con limaduras de hierro, que se adhieren á ciertas partes de la superficie, dejando otras descubiertas, sin embargo de no distinguirse en toda la extension de los imanes diferencias físicas apreciables por la inspeccion exterior de aquellos minerales.

Este hecho se manifiesta de un modo marcado con los imanes artificiales; así, pues, si se rodea con limaduras de hierro una barra imantada (*fig.* 192), se verá que no existe ninguna señal de limaduras en su línea media, notándose filamentos cada vez mas largos y numerosos hácia los extremos de la citada barra. Estos, suponiéndolos centro de las fuerzas atractivas, se les da el nombre de *polos del iman*, y á la línea donde la atraccion parece nula se la denomina *línea neutra*. Todo iman natural ó artificial tiene dos polos y una línea neutra; sin embargo, cuando se imantan las barras y las agujas, como veremos mas adelante, algunas veces

Fig. 192.



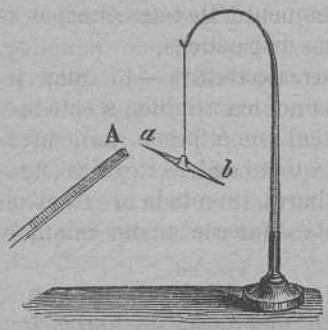
se presentan polos secundarios, situados entre los polos extremos, á los cuales se les ha dado el nombre de *puntos consecuentes*.

Si se divide un iman en dos partes, cada una de ellas en otras dos, prosiguiendo así la division cuanto lo permitan los medios mecánicos, se halla que cada una de las partes es todavía un iman, poseyendo como el primero su línea neutra y sus dos polos.

Los polos se designan, el uno bajo el nombre de *polo austral*, y el otro con el de *polo boreal*: nombres tomados de los polos terrestres, por la accion que estos ejercen sobre los polos de los imanes.

312. **Accion recíproca de los polos de los imanes.**—Aunque los dos polos de un iman obran del mismo modo sobre el hierro, no se debe creer que estos tengan idénticas propiedades, puesto que, en vez de atraer, hay ocasiones en que repelen aquel metal. Para demostrar este último fenómeno, se toma una aguja imantada *a b* (*figura* 193), suspendida de un hilo de modo que se mantenga en la posicion horizontal: en este supuesto, si se aproxima el polo austral *A* de una barra imantada al polo *a* del mismo nombre en la aguja, se observa la repulsion; por el contrario, si se aproxima el polo austral *A* de la barra al polo boreal *b* de la aguja, los dos polos se atraerán mútuamente, verificándose lo mismo cuando los polos de la barra se presentan sucesivamente al polo *a* de la aguja, pues el uno obra repeliendo y el otro actúa con su atraccion. De estas acciones recíprocas que se ejercen entre los polos de la aguja y los de la barra, y en general entre dos imanes, se deduce la siguiente ley: *los polos del mismo nombre en los imanes se repelen, y los de nombre contrario se atraen.*

Fig. 193.



313. **Hipótesis sobre el magnetismo.**—Algunos admitieron, como llevamos manifestado en el párrafo 309, la existencia de un flúido imponderable y sutíl, causa y orígen de los fenómenos magnéticos. Este flúido le suponian constituido por dos flúidos elementales, á los cuales denominaron *boreal* ó *norte*, y *austral* ó *sur*. En la misma hipótesis, las partículas de los cuerpos que poseian una misma clase de magnetismo se decia que presentaban tendencia á la repulsion, que se atraian las dotadas con mag-

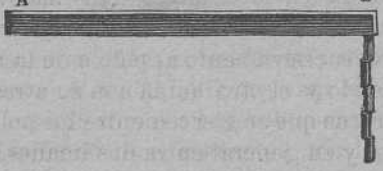
netismo contrario, y que cuando estas tendencias opuestas se equilibraban, los cuerpos no estaban magnetizados; mientras que, una vez destruido el equilibrio entre los flúidos magnéticos, los cuerpos poseian las facultades de los verdaderos imanes, acumulándose los flúidos en los puntos denominados polos.

En la segunda hipótesis, fundándose en el estudio de los fenómenos resultantes de la accion mútua entre la electricidad y el magnetismo, se considera á la causa de este último como un efecto de la electricidad.

La descomposicion del flúido magnético que corresponde á los metales, segun la primera hipótesis, se verifica en los unos con mucha rapidez, y en los otros con mas ó menos lentitud, dando lugar á la clasificacion de los cuerpos en *magnéticos* y *magnetizables*; siendo los primeros aquellos en que, una vez descompuesto su flúido magnético, no le dejaban recomponerse, conservando las propiedades magnéticas adquiridas; y los segundos, los en que la descomposicion del flúido se verificaba con prontitud, recomponiéndose casi instantáneamente. De estos cuerpos se decia que eran magnetizables, pero no magnéticos.

314. **Imantacion por influencia.—Fuerza coercitiva.**—El iman no solamente atrae al hierro, sino que comunica tambien á este metal la propiedad atractiva y la polaridad que él posee. Así, cuando se pone en contacto un cilindro pequeño de hierro dulce (*figura* 194) con uno de los polos de una barra imantada *A B*, el cilindro de hierro se convierte instantáneamente en un iman, su extremidad libre adquiere un polo de la misma naturaleza que el del iman que se halla fijo, haciéndose capaz de sostener un segundo cilindro semejante, este un tercero, y así sucesivamente hasta cinco ó seis, segun sea la fuerza de la barra. La imantacion de estos cilindros solo dura mientras que el primero permanece bajo la influencia de la barra imantada, puesto que tan luego como cesa el contacto se separan unos de otros los demás cilindros. No es necesario establecer un contacto inmediato entre el hierro y el iman para descomponer el flúido magnético del hierro; la descomposicion se verifica tambien colocándole á alguna distancia.

Fig. 194.



Por lo que precede, se ve que si el hierro adquiere fácilmente la virtud magnética, no la conserva sino en tanto que permanece

en presencia del iman que se le habia comunicado. No sucede lo mismo con el acero; este se imanta mas difícilmente que el hierro, pero una vez adquiridas las propiedades magnéticas, las conserva durante un tiempo indefinido. Si en el experimento anterior se sustituyen los pequeños cilindros de hierro dulce por cilindros de acero templado, se nota que el simple contacto no basta para suspender el primer cilindro del iman. Pero si en lugar de limitarse á suspender el cilindro de acero del polo atractivo austral de la barra, se les deja mucho tiempo en contacto con él, ó si se le frota contra la barra, pasándola muchas veces de una extremidad á otra y siempre en la misma direccion, no solamente se hará capaz de adherirse al iman, sino que adquiere de una manera permanente todas las propiedades magnéticas. Los físicos han tratado de explicar esta diferencia entre el hierro dulce y el acero, suponiendo que reside en esta última sustancia una fuerza, ó mas bien una especie de resistencia particular, que se opone al desarrollo de las propiedades magnéticas y tambien á su desaparicion una vez desarrolladas. A esta fuerza es á la que se llama *fuerza coercitiva*, que depende, al parecer, de la agregacion molecular del acero comparada con la del hierro, la cual varía por el temple mas ó menos duro ó por el recocido del referido metal.

315. **Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.**—*Las atracciones y repulsiones magnéticas están en razon inversa del cuadrado de la distancia.* Coulomb fué el primero que, en 1786, demostró esta ley, sospechada por Lambert. Para demostrarla, Coulomb siguió dos métodos distintos: 1.°, por la balanza de torsion, que mas adelante se describe; y 2.°, por el método de las oscilaciones. De estos dos métodos daremos á conocer el segundo, por ser el mas sencillo. Consiste, pues, en hacer oscilar una aguja imantada durante tiempos iguales, sujeta á la sola influencia de la tierra, y despues bajo la influencia combinada de la tierra y del polo atractivo de un iman, colocado sucesivamente á distancias diferentes de la citada aguja. El experimento se practica del modo siguiente: se suspende una aguja imantada de un hilo sin torsion, y se la hace oscilar despues de separada de su posicion de equilibrio. Supongamos que la aguja haga 12 oscilaciones en 1', y que F sea la fuerza horizontal de la tierra que la solicita. Luego que la aguja vuelve á su posicion inicial, se la hace oscilar de nuevo, pero actuando sobre ella el polo atractivo de una barra de acero imantada, que primero se coloca á una distancia de 2 piés, por ejemplo, y despues á una distancia doble. Si se su-

pone que la aguja en el primer caso hace N oscilaciones en 1', siendo F' la fuerza horizontal que obra sobre ella, y que en el segundo caso el número de oscilaciones es N' y la fuerza horizontal F'', se tendrán las dos ecuaciones $\frac{F'}{F}=\frac{N^2}{(12)^2}$ y $\frac{F''}{F}, =\frac{N'^2}{(12)^2}$; pero como la fuerza horizontal de la barra es $F'-F$ en el primer experimento, y $F''-F$ en el segundo, resulta de las dos ecuaciones precedentes $\frac{F'-F}{F''-F}=\frac{N^2-(12)^2}{N'^2-(12)^2}$. Si se ponen en lugar de N y N' los números que nos dan los experimentos, se hallará 4 para la relacion de las dos fuerzas. Vemos, pues, que á una distancia doble la intensidad magnética se reduce á la cuarta parte, conforme el enunciado de la ley.

* 316. **Accion del magnetismo sobre todos los cuerpos.—Diamagnetismo.**—El hierro y sus compuestos, el zinc, manganeso, cobalto y níquel, no son los únicos cuerpos sobre los cuales el magnetismo manifiesta su accion.

Coulomb fué el primero que observó, en 1812, que los imanes obran sobre todos los cuerpos en grados mas ó menos marcados. Esta accion la apreció Coulomb colocando entre los polos opuestos de dos barras fuertemente imantadas, agujas de diferentes sustancias, de 5 á 6 milímetros de longitud. Las agujas, despues de una série de oscilaciones, se sitúan en la direccion de la línea recta de los polos, del mismo modo que si hubiesen estado imantadas. Lebaillif observó los mismos efectos con un instrumento muy sensible, al cual dió el nombre de *sideróscopo*. Este aparato se compone de una paja de 2 á 3 centímetros de longitud, suspendida de un hilo de seda cuyo eje está atravesado en parte por una aguja de coser fuertemente imantada, y equilibrada por el lado opuesto con un contrapeso.

Estos fenómenos se atribuyeron en un principio á la presencia de cantidades infinitamente pequeñas de hierro, que el análisis químico no podia apreciar; pero Lebaillif y Becquerel han demostrado que los imanes ejercen una accion sensible sobre todos los cuerpos, y que esta accion es unas veces atractiva y otras repulsiva: los cuerpos atraidos han recibido el nombre de *magnéticos*, al paso que los que son repelidos el de *diamagnéticos*. Entre estos últimos se encuentra el bismuto, el plomo, el azufre, la cera, el agua, etc. El cobre unas veces es magnético y otras diamagnético, lo cual se cree depende de su grado de pureza.

En 1847, Faraday reconoció que los imanes poderosos ejercian sobre la llama de una bujía una accion repulsiva, que atri-

buyó á una diferencia de diamagnetismo en los gases. Despues, Edmon Becquerel, que ha hecho importantes trabajos sobre esta materia, ha reconocido que, de todos los gases, el oxígeno es el que tiene mayor facultad magnética.

Algunos físicos han mirado el diamagnetismo como una propiedad distinta del magnetismo; pero Becquerel ha conseguido enlazar entre sí los fenómenos del magnetismo y del diamagnetismo por una hipótesis sumamente ingeniosa, admitiendo que no existen dos géneros de acciones entre los cuerpos y los imanes, sino solamente una imantacion por influencia, y que la repulsion ejercida sobre ciertas sustancias es debida á que estas se hallan rodeadas por un medio mas magnético que ellas.

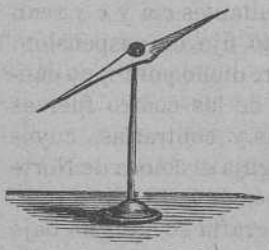
Arago observó, en 1824, que los metales en reposo ejercen una accion bastante marcada sobre la aguja imantada en movimiento, y estos mismos cuerpos en movimiento actúan sobre la aguja en reposo. Al ocuparnos en la teoría de la electricidad de los fenómenos de induccion, daremos á conocer esta accion recíproca que se ejerce entre los imanes y los metales en movimiento.

CAPÍTULO II.

Magnetismo terrestre.

317. **Accion directriz de la tierra en los imanes.**—Cuando una aguja imantada se apoya por su centro sobre una punta metálica (*fig.* 195), de tal modo que pueda girar libremente, se nota que siempre se queda en una direccion que es próximamente la de Norte á Sur; y si se la separa de esta posicion, vuelve á ella despues de una série de oscilaciones. Del mismo modo, si en un vaso lleno de agua se hace flotar un corcho sobre el cual se haya colocado una barra imantada de 10 centímetros de larga y de unos 6 milímetros de ancha, el corcho gira alrededor de la vertical hasta colocarse la barra próximamente en la direccion de los dos polos geográficos de la tierra, sin que se perciba movimiento alguno de traslacion; de donde se deduce que, la accion ejercida por el globo terráqueo sobre la aguja es solo *directriz*.

Fig. 195.

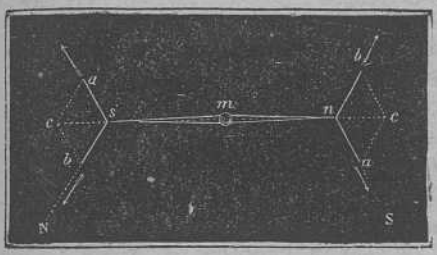


Estas observaciones, practicadas en diferentes partes del glo-

bo, han dado los mismos resultados y lugar para que se asemeje la tierra á un iman, cuya línea neutra se encuentra situada cerca del Ecuador, y cuyos polos se hallan próximos á los de su rotacion. En esta hipótesis reciben los nombres de flúido *boreal* el que predomina en el polo boreal de los imanes y de la tierra, y flúido *austral* el que predomina en el polo opuesto: por consecuencia, la tierra actúa sobre la aguja imantada como lo haria un iman; el polo de la aguja que se dirige hácia el Norte deberá predominar en él el flúido austral, y en el polo que se dirige hácia el Sur, por el contrario, el flúido boreal, puesto que los polos del mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen.

318. **Par magnético terrestre.**—La fuerza directriz de la tierra sobre las agujas podemos reducirla á un sistema de fuerzas cuya resultante seria la de un par. Supongamos (*fig.* 196) que *S N* sean los polos de la tierra, y *s n* los polos de una aguja imantada sostenida sobre el eje *m*. El polo *N* de la tierra ejerce una fuerza *s b* de atraccion sobre la aguja, y otra fuerza *n b* de repulsion sobre el polo opuesto de la misma. El polo *S* de la tierra á su vez ejerce recíprocamente una fuerza de atraccion *n a* sobre la aguja, y otra de repulsion *s a* sobre el extremo opuesto de aquella. Planteado de esta manera el problema mecánico, tendríamos que las condiciones de equilibrio en una aguja magnética, segun el paralelógramo de las fuerzas (29), se establecen en el supuesto de que las resultantes *c n* y *c s* sean iguales y contrarias, y pasando por el punto fijo de suspension: en todos los demás casos, la aguja gira sobre dicho punto, no dándose lugar el equilibrio, pues la resultante de las cuatro fuerzas seria un par dinámico de fuerzas paralelas y contrarias, cuyos efectos giratorios desaparecen cuando la aguja se coloca de Norte á Sur, ó en direccion de los polos magnéticos de la tierra.

Fig. 196.



319. **Meridiano magnético.**—Como en Geografía se designa bajo el nombre de *meridiano* de un lugar el círculo que pasa por el zénit y los dos polos de la tierra, se designa por analogía con el nombre de *meridiano magnético* de un lugar el plano que en aquel punto pasa por el centro de la tierra y por los polos de la aguja imantada en equilibrio sobre un eje vertical. El meridiano

magnético no coincide en general con el meridiano geográfico.

Se llama *declinacion de la aguja imantada* al ángulo que forma la direccion de la aguja en un punto cualquiera de la tierra con la meridiana astronómica. La declinacion es *oriental* ú *occidental*, segun el polo austral de la aguja se dirige al Este ó al Oeste de la meridiana.

320. **Variaciones de la declinacion magnética.**—Colon fué el primero que observó, en 1492, que la declinacion de la aguja imantada variaba de un punto á otro de la tierra; pues en aquella época, siendo en España la declinacion oriental, la halló nula, y correspondiendo la aguja al polo geográfico de la tierra, en la isla del Cuervo (Azores), y occidental y con mayor declinacion conforme el almirante de España se acercaba al continente americano. En 1589, la declinacion de la Península todavía era oriental, continuando hasta 1664, en cuyo año debió hallarse aproximadamente el meridiano magnético sin declinacion en Madrid. En 1747, ó sean 83 años despues, la declinacion occidental en Lóndres, segun Graham, habia llegado á ser de 17° 40′, y en Madrid, segun Don Antonio Ulloa, de 16° 30′. Próximamente, en 1814 ó 1815, la aguja de declinacion debió llegar en Madrid á su máxima declinacion occidental. Atendiendo al período trascurrido desde el año que no declinaba la aguja en Madrid hasta la época de su máxima declinacion occidental, se puede deducir que las brújulas volverán á coincidir con el polo Norte en Madrid hácia el año 1978, declinando desde aquella época hácia Oriente, para llegar á su máxima declinacion oriental hácia el año 2128. Estas variaciones de la declinacion en los imanes se denominan *seculares*, porque se verifican con el trascurso de los siglos, haciendo recorrer á las agujas imantadas un arco de circunferencia que en España es próximamente de 47°.

En la actualidad, el meridiano sin inclinacion pasa por los límites orientales de la Rusia europea, donde han principiado ya las declinaciones occidentales, y por el mar de las Antillas, donde finalizan las declinaciones occidentales, para reproducirse con mas ó menos regularidad aquellas declinaciones en otros puntos de la tierra.

321. **Líneas isógonas.**—Se han construido mapas de la tierra en diferentes tiempos, que presentan unidos con líneas aquellos lugares en que la aguja declinó igualmente: estos trazos contínuos ó líneas se las ha denominado *isogónicas* ó *de igual declinacion*. Estas líneas, á pesar de su irregularidad ó inflexiones, se ha notado que se aproximan hasta confundirse las del Norte en un

punto de los mares polares descubierto por el capitan Ross, denominándole *polo boreal magnético* de la tierra.

Hansteen, por el cálculo, ha fijado la posicion del *polo austral magnético* en la region correspondiente de la tierra, no faltando algunos físicos que han supuesto en la tierra cuatro polos magnéticos.

322. **Variaciones diurnas de la declinacion.**—Las agujas magnéticas, además de las variaciones seculares, presentan otras que al parecer están regularizadas por la presencia del sol sobre el horizonte y por la elevacion horaria de aquel astro relativamente á un punto de la tierra. A estas variaciones que pasan durante los dias, se las ha denominado *diurnas*, y consisten en un movimiento que hacen las agujas hácia el Oeste, á partir de las ocho de la mañana hasta una ó dos horas despues de haber pasado el sol por el meridiano; en este momento las agujas retroceden, volviendo á su primera posicion á las diez próximamente de la noche. Durante el período nocturno, las agujas magnéticas permanecen estacionarias, volviendo á reproducirse sus movimientos Noroestes en los dias sucesivos. El arco que recorren las agujas magnéticas con su variacion diurna en Madrid, puede apreciarse entre 6 y 7 minutos. Si en el hemisferio boreal las agujas declinan hácia el Noroeste en los períodos diurnos, en el hemisferio austral, por el contrario, las variaciones horarias ó diurnas hacen marchar á las agujas al Nordeste.

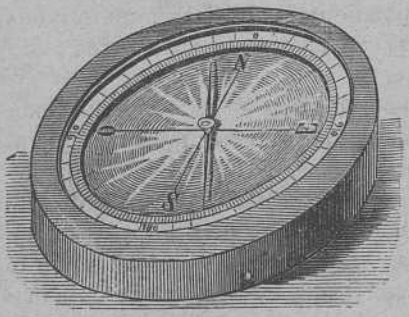
323. **Variaciones accidentales.**—La declinacion de la aguja imantada experimenta accidentalmente perturbaciones en sus variaciones periódicas por varias causas, tales como las auroras polares; y segun algunos, aunque no está completamente demostrado, por las erupciones volcánicas, por los terremotos ó temblores de tierra, y por la caida del rayo. El efecto de las auroras se hace sentir á largas distancias y algunas horas despues de su desaparicion.

324. **Brújula de declinacion.**—La *brújula de declinacion* es un instrumento que sirve para medir la declinacion magnética de un punto del globo cuando se reconoce el meridiano astronómico del mismo. Esta aguja (*fig.* 197) tiene la forma de flecha, y lleva en su centro una pieza cóncava de ágata, la cual se apoya sobre una punta de acero colocada verticalmente, y sus extremidades se mueven sobre un círculo dividido.

Para observar la declinacion en un punto cualquiera del globo, se hace coincidir el diámetro *N S* del círculo dividido con el meridiano astronómico del sitio donde se hace la observacion, ha-

llándose la extremidad *N* en la direccion del Norte, y se observa el arco comprendido entre este punto y la extremidad Norte de la aguja.

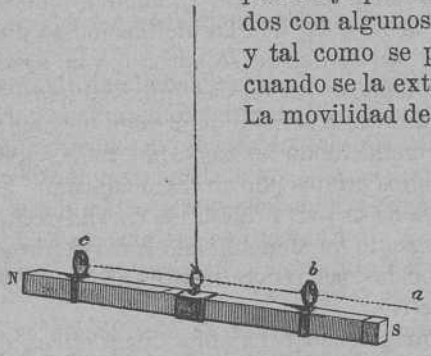
Fig. 197.



Conocido el ángulo de declinacion, se podrá recíprocamente determinar el meridiano astronómico de un punto cualquiera de la tierra, trazando una línea que pase por el centro de la aguja y por aquel punto de la circunferencia de la brújula desde el cual se principian á contar los grados del ángulo de declinacion que se supone conocido. Se comprende que este método no será mas que aproximativo, á causa de las variaciones continuadas que sufre la declinacion.

Las variaciones periódicas y accidentales de la declinacion magnética se estudian mas generalmente por medio de barras de declinacion suspendidas (*fig.* 198) de un punto fijo por medio de manojos formados con algunos hilos de seda sin torsion, y tal como se presenta la fibra de seda cuando se la extrae del coco ó del gusano. La movilidad de las barras de declinacion por esta suspension es muy notable, consiguiéndose además con la lente amplificadora *b*, ver en un plano circular *c* de vidrio la marca invariable que tiene, y con un anteojo colocado á distancia de la barra, el apreciar los cambios mas pequeños en la posicion del declinómetro, bien sean regulares y periódicos, ó bien accidentales; todo lo cual puede estudiarse en las obras mas extensas de la ciencia.

Fig. 198



* 325. **Brújula marina.**—La accion directriz de la tierra sobre la aguja imantada, cuyo conocimiento estaba generalizado en España por los años en que se escribió el Código de las Partidas de D. Alonso el Sabio, presentó en aquel tiempo una aplicacion

importante en la construccion de la *brújula marina*, conocida tambien bajo el nombre de *compás de mar*. Esta consiste en una brújula de declinacion (*fig.* 199), que por señalar aproximadamente los puntos Norte y Sur de la tierra, sirvió y sirve á los marinos para marcar la posicion y direccion geográfica de las naves sobre la superficie de las aguas del mar.

Fig. 199.

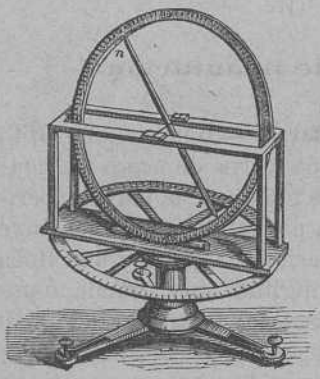
326. **Inclinacion magnética.**—Si se suspende horizontalmente una barra de acero por su centro de gravedad, en cuanto se la imanta desaparece la horizontalidad, observando que en el hemisferio Norte de la tierra desciende el polo Sur de la aguja, y en el hemisferio Sur el polo Norte de aquella, elevándose recíprocamente los polos opuestos. Al ángulo que forma la aguja con el horizonte cuando el plano vertical en que se mueve coincide con el meridiano, se llama *inclinacion magnética*. Norman, en 1576, construyó un instrumento para medir el ángulo de inclinacion magnética, calculando que en aquel año era en Lóndres igual á 71° 50'. La inclinacion se disminuye con las latitudes, ó sea conforme se aproxima la aguja al Ecuador de la tierra, notándose que en las inmediaciones de aquella línea geográfica existe una série de puntos en los cuales la inclinacion es nula, permaneciendo horizontalmente las agujas magnéticas; unidos aquellos puntos por un trazo contínuo, ha resultado sobre la superficie de la tierra una línea curva irregular, la cual el profesor Augusto ha denominado *línea aclínea* ó sin inclinacion, que es conocida mas generalmente bajo la denominacion de *ecuador magnético*.

Como entre el ecuador magnético y los polos magnéticos de la tierra, la inclinacion de la aguja varía entre 0° y 90°, se comprende la posibilidad de trazar paralelos magnéticos sobre los dos hemisferios boreal y austral. En estos paralelos la inclinacion de las agujas será igual marchando de Este á Oeste, por cuya razon algunos las denominan *líneas isoclíneas*, cuya forma irregular sorprende cuando se la compara con las líneas isotérmicas de la tierra, de las que nos ocuparemos en la meteorología.

327. **Variacion de la inclinacion magnética.**—La inclinacion magnética varía entre ciertos límites, como la declinacion en los di-

ferentes lugares de la tierra, presentándose las variaciones seculares, las diurnas, difíciles de reconocer en la inclinacion, y las accidentales. En Madrid, la inclinacion magnética, segun Humboldt, era de 67° 41′ en el año 1800, mientras que en 1853 se halló que era de 61° 22′.

Fig. 200.

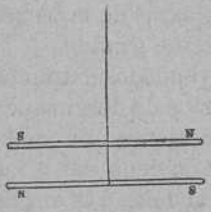


328. **Brújula de inclinacion.**—Este aparato se compone de una aguja imantada cuya longitud es de 12 á 16 pulgadas, y cuyo eje se halla sostenido en dos ágatas. Esta suspension da á la brújula una movilidad extraordinaria en el sentido vertical, midiéndose el ángulo de inclinacion sobre un plano circular cuya posicion no es indiferente, pues para las observaciones con el aparato (*fig.* 200) debe girar aquel plano vertical y el pié de los sostenes de la aguja de inclinacion, hasta colocarse aquel y esta en la direccion del meridiano magnético del lugar donde se verifica la observacion.

El ángulo de la inclinacion magnética se determina directamente por la brújula descrita, con la simple lectura de los grados comprendidos entre el cero y la extremidad superior de la aguja; sin embargo, se rectifica posteriormente por métodos que se hallan descritos en los tratados mas extensos de la ciencia.

329. **Agujas astáticas.**—Importa en muchas ocasiones disponer de agujas magnéticas sobre las cuales la tierra no ejerza accion directriz: á estas agujas se las ha denominado *astáticas*. Por dos métodos diferentes se puede conseguir tener agujas astáticas: 1.° Poniendo una aguja magnética de tal modo que el eje de rotacion corresponda con la línea de inclinacion magnética en el lugar donde la aguja se halle colocada. En este caso, el par magnético terrestre, obrando en la direccion del eje, no puede comunicar á la aguja ninguna direccion determinada. 2.° Superponiendo dos agujas (*fig.* 201) de tal modo que se correspondan por sus polos contrarios, pero reunidas entre sí por medio de un eje invariable. En virtud de este arreglo y colocacion de

Fig. 201.



las agujas, quedan casi destruidas las acciones contrarias de los polos de la tierra, y dispuestas para que actúen en ellas las fuerzas atractivas mas pequeñas.

CAPÍTULO III.

Diferentes métodos de imantacion.

330. **Imantacion por la accion de las barras.** —Hemos dicho (314), que si se pone la extremidad de una barra de acero en contacto con el polo de un iman, el flúido neutro de la barra experimenta poco á poco la descomposicion por influencia, y concluye por presentar, como los imanes ordinarios, dos polos y una línea neutra; pero si la barra tuviese una longitud muy grande, ó poseyera una fuerza coercitiva considerable, la accion del iman cesaria á cierta distancia del punto de contacto. El simple contacto de una barra con un iman desenvuelve poco magnetismo en esta; así es que para obtener una imantacion enérgica, se emplean los métodos siguientes:

331. **Método de simple friccion.**—Este método consiste en hacer correr el polo de un iman sobre la barra que se quiere imantar, y repetir muchas veces las fricciones en una misma direccion. La extremidad de la barra que el iman movible toca en la friccion, adquiere un polo de nombre contrario, y la otra extremidad un polo del mismo nombre. Por este procedimiento no se puede dar á las barras sino una imantacion muy débil, presentando además el inconveniente de producir puntos consecuentes (311).

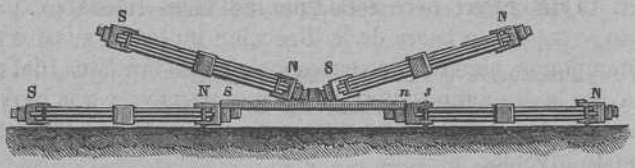
332. **Métodos de contactos separados.**—Este método, adoptado por Knight en Inglaterra en 1745, consiste en aplicar sobre la barra que se trata de imantar los polos contrarios de dos barras fuertemente imantadas, y hacer que marchen verticalmente y separadas desde el medio á los extremos. Cuando han llegado los extremos, se las vuelve á colocar en el medio y se da otra vez principio á las fricciones; continuando estas por ambas caras de la barra, se consigue darla una facultad magnética bastante grande.

Duhamel ha perfeccionado este método apoyando los extremos de la barra que se imanta sobre los polos opuestos de dos imanes fijos, y dando á las barras que verifican las fricciones una inclinacion de 25°, segun representa la *fig.* 202. Conviene dar á las barras un movimiento lento y uniforme, separándolas á la vez de las extremidades de la barra que se imanta. Por este procedimiento

se obtiene la imantacion mas regular, y por lo tanto es el mejor para imantar las agujas de las brújulas.

333. **Método de doble contacto.**—Este método se debe á Michel, y se diferencia del método de Knight en que los dos imanes se co-

Fig. 202.



locan verticalmente en medio de la barra que se trata de imantar, y se les hace deslizar juntos hasta una de las extremidades, luego desde esta hasta la otra, y así sucesivamente, colocando un pequeño trozo de madera entre los dos polos opuestos para evitar su contacto.

Es necesario cuidar de que cada mitad de la barra reciba el mismo número de fricciones, lo que se consigue concluyendo en el medio, y de volver á este punto por la extremidad opuesta á aquella por donde se comenzaron las fricciones.

Æpinus, en 1758, perfeccionó este método, apoyando, como en el método de Duhamel, sobre la barra los polos opuestos de dos barras imantadas, y á las que han de frotar las da solamente una inclinacion de 15 á 20 grados. Este procedimiento se emplea principalmente para obtener los imanes mas vigorosos, pero tiene el inconveniente de producir una imantacion menos regular, dándose orígen á puntos consecuentes. En los diferentes métodos de imantacion referidos, son suficientes 17 ó 18 pases ó fricciones para conseguir aquella, y otros tantos con los polos contrarios para desimantar las barras ó brújulas.

334. **Imantacion por la accion de la tierra.**—La accion de la tierra sobre las sustancias magnéticas es comparable á la de los imanes. El magnetismo terrestre tiende constantemente á separar los dos flúidos que se hallan en el estado neutro en el hierro dulce y en el acero; pero en este último cuerpo la fuerza coercitiva es mas grande, y la accion de la tierra es insuficiente para producir la imantacion. No sucede así con las barras de hierro dulce, sobre todo si se las coloca en la direccion del meridiano magnético del globo y paralelamente á la inclinacion de la aguja imantada. Cuan-

do se halla en esta posicion una barra de hierro, si se aproxima una aguja imantada á los extremos de aquella, se reconocerá que los dos flúidos han sido separados, atrayendo la extremidad inferior de la barra el polo boreal de la aguja, y repeliéndole la extremidad superior, resultando la barra de hierro dulce imantada por la accion de la tierra; de donde se infiere que sus flúidos se han dispuesto como si la citada barra se hallase en contacto con el polo boreal de un iman; pero esta imantacion es inestable, pues en cuanto se separa la barra de la direccion indicada, sus dos flúidos se recomponen, siendo esta recomposicion instantánea, del mismo modo que la descomposicion; así es que basta volver la barra para hacerla perder el flúido que poseia y para obtenerla imantada de un modo inverso.

Para dar á las barras de hierro dulce una fuerza coercitiva sensible mientras que están bajo la influencia de la tierra y en la direccion indicada, se las somete á una fuerte torsion, y se las da golpes con un martillo en cualquiera de sus extremidades. Sin embargo, la fuerza coercitiva desenvuelta de este modo es muy débil, y pronto se pierde completamente.

Por la influencia prolongada del magnetismo terrestre se explica la imantacion de los objetos de hierro y acero, porque los hierros ordinarios del comercio poseen una pequeña fuerza coercitiva. La fundicion tiene en general mas fuerza coercitiva.

335. **Saturacion.**—Cualquiera que sea el método que empleemos para imantar una barra de acero, la intensidad magnética que puede adquirir tiene un límite, que depende del templado y de la fuerza de los imanes que se emplean para la imantacion. Este límite se expresa diciendo que la barra está imantada hasta la *saturacion*. Una barra está imantada hasta la saturacion cuando, imantándola de nuevo con imanes mas poderosos que los empleados anteriormente, no adquiere mayor intensidad magnética.

En la intensidad magnética de las barras y de los imanes en general, influye tambien la temperatura; así, cuando se aumenta gradualmente la temperatura de una barra imantada, se disminuye su fuerza coercitiva, si aquella no pasa de ciertos límites; pero si se la somete al calor rojo, no posee despues de su enfriamiento ninguna señal de magnetismo libre, y es necesario, para que recobre las propiedades magnéticas, volverla á templar y someterla á una nueva imantacion. La disminucion de la intensidad magnética por la accion del calor no es instantánea, sino que pasa algun tiempo para que una cantidad dada de calórico produzca la correspondiente recomposicion de los flúidos magnéti-

cos. Kupffer ha demostrado que los cambios de temperatura de la atmósfera producen una variacion en la intensidad magnética, la cual se disminuye cuando se eleva la temperatura, y por el contrario, se aumenta cuando baja aquella. Dicho físico ha formado tablas que establecen las relaciones de las intensidades de una barra imantada á dos temperaturas diferentes, cuyas tablas son muy importantes, y se debe hacer uso de ellas cuando se quiera medir la intensidad magnética del globo en distintos puntos de su superficie, ó en épocas diferentes si la temperatura no es la misma en todas las observaciones.

336. **Manojos magnéticos.**—Los *manojos magnéticos* se componen de barras imantadas reunidas paralelamente por los polos del mismo nombre (*figura* 203). El efecto de un manojo magnético es siempre menor que el de la suma de los efectos de las barras que le forman. Esto es debido, segun los experimentos de Coulomb y de Nobili, á que las barras centrales experimentan una disminucion de flúido magnético por la influencia de las láminas exteriores, y el efecto que se produce es, segun estos físicos, igual al de una barra de iguales dimensiones. Cuando estos haces ó manojos magnéticos se destinan á sostener pesos, se les da la forma de herradura, disponiendo las barras del modo que indica la *fig.* 204.

Fig. 203.

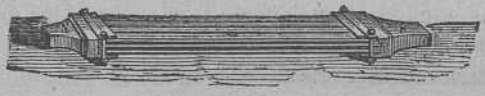


Fig. 204.

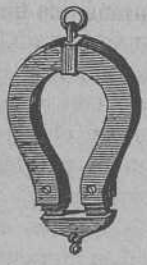
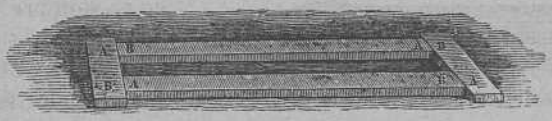


Fig. 205.

337. **Armaduras.**—Cuando se quiere conservar la intensidad magnética de los imanes, tanto de los naturales como de los artificiales, se emplean las *armaduras*, que son unas piezas de hierro dulce aplicadas á los polos, las cuales, imantadas por influencia, aumentan con el tiempo su intensidad magnética é impiden la recomposicion de los dos flúidos. La *figura* 205 representa un iman natural con sus armaduras. Sobre las caras del iman que corresponden á los polos *A B*, se hallan apli-

cadas dos láminas *a* y *b* de hierro dulce, terminadas cada una por un tope macizo sobre el cual se apoya el iman; estas láminas se imantan por influencia, y sus polos están representados por las letras *a* y *b*. La traviesa ó puente *a' b'*, que es de hierro dulce, hace el oficio de una segunda armadura, y sirve además para sostener los pesos con que se carga el iman. Sin armaduras, los imanes naturales son muy débiles; pero armados, sostienen pesos bastante grandes, que se pueden aumentar progresivamente hasta cierto límite, pasado el cual, la traviesa se separa del iman por el exceso de peso, y su fuerza magnética se debilita, no pudiendo sostener la carga primitiva. Para que el iman vuelva á adquirir la fuerza perdida, es necesario cargarle poco á poco durante algunos dias.

Fig. 206.



Para armar los imanes artificiales, se disponen paralelamente en una caja con los polos contrarios vueltos del mismo lado, como se ve en la *fig.* 206, cerrando despues el círculo con dos pequeños prismas de hierro dulce; estos se imantan por influencia, y actúan en las barras como el puente sobre las láminas que forman la armadura del iman natural.

SÉTIMA PARTE.

DE LA ELECTRICIDAD.

CAPÍTULO PRIMERO.

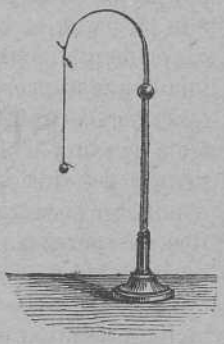
Nociones generales.

338. **Electricidad desarrollada por el frote.**—La *electricidad* reconoce por causa un agente sutil y etéreo que conmueve violentamente, produce multitud de fenómenos muy diversos bajo su influencia, se halla difundido por todo el globo y reside en el interior de todas las sustancias de la tierra. Algunos han conjeturado que la electricidad, á la cual tambien denominan *flúido eléctrico*, no solo existe en nuestro planeta, sino que se halla extendida por todo el universo. Fácilmente podemos reconocer la presencia de la electricidad considerada como causa, observando en ciertas sustancias, tales como el vidrio, la cera, el lacre, la seda y la resina, el fenómeno que las es propio de atraer á los cuerpos ligeros cuando se las frota con un pedazo de paño ó una piel de gato. Esta facultad atractiva desaparece al cabo de cierto tiempo, pero se reproduce frotando de nuevo aquellos cuerpos. Los fenómenos eléctricos se pueden desarrollar por acciones muy diferentes, como la fusion, con particularidad la del azufre, que presenta señales perceptibles de electricidad. La calefaccion del topacio y la turmalina, la presion sobre el espato islándico, el corcho y la goma elástica, el simple contacto entre dos metales diferentes, y con especialidad todas las reacciones químicas, dan orígen á fenómenos eléctricos que comprueban la existencia del agente poderoso que llevamos definido.

La atraccion eléctrica desarrollada en los cuerpos por el frote, no se destruye por la interposicion de otros cuerpos, cualquiera

que sea su naturaleza, lo cual se puede comprobar por medio del *péndulo eléctrico* (*fig.* 206'). Este aparato consiste en una esfera pequeña de médula de saúco suspendida á la extremidad de un hilo de seda; aproximando un cuerpo electrizado á esta esferilla, es atraida, separándose de su posicion de equilibrio; y si se interpone una sustancia cualquiera, por ejemplo, una lámina de cristal, entre el cuerpo electrizado y la esferilla del péndulo, esta continúa siendo atraida, pero con menos intensidad: de cuya experiencia se deduce que la accion del flúido etéreo, causa de los fenómenos eléctricos, penetra y pasa por la materia ponderable con mas ó menos facilidad.

Fig. 206'.



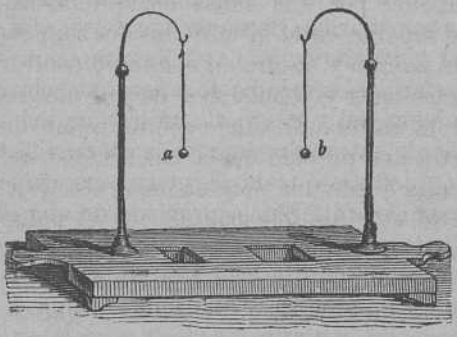
339. **Conductibilidad eléctrica.**—Existen muchos cuerpos, entre los cuales se cuentan los metales, y en general todos los líquidos, excepto los aceites, que no adquieren la facultad de dar signos de electricidad, á no ser que estén aislados; pero estos mismos cuerpos son susceptibles de conducir la electricidad y de propagarla al través de sus masas, por cuya razon se les denomina *conductores* de la electricidad. Para apreciar la diferencia que existe entre los cuerpos *buenos* y *malos conductores*, no hay mas que electrizar simultáneamente dos esferillas de médula de saúco, que la una esté suspendida de un hilo de metal y la otra de un hilo de seda, y se ve que la primera pierde instantáneamente la electricidad que se la ha comunicado, mientras que la segunda conserva la suya durante algun tiempo. Esta diferencia proviene de que el metal, siendo buen conductor del flúido eléctrico, permite al flúido pasar á la tierra; mientras que la seda, no teniendo esta cualidad, se queda la electricidad en la esferilla de médula de saúco. Sin embargo de todo lo expuesto, no debe creerse que existan cuerpos que no opongan algun obstáculo al paso de la electricidad, ni cuerpos que la detengan completamente, pues que los mejores conductores oponen siempre alguna resistencia á la trasmision del flúido, y los malos conductores siempre dejan pasar un poco. El aire y los gases secos son malos conductores; estos últimos se convierten en buenos conductores cuando están húmedos. Este cambio en la conductibilidad se nota cuando en tiempos húmedos se desea producir los fenómenos eléctricos, lo cual no se consigue, porque nuestros aparatos, cuando se hallan

en medio del aire húmedo, que es buen conductor de la electricidad, se apodera del flúido conforme se produce.

Se dice que un cuerpo está *aislado* cuando se halla sostenido por el vidrio, la goma laca y la seda, ú otras sustancias que no dan paso á la electricidad. En este estado seria fácil demostrar experimentalmente que los cuerpos buenos conductores poseen una cantidad proporcional de flúido eléctrico dispuesto á presentarse por la frotacion con las señales que le caracterizan. Si se frota con una piel de gato una esfera de metal aislada por un mango de vidrio, atrae los cuerpos ligeros, porque no siendo conductor el vidrio, impide que los signos eléctricos desarrollados desaparezcan repentinamente, y por consecuencia que la electricidad pase á otros cuerpos.

340. **Electricidades contrarias.**—Los cuerpos electrizados por frotacion presentan un fenómeno notable, del cual pueden deducirse algunas consecuencias relativas á la naturaleza simple ó compuesta de la causa productora de los fenómenos eléctricos. Supongamos dos péndulos de médula de saúco sostenidos por hilos de seda (*fig.* 207); si se aproxima al péndulo *a* un tubo de vidrio fuertemente frotado, la esferilla de médula de saúco es atraida; despues que toca al vidrio, se carga de una porcion de electricidad de este y en el instante es rechazada. Si en seguida se electriza el péndulo *b* y se aproximan las esferillas de saúco de los dos péndulos, se repelerán mútuamente; pero si en lugar de electrizar este péndulo con el vidrio se electriza con una barra de lacre frotado y en seguida se aproximan los dos péndulos, las esferillas de saúco, lejos de repelerse, se atraen. Si, por último, los dos aparatos son electrizados por el lacre, las esferillas se repelen del mismo modo que cuando se hallaban electrizadas por el vidrio. De donde se deduce que la electricidad desarrollada en el vidrio cuando se frota con un pedazo de paño, aunque bajo muchos aspectos es semejante á la que se desarrolla en la frotacion del lacre ó resina, difiere sin embargo muy esencialmente. Por este medio

Fig. 207.



los físicos han podido distinguir dos electricidades: á la primera, ó sea la que se desarrolla por el frotamiento con tejidos de lana sobre el vidrio, se la llama *electricidad vítrea*; á la segunda, ó la que desenvuelve por el frotamiento de los mismos tejidos sobre la resina, se le ha dado el nombre de *electricidad resinosa*.

341. **Hipótesis de los dos flúidos eléctricos.**—Siempre que hay produccion de electricidad por el frotamiento de dos cuerpos, se observa que la naturaleza de la electricidad desarrollada difiere en cada uno de aquellos. Se ha visto que la lana, la piel de gato ó cualquiera otra sustancia de las que se emplean para frotar un cuerpo sólido, se cargaban de electricidad resinosa cuando el cuerpo frotado adquiria la electricidad vítrea é inversamente. Este hecho ha dado lugar á la siguiente hipótesis, ideada por Symmer, y por la cual se han llegado á explicar todos los fenómenos eléctricos. Symmer admite que las dos especies de electridad son producidas por dos flúidos diversos que existen simultáneamente en todos los cuerpos, pero que cuando estos cuerpos se encuentran en su estado natural, permanecen combinados entre sí por su atraccion mútua, formando el *flúido neutro* ó *natural*, cuya existencia no se manifiesta por fenómenos determinados; pero si se rompe el equilibrio, ó en otros términos, si el flúido natural se llega á descomponer por una causa cualquiera, tal como por el rozamiento, se separan en el instante los dos flúidos, acumulándose el uno en un cuerpo y el otro en el cuerpo contrario, dando orígen á las atracciones y repulsiones de que hemos hablado. Así, pues, si se frota un tubo de vidrio con un tejido de lana aislado, el vidrio tomará una porcion de la electricidad del cuerpo frotante, y comunicará á este una porcion de su electricidad resinosa, encontrándose el vidrio electrizado con el flúido vítreo, mientras que el frotante da señales de electricidad resinosa.

Se designa á la electricidad vítrea bajo el nombre de *flúido positivo*, y á la electricidad resinosa bajo el de *flúido negativo*. Estas denominaciones fueron dadas por Franklin, que trató de explicar todos los fenómenos eléctricos en la hipótesis de un solo flúido, el cual se encontraria en los cuerpos, unas veces *por exceso* ó *en mas cantidad*, ó bien *disminuido* ó *por defecto*. Este sistema no se admite en la actualidad, pero se han conservado las denominaciones de flúido positivo (+), á la electricidad de un cuerpo que atrae un péndulo eléctrico cargado del flúido desarrollado en la resina cuando se la frota con un pedazo de paño, y flúido negativo (—), á la electricidad que repele á dicho péndulo.

Aun cuando se pueden explicar con cierta claridad muchos de

los fenómenos de la electricidad estática, bien por la hipótesis de Symmer, ó ya por la de Franklin, en la actualidad se trabaja á fin de dar una explicacion de aquellos fenómenos mas conforme con las nuevas teorías del éter referentes á la luz y el calor. De la Rive ha sustituido las teorías de los dos flúidos de Symmer, y de un solo flúido de Franklin, por la accion y reaccion de cierta fuerza ó actividad que es propia de la materia de los cuerpos pesados, y la cual, al esparcirse sobre el éter, provoca y es causa de los fenómenos eléctricos. Grove y Faraday sostuvieron la opinion de un estado particular de ciertas fuerzas ó energías que se manifiestan como causa con atracciones y repulsiones, cuando aquellas se arreglan ordenadamente en ciertas direcciones en la superficie é interior de las masas de los cuerpos. Mientras que en estos últimos años, el padre Secchi sostiene, fundándose en los movimientos ondulares del éter, condensándose y enrareciéndose sus ondas, que por estos se podrian explicar todos los fenómenos eléctricos conocidos hasta la actualidad.

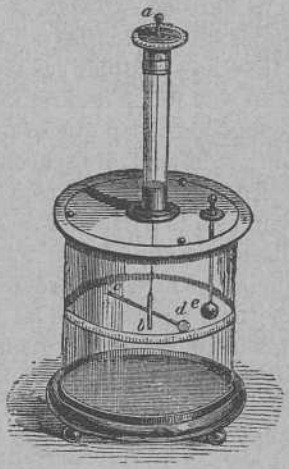
CAPÍTULO II.

Medidas de las fuerzas eléctricas.

342. **Balanza de Coulomb.**—La resistencia que oponen las moléculas de los cuerpos elásticos á separarse de su posicion de equilibrio estable, se demuestra en mecánica que es proporcional á las fuerzas empleadas para originar el cambio de posicion molecular en aquellos cuerpos. Coulomb, Michel y Cavendish aplicaron esta ley de la elasticidad por torsion en los hilos de los péndulos elásticos, para medir y determinar las leyes de las fuerzas atractivas y repulsivas infinitamente pequeñas ó casi inapreciables que existen en la naturaleza. Pero, como llevamos expuesto, los primeros fenómenos que presenta la electricidad desarrollada por el frote, consisten en las atracciones y repulsiones que ejercen los cuerpos electrizados sobre los que son ligeros ó muy movibles, cuyo flúido se halla en estado quiescente ó neutro. Fundándose en lo expuesto anteriormente, Coulomb construyó su electrómetro ó balanza de torsion para apreciar dichas atracciones ó repulsiones, y se sirvió de un péndulo elástico construido con hilos de seda sin torsion ó con alambres finos de platino ó de plata recocida. La extremidad superior del hilo en la balanza

de Coulomb (*fig.* 208), se fija en una pinza *a*, teniendo pendiente del extremo *b* una aguja *c d* de goma laca, poco pesada, de 8 á 10 centímetros de largo, quedando de este modo constituido un verdadero péndulo elástico, cuyas amplitudes de oscilacion ó ángulos de torsion del hilo se aprecian en una escala circular graduada desde 0° á 360°. A la extremidad de la aguja suspendida puso Coulomb una esfera de médula de saúco, y para que el aire ambiente no agitase el péndulo, colocó á este en un ancho cilindro de vidrio, cubriendo el hilo de torsion con otro cilindro de vidrio, mas estrecho, que se halla fijo á la tapa ó cubierta plana que cierra el cilindro de la balanza por su parte superior. Para reconocer y llevar siempre el hilo á la posicion en que se hallaba completamente destorcido, puso Coulomb en el extremo *a* de la pinza, que es movible alrededor de su eje, un índice ó aguja cuya punta se apoya en las divisiones de una circunferencia graduada en un plano circular que forma el *micrómetro* del aparato. Cuando el hilo se presenta sin torsion, el índice del micrómetro corresponde con el cero de las divisiones de este; y es evidente que el giro de aquel índice, por hallarse unido al hilo, supondria en el grado 15 un valor angular de torsion en el hilo de 15°, y sucesivamente de 180° y de 360° cuando el índice hubiera recorrido media ó una circunferencia.

Fig. 208.



Coulomb observó que los experimentos con la balanza de torsion no daban resultados exactos cuando el tiempo estaba húmedo, y recomienda el desecar préviamente el aire de la capacidad de la balanza, colocando en el interior del cilindro ancho una sustancia que absorba la humedad, tal como el cloruro de calcio.

343. **Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.**—Las atracciones y repulsiones eléctricas de que anteriormente hemos hablado, se hallan sometidas á las dos leyes siguientes: 1.ª Las atracciones y repulsiones eléctricas están en razon inversa del cuadrado de la distancia que media entre los cuerpos electrizados. 2.ª Dichas atracciones y repulsiones son proporcionales á las cantidades de que están cargados los cuerpos. En 1785, de-

mostró Coulomb estas dos leyes por una série de experimentos con su balanza eléctrica.

Para demostrar la primera ley, se electriza la esfera de saúco del péndulo elástico de la balanza de Coulomb con otra esfera metálica *e*, fija al extremo de una varilla de cristal, y se observa que la extremidad de la aguja de goma laca que se hallaba en el cero de la escala horizontal antes de su contacto con la esfera electrizada *e*, es repelida hasta el grado 36. Torcido el hilo por medio del micrómetro por un arco de 126°, la extremidad de la aguja se aproxima á la esfera electrizada *e* hasta los 18°. Retorcido el hilo por una circunferencia entera mas 207°, ó sea por 567°, las dos esferas se aproximarán á 9°. Tales fueron los experimentos de Coulomb, verificados durante dos minutos de tiempo, para evitar con la rapidez que las pérdidas de la electricidad afectasen á los resultados é impidiesen la demostracion experimental de la ley de las repulsiones eléctricas anunciadas antes de Coulomb por Stanhope en 1779.

Los cálculos posteriores del célebre físico francés son sumamente sencillos, contando con un dato que es el de la fuerza que se necesita emplear en la esfera extrema de la aguja de goma laca para torcer el hilo de la balanza, de modo que el índice del micrómetro recorra una circunferencia desde el cero de su graduacion. Aquella fuerza la calculó Coulomb igual al peso de $\frac{1}{340}$ de grano. De aquí se deduce que la fuerza de repulsion á 36° de torsion del hilo en el primer experimento, corresponde á una fuerza diez veces menor, ó $\frac{1}{3400}$ de grano. Pero en el segundo experimento, el ángulo de torsion es de 126°, de lo cual se infiere que la fuerza de torsion corresponde á los 126 mas 18°, ó sean 144°, cuatro veces mayor que la torsion representada por el arco de 36°, é igual á $4 \times \frac{1}{3400}$ En el tercer experimento, la torsion fué de 567°+9°, igual á 576°, cuatro veces 144°, ó sea cuatro veces mayor que en el segundo experimento. Si tomamos como unidad de comparacion la primera fuerza de repulsion, tendríamos:

Primer experimento: fuerza de repulsion á 36° de distancia=1.

Segundo experimento: fuerza de repulsion á 18° de distancia=4.

Tercer experimento: fuerza de repulsion á 9° de distancia=4×4=16.

Luego la fuerza de repulsion eléctrica entre dos cuerpos obra en razon inversa de los cuadrados de la distancia.

De la misma manera se puede determinar la ley de las atracciones, para lo cual no habrá mas que dar electricidades contrarias á la esfera metálica y á la médula de saúco del péndulo elástico.

Para demostrar que las atracciones y repulsiones eléctricas son proporcionales á las cantidades de electricidad acumuladas en los cuerpos, se electriza la esfera metálica *e*, observando la repulsion de la aguja *c d*; se toca despues la esfera metálica con otra esfera igual en su estado natural, y la electricidad de la esfera *e* se divide entre las dos, en cuyo estado la fuerza repulsiva es solo la mitad de la primitiva. Si despues, por otro contacto, se quita á la esfera *e* la mitad de la electricidad que la queda, entonces la repulsion se reduce á una cuarta parte, y así sucesivamente; con lo cual queda demostrada la segunda ley.

Para verificar con mas comodidad los experimentos de Coulomb, Harris modificó la *balanza de torsion*; y por último, Œrsted y Delman, en 1841, la han vuelto á modificar, consiguiéndose electrómetros de mas sensibilidad para apreciar la presencia de la electricidad en cantidades que podrian considerarse como infinitamente pequeñas.

344. **Distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos.**— El flúido eléctrico que pasa libremente á un cuerpo conductor, reacciona sobre sí mismo á consecuencia de la fuerza repulsiva y tiende siempre á esparcirse, hasta que encuentra un obstáculo que lo impida. Por esta razon la electricidad posee una tendencia en virtud de la que abandona el centro de los cuerpos en los cuales se encuentra para dirigirse á la superficie, y de esta se escaparia si no encontrase un obstáculo que se opusiera á su marcha. Este obstáculo es el aire atmosférico, que por efecto de su mala conductibilidad eléctrica y de su fuerza de presion, se opone á que el flúido eléctrico abandone el cuerpo, quedando, por consiguiente, acumulado en la superficie. Si los cuerpos que se electrizan, en lugar de estar en el aire se hallasen en el vacío, el flúido eléctrico los abandonaria á medida que fuese llegando á la superficie de aquellos.

La distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos, ha sido demostrada por Coulomb por medio del experimento siguiente: Se toma una esfera hueca de metal (*fig.* 209), aislada por un pié de vidrio, provista en su parte superior de una abertura circular; se electriza la esfera poniéndola en contacto con un

orígen eléctrico, y tocando sucesivamente el interior y el exterior de este aparato con un *plano de prueba* (1), se observa que en el exterior de la esfera electrizada toma el plano de prueba suficiente cantidad de electricidad para atraer sensiblemente la esferilla de saúco del péndulo eléctrico, lo cual no sucede cuando se toca la superficie interior con el referido plano de prueba.

Fig. 209.

Los mismos fenómenos se notan sobre los cuerpos conductores, cualesquiera que estos sean; de donde se deduce que el flúido eléctrico existe sobre un conductor electrizado como si formara una capa de espesor mucho menor que la hoja metálica mas delgada que se pueda obtener por el arte, y como si el flúido se hallase retenido sobre la superficie exterior de los cuerpos por la presion y mala conductibilidad del aire. Se ha dado el nombre de *tension eléctrica* al esfuerzo que hace la electricidad acumulada en la superficie de los cuerpos para abandonarlos.

345. **Influencia de la forma de los cuerpos.**—El espesor de la capa eléctrica sobre una esfera metálica, es el mismo en todos los puntos de su superficie. Así, cuando se electriza una esfera aislada (*fig.* 209), si se toca sucesivamente en diferentes puntos con el plano de prueba, presentándole en cada contacto á la aguja de la balanza de Coulomb, la torsion del hilo es siempre igual, lo cual no sucederia si el plano de prueba tomase cantidades diferentes de electricidad.

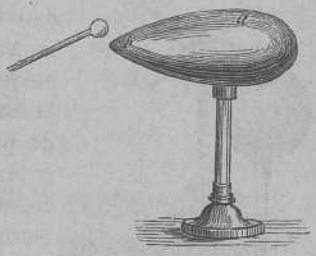
Si el cuerpo electrizado es un elipsóide de revolucion, el espesor de la capa eléctrica se aumenta desde la extremidad del eje menor á la extremidad del eje mayor, siendo en estos puntos proporcional á las magnitudes de los ejes.

La tension del flúido eléctrico varía, segun los cálculos de Poisson, como el cuadrado de su espesor; luego las tensiones eléctricas en los vértices del elipsóide serán entre sí como el cuadrado de los ejes. Si el elipsóide es muy prolongado (*fig.* 210), la tension en la extremidad *b* del eje mayor se aumenta considera-

(1) Se da el nombre de *plano de prueba* á una varilla de vidrio ó de goma laca, que tiene aplicada en una extremidad una esferilla de metal ó una laminita circular de papel dorado.

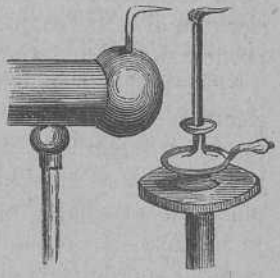
blemente, hasta que llega á hacerse capaz de vencer la resistencia del aire, marchándose por esta extremidad. Para demostrar esto, supongamos que el elipsóide se halla electrizado; si se toca en diferentes puntos con el plano de prueba, poniendo á este en seguida en presencia de la esfera de saúco de la balanza de Coulomb, el máximo de torsion se produce cuando se toca la extremidad *b* del elipsóide, y el mínimo cuando el plano de prueba toca la region media *a*.

Fig. 210.



346. **Facultad de las puntas.**—En los cuerpos conductores terminados por puntas ó ángulos salientes, la tension eléctrica adquiere una intensidad tan grande en aquellas, que superando la resistencia del aire, la electricidad desaparece en la atmósfera á medida que se produce y llega de un orígen eléctrico. A esta propiedad, descubierta por Franklin, se denomina *facultad de las puntas*, la cual es fácil demostrar aproximando una bujía encendida á una punta colocada en el conductor de la máquina eléctrica (*figura* 211): la llama se inclina en la direccion del surtidor eléctrico, llegando hasta apagarse si la cantidad de electricidad que sale es grande y continuada; aproximando la mano á la punta, se siente un ligero viento. Para evitar esta pérdida de electricidad, los conductores en todos los aparatos eléctricos se construyen con formas redondas.

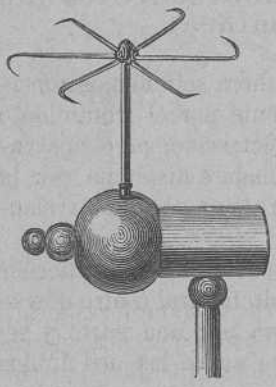
Fig. 211.



347. **Molinete eléctrico.**—Al salir la electricidad por las puntas, produce una fuerza en direccion contraria á su salida, que puede hacerse sensible por medio del aparato conocido con el nombre de *molinete eléctrico*. Este aparato (*fig.* 212) se compone de cinco ó seis varillas metálicas que parten de un centro comun, y cuyos extremos están encorvados en una misma direccion. El aparato se coloca por su centro en un eje metálico que se fija verticalmente al conductor de la máquina eléctrica. Poniendo en accion la máquina, el molinete adquiere un movimiento de rotacion en direccion opuesta á las puntas, no deteniéndose hasta

que la máquina pierde toda su electricidad. La explicacion de este movimiento es muy sencilla: el flúido eléctrico se acumula en las puntas y pasa al aire, cargándose este de la misma clase de electricidad que las puntas, las repele, al propio tiempo que por reaccion él es repelido por ellas. Por esta razon, si el experimento se hace en el vacío, el molinete no se mueve.

Fig. 212.



348. **Pérdidas de la electricidad por el aire.**—Cuando un cuerpo conductor aislado se halla cargado de electricidad, la tension eléctrica sobre su superficie se disminuye gradualmente, cualquiera que sea su forma, concluyendo por hacerse nula trascurrido cierto tiempo. Las causas de esta pérdida lenta de electricidad, provienen: 1.°, de la conductibilidad mayor ó menor de los aisladores que sirven de apoyos; 2.°, de la conductibilidad del aire y de los vapores que envuelven á los cuerpos electrizados; y 3.°, de la naturaleza de los cuerpos y del flúido de que están sobrecargados. En efecto, los conductores electrizados pierden con mas lentitud el flúido eléctrico en el aire seco que en el aire que contiene vapor de agua. Se ha calculado que en los tiempos muy secos, la pérdida de electricidad por el aire es cerca de $\frac{1}{60}$ por minuto, mientras que en los tiempos muy húmedos es de $\frac{1}{10}$ próximamente.

Los cuerpos aisladores con los cuales las pérdidas de la electricidad son pequeñas, pueden colocarse, segun Plaff, en el órden siguiente (observándose que entre aquellos los hay que aislan mejor la electricidad positiva que la negativa, y viceversa): diamante, vidrio, lana, seda, lacre, colofonia (pez griega), ámbar y azufre. Mientras que por la tension eléctrica que pueden adquirir los cuerpos buenos y malos conductores, los coloca Ritter en el órden siguiente: diamante, vidrio, lana, seda, manganeso y azufre.

CAPÍTULO III.

Accion de los cuerpos electrizados sobre los que se hallan en estado natural.

349. **Electricidad por influencia.**—Hasta ahora solo hemos considerado los cuerpos electrizados directamente por el frotamiento ó por el contacto con otro préviamente electrizado; pero nos vamos á ocupar de la electricidad desarrollada á distancia, por la simple aproximacion de un cuerpo que presenta señales de electricidad.

De la hipótesis de los flúidos se prevee lo que debe suceder cuando se aproxima un cuerpo en su estado natural á otro que se encuentra electrizado. La accion, atractiva por una parte y repulsiva por otra, que el flúido libre ejerce sobre los dos flúidos que constituyen el estado neutral, determinará su separacion, atrayendo el flúido de nombre contrario sobre los puntos del conductor mas próximos al cuerpo electrizado, y repeliendo el flúido del mismo nombre hácia los puntos mas distantes del cuerpo. Bajo esta doble influencia, la superficie del conductor se dividirá en dos porciones: la una electrizada positivamente, la otra negativamente, disminuyéndose el espesor de la capa eléctrica y su energía desde las extremidades hasta la zona ó region media del conductor..

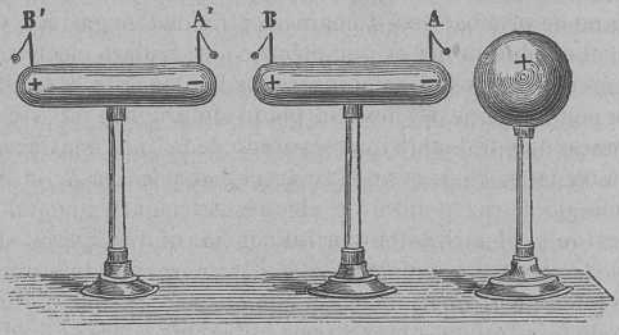
Estas consecuencias de la hipótesis de los dos flúidos pueden comprobarse por los experimentos siguientes: Se toma un cilindro de laton aislado (*fig.* 213), á cuyas extremidades se aplican dos péndulos eléctricos formados de esferillas de saúco suspendidas de hilos conductores; si se aproxima este aparato al cilindro de una máquina eléctrica que se halle cargada de electricidad positiva, ó á una esfera metálica aislada que contenga la misma clase de electricidad, se notará que la extremidad del cilindro mas próxima á la esfera se electriza negativamente, porque la esferilla de saúco del péndulo *A* colocado en esta extremidad, es repelida cuando se la presenta una barra de lacre frotada por un trozo de paño, y la extremidad opuesta se electriza positivamente, lo cual se conoce por ser atraida la esferilla de saúco del péndulo *B* al aproximar la misma barra de lacre frotada; observándose además que, á partir de aquellas extremidades, las electricidades decrecen de intensidad, hasta llegar próximamente á la parte media del cilindro, donde la electricidad se halla neutralizada. A

esta línea, que no divide el cilindro en dos partes iguales, hallándose siempre situada en la parte mas próxima del foco eléctrico, y que cambia de posicion con la distancia del mismo foco, se la da el nombre de *línea neutra*.

Separando la esfera del cilindro, las esferas de los péndulos *A B* se aproximan á la perpendicular á medida que aquella se aleja, desapareciendo todos los efectos eléctricos cuando se ha separado bastante, ó como ordinariamente se dice, cuando el cilindro se halla fuera de la esfera de influencia del cuerpo electrizado.

Un cuerpo electrizado por influencia, actúa á su vez sobre los cuerpos que se hallan dentro de su esfera de atraccion, descomponiendo el flúido natural de los mismos: esto se demuestra colocando uno ó mas cilindros aislados á continuacion del cilindro *A B* (*fig.* 213), y se consigue que en cada uno de ellos se

Fig. 213.



verifique una descomposicion igual de flúido neutro, producida por la electricidad libre acumulada en cada una de las extremidades de los cilindros opuestos al orígen eléctrico.

Todo cuerpo electrizado por influencia presenta los fenómenos siguientes: 1.º En el momento que cesa la influencia, los dos flúidos se combinan, pasando al estado neutro, y el cuerpo no presenta señal alguna de electricidad. Esto se puede demostrar con el primer cilindro de la *figura* 213; para ello basta descargar instantáneamente la esfera aislada, tocándola con el dedo ó con cualquiera otro cuerpo conductor, y desaparece inmediatamente la divergencia de los péndulos *A* y *B*. 2.º Cuando un cuerpo conductor aislado se encuentra electrizado por influencia, y se hace comunicar con el suelo cualquiera de sus puntos, el flúido del

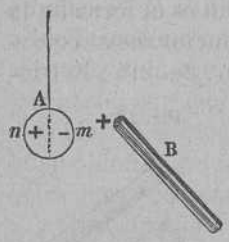
mismo nombre que el del orígen eléctrico se marcha al depósito comun, siendo retenido el flúido de nombre contrario por la atraccion del flúido del primitivo cuerpo electrizado. En efecto, en el cilindro anterior, el flúido negativo es el que permanece en la superficie, bien se toque la extremidad donde existe la electricidad positiva, ó la en que se halla la electricidad negativa. La desaparicion del flúido positivo se concibe fácilmente cuando se le toca por la extremidad positiva, ó en un punto comprendido entre la línea neutra y esta extremidad, puesto que este flúido es repelido indefinidamente por el flúido del orígen eléctrico. Lo que sorprende á primera vista es, que al tocar la extremidad negativa quede el cilindro cargado de la misma electricidad; pero fácilmente se explica esta especie de paradoja, observando que el cuerpo conductor que establece la comunicacion con el suelo, sufre como el cilindro la descomposicion por influencia: su flúido positivo marcha al depósito comun, y el negativo es atraido, pasando al cilindro á neutralizar el positivo. Si en vez de hacer comunicar el cilindro con el suelo, se toca por la extremidad *A* con un plano de prueba; este tomará electricidad negativa, y separando el conductor del orígen eléctrico, se hallará electrizado positivamente, porque al combinarse los flúidos falta la cantidad de flúido negativo que se llevó el plano de prueba, cuya cantidad será tanto mayor cuanto mas separado de la línea neutra se verifique el contacto. Si se toca la extremidad positiva *B*, el cilindro quedará, por la razon anterior, electrizado negativamente. Por los efectos de la electrizacion por influencia, una máquina eléctrica no puede cargarse de electricidad si se aproxima una punta metálica que esté en comunicacion con el suelo; porque el flúido positivo de la máquina, obrando por influencia sobre el flúido natural del conductor terminado en punta, hace que por esta salga una cantidad contínua de electricidad negativa que neutraliza la positiva de la máquina.

350. **Comunicacion de la electricidad á distancia.—Chispa eléctrica.**— Los cuerpos buenos conductores de la electricidad presentan algunas diferencias, y por ellas se pueden explicar ciertos fenómenos muy importantes. Si despues de girar al disco de la máquina eléctrica se aproxima al conductor de la misma un dedo ó cualquier otro cuerpo que conduzca bien la electricidad, se ve en el momento saltar una *chispa*, lo cual no se consigue con un cuerpo mal conductor. Si examinamos con detencion lo que sucede en este experimento, fácilmente se percibe la causa de esta diferencia: en el primer caso, la electricidad positiva acumulada en

el conductor de la máquina, destruye el estado de equilibrio en que se encuentran los dos flúidos combinados en el dedo, cuyo flúido positivo atrae al flúido negativo y rechaza al depósito comun el del mismo nombre; la atraccion que ejercen entre sí ambos flúidos, determina su acumulacion sobre los puntos próximos de los cuerpos que se encuentran en presencia; y si la aproximacion es proporcionada, las dos electricidades contrarias, obedeciendo á su atraccion mútua, se reunen, venciendo la resistencia de la capa de aire que las separa, para formar el flúido natural. En el segundo caso, el flúido natural del cuerpo mal conductor se descompone, pero de un modo insensible, cambiando muy pronto su estado eléctrico; de modo que las electricidades de los dos cuerpos que suponemos próximos, no adquieren una fuerza suficiente para vencer la resistencia del aire. El ruido que se percibe al salir la chispa, es debido á la agitacion brusca del aire en el acto de la recomposicion de los dos flúidos.

351. **Movimiento de los cuerpos electrizados.**—La teoría de la electricidad por influencia sirve para explicar el fenómeno fundamental de la electricidad, ó sea la atraccion de los cuerpos ligeros cuando se les aproxima un cilindro de vidrio ó de lacre frotados. En efecto, sea *A* (*fig.* 214) la esfera de médula de saúco de un péndulo eléctrico, y *B* un cilindro de vidrio electrizado positivamente, que se aproxima al péndulo; la electricidad positiva del vidrio actuará por influencia sobre el flúido neutro del péndulo, atrayendo la electricidad negativa hácia *m*, y repeliendo hácia *n* la positiva. Estas dos electricidades contrarias, que se hallan en cantidades iguales en la esfera *A* por haberse originado de la descomposicion del flúido neutro, no se encuentran repartidas igualmente en su superficie, pues la tension negativa ó resinosa en la extremidad *m* de un diámetro horizontal *m n*, es mayor que la tension positiva ó vítrea en la extremidad *n*. La reaccion eléctrica que se ejerce en todos los puntos de la superficie de la esfera, se encuentra mas disminuida en el punto *n* que en el punto *m*; y la resultante de todas estas acciones que actúan en los puntos *m* y *n*, es una fuerza dirigida en el sentido de *n* á *m*, que solicita el péndulo hácia el cilindro *B* de vidrio.

Fig. 214.



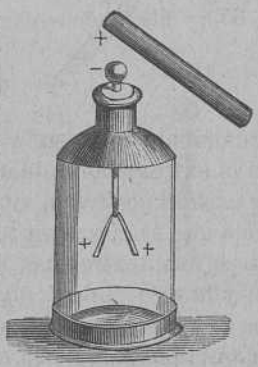
Si el péndulo eléctrico estuviese préviamente electrizado negativamente, la atraccion es mas fuerte. Si está electrizado posi-

tivamente, la resultante de las fuerzas que acabamos de analizar es repulsiva; cuya repulsion, sensible á cierta distancia, se hace mas débil conforme esta se disminuye, cambiándose en atraccion cuando se halla muy próxima. Para explicar esta anomalía, basta observar que el exceso del flúido libre que contiene el cuerpo electrizado, cuando se aproxima á la esfera, tambien electrizada, del mismo flúido, determina la descomposicion de una cantidad de flúido natural de la esfera. El hemisferio *n* recibe una nueva cantidad de flúido positivo, mientras que el hemisferio *m* se carga de flúido negativo, y puede llegar la tension resinosa á ser en *m* mayor que la tension vítrea en *n*; y por el pequeño intervalo que hay entre los dos cuerpos, el movimiento que se observa se convertirá en un efecto de atraccion. Para evitar este fenómeno secundario, se debe acercar progresivamente el cuerpo electrizado á la esfera del péndulo eléctrico, cuando nos propongamos determinar por medio de la repulsion ó atraccion de un péndulo electrizado, el signo de la electricidad acumulada en un cuerpo.

352. **Electróscopos.**—Los *electróscopos* y *electrómetros* son aparatos que se emplean para conocer si un cuerpo está electrizado y la naturaleza de su electricidad. Estos aparatos están fundados en las atracciones y repulsiones que se manifiestan bajo la influencia del flúido eléctrico.

El electróscopo mas sencillo de todos es el péndulo descrito en el párrafo 338. Otro electróscopo muy comun es el formado de dos laminitas de pan de oro pegadas á un conductor metálico colocado en el interior de una campana de vidrio (*fig.* 215). El conductor está sujeto por medio de un mastic resinoso, y terminado en la parte exterior por una esfera de metal; los panes de oro se separan cuando está electrizado el aparato, divergiendo tanto mas cuanto mas fuerte es la carga. Poniendo enfrente de las dos láminas de pan de oro dos alambres de laton que terminen en unas esferitas, ó dos láminas de estaño que se comuniquen con el fondo de la campana, que tambien es metálico, la electricidad desarrollada por influencia en estos nuevos conductores reacciona sobre las láminas y aumenta su divergencia. En algunos electróscopos se sustituyen los panes de oro por hilos metálicos muy finos que llevan en sus extremidades inferiores esferas

Fig. 215.



de médula de saúco, ó por unas pajas adheridas al conductor fijo por medio de anillos metálicos.

Estos electróscopos nos darán á conocer la especie de electricidad desarrollada en un cuerpo, si se tiene el cuidado de cargarlos préviamente de una electricidad conocida. Si los panes de oro divergen entre sí á la aproximacion de un cuerpo electrizado, este y los panes de oro se hallan cargados de la misma electricidad; pero si los referidos panes se aproximan el uno al otro, la electricidad del cuerpo es de nombre contrario. Esta prueba debe hacerse con las mismas precauciones que con el péndulo de médula de saúco (351), puesto que la aproximacion de las láminas puede cambiarse en repulsion si se acerca repentinamente el cuerpo electrizado á la esfera del electróscopo.

Para cargar el electróscopo se aproxima á la esfera un cilindro de vidrio ó una barra de lacre electrizados, tocando al mismo tiempo la esfera del aparato con el dedo, el que se separa antes que cese la influencia de la electricidad del cilindro, con lo cual se consigue que el flúido del mismo nombre que el del cilindro marche al depósito comun, quedando el aparato con el flúido de nombre contrario, y las láminas divergen cuando el electróscopo se separa de la influencia del cuerpo electrizado.

El electróscopo que se acaba de describir, y todos los indicados, son mas sensibles que el péndulo eléctrico y conservan por mas tiempo la electricidad que se les comunica. Si el tiempo está húmedo, conviene desecar el aire del interior del aparato, poniendo cloruro de calcio ó alguna otra sustancia higrométrica; sin esta precaucion no se podrán hacer experimentos comparables con los aparatos referidos.

353. **Electrómetro de cuadrante.**—Recibe este nombre un péndulo eléctrico que se emplea para medir la tension que la electricidad adquiere en algunos aparatos eléctricos. Este instrumento (*fig.* 216) consiste en un pié de madera *a*, que tiene fijo un cuadrante de marfil *b*, en el centro del cual se halla un eje sobre el que gira una aguja de barba de ballena, terminada por una esfera de médula de saúco. Para usar este electrómetro, se fija en el aparato eléctrico, y á medida que este se carga de electricidad, la esferilla se separa de la vertical, deteniéndose cuando la electricidad acumulada, por ejemplo, en los conductores de una máquina eléctrica, llega á su máxima tension.

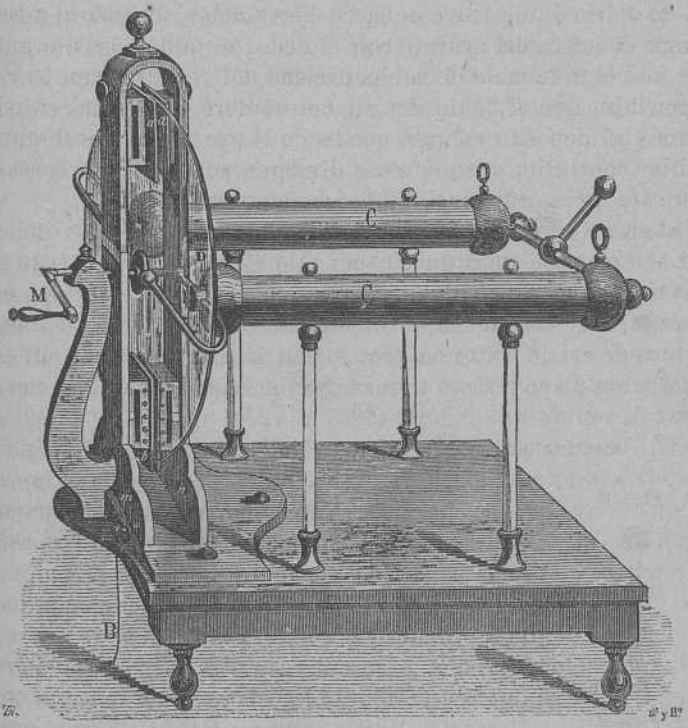
Fig. 216.

Máquinas eléctricas.

354. **Máquina eléctrica de disco.**—Hemos visto en el párrafo 338, que basta frotar ciertos cuerpos con un pedazo de paño para que se electricen: por este medio se han podido producir los fenómenos de las atracciones y repulsiones, y algunas veces ligeras chispas. Para hacer mas perceptibles estos efectos eléctricos, era necesario que el frotamiento se verificase sobre una superficie extensa, lo cual se consigue con la *máquina eléctrica*; aparato fundado en la electricidad de los cuerpos por el frotamiento y en la electrizacion por influencia.

La construccion de la primera máquina eléctrica se atribuye á

Fig. 217.



Otto de Guericke, y modificada por Ramsden ha recibido el nombre de *máquina eléctrica de disco* (*fig.* 217). Este aparato, como su nombre indica, se compone de un disco de vidrio *D*, fijo por su centro á un eje que se hace girar por medio de un manubrio *M*.

El disco, en su rotacion, se frota contra cuatro almohadillas *a a' b b'* de cuero ó de seda, rellenas de cerda y colocadas en los montantes *m n* que sostienen el eje del disco, las cuales se comunican con el suelo por medio de los segundos y una cadenilla metálica *B*. Delante del disco hay dos cilindros huecos de laton *C C*, llamados *conductores*, unidos por otro tercer cilindro de menor diámetro, y sostenidos por columnas de vidrio barnizadas con una disolucion de goma laca en alcohol. Los conductores tienen en sus extremidades mas próximas al disco dos arcos metálicos, que le abrazan y le presentan algunas puntas en forma de peines.

Cuando gira el disco, el frotamiento del vidrio con las almohadillas desarrolla las dos especies de electricidad: la positiva se queda en la superficie del vidrio, y la negativa pasa por las almohadillas y los montantes al depósito comun. El flúido positivo contenido en el disco descompone por influencia la electricidad natural de los conductores, atrae hácia sí al flúido negativo, que pasa á la extremidad del conductor mas próxima al disco, y se escapa por las puntas, acumulándose en el cristal para constituir de nuevo el flúido natural, quedando en los conductores el flúido positivo, que se aumenta hasta que adquiere la suficiente energía para superar la resistencia del aire, de modo que si se aproxima el dedo á los conductores, saltará una chispa.

Los efectos y las cantidades de electricidad que se producen en las máquinas eléctricas ordinarias, dependen: 1.°, de la naturaleza y composicion del vidrio del disco; los mejores discos para las máquinas eléctricas son los mas blancos, trasparentes, duros, sin lunares, y que contengan la mayor cantidad posible de sílice; 2.°, á estas condiciones debe añadirse que los conductores sobre los cuales ha de acumularse la electricidad presenten una superficie igualmente bruñida, de borde redondeado, y se hallen aislados convenientemente, para evitar las pérdidas de la electricidad; 3.°, se deben disponer las almohadillas donde se verifica el frote con superficie ancha, acomodándose al plano de vidrio, y para que la electricidad natural del disco se descomponga con rapidez, se cubren las almohadillas con *oro musivo*, ó con una amalgama compuesta de 2 partes de estaño, 3 de zinc y 4 de mercurio (1), finamente pulverizada y mezclada con un poco de man-

(1) Se prepara la amalgama de estaño y zinc fundiendo primero el zinc y añadiendo despues el estaño; é inmediatamente que la mezcla está fundida, se la agita por algun tiempo, trasladándola á una caja de madera que tenga el mercurio caliente, la que se agita con rapidez hasta que la amalgama se enfrie, y despues se pulveriza.

teca comun. Si se hace uso de esta amalgama para frotar las almohadillas de la máquina eléctrica, se consiguen mejores resultados cubriendo además la amalgama con una tela de seda, para evitar de este modo que se raye el vidrio, lo cual inutilizaria la máquina con mucha prontitud.

Cuando hace algun tiempo que no se ha usado una máquina eléctrica, antes de ponerla de nuevo en accion, debe limpiarse con cuidado toda ella, separando de las almohadillas la amalgama ú oro musivo que ya sirvió, para reemplazar aquellos compuestos con otros. Los piés aisladores de los conductores deben frotarse con paños secos y calientes, y dependiendo en parte la accion de las máquinas del estado higrométrico de la atmósfera, conviene, como regla general, verificar los experimentos eléctricos cuando el aire está seco. Como el calor contribuye á sostener la actividad de las máquinas, impidiendo que se fije la humedad sobre el vidrio de los discos y piés aisladores, convendrá, durante el invierno, colocar las máquinas á una distancia tal de un foco calorífico, que pueda obrar el calor radiante sobre el vidrio y las almohadillas.

Sin embargo de todo lo expuesto, la tension eléctrica en los conductores de las máquinas eléctricas tiene un límite en el cual queda equilibrado el flúido desarrollado por el frotamiento de los discos con las pérdidas de la electricidad, por la diferente resistencia que opone el aire á la acumulacion de aquel flúido sobre la superficie de los conductores.

Para que las diversas porciones del disco frotadas lleguen delante de los peines del conductor con la electricidad adquirida, se fijan á las almohadillas dos piezas de tafetan engomado, que abrazan dos cuadrantes opuestos en la circunferencia del disco.

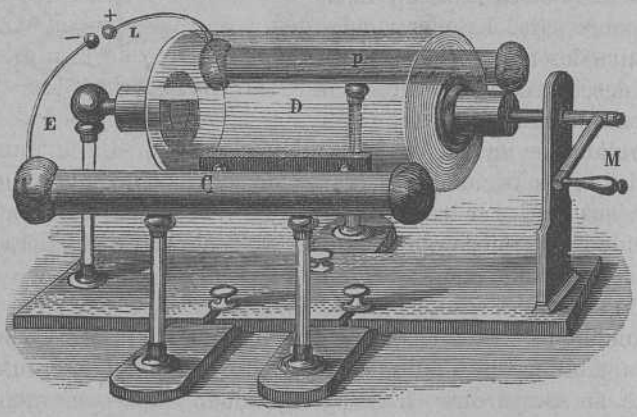
La máquina eléctrica que acabamos de describrir, no produce mas que electricidad positiva; pero si en lugar de esta clase de electricidad se desea acumular en los conductores electricidad negativa, se hará comunicar el disco con el suelo, y las almohadillas con el conductor. En muchas máquinas eléctricas, el conductor es movible, como en la máquina eléctrica de Van-Marum; de manera que se le puede poner á voluntad en comunicacion con el disco ó con las almohadillas; pero en otras, tal como en la de Nairne, se obtienen sucesivamente las dos electricidades.

* 355. **Máquina eléctrica de Nairne.**—Está máquina (*fig.* 218) se compone de dos conductores *C* y *P* aislados, que no se comunican entre sí. El conductor *C* lleva una almohadilla de cuero re-

llenan de crin, frotada con oro musivo, y el otro varias puntas puestas en una línea horizontal al eje del cilindro conductor.

Entre estos dos conductores hay un cilindro de vidrio *D*, que gira por medio del manubrio *M*, cuyo cilindro toca á la almohadilla por un lado, y el opuesto pasa muy cerca de las puntas del otro conductor. El cilindro de vidrio frota sobre la almohadilla, y se electriza negativamente el conductor *C*, y el vidrio positiva-

Fig. 218.



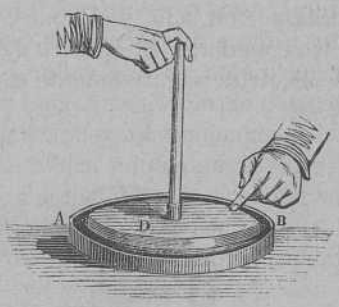
mente. El flúido positivo del cilindro descompone por influencia el flúido natural del conductor *P*; el flúido negativo sale por las puntas y neutraliza el positivo del vidrio, quedando el conductor electrizado positivamente. Si se pone el conductor *P* en comunicacion con el suelo, la máquina se electriza negativamente, y con signo contrario si se hace comunicar con el suelo el conductor *C*. Ahora, si se colocan los dos alambres *E* y *L* terminados por dos esferas de laton que disten algunas líneas, se obtendrá constantemente una série de chispas que provienen de la recomposicion de los flúidos para formar el flúido natural.

Ultimamente, Amstrong ha construido una máquina eléctrica conocida con el nombre de *máquina hidro-eléctrica*, en la cual el vapor de agua, fuertemente comprimido, sale por pequeños orificios, en los que por el frote se originan grandes cantidades de electricidad. Con esta máquina tambien se obtienen á su vez las dos especies de electricidad.

356. **Electróforo.**—El *electróforo* es la máquina eléctrica mas sencilla que se puede construir, preferible á las anteriores en al-

gunas circunstancias. Este aparato se compone de una torta resinosa *A B* (*fig.* 219), colocada en una caja de madera, y de un disco conductor *D*, de metal ó de madera, cubierto de papel de estaño, con un mango aislador. Para obtener electricidad con el electróforo, se separa el disco *D* y se electriza la resina frotándola con una piel de gato bien seca; despues se coloca el disco metálico sobre ella. La electricidad negativa desenvuelta sobre la resina, descompone por influencia la electricidad natural del disco, acumulándose en la superficie inferior la electricidad positiva. Si en este estado levantamos el disco, sus flúidos se recomponen y no se presenta señal alguna del flúido eléctrico; pero si antes de separarle de la resina se le toca con el dedo, el disco se halla cargado de flúido positivo, pudiendo sacar una chispa cuando se le separa de la resina, aproximándole un dedo ó cualquier otro cuerpo conductor. Colocando nuevamente el disco sobre la resina procediendo como anteriormente, se sacará otra chispa, y repitiendo estas operaciones, se obtienen multitud de ellas sin tener que frotar nuevamente la resina, que conserva su electricidad durante algunos meses si se coloca el aparato en un sitio donde el aire esté seco.

Fig. 219.



357. **Máquina eléctrica de dos discos.**—Fundándose en la induccion de un cuerpo préviamente electrizado, como el electróforo, se construyeron á fines del siglo pasado algunas máquinas eléctricas, que en la actualidad han dado orígen, entre otras, á la de Holtz. Se compone esta máquina de dos discos de vidrio barnizados: uno fijo de 50 á 60 centímetros de diámetro, sostenido por piés de vidrio; el otro, un poco menor, que gira por medio de un eje de vidrio que atraviesa una abertura central hecha en el disco anterior. El disco fijo tiene en un mismo diámetro dos aberturas de forma próximamente ovalada, cerradas en parte á lo largo por una tira de papel encolado y dos lengüetas de cartulina cubiertas de hoja de estaño, que constituyen las armaduras de la máquina.

Para que la máquina produzca los efectos, es necesario excitar la electricidad en una de las lengüetas por medio de una lámina de guta-percha electrizada por el frotamiento con una piel de gato ó simplemente con la mano, y se aproxima á la lengüeta

haciendo girar inmediatamente el disco movible. En este caso se provoca la induccion y aparecen las dos armaduras fuertemente electrizadas con flúidos de nombre contrario, que al obrar sobre los peines de dos conductores colocados enfrente de las armaduras, estos se electrizan, y trasmitiéndose los flúidos contrarios á dos esferas metálicas, las que hallándose dispuestas á distancia conveniente, se verá saltar entre ellas una série de chispas con tension extraordinaria. Esta tension puede aumentarse por medio de dos condensadores ó pequeñas botellas de Leyden suspendidas ó en relacion con los conductores de las esferas metálicas. Bertch ha empleado la guta-percha en discos y láminas, ha simplificado las máquinas de Holtz consiguiendo descargas eléctricas mas notables, si bien el fundamento físico de su aparato es el mismo.

Efectos de la electricidad estática.

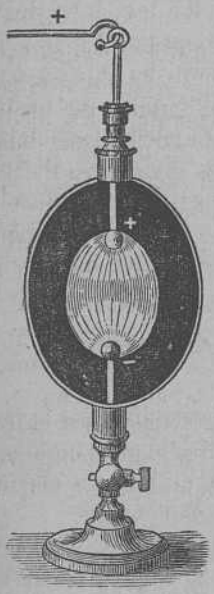
358. **Division de los efectos de la electricidad desarrollada por el frotamiento.**—Los efectos producidos por la electricidad acumulada en los conductores de la máquina eléctrica, se dividen en efectos *luminosos*, *caloríficos*, *químicos*, *mecánicos* y *fisiológicos*.

359. **Efectos luminosos.**—Cuando se neutralizan en su paso por el aire los flúidos positivo y negativo de la electricidad, se presenta generalmente un resplandor ó luz entre los cuerpos electrizados; este fenómeno luminoso adquiere la brillantez de una chispa si la recomposicion del flúido eléctrico se verifica entre dos cuerpos conductores. El brillo de aquella chispa depende en parte de la tension de la electricidad acumulada, y en parte de la naturaleza del gas ó gases por donde pasa. El colorido de la chispa eléctrica cambia tambien con la naturaleza de los conductores, siendo aquella verde cuando el cuerpo electrizado es el oro; roja, si procede de la plata; blanca, saltando del estaño ó del zinc; y amarilla con tendencia á anaranjada, cuando procede del agua.

La forma de las chispas eléctricas varía con la naturaleza de las electricidades; por esto la electricidad positiva que sale por una punta fija á uno de los conductores de la máquina eléctrica, presenta una forma radiada á cierta distancia de la punta, viéndose un solo punto luminoso cuando la electricidad es negativa. Cuanto mas denso es el medio gaseoso al través del cual pasa la chispa eléctrica, y mayor sea la intensidad de la electricidad, tanto mas brillante y mas corta es aquella. Por el contrario, en el aire enrarecido la chispa se alarga, se ensancha y es menos

brillante, presentando tintas purpúreas, y al parecer como difundiéndose en el espacio.

Fig. 220.

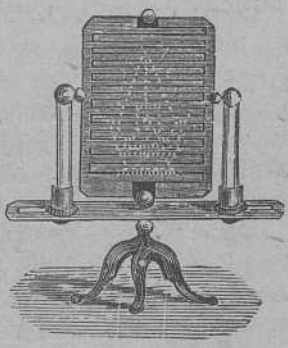


Para estudiar los efectos de la presion del aire sobre la brillantez de la luz eléctrica, se emplea un globo de cristal (*fig.* 220), colocado sobre un pié de laton, provisto de una llave destinada á establecer ó á interceptar la comunicacion entre el interior y el exterior del aparato. Despues de hecho el vacío en el globo, se pone la extremidad de la varilla superior en contacto con la máquina eléctrica, estándolo el pié con el depósito comun: la electricidad pasa de la esfera de esta varilla á la esfera de la varilla inferior, y la luz llena toda la capacidad del globo. Si se deja entrar poco á poco el aire, la tension eléctrica en las esferas se aumenta con la resistencia del aire, y la luz aparece cada vez de menor volúmen y mas brillante. Este experimento se hace en la oscuridad, como todos los que se refieren á la luz eléctrica.

Fig. 221.

Las chispas que salen de la máquina eléctrica son necesariamente intermitentes, porque los conductores se descargan cada vez que la chispa salta. Pero si se dispone una série de conductores separados por pequeños intervalos, se ven pasar las chispas de uno á otro, y aparecen como un efecto contínuo, fundándose en esto la construccion de los *tubos* y *cuadros centelleantes*. Estos aparatos consisten en tubos ó láminas de vidrio (*figs.* 221 y 222) en cuya superficie interior están pegadas pequeñas láminas de talco ó de estaño poco distantes entre sí, terminándose los tubos por dos casquillos de metal con esferas de lo mismo.

Fig. 222.



360. **Efectos caloríficos.**—Colocado un termómetro en el camino

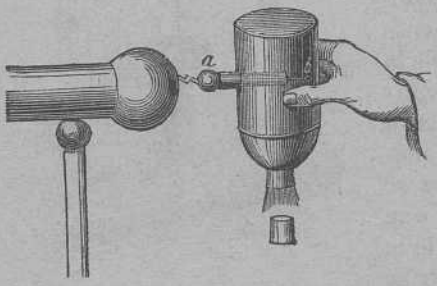
que sigue la chispa eléctrica, no indica un aumento sensible de temperatura; sin embargo, la combinacion de los dos flúidos siempre se verifica originando calor; de aquí el que la chispa eléctrica inflame el éter y el alcohol, cuando atraviesa estos líquidos combustibles.

Los efectos caloríficos de la chispa eléctrica son tanto mas enérgicos cuanto mejores conductores sean los cuerpos que suponemos cargados de electricidad, particularmente si en medio de la masa de los conductores existen cuerpos que no dejen pasar la electricidad, en cuyo supuesto los efectos térmicos son de grande energía en las inmediaciones de aquellos puntos.

361. **Efectos químicos.**—La chispa eléctrica favorece la combinacion de ciertos cuerpos, por ejemplo, la del hidrógeno con el oxígeno y la del hidrógeno con el cloro, y descompone parcial y totalmente algunas combinaciones: el hidrógeno carbonado y el amoniaco lo son totalmente; el ácido carbónico lo es parcialmente, siendo descompuestos tambien los óxidos, tal como el agua, y algunas sales. Los efectos producidos por la electricidad desarrollada por el rozamiento, distan mucho de ser tan enérgicos y variados como los que se originan por la electricidad dinámica, de que muy pronto nos ocuparemos.

Pistolete de Volta. El pistolete de Volta es un aparato que sirve para demostrar los efectos químicos de la chispa eléctrica. Se compone de un vaso de hoja de lata (*fig.* 223), que tiene dentro de su parte inferior una abertura, en la cual se fija un tubo de vidrio pegado con lacre, atravesado por un vástago metálico que se termina por dos esferillas de metal *a* y *b*; la esfera inferior llega hasta cerca de la pared interna del pistolete. Si se llena este aparato con una mezcla detonante formada de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno, tapando en seguida la boca de la vasija con un tapon de corcho, y se aproxima á uno de los conductores de la máquina eléctrica, como representa la figura, la esfera *a* se electriza negativamente por influencia, y la *b* positivamente: saltarán dos chispas, una entre la esfera *a* y los conductores, y otra en el mismo instante entre la

Fig. 223.



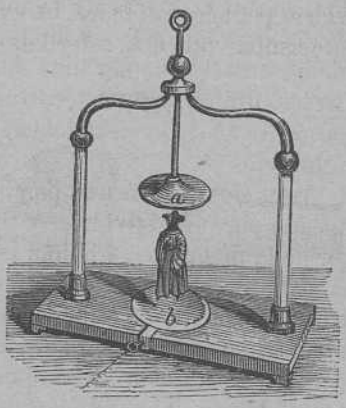
esfera *b* y la pared de la vasija que se comunica con el suelo por la mano que la sostiene; esta segunda chispa determina la combinacion de los dos gases, á cuya combinacion acompaña un desprendimiento de calor tan grande, que el vapor de agua formado adquiere una fuerza expansiva considerable, proyectándose el tapon con gran violencia y la detonacion consiguiente.

362. **Efectos mecánicos.**—El *campanario eléctrico* es una aplicacion de los efectos mecánicos de la electricidad. Este aparato (*fig.* 224) se compone de tres campanillas y de dos esferas metálicas, suspendidas de una varilla de laton; las campanillas extremas están sostenidas por cadenas de metal, y la del centro y las esferas lo están por hilos de seda. Poniendo la varilla en comunicacion con los conductores de la máquina eléctrica, y la campanilla intermedia con el suelo por una cadena de metal, los timbres extremos se electrizan positivamente, atraen las esferillas, y comunicándolas su electricidad, las rechazan en seguida sobre la del centro, que se encuentra cargada de la electricidad negativa por el efecto de la influencia de la electricidad positiva de las otras dos; de esta vuelven á dirigirse á las de los extremos, y tocando alternativamente á las campanillas, producen una série de sonidos que duran mientras los conductores de la máquina se hallen electrizados.

Fig. 224.

La *danza eléctrica* y el *granizo eléctrico* son experimentos recreativos de la física, fundados en los movimientos de vaiven que adquieren los cuerpos ligeros cuando se encuentran colocados entre dos conductores, hallándose uno de ellos contínuamente electrizado. El experimento de la danza eléctrica se hace colocando entre dos platillos de metal *a* y *b* (*fig.* 225) una figura de médula de saúco; el platillo *a* se pone en comunicacion por una cadena con los conductores de la máquina eléctrica, y se electriza positivamente, y por influencia se electriza el platillo inferior y la figura negativamente. Esta es atraida hácia el platillo superior, volviendo á caer despues de haberle tocado; se eleva otra vez,

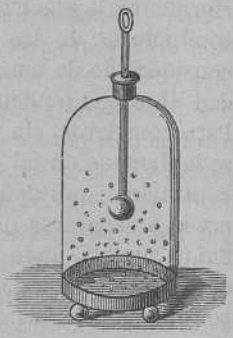
Fig. 225.



cae de nuevo, y ejecuta movimientos que remedan una especie de danza, de donde toma el nombre este experimento.

Para el granizo eléctrico, se toma una campana de vidrio (*fig.* 226) cuyo fondo es de metal y lleva en su parte superior una varilla, tambien metálica, que se termina en una esfera; en el fondo de la campana se ponen esferillas de médula de saúco. Haciendo comunicar la varilla con la máquina eléctrica, la esfera se electriza, atrae las esferillas de médula de saúco, y las repele en seguida; se elevan nuevamente para caer otra vez, cesando este movimiento de ascenso y descenso en cuanto se tocan los conductores de la máquina con el dedo ú otro cuerpo conductor. De este experimento se sirvió Volta para explicar cómo se aumenta el volúmen de los granizos antes de caer en la tierra.

Fig. 226.



363. **Efectos fisiológicos.**—El olor particular que se percibe en las inmediaciones de las máquinas eléctricas en accion, y las conmociones que se experimentan cuando se sacan chispas con el dedo de aquellos aparatos, son efectos fisiológicos bastante perceptibles. Relativamente á las conmociones, no se circunscriben solamente á los puntos donde el flúido se neutraliza, sino que la impresion se extiende mas ó menos por todo el cuerpo del operador, segun la fuerza de la máquina y la sensibilidad de aquel. Por esta propiedad del flúido eléctrico se le ha empleado como medio curativo de algunas enfermedades; y sin embargo de que pareció útil en algunas ocasiones, hoy se hace uso muy limitado en medicina de la electricidad desarrollada por las máquinas ordinarias.

Para electrizar á una persona, se la pone sobre un banquillo aislado por piés de vidrio, y se la hace comunicar con el conductor de la máquina. Si hallándose en este estado se pone en accion la máquina y se presenta un conductor ó el dedo á cualquiera parte del cuerpo de la persona aislada, salta una chispa y siente una conmocion. No aproximando ningun cuerpo conductor á la persona electrizada, esta no experimenta sensacion alguna desagradable, aun cuando lo esté fuertemente; solo se la erizan los cabellos, dirigiéndose hácia los cuerpos que se les presentan, y siente la impresion de un viento ligero y fresco en las manos y cara.

CAPÍTULO IV.

Condensacion de la electricidad.

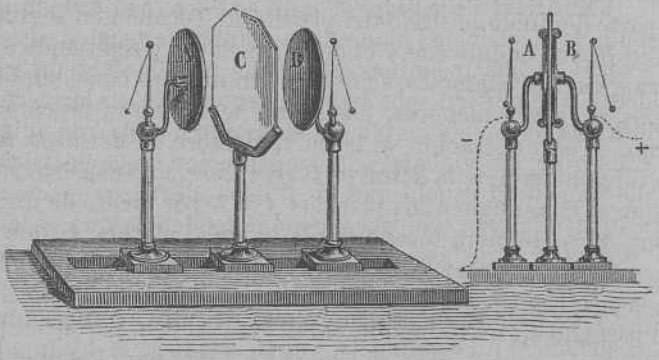
364. **Electricidad disimulada.**—Segun se lleva manifestado anteriormente, la electricidad acumulada con fuerte tension sobre los conductores de las máquinas eléctricas no adquiere un grado considerable de tension, por haberse reconocido en la electricidad libre una tendencia á volver á su estado neutro ó de quietud. Para conseguir, sin embargo, la condensacion de la electricidad, se la dispone en tal estado que los flúidos eléctricos de nombre contrario disminuyan recíprocamente la tendencia que cada uno posee á separarse de los cuerpos donde existe, para formar el flúido neutro. Este estado se obtiene cuando se hallan dos conductores electrizados en presencia uno del otro, pero separados por una sustancia no conductriz, á cuyo estado se le designa bajo el nombre de *electricidad disimulada* ó *latente*, y por este medio se han podido acumular cantidades notables de electricidad.

Los aparatos por medio de los cuales se puede conseguir acumular la electricidad del modo indicado, se denominan *condensadores*. Todos estos aparatos, cualquiera que sea su forma, están fundados en el principio de la electricidad por influencia.

365. **Condensador de Æpinus.** — Este aparato le forman dos platillos metálicos iguales A y B (*fig.* 227), separados por una lámina de vidrio C de mayor diámetro: los platillos están aislados por piés de vidrio colocados sobre una tabla de madera que forma el pié del aparato, de tal modo, que á voluntad se les puede alejar ó acercar á la lámina de vidrio C, que está fija. Para acumular las dos electricidades sobre los dos platillos A y B, se ponen en contacto con la lámina de vidrio (*fig.* 228), y por medio de unas cadenas metálicas se hace comunicar uno de los platillos, por ejemplo el B, con la máquina eléctrica, y el otro con el suelo. Si la máquina se carga de electricidad positiva, el platillo B se electriza positivamente, y actuando sobre el flúido natural del platillo A, le descompone: el flúido positivo marcha al depósito comun, y el negativo es atraido á las inmediaciones del vidrio: el flúido negativo actúa sobre el positivo del platillo B, y neutraliza una parte de su accion; no la neutraliza toda, por impedirlo el espesor de la lámina mala conductora que los separa. Disminuida la tension eléctrica en el platillo B por efecto de la neutralizacion, falta el equilibrio entre la tension eléctrica de este platillo y la de la máquina, lo cual hace

que reciba de esta una nueva cantidad de flúido positivo que actúa, como la primera, sobre el flúido natural del platillo A, y el flúido negativo que resulta de esta nueva descomposicion reobra

Fig. 227. Fig. 228.



como antes sobre el flúido del platillo B para neutralizarle en parte, destruyéndose de nuevo el equilibrio eléctrico: por medio de estas neutralizaciones sucesivas, se consigue condensar sobre el aparato grandes cantidades de electricidad. Al platillo B, que está en contacto con la máquina, se llama *platillo colector*, y al opuesto A se le da el nombre de *platillo condensador*.

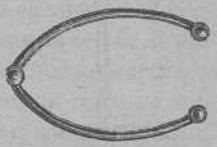
366. **Límite de la acumulacion de la electricidad en el condensador.**— Por lo dicho anteriormente, pudiera creerse que las cantidades de electricidad contraria acumuladas sobre los platillos del condensador podrian aumentarse indefinidamente; pero esto no sucede, pues los flúidos positivo y negativo acumulados llegan á un límite de tension proporcional con la superficie de los condensadores, con el espesor del vidrio y con la resistencia de este último cuerpo, observándose que cuando se vence esta última resistencia por las electricidades acumuladas en ambas superficies del condensador, aquellos flúidos se recomponen al través del vidrio, que puede fundirse, agujerearse y romperse por la chispa eléctrica resultante.

367. **Descarga lenta y descarga instantánea.**—Si despues de cargado el condensador se quitan las cadenas metálicas que hacen comunicar los platillos con la máquina y el suelo, el platillo colector B (*fig.* 228) posee necesariamente cierta cantidad de electricidad libre. En efecto, colocando dos péndulos en los platillos del condensador, se nota que al cargarle, el péndulo colocado en el disco B diverge, mientras que el colocado en el platillo A se mantiene

en la posicion vertical. Pero si se suprimen las comunicaciones del condensador con la máquina y el suelo, y se toca el platillo *B* con el dedo ó con cualquier otro cuerpo conductor, toda la electricidad libre desaparece, y el péndulo cae, separándose inmediatamente el péndulo opuesto. Esta repulsion proviene del flúido negativo que ha quedado libre por consecuencia de la pérdida de una parte de flúido positivo del platillo *B*. Tocando en seguida el platillo *B*, su péndulo cae y el del *A* se eleva; y repitiendo alternativamente los contactos, se obtiene un número considerable de chispas, cada vez menores, hasta que se consigue descargar el aparato. Á esta operacion se la da el nombre de *descarga lenta*, para diferenciarla de la *descarga instantánea*, que consiste en hacer que se comuniquen los platillos *A* y *B* por medio de un conductor. Si se hubiera tocado desde luego al platillo *A*, que es el menos electrizado, no se hubiera sacado chispa alguna, porque toda la electricidad que posee está disimulada por la del platillo *B*; pero pasando algun tiempo tambien las produce, porque el platillo *B* pierde poco á poco su exceso de flúido por el contacto del aire, y concluye por tener una tension igual á la del platillo *A*; y llegando á ser las tensiones de ambos platillos iguales, puede indiferentemente sacarse la chispa de cualquiera de ellos.

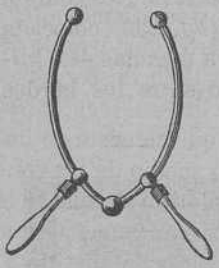
La descarga lenta se verifica sin inconveniente con la mano; pero para la descarga instantánea es necesario emplear el *excitador* (*fig.* 229). Recibe este nombre un instrumento formado de dos brazos metálicos articulados, que se terminan en dos esferas del mismo metal; con una de las esferas se toca uno de los platillos, aproximando la otra al segundo platillo, y en el instante salta una chispa muy fuerte que proviene de la recomposicion de la mayor parte de las dos electricidades contrarias acumuladas en los discos del condensador. En este caso, como la electricidad se dirige siempre por los cuerpos que mejor la conducen, atraviesa por el metal sin que se experimente la menor conmocion, á no ser que la tension del flúido eléctrico sea grande ó el conductor muy delgado, en cuyo supuesto una parte de los dos flúidos pasaria al través del cuerpo del operador, haciéndole experimentar una conmocion que será tanto mas viva cuanto mayor sea la carga del condensador. Para evitar esto, se colocan en los brazos del excitador dos mangos de vidrio (*fig.* 230). Aun cuando á los dos platillos se les haga comunicar entre sí, como se acaba de indicar, las

Fig. 229.



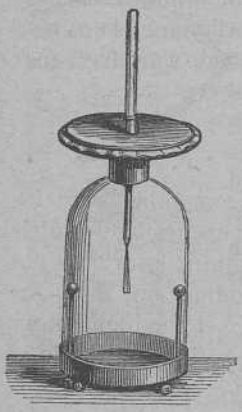
dos electricidades no se neutralizan completamente, pues repitiendo los contactos puede sacarse una segunda chispa muy pequeña respecto de la primera, una tercera mucho menor que la segunda, y otras sucesivamente. Este fenómeno proviene de que los dos flúidos acumulados abandonan en su mayor parte los platillos conductores, adhiriéndose, en virtud de su atraccion recíproca, á las caras de la lámina de vidrio que los separa; pues si toda la electricidad residiese en los platillos, se les descargaria completamente en cuanto se pusieran en comunicacion por medio del excitador.

Fig. 230.



368. **Electrómetro condensador de Volta.**— Una de las aplicaciones mas importantes de la teoría de las electricidades disimuladas, es la construccion del *electrómetro condensador* ideado por Volta. Este aparato (*fig.* 231) es un electróscopo de hojas de oro (352), en el que, con el objeto de hacerle mas sensible, se reemplaza la esfera metálica por un platillo de metal cuya cara superior está cubierta de una capa de barniz ó con tafetan barnizado; á este platillo se sobrepone otro, barnizado por su cara inferior y provisto de un mango de vidrio. Este aparato se destina á reconocer las cantidades mas pequeñas de electricidad, cuando no son perceptibles con el electróscopo ordinario.

Fig. 231.

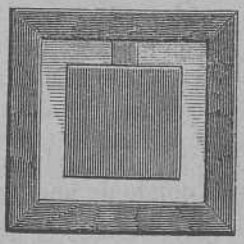


Para descubrir con el electrómetro condensador la presencia de la electricidad en un cuerpo, se hace comunicar al cuerpo con uno de los dos platillos, tocando al propio tiempo con el dedo el otro platillo. La electricidad del cuerpo puesto en contacto se extiende por el platillo colector, y actuando al través de la capa de barniz sobre el otro platillo y sobre la mano, atrae el flúido de nombre diferente, repeliendo al suelo al flúido semejante; los dos flúidos se acumulan sobre los platillos como en el condensador de Æpinus, pero sin que diverjan los panes de oro, por hallarse en estado latente ó disimuladas las dos electricidades. Suprimiendo las comunicaciones, el aparato queda cargado de electricidad, y los

panes de oro no divergen hasta que se separa el platillo superior, en cuyo supuesto cesa la disimulacion, y la electricidad del platillo inferior queda libre, divergiendo las dos láminas de oro del aparato.

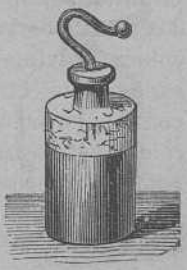
369. **Cuadro fulminante.**—El *cuadro fulminante* es un condensador mas sencillo que el condensador de Æpinus. Con este aparato se obtienen chispas muy vivas y se producen fuertes conmociones; está formado de una lámina de vidrio (*fig.* 232) colocada en un marco de madera, y sobre sus caras lleva pegadas dos hojas de estaño de iguales dimensiones, dejando entre los bordes de estas y los del marco como dos pulgadas de vidrio descubierto; una de las hojas se comunica por una laminita de estaño con el marco de madera, doblándose sobre él, de tal modo, que una persona al cogerle pueda colocar el dedo pulgar sobre ella. Este aparato se carga como el condensador, poniendo la lámina de estaño aislada en contacto de la máquina eléctrica, y la otra en comunicacion con el depósito comun. Para descargarle se aplica una de las esferas del excitador en la laminita de estaño del marco, y la otra esfera en la lámina aislada.

Fig. 232.



370. **Botella de Leyden.**—La *botella de Leyden* fué construida en 1745 por Kleist, canónigo de Canim, en Pomerania, y dada á conocer en 1746 por Muschembroek, Cuneus y Alaman. Es una especie de condensador de lámina de vidrio, destinado á producir los principales efectos de la electricidad. Consiste ordinariamente en un frasco de vidrio (*fig.* 233) lleno de hojas de oro ó de alguna otra sustancia conductora de la electricidad, y revestido el exterior de una hoja de estaño que se eleva hasta una ó dos pulgadas del borde superior; á la boca del frasco se ajusta un tapon de corcho por el cual atraviesa un vástago metálico encorvado en forma de gancho, cuya extremidad interior se termina en una punta, y la exterior en una esfera. Las sustancias conductoras de la electricidad que llenan el frasco forman la *armadura interior* de la botella, y la lámina de estaño que cubre la superficie externa forma la *armadura exterior*.

Fig. 233.



Para evitar toda comunicacion entre las dos armaduras, se

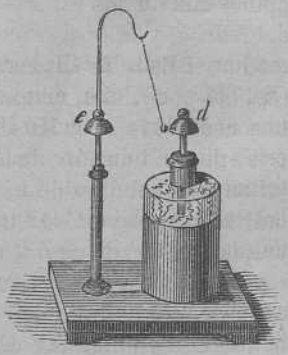
cubre el cuello de la botella con barniz de goma laca ó con una capa de lacre.

La botella de Leyden se carga como el condensador de Æpinus y el cuadro fulminante, haciendo comunicar la armadura interior con la máquina eléctrica, y la otra con el suelo por medio de la mano. El flúido positivo se acumula en el interior de la botella, y actúa al través del vidrio sobre la armadura exterior, descomponiendo su flúido natural; el flúido negativo que proviene de esta descomposicion queda sobre la botella retenido por la atraccion del flúido interior. Se puede igualmente cargar la botella haciendo comunicar la armadura exterior con la máquina y la interior con el suelo, teniendo con la mano el vástago; en este caso, en la parte exterior se hallará el flúido positivo, y en la interior el negativo.

La botella puede descargarse lenta ó repentinamente. Para descargarla instantáneamente, se hacen comunicar sus dos armaduras por un excitador; si se la quiere descargar con lentitud, se la coloca sobre un aislador y se sacan chispas sucesivamente de las dos armaduras.

Con el objeto de hacer mas sensible la descarga lenta, se dispone la botella de Leyden como representa la *figura* 234, y se tiene un campanario eléctrico (351), en el que la campanilla *d* está en contacto con la armadura interna de la botella, sobre la cual se halla colocada, y la *e* está en comunicacion con el suelo por medio de la varilla y columnita metálica que la sostiene. Si despues de cargada la botella se la coloca próxima al péndulo, por el exceso de electricidad positiva que contiene su armadura interna, atraerá el péndulo hácia la campanilla de la botella, el cual será rechazado inmediatamente despues del contacto á la campanilla *e*, y de esta á la *d*, continuando por algunas horas este movimiento si el aire está seco y la botella es de un tamaño regular.

Fig. 234.



Abandonando la botella de Leyden despues de cargada en medio del aire atmosférico, se descarga espontáneamente. La electricidad libre de la armadura interior es la primera que se marcha, disminuyéndose su tension eléctrica, y por consiguiente aumentándose en la armadura exterior. En esta se disminuye

despues hasta que las tensiones eléctricas de las dos armaduras son iguales, desde cuyo momento las pérdidas de electricidad de ambas armaduras se suceden recíproca y simultáneamente hasta la completa desaparicion del flúido eléctrico. Esto es fácil de demostrar poniendo péndulos de médula de saúco en comunicacion con las dos guarniciones, y por su separacion indicarán esta disminucion progresiva de la carga y las modificaciones que experimenta.

371. **Botella de armaduras movibles.**—La botella de armaduras movibles (*fig.* 235) sirve para demostrar que en la botella de Leyden, y en todos los condensadores, las dos electricidades disimuladas se hallan en las superficies del vidrio que separa las dos ar-

Fig. 235.

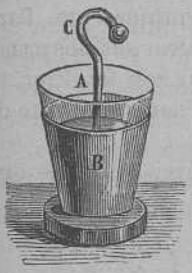
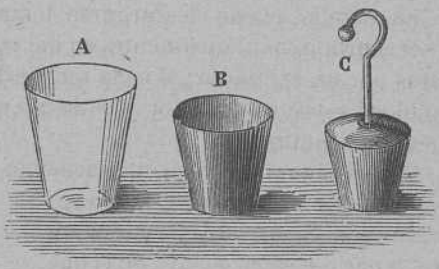


Fig. 236.



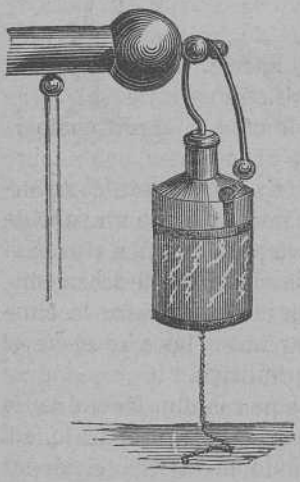
maduras. Esta botella está formada por un vaso cónico de vidrio *A* (*fig.* 236), de una armadura exterior *B* de hoja de lata, y de una armadura interior *C* de la misma materia. Colocadas todas estas piezas unas en otras, como se manifiesta en la *figura* 235, se forma una botella de Leyden completa, la cual se carga como la botella ordinaria. Cuando la botella está cargada, se pone sobre un platillo de resina ó una lámina de vidrio, y se la descompone separando primero la armadura interior por medio de un tubo de cristal encorvado por un extremo, y luego el vaso de vidrio; si hallándose en este estado se tocan con la mano las dos armaduras, se observa que apenas existe en ellas una cantidad apreciable de electricidad; pero volviendo á colocar todas las piezas en su posicion primitiva, y poniendo en comunicacion las armaduras por medio de un excitador, salta una chispa casi tan fuerte como la que se hubiera obtenido antes de descomponer el aparato. La lámina de vidrio es el sitio donde se acumulan las electricidades disimuladas, no sirviendo las armaduras mas que para favorecer la distribucion y la marcha de aquellas al cargar y descargar las botellas.

La condensacion de los flúidos eléctricos en la superficie del vidrio, y la mala conductibilidad de este, explican las descargas secundarias que siguen muchas veces á la principal.

372. **Bocales eléctricos.**—Los bocales eléctricos son grandes botellas de Leyden, de cuello bastante ancho, cuyas armaduras interiores están formadas, como las exteriores, de hojas de estaño pegadas sobre la superficie del vidrio; los tapones están atravesados por un vástago recto de metal, que se termina en la parte exterior por una esfera, y de la extremidad interior cuelga una cadenilla que llega hasta el fondo del bocal, donde se pone en comunicacion con la hoja de estaño que forma la armadura interior.

373. **Efectos producidos por la descarga de la botella de Leyden.**—La chispa eléctrica que salta entre las armaduras de la botella de Leyden, produce efectos luminosos, caloríficos, químicos, mecánicos y fisiológicos de una intensidad mayor que los producidos por la chispa de las máquinas eléctricas ordinarias. En efecto, poniendo en comunicacion por medio de un excitador las armaduras de las botellas de Leyden, salta una chispa muy viva. Al descargar la *botella centelleante*, se obtienen corrientes luminosas de un efecto agradable. Esta botella (*fig.* 237) se diferencia de la botella ordinaria en que la armadura exterior está formada por una capa de barniz, sobre la cual se hallan pegadas limaduras de laton, y en que la parte inferior lleva una banda de papel de estaño, la que se hace comunicar con el suelo por medio de una cadena de metal; en la parte superior tiene otra banda con un pequeño apéndice que dista muy poco de la esfera del vástago encorvado. Para cargar esta botella se suspende de la máquina eléctrica, conforme se indica en la figura, y cuando la tension eléctrica llega á adquirir fuerza suficiente para vencer la resistencia del aire que existe entre el apéndice y la esfera, salta la chispa, presentándose al mismo tiempo las ráfagas luminosas en toda su superficie. M. Masson ha demostrado por los medios fotométricos mas exactos, que la intensidad de la luz eléctrica es proporcional á la cantidad de flúido condensado

Fig. 237



en las armaduras de la botella; mientras que Wheatstone aprecia la duracion de una chispa eléctrica en 0,00000087 de segundo, y la velocidad de los dos flúidos para constituir aquella, capaz de hacer que la electricidad atraviese un conductor con velocidad, si no tan grande, equiparable á las de la luz y el calor en el espacio.

El calor de la chispa eléctrica produce la inflamacion de la pólvora, de la resina, del fósforo, etc.

La chispa de la botella de Leyden se emplea generalmente para verificar la combinacion del oxígeno y del hidrógeno en el eudiómetro, como veremos al estudiar este aparato en los *Elementos de Química*.

La descarga de las botellas dilata los gases repentinamente,

Fig. 239.

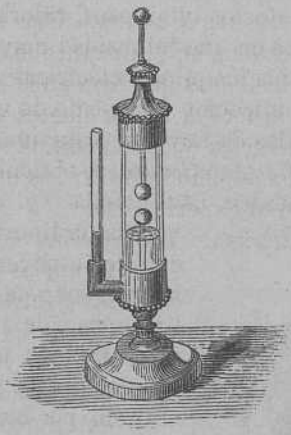


Fig. 240.

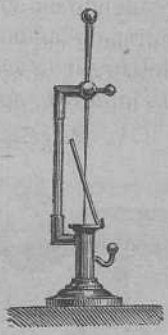
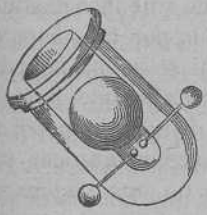


Fig. 238.



como se observa en el *mortero eléctrico* (*fig.* 238), y con el *termómetro de Kinnerstley* (*fig.* 239). En el primero de estos aparatos, la fuerza expansiva del gas lanza una esfera de marfil á una distancia tanto mas lejana cuanto mayor sea la carga de la botella. La dilatacion repentina que experimenta el aire al pasar la chispa de una esfera á otra en el segundo aparato, hace se eleve el agua en el tubo lateral sobre su altura primitiva.

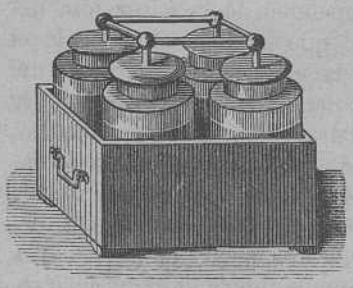
Haciendo pasar la chispa al través de una lámina de vidrio, la taladra sin romperla: una tarjeta es taladrada con mas facilidad. Estos experimentos se ejecutan colocando la lámina entre las puntas de dos varillas metálicas (*fig.* 240) que se comuniquen la una con la armadura interior de la botella, y la otra con la armadura exterior. Cuando la chispa pasa por la tarjeta, queda esta

atravesada por un agujero muy fino, cuyos bordes son filamentosos y rasgados, y semejantes á los que resultarian de una explosion que se verificase en el interior del carton. Además se nota que el agujero se encuentra mas próximo á la punta negativa, y como si la electricidad positiva hubiese arrojado delante de sí á la electricidad negativa: esto parece probar lo que se ha dicho anteriormente, que el flúido negativo atraviesa con mas dificultad el aire que el flúido positivo.

Los efectos fisiológicos producidos por la descarga de la botella, son ordinariamente mas violentos que los que se experimentan cuando se saca una chispa de la máquina eléctrica. Así, tocando con las manos al mismo tiempo las armaduras de la botella que está cargada, se experimenta una viva conmocion ó sacudida, particularmente en las articulaciones. La conmocion pueden sentirla muchas personas á la vez, si se hallan cogidas por las manos formando cadena en el instante mismo en que la primera y la última de las personas que forman la cadena, tocan las armaduras opuestas de la botella. Estos efectos varían segun la intensidad de la carga eléctrica y la sensibilidad de las regiones diferentes del cuerpo, así como tambien segun el temperamento de los que se sometan al experimento.

374. **Baterías eléctricas.**—Las baterías eléctricas (*fig.* 241) están formadas por la reunion de bocales eléctricos, cuyas armaduras interiores se comunican por medio de varillas metálicas formando una sola armadura, y las exteriores por una lámina de estaño que cubre el fondo de la caja en que se encuentran colocadas. Las botellas se cargan como una sola botella de Leyden, poniendo su armadura interior en comunicacion con la máquina eléctrica, y la exterior con el suelo. Conviene, para conocer la carga que poseen las baterías, fijar sobre uno de los bocales el electrómetro de cuadrante.

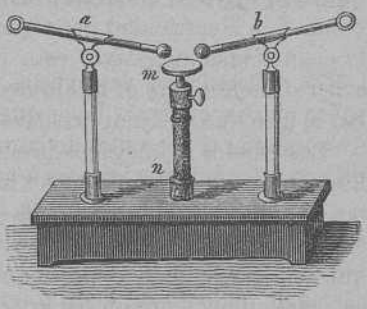
Fig. 241.



Las baterías se descargan poniendo en comunicacion las dos armaduras por medio del excitador de mangos de vidrio, tocando primero la armadura exterior; pero cuando la descarga se ha de verificar al través de los cuerpos, se emplea el *excitador universal* (*fig.* 242). Este aparato se compone de dos varillas *a* y *b* con

articulaciones rotatorias, sostenidas por dos columnas de vidrio; entre estas se halla un pié de madera *m n*, con un platillo *m* de la misma materia, que se le puede fijar á diferentes alturas por un tornillo de presion. Los cuerpos que el flúido eléctrico debe atravesar, se colocan sobre el platillo *m*, apoyándose las esferas metálicas del excitador sobre aquellos; en seguida se pone en comunicacion una varilla con la armadura exterior de la batería por medio de una cadena, y tocando con una esfera del excitador de mangos de vidrio á la otra varilla, se aproxima la otra esfera á la armadura interior, en cuyo momento se notarán todos los efectos de la descarga eléctrica de la batería.

Fig. 242.



Los efectos que la descarga de las baterías produce en la economía animal, son mas enérgicos que los de la botella de Leyden, siendo fácil conseguir que los pájaros y otros animales pequeños mueran cuando se hace pasar por ellos la descarga de una batería de seis bocales regulares.

Si se interpone un hilo metálico entre las ramas del excitador, se observan efectos variables que dependen de la naturaleza del hilo y la cantidad de electricidad de que se dispone. Cuando el hilo es grueso y corto, el paso de la electricidad al través del hilo no produce alteracion sensible; pero si el hilo es delgado, la misma cantidad de electricidad podrá calentarle simplemente, ponerle incandescente ó volatilizarle, segun su naturaleza y diámetro; si es oxidable, los fenómenos de la incandescencia y de la volatilizacion pasan acompañados en el aire de la oxidacion del metal. Así, un hilo delgado de hierro se quema por la descarga de una batería eléctrica y se trasforma en un óxido pulverulento, al paso que un hilo de oro se volatiliza, dejando una impresion de color violado sobre los objetos próximos, fundándose en esta volatilizacion el experimento del retrato de Franklin.

CAPÍTULO V.

Electricidad desarrollada por el calor y por la presion.

375. **Electricidad desenvuelta por el calor.**—El calor, actuando sobre ciertos cuerpos, hace que su flúido quiescente ó neutro se descomponga, presentando cambios físicos muy notables y dando orígen á fenómenos iguales á los estudiados anteriormente.

Los cuerpos que reciben la electricidad para trasmitirla, poseen la propiedad de conducir bien ó mal el flúido eléctrico; pero bajo la influencia del calor, el vidrio, cuando se enrojece, se convierte de malo en un cuerpo buen conductor, y del mismo modo las resinas fundidas, el carbon enrojecido y apagado repentinamente, y en general, segun Faraday, los cuerpos malos conductores, cuando se enrojecen y funden, presentan el mismo fenómeno que el vidrio, respecto á conservar y perder la propiedad de la conductibilidad eléctrica. Algunas excepciones estableció Faraday á la regla anterior; pero la influencia del cambio de estado de los cuerpos por causa del calor sobre la conductibilidad de los mismos, ha quedado plenamente comprobada.

Siguiéndose á la accion del calor diferencias en la conductibilidad eléctrica de los cuerpos, y segun el estudio del calórico, cambios en los arreglos moleculares de la materia, se podrá conjeturar que, si tomamos una cantidad de azufre fundida en un vaso de hierro, y aquel cuerpo se solidifica por enfriamiento, se obtendrán algunas señales eléctricas, pues de buen conductor que es el azufre fundido, presentará la mala conductibilidad que se le reconoce cuando se halla sólido; y como la solidificacion de un cuerpo supone movimientos en las moléculas de los líquidos que han de solidificarse, tendremos que estos movimientos, que á la simple vista dan orígen á la dilatacion ó á la reduccion del volúmen de los cuerpos solidificados, no se verifican sin el rozamiento entre las moléculas que llenan el espacio de un cuerpo; resulta que en el experimento de solidificarse el azufre en un vaso de hierro, podríamos darnos una razon física de porqué el azufre sólido presenta señales de electricidad negativa, quedando el hierro del vaso que contiene el azufre electrizado positivamente durante la solidificacion de este cuerpo.

Un fenómeno eléctrico semejante presentan en la naturaleza otros muchos cuerpos; pero existen dos en los cuales es muy no-

table el fenómeno del desarrollo de la electricidad por causa del calor, y que presentan en unos puntos de su masa la electricidad positiva, mientras que en otros dan señales de electricidad negativa; con la condicion de que, una vez separados aquellos flúidos de nombre contrario en el interior de los cuerpos, los signos exteriores de la electricidad se conservan por muchas horas, dándose á conocer por atracciones y repulsiones sobre los cuerpos ligeros ó sobre los electróscopos conocidos. Uno de los cuerpos que presentan los fenómenos anteriores de una manera notable, es la turmalina.

Lemery fué el primero que estudió en tiempos modernos la atraccion de la turmalina por causa del calor; propiedad que, conocida por Æpinus, la consideró como un efecto del desarrollo posible de la electricidad, y de aquí ha resultado que no solo el azufre, solidificándose, presenta señales de electricidad desarrollada, sino que la turmalina segun aquel físico, la boracita segun Haüy, la axinita, el mesotipo, el silicato de zinc, el topacio y otros muchos cuerpos minerales, cuando se les calienta, presen tan fenómenos eléctricos semejantes á los originados por el frote.

376. **Modo de hacer perceptible la electrizacion de la turmalina.**— Para demostrar la electrizacion de la turmalina por la accion del calor, se la suspende de un hilo de seda sin torsion, colocándola despues en un cilindro de vidrio abierto por sus dos extremidades, el cual se apoya por la extremidad inferior sobre una lámina de metal que se calienta con una lámpara de alcohol. Aproximando un cuerpo débilmente electrizado á los diferentes puntos de la turmalina, se reconocerá la electricidad que esta posee. Se han estudiado por este medio las propiedades eléctricas de las turmalinas, obteniéndose los resultados siguientes:

1.° Los extremos de las turmalinas pueden aparecer, segun Bergman, con electricidades de nombre contrario, ó de un mismo nombre si aquellas no se calientan con igualdad en toda su extension.

2.° Los signos eléctricos de las turmalinas, excitados por el calor, se presentan entre dos límites de temperatura; y segun Becquerel, estos límites son 10° y 150°, pasados los cuales, las turmalinas pierden sus propiedades eléctricas.

3.° La electricidad que se desarrolla por la calefaccion en la turmalina, cambia de nombre en los extremos de aquel mineral cuando se enfria; así, los flúidos son + —en las dos puntas piramidales del mineral cuando se calienta, y durante el tiempo del en-

friamiento las mismas extremidades aparecen con los flúidos— +.

4.° Si permaneciendo á una temperatura constante la extremidad de una turmalina, se enfria ó calienta la otra extremidad, esta adquiere la misma electricidad que si en toda la turmalina cambiase la temperatura.

5.° Si una turmalina electrizada se rompe trasversalmente en dos ó mas pedazos, cada uno de estos posee los dos polos opuestos, del mismo modo que la turmalina entera.

6.° Una turmalina electrizada por la accion del calor no pierde su electricidad por el contacto de los cuerpos conductores. Las turmalinas que mejor se electrizan por el calor son las trasparentes, polarizándose positivamente cuando se enfria el extremo que contiene mayor número de facetas.

7.° Finalmente, se ha observado que no todas las turmalinas poseen la propiedad de electrizarse por la accion del calor, y las que se electrizan lo hacen á temperaturas variables entre los límites indicados.

377. **Electricidad desarrollada por la presion.**—Si el frote, conmoviendo el flúido que existe en las moléculas de la superficie de los cuerpos, y la dilatacion por causa del calor obrando en las moléculas interiores de las masas, dan orígen á fenómenos eléctricos que fueron conocidos de los antiguos en el ámbar y en la turmalina, aunque la causa les fué desconocida, se comprende que la compresion, operacion mecánica tan sencilla, pero no menos enérgica para conmover las moléculas materiales que la frotacion, debia tambien dar orígen á los fenómenos de la electricidad. Si esta conjetura se comprobaba, los fenómenos no pasarian aislados, sino íntimamente relacionados, y de aquí su estudio formaria una verdadera ciencia.

Æpinus fué el primero que comprobó que, comprimiendo dos planos de vidrio sin que tenga lugar la frotacion, presentan señales positivas de los flúidos de nombre diferente, que en el estado quiescente constituyen en el interior de las masas el estado neutro de la electricidad. Haüy halló que otros cuerpos además del vidrio presentan señales de electricidad por la simple compresion, pero en ninguno tan notables como en el espato de Islandia, en cuya sustancia bastaba la presion de los dedos para originar la electricidad, permaneciendo el flúido descompuesto por algunos dias.

Libes y Becquerel continuaron los experimentos de Haüy, demostrando que la presion de los metales sobre cuerpos elásticos, como el tafetan engomado, las cortezas de los frutos, el corcho, el asfalto y otras muchas sustancias, es suficiente para obtener el

desarrollo de la electricidad, semejante, aunque mucho mas débil, que en las máquinas eléctricas ordinarias. El mismo Becquerel demostró que la electricidad se podia desarrollar por la presion ejercida por algunos cuerpos sobre las sustancias semi-flúidas, como las grasas y los aceites densos, comprobando además los siguientes hechos sobre la electricidad por presion:

1.° Que un solo contacto basta en general para desenvolver en los cuerpos una electricidad apreciable al electróscopo.

2.° Que dos cuerpos aislados de igual conductibilidad eléctrica se constituyen siempre por la presion en dos estados eléctricos opuestos, y que la especie de la electricidad adquirida por un cuerpo depende de la naturaleza de aquel contra el cual se oprime: así, un tapon de corcho oprimido sobre el espato de Islandia, se electriza negativamente, mientras que se electriza positivamente cuando se oprime sobre el cobre y otras sustancias.

3.° Si uno de los cuerpos se comunica con la tierra, pierde su electricidad, y solo el otro dará señales de estar electrizado.

4.° El estado de la superficie de los cuerpos influye en la electricidad desarrollada por presion; el espato de Islandia, por ejemplo, que conduce mal la electricidad cuando está pulimentado, se hace buen conductor cuando se halla deslustrado.

5.° La temperatura modifica la naturaleza y signo de la electricidad desenvuelta por la presion; así se observa en el espato de Islandia, el cual se electriza negativamente cuando se le comprime á una temperatura suficientemente elevada.

6.° Por último, la cantidad de electricidad se aumenta proporcionalmente con la presion, no excediendo esta de cierto límite.

Para comprobar todo lo que se deja expuesto, Becquerel recomienda que se formen con las sustancias que se sujetan á los experimentos, discos de algunos milímetros de espesor, aislándolos con mangos de vidrio, por medio de los cuales se oprimen instantáneamente una con otra las diferentes sustancias.

CAPÍTULO VI.

Electricidad voltáica.

378. **Experimento y teoría de Galvani.**—El estado de equilibrio quiescente ó neutro del flúido que llena todos los cuerpos y da orígen á los fenómenos eléctricos, segun hemos visto en los párrafos anteriores, se puede romper, descomponiéndose por el frote, por los cambios de temperatura y por la presion; pero cuando

los fenómenos eléctricos se producen por cualquiera de estas acciones, los experimentos se verifican en general con los cuerpos malos conductores: Galvani y Volta, á fines del siglo último, hallaron que la accion del contacto en los cuerpos buenos conductores era suficiente para destruir el equilibrio en que existe la causa de los fenómenos complicados de la electricidad, á cuya consecuencia llegó Galvani examinando en 1789 la influencia de la electricidad sobre la irritabilidad nerviosa de los animales, y particularmente de la rana. En esta observó, que poniendo en contacto los músculos y los nervios del anca de una rana por medio de un arco metálico, experimentaban dichos órganos convulsiones. El referido físico atribuyó este fenómeno á la existencia de una electricidad particular, que llamó *animal*, comparando además la rana á una botella de Leyden, cuyos músculos y nervios formaban las armaduras, y las capas grasas interpuestas servian de cuerpo aislador, existiendo la electricidad negativa en los músculos y la positiva en los nervios. Esta hipótesis se completó, asegurando que en el momento de la contraccion, el flúido positivo pasaba del nervio al músculo al través del arco conductor, y del músculo al nervio por el cuerpo de la rana. Los físicos del último siglo, para sostener la hipótesis de Galvani, tuvieron necesidad de admitir un nuevo flúido, al cual denominaron *galvánico*, del nombre del primero que habia notado los efectos referidos.

379. **Experimento y teoría de Volta.**—Poco tiempo despues de publicados los experimentos de Galvani, un análisis mas atento de los fenómenos demostró la identidad completa entre la electricidad y el galvanismo. Volta advirtió muy pronto que las convulsiones producidas en los miembros de las ranas, y en general en todos los animales, se manifestaban cuando los nervios y los músculos se ponian en comunicacion por medio de dos metales en contacto.

Esta observacion le condujo á opinar que las convulsiones de las ranas y todos los fenómenos galvánicos se debian á que dos metales, y en general dos sustancias buenas conductoras, se electrizan de un modo diferente cuando se las pone en contacto: efectivamente, por medio de su electrómetro condensador (368) se consigue probar que en el contacto de dos cuerpos heterogéneos, y especialmente de dos metales, se desarrolla electricidad; la experiencia se hace del modo siguiente: despues de bien seco el condensador, se pone una lámina de zinc en contacto del platillo inferior del electrómetro, que es de cobre puro, y se toca al mismo tiempo el platillo superior con el dedo ligeramente hume-

decido; suprimiendo en seguida las comunicaciones, se levanta el platillo superior y las hojas de oro divergen, probándose así que se hallan electrizadas.

Aproximando al aparato una barra de lacre frotada, divergen mas, lo cual prueba que la electricidad de que se hallan cargadas es negativa. De este experimento dedujo Volta que en el contacto del zinc y el cobre se desarrollaba una fuerza que descomponia su flúido natural, acumulándose el flúido positivo en el metal zinc, y el negativo en el cobre. La electricidad desenvuelta por el referido procedimiento del contacto de dos metales diferentes, no puede atribuirse, segun Volta, al frotamiento ni á la presion, porque tocando el platillo del condensador con una lámina de cobre no se obtiene ningun indicio de electricidad.

A la fuerza particular que atribuyó Volta el desarrollo de la electricidad en el contacto de las sustancias heterogéneas, la llamó *fuerza electromotriz*; denominacion que todavía se conserva, y por la cual los cuerpos que por su contacto mútuo desarrollan aquella fuerza, se han denominado *cuerpos electromotores*. Sin embargo, de la Rive ha llegado á demostrar que no es siempre el contacto la causa real de los fenómenos eléctricos, y que el verdadero motivo del desarrollo de estos últimos son las reacciones químicas originadas entre los cuerpos buenos conductores.

Volta observó que las cantidades de electricidad desenvueltas por la fuerza electromotriz no eran las mismas en el contacto de todos los cuerpos, por lo cual los dividió este físico en cuerpos *buenos* y *débilmente electromotores*. A la primera clase corresponden los metales y el carbon perfectamente calcinado; á la segunda pertenecen en general los cuerpos no metálicos. Entre los metales, no son todos igualmente buenos electromotores; el zinc y el cobre son los dos metales mas electromotores. Tambien se ha notado que la especie de electricidad desarrollada cambia con la naturaleza de las sustancias puestas en contacto; el zinc, el hierro, el estaño, el plomo, el bismuto y el antimonio se electrizan positivamente en contacto con el cobre, y en los mismos casos se electrizan negativamente el oro, la plata y el platino. Además, las experiencias han comprobado que la temperatura, el estado de pulimento de las superficies metálicas y la interposicion de algunas sustancias extrañas, aunque la cantidad de estas sea pequeña, cambian notablemente la fuerza electromotriz de los cuerpos. Como ejemplo puede citarse el zinc, cuya fuerza electromotriz para el flúido positivo se hace mucho mas enérgica cuando se le amalgama ó combina con el mercurio.

La fuerza electromotriz se excita por el contacto de los cuerpos sólidos buenos conductores, y además puede excitarse por el contacto de estos cuerpos con los líquidos. Con respecto á la especie de electricidad desarrollada en el contacto de diferentes metales con diversos líquidos, Plaff ha obtenido los siguientes resultados:

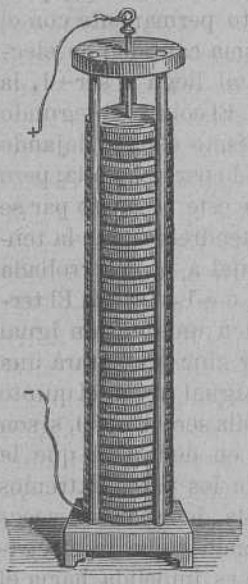
1.° Los líquidos alcalinos, como el amoniaco y la potasa cáustica, desarrollan en los metales la tension eléctrica negativa.

2.° Los ácidos concentrados, como el ácido nítrico y sulfúrico, producen, en contacto con los metales, los efectos contrarios, presentándose electrizados positivamente.

3.° En los ácidos diluidos y en las disoluciones de las sales metálicas la fuerza de la tension eléctrica depende de la naturaleza de los metales.

4.° En muchos líquidos, los metales pueden, con la duracion del tiempo de contacto, presentarse con electricidades de nombre contrario. Berzelius ha demostrado que las mismas acciones dan orígen á los efectos de la fuerza electromotriz cuando se ponen en contacto los metales con algunos cuerpos gaseosos. Entre estos últimos se cita como uno de los mas enérgicos al gas hidrógeno.

Fig. 243.



380. **Pila de Volta.**—Bajo el nombre genérico de *pila*, se comprenden todos los aparatos que sirven para la produccion de la electricidad dinámica. El primer aparato de este género fué inventado por Volta el año 1800. Se compone de dos cuerpos mètálicos buenos electromotores, y otro cuerpo buen conductor y poco electromotor. Los metales que se emplean generalmente en su construccion son el cobre y el zinc, á los cuales se les da el nombre de *elementos* de la pila, mientras que los dos metales reunidos ó soldados reciben el nombre de *par*. El cuerpo conductor es un disco de paño humedecido en agua acidulada con $\frac{1}{60}$ de ácido nítrico y $\frac{1}{40}$ de ácido sulfúrico. Se colocan los pares los unos sobre los otros, separados entre sí por el disco de paño húmedo, segun representa la *figura* 243, cuya

disposicion ha hecho que se dé á este aparato el nombre de *pila de columna.*

Se dice que la pila de columna está *aislada*, cuando el primer par descansa sobre un disco de vidrio ó de resina, que evita el contacto de este con el depósito comun; pero cuando descansa inmediatamente sobre el suelo, se llama *no aislada.* Para hacer comprender la distribucion de la electricidad en la pila, supongamos que se forma una pila no aislada, y que el elemento cobre se halla en comunicacion con el suelo segun la teoría de Volta (379) en virtud de la fuerza electromotriz que tiene lugar entre el zinc y el cobre en el primer par, el elemento zinc se electriza positivamente, y el cobre negativamente, cuya electricidad marcha al depósito comun, conservando el zinc la electricidad positiva con una tension que la supondremos igual á + 1. La fuerza electromotriz se opone á la recomposicion de esta electricidad. El disco de paño húmedo colocado sobre el zinc, deja pasar la electricidad de este último metal sin aumentar la fuerza electromotriz; pero hallándose el zinc del primer par en contacto permanente con el cobre, se desarrollará contínuamente la misma cantidad de electricidad, y mientras la tension de aquel metal llega á ser+1, la electricidad negativa se perderá en el suelo. El cobre del segundo par colocado sobre el paño, producirá el mismo efecto, dejando pasar la electricidad del zinc hácia el segundo par de la pila; pero como en el contacto del cobre y el zinc de este segundo par se desarrolla una nueva fuerza electromotriz, tendremos que la tension en el zinc de este segundo par será igual á la desarrollada en él, mas que la que recibe del primer par, ó +1 +1=+2. El tercer cobre recibe de los pares que le anteceden una tension igual á +2, y por las razones expuestas, el tercer zinc presentará una tension igual á +3, el cuarto una tension igual á +4, el quinto una tension igual á +5, y la tension de la pila será de +50, si son 50 los pares que la forman; deduciéndose en definitiva que la electricidad de una especie se aumenta hácia los pares extremos en progresion aritmética, siendo en una pila de *n* pares *n* veces mayor el último que en el primero; advirtiéndose que la electricidad negativa en nuestro primer supuesto, es impelida hácia el elemento último de cobre, el cual, por hallarse en contacto con el suelo, la deja escapar. Sin embargo, comparando las tensiones eléctricas de los cobres, hallaríamos que siguen, como en los elementos de zinc, una progresion aritmética, pero invertida.

La pila que se acaba de describir se carga solamente de electricidad positiva; si se monta de un modo inverso, ó lo que es lo

mismo, comunicando el zinc con el suelo, entonces solo contendrá electricidad negativa, y en ambos casos la tension eléctrica se aumenta proporcionalmente al número de pares.

La distribucion de la electricidad no es la misma en la pila aislada. Por medio del electrómetro se puede reconocer que la parte media de esta pila no contiene cantidad sensible de electricidad, ó se halla en el estado natural, que cada mitad de la pila; se carga, la una de electricidad positiva y la otra de electricidad negativa, y que la tension de una á otra extremidad, á partir del centro, se aumenta con el número de pares; de modo que la tension eléctrica á cada extremo de una pila aislada, es igual á la de una pila no aislada que solo tuviese la mitad de los elementos de que se compone.

381. **Tension de la pila.**—Se llama *tension* en la pila á la tendencia de la electricidad acumulada en los extremos á desprenderse y á superar la resistencia de los obstáculos que se oponen á su marcha. La tension en los extremos de una pila se aprecia, como en los cuerpos electrizados, por el frotamiento, es decir, por medio del plano de prueba y de la balanza de torsion (341). No se debe confundir la tension de una pila con la cantidad de electricidad que ella puede desarrollar. La tension depende del número de pares, segun los experimentos de Biot, mientras que la cantidad de la electricidad crece con la superficie de los mismos. Cuanto mayor sea la superficie de los pares, mayor será la cantidad de electricidad que circulará por la pila; pero la tension será la misma que la de otra pila de igual número de pares, cuya superficie sea mitad ó cuarta parte. La naturaleza y las dimensiones del conductor húmedo no influyen en la tension de la pila, pero sí sobre la velocidad de propagacion de la electricidad en las diversas partes de ella, pues los líquidos de diferente naturaleza desarrollan en su contacto con los metales una fuerza electromotriz que favorece la marcha de la electricidad y su mayor velocidad al través de los cuerpos conductores.

La tension en los polos de las pilas ordinarias es siempre menor que la que adquiere la electricidad en los conductores de las máquinas eléctricas, y goza de todas las propiedades que esta; atrae los cuerpos ligeros electrizados de un modo diferente, y repele los cuerpos que tienen la misma electricidad. Se puede cargar la botella de Leyden haciendo comunicar la armadura interior con uno de los extremos de la pila, y la armadura externa con el otro extremo, bastando un contacto momentáneo para que el aparato adquiera la tension máxima; pero esta carga

es siempre menor que la obtenida por la máquina eléctrica.

382. **Polos, electrodos y corrientes de la pila.**—A las dos extremidades de la pila se les da el nombre de *polos*, llamando *polo positivo* la extremidad donde tiende á acumularse el flúido positivo, y *polo negativo* la extremidad donde tiende á acumularse el flúido negativo. En la pila de columna anteriormente descrita, puede decirse que la extremidad positiva se halla mas próxima al zinc de cada par y la extremidad negativa dista menos de los cobres de los mismos pares. Pero debe tenerse presente que en toda pila, los pares están compuestos de una sustancia inatacable por los ácidos, como el platino y el carbon, ó poco atacable por aquellos, como el cobre, y de un metal que lo es mucho, tal como el zinc: al metal inatacable corresponde siempre el polo positivo y al atacado el polo negativo, como se demuestra mas adelante (386).

En la teoría moderna de la electricidad (340), que admite como causa de esta la mútua accion entre la materia y el éter, provocando el movimiento ondulatorio de este flúido del polo positivo al negativo, es decir, desde la parte condensada de las ondas hácia la enrarecida, la corriente positiva seria el éter en exceso, y la negativa el éter en defecto.

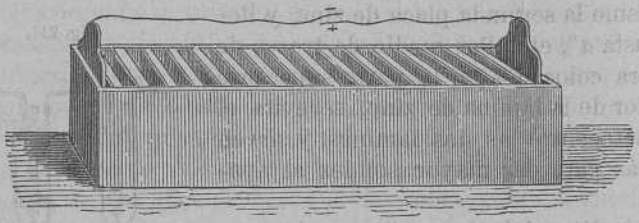
Se da el nombre de *electrodos* ó *reóforos* á los hilos de cobre que se fijan en las dos láminas metálicas que forman los polos de la pila: estos hilos están destinados á cerrar la comunicacion entre dichos polos. Reuniendo ambos hilos, las electricidades contrarias pasan al través de este conductor, y siendo la produccion de estas electricidades continuada, del mismo modo que lo es la fuerza electromotriz, ó mas bien la accion química, que es su causa, debe verificarse en el conductor interpolar la neutralizacion, tambien permanente, de ambas electricidades. A la electricidad en este estado de movimiento se designa bajo el nombre de *corriente*. Se admite ordinariamente que la direccion de la corriente tiene lugar del polo positivo al polo negativo en los electrodos, y del polo negativo al polo positivo en el interior de las pilas; pero este aserto no pasa de ser un convenio, pues que la recomposicion lo mismo tiene lugar del polo positivo al polo negativo que de este al polo positivo. En efecto, los fenómenos de trasporte que se verifican por la corriente (402), manifiestan que el movimiento de traslacion en las sustancias interpolares se efectúa principalmente del polo positivo al negativo. Para expresar que los dos polos de la pila se han puesto en relacion por un conductor cualquiera, se dice que al través de este pasa una *cor-*

riente eléctrica galvánica ó *voltáica*. Desde el momento en que se establece la corriente de la pila, todas las propiedades de la electricidad en el estado de tension, que algunos han llamado *electro-estático* de la pila, dejan de existir, y se presentan nuevas propiedades que caracterizan las corrientes, á cuyo estado de las pilas se le denomina *electro-dinámico*.

383. **Pila de Cruikshanks ó de artesa.**—La pila de Volta ha recibido diferentes modificaciones, porque la descrita en el párrafo 380 presenta el inconveniente de que, por el aumento de la presion que resulta de la sobreposicion de los pares, el líquido contenido en los discos de paño se esprime, y establece la comunicacion entre ellos. Este inconveniente se ha evitado dando á la pila la forma de artesa, la cual no es mas que la pila de columna dispuesta horizontalmente y con las placas de zinc y cobre soldadas. Se compone esta pila (*fig.* 244) de una caja rectangular de madera, revestida interiormente de una capa de mastic, mal conductor de la electricidad.

Las placas de zinc y cobre son de la misma magnitud que la seccion interior de la caja, y están fijas á ella paralelamente por medio del mastic, dejando intervalos de 5 á 6 milímetros de uno á otro par, para llenarlos del líquido conductor. Los dos polos se

Fig. 244.

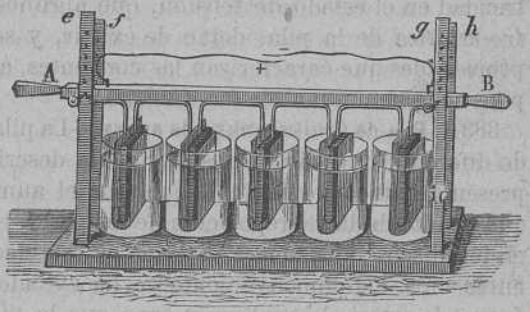


comunican entre sí por medio de hilos metálicos soldados á dos placas de cobre que se sumergen en los últimos huecos. Cuando se quiere producir grandes tensiones con estas pilas, se reunen varias de ellas, haciendo comunicar el polo positivo de la una con el negativo de la otra por medio de láminas de laton soldadas á varillas del mismo metal.

384. **Pila de Wollaston.**—Habiendo observado Wollaston que la electricidad desarrollada por el contacto era proporcional á la superficie del cobre en los pares de la pila, construyó el aparato que lleva su nombre, y en el cual las placas de cobre y zinc que forman los pares están unidas entre sí por una prolongacion ó

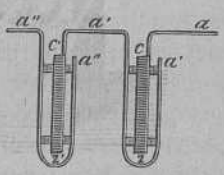
lengüeta que sale del cobre y se suelda al zinc (*fig.* 245). Estos pares se hallan fijos á un liston de madera *A B*, colocado entre los montantes *e f g h*, por el cual se pueden sumergir los pares en una série de bocales de vidrio que contienen el líquido acidulado, de manera que cada uno entre en el suyo. El cobre y el zinc que forman cada par sumergido en un mismo vaso, están dispuestos de modo que no puedan tocarse, presentando doble superficie el cobre que el zinc.

Fig. 245.



Se comprenderá fácilmente la construccion de esta pila fijándonos solamente en dos pares (*fig.* 246). El primer elemento está formado por una lámima de cobre *a*, soldada en *c* á una placa bastante gruesa de zinc; el segundo elemento cobre *a' a'*, rodea, sin tocarla, la placa *c z* de zinc, y se dirige hasta el punto donde está soldado el segundo zinc *c' z'*; el tercer cobre rodea asímismo la segunda placa de zinc, y llega hasta *a''*, etc. Por medio de trozos de madera colocados en la parte superior é inferior de la lámina de zinc, se evita el contacto entre las dos láminas, y sirven además para dar mayor solidez al aparato.

Fig. 246.



Esta disposicion presenta grandes ventajas, porque se puede hacer que principie y cese la accion cuando se quiera, sin mas que sumergir ó retirar los pares de los bocales, elevando ó descendiendo por los cuatro montantes (*fig.* 245) el liston de madera donde se hallan colocados los pares.

Munck ha modificado la pila de Wollaston, dándola una disposicion mas sencilla, con cuya disposicion se consigue que en un pequeño espacio haya un gran número de pares, los cuales se sumergen todos en una artesa barnizada interiormente con una sustancia resinosa que contenga el agua acidulada.

385. **Pilas secas.**—Las pilas secas son verdaderas pilas de columna, en las cuales tiene lugar un desprendimiento contínuo de

electricidad sin la intervencion aparente de un líquido. En estas pilas cada par está formado de zinc y de peróxido de manganeso, separado del par siguiente por un disco de papel ligeramente humedecido. Para preparar estos pares se pega con goma ó almidon sobre una de las caras de una hoja de papel humedecida, un disco muy delgado de zinc ó estaño, y se aplica sobre la otra el peróxido de manganeso en polvo. Se colocan unas sobre otras, y en el mismo órden, varias hojas así preparadas, y se cortan con un sacabocados discos de 10 á 15 líneas de diámetro, los cuales se interponen colocándolos en el mismo órden, y reuniendo 1500 á 2000 de estos pares, se los oprime en una prensa para establecer mejor el contacto, y se los cubre con una capa de goma laca, ó se introducen en un tubo de vidrio para preservarlos de la accion del aire. Muchas veces se divide esta pila en dos partes iguales, que se colocan verticalmente en sentido inverso la una de la otra sobre una misma placa metálica; de este modo ambos polos se encuentran á una misma altura, y se termina la extremidad positiva por un disco grueso de zinc, y la negativa por otro de cobre, sobre cuyos dos discos se fijan unas varillas de laton que se terminan por esferas del mismo metal.

Se han construido pilas secas con pares de zinc y cobre separados por discos de papel impregnados de aceite, miel ó una disolucion salina. Estas pilas se alteran mas pronto que las de peróxido de manganeso, las cuales pueden conservar su facultad electromotriz durante muchos años.

El movimiento de la electricidad es muy lento en las pilas secas; son menester muchos minutos para cargar un condensador con su electricidad, y no producen conmociones y descomposiciones químicas; pero en compensacion de este defecto, la tension es mas fuerte que en las pilas ordinarias de iguales dimensiones, á causa del gran número y mala conductibilidad de los elementos. Estas pilas se emplean para la construccion del electrómetro de Bohnenberg, y para algunos aparatos de rotacion que se ven en los gabinetes de física.

CAPÍTULO VII.

Electricidad desarrollada por las acciones químicas.

386. **Electricidad desarrollada por las acciones químicas, y leyes de su desprendimiento.**—La teoría del contacto, ideada por Volta para ex-

plicar el desarrollo de la electricidad en la pila (380), fué pronto impugnada por diferentes físicos. Plaff la defendió con ardor repitiendo el experimento de Volta en circunstancias en que la accion química no parece que tiene influencia alguna; sin embargo, por esta hipótesis el mismo Plaff no ha podido destruir las objeciones de sus impugnadores. Davy fué el primero que reconoció la necesidad de una accion química para la produccion de las corrientes; posteriormente Fabrici, Wollaston y de la Rive han hallado, por medio de ingeniosos experimentos, que la accion química de los líquidos sobre los metales es la causa que determina la produccion de la electricidad. Por esta hipótesis se explican todos los fenómenos, y es por lo tanto la mas probable.

Los referidos físicos han observado que siempre que una sustancia cualquiera, y en particular un metal, se sumerge en un líquido ó gas capaz de atacarle químicamente, hay en el momento desarrollo de electricidad, pasando el flúido positivo al líquido *activo*, mientras que el flúido negativo permanece en el metal *atacado*. Pero encontrándose el líquido y el metal en contacto, y siendo ambos buenos conductores, sucede que los flúidos eléctricos separados por la accion química se recomponen y neutralizan en una gran parte á consecuencia de su atraccion, en el mismo lugar donde esta accion química se efectúa; sin embargo, una porcion de ambos flúidos queda libre, siendo esta cantidad de electricidad la sola perceptible y suficiente para producir una accion sensible sobre el electrómetro condensador. En efecto, por medio de este aparato se demuestra que en las acciones químicas se desarrolla la electricidad poniendo sobre el platillo superior un disco de papel humedecido, y sobre este una cápsula de zinc en la cual se vierte agua acidulada con el ácido sulfúrico; se sumerge en el líquido una lámina de platino que se comunique con el suelo, mientras que se hace asimismo comunicar con el suelo el platillo inferior, tocándole con el dedo húmedo. Quitando los contactos y elevando el platillo superior, el electrómetro queda electrizado positivamente, lo cual demuestra que el platillo superior se ha electrizado negativamente por la accion química del ácido sulfúrico sobre las paredes de la cápsula.

Becquerel ha demostrado, por medio del galvanómetro, aparato que mas adelante se describe, que toda accion química, por débil que sea, va siempre acompañada de produccion de electricidad. Además, este mismo físico, por medio del condensador y del galvanómetro, ha llegado á los siguientes resultados, referentes al desarrollo de la electricidad por las reacciones químicas: 1.° Cuan-

do el oxígeno se combina con un cuerpo cualquiera, el primero toma la electricidad positiva, y el segundo la electricidad negativa. 2.° Cuando se combina un ácido con una base, el ácido toma la electricidad positiva, y la base la negativa: lo mismo sucede si el ácido actúa químicamente sobre un metal; el ácido se electriza positivamente, y el metal negativamente. 3.° Se presentan efectos eléctricos inversos en las descomposiciones de los cuerpos formados por las precedentes combinaciones. 4.° En las dobles descomposiciones, el equilibrio de las fuerzas eléctricas no se altera.

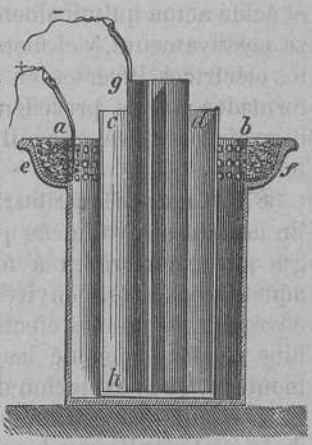
387. **Causas de la debilitacion de las corrientes eléctricas en las pilas.**— En las baterías voltáicas que se llevan descritas, su misma energía puede dar orígen á fenómenos que debilitan las fuerzas de aquellos aparatos, convirtiéndolos en instrumentos inconstantes é irregulares por sus efectos químicos. Las causas de estos cambios en la accion de las pilas pueden referirse mas principalmente: 1.°, á la oxidacion del zinc y á la disolucion de las sales metálicas, sulfato y nitrato de zinc, en el líquido excitador de la pila, de lo cual resulta que las acciones químicas, que en un principio son la causa del desarrollo de la electricidad, se presentan muy pronto profundamente alteradas; 2.°, á la presencia, segun Ritter, comprobada por Marianini y de la Rive, de corrientes eléctricas invertidas en su direccion al través de las mismas pilas; y 3.°, á la condicion de poseer el líquido excitador de la pila una energía completamente igual en todos los puntos de aquellos aparatos; pues si se carga una batería de Wollaston con líquidos ácidos mas débiles en unos vasos que en otros, el aparato se presenta irregular en sus efectos eléctricos, en general poco intensos ó anulados por completo.

Por estas razones, demostrables experimentalmente, parecia imposible construir una batería voltáica que produjese una corriente eléctrica constante; pero el químico inglés Daniell ha proporcionado á la ciencia un aparato notable por la constancia de sus efectos y por su accion uniforme durante un tiempo considerable.

388. **Pila de Daniell.**—Esta pila (*figura* 247) consiste en un vaso de cobre *a b*, agujereado en su parte superior, dentro del cual está colocado otro vaso cilíndrico *c d*, de menor diámetro, de arcilla porosa; en la parte superior del cilindro de cobre, y alrededor de los orificios, se halla soldado otro *e f*, de mayor diámetro; y por último, dentro del vaso poroso se encuentra un cilindro de zinc amalgamado *g h*, abierto por sus extremos, que se apoya

sobre el fondo de dicho vaso. El vaso de cobre está lleno de una disolucion saturada de sulfato de cobre, y en el espacio que queda entre este vaso y el *e f* se colocan cristales de sulfato de cobre, que se disuelven á medida que el aparato funciona. En el vaso poroso se echa una disolucion de sal marina ó agua acidulada con un octavo de su volúmen de ácido sulfúrico, en la cual se halla sumergido el zinc.

Fig. 247.



Mientras que los dos electrodos no se comunican entre sí, la pila se mantiene inactiva; pero en cuanto la comunicacion se establece, la accion química principia, el agua se descompone, el oxígeno se dirige al zinc, y el hidrógeno reacciona sobre la disolucion de sulfato de cobre, combinándose con el oxígeno de la sal para formar el agua, mientras el cobre metálico se deposita sobre el vaso *a b*. La disolucion de sulfato de cobre tiende constantemente á debilitarse; pero los cristales colocados en el cilindro *e f* se disuelven á medida que esto sucede, permaneciendo siempre la disolucion con el mismo grado de concentracion. El ácido sulfúrico que queda libre en la descomposicion del sulfato de cobre es trasportado, á la vez que el oxígeno del agua descompuesta, sobre el zinc, para trasformarle en sulfato; y como la cantidad de ácido que queda en libertad en la disolucion de sulfato de cobre es constante, la accion de este ácido sobre el zinc es tambien regular y constante.

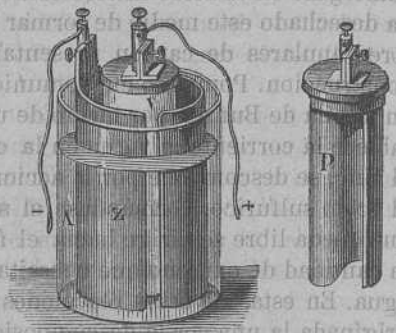
En estas pilas se suele reemplazar el vaso poroso de arcilla por saquillos de lona, siendo en este caso el efecto producido por la pila mas enérgico, porque las dos disoluciones se mezclan con mas rapidez. En general, los diafragmas deben permitir fácilmente el paso de la corriente y evitar en lo posible la mezcla rápida de los dos líquidos. Ultimamente se ha modificado esta pila sumergiendo el vaso de cobre en otro de cristal (*fig.* 248), lleno de la disolucion de sulfato del metal referido, y para que esta solucion se halle en contacto del vaso poroso se taladra por varios puntos el de cobre.

389. **Pila de Grove.**—La pila de Grove es una modificacion de la de Daniell, en la cual el metal inactivo es el platino. La *figu-*

ra 249 representa un par de esta pila: se compone de un vaso de vidrio *A*, en el cual se pone el agua acidulada con el ácido sulfúrico; dentro de este vaso se coloca el cilindro de zinc amalgamado *Z*, abierto por sus dos extremos; un vaso poroso *V*, lleno de

Fig. 248.

Fig. 249



ácido nítrico ordinario, se halla dentro de este cilindro; en el ácido nítrico se sumerge una lámina de platino *P*, á la que por medio de una pieza metálica se sujeta un alambre de cobre, que sirve de electrodo positivo, y un segundo alambre fijo al zinc sirve de electrodo negativo.

390. **Pila de Bunsen.**—Esta pila, conocida tambien bajo el nombre de *pila de carbon*, no es otra que la pila de Grove, en la cual las láminas de platino se han sustituido por prismas ó cilindros macizos de carbon, que se preparan calcinando en moldes de palastro una parte de coke y dos de hulla, finamente pulverizadas. Cada par de la pila de Bunsen está compuesto de un bocal de vidrio ó de porcelana *A* (*fig.* 250), lleno de agua acidulada con 0,1 de ácido sulfúrico; en el interior de este se halla un cilindro hueco de zinc amalgamado *Z*, abierto por sus dos extremos, que tiene fija una lámina de cobre, destinada á servir de electrodo positivo; un vaso poroso *V* de arcilla se encuentra colocado dentro de este cilindro, que se llena de ácido nítrico ordinario, y en este líquido se sumerge el prisma de carbon *C*. En la parte superior del prisma de carbon se fija, por me-

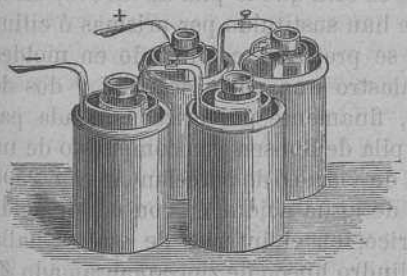
Fig. 250.

dio de un tornillo, una laminita de cobre que sirve de electrodo positivo.

Los pares de las primitivas pilas de Bunsen se disponian en un órden inverso: el agua acidulada se echaba en el vaso poroso donde se sumergia el zinc; este vaso se hallaba colocado dentro de un cilindro hueco de carbon, abierto por sus dos extremos y sumergido en el ácido nítrico contenido en el bocal de vidrio. Se ha desechado este medio de formar los pares, porque los conductores anulares de carbon presentan algunas dificultades en su construccion. Poniendo en comunicacion el zinc con el carbon en la pila de Bunsen por medio de un alambre conductor, se establece la corriente: el agua en la cual se encuentra sumergido el zinc, se descompone por la accion combinada de este metal y el ácido sulfúrico, formándose el sulfato de zinc; el hidrógeno que queda libre se dirige hácia el ácido nítrico, y de este toma la cantidad de oxígeno que necesita el hidrógeno para formar el agua. En estas diversas reacciones se producen dos corrientes, originada la una por la descomposicion del agua, y la otra por la descomposicion del ácido nítrico. Estas dos corrientes, que marchan en la misma direccion, pasan por el alambre interpolar del carbon al zinc; por lo tanto (382), el polo positivo, ó sea por donde sale la corriente, corresponde al carbon y el negativo al zinc, ó sea por donde aquella regresa á la pila.

Para formar una pila de varios pares (*fig.* 251), se reunen estos de tal modo que el carbon de cada par se halle en comunicacion con el zinc del par siguiente, lo cual se consigue uniendo con tornillos de presion las laminitas encorvadas que salen del carbon y del zinc de cada par. Esta pila es la mas enérgica entre las de corriente constante.

Fig. 251.



391. **Pila de bicromato de potasa.**—Las pilas de corriente constante descritas anteriormente, han sido modificadas en estos últimos años por diferentes físicos, haciéndolas mas ventajosas para ciertos usos: la conocida con el nombre de *pila de bicromato de potasa*, de Bunsen, es sin duda alguna la mas importante. Esta pila puede ser de dos líquidos ó de uno solo. La de dos líquidos difiere de la de carbon (*fig.* 251), en que el ácido nítrico del vaso

poroso es reemplazado por una disolucion formada por 900 gramos de agua, 50 de bicromato de potasa y 50 de ácido sulfúrico. La disolucion del bicromato en el agua se hace en caliente, vertiendo el ácido sulfúrico inmediatamente despues que se separa del fuego la disolucion de la sal. El uso de esta pila es ventajoso en muchas operaciones, porque no desprende vapores de ácido hiponítrico, pero se inutiliza rápidamente por formarse un depósito de óxido de cromo sobre el zinc, que disminuye de una manera notable la corriente eléctrica.

En la pila de un solo líquido se suprime el vaso poroso, y los pares se sumergen en la disolucion de bicromato de potasa. Se compone esta pila de dos placas de carbon, entre las cuales se halla otra de zinc del mismo ancho y de una longitud cuatro ó cinco veces menor, separada de aquellas unos 60^{mm}. Las tres placas están fijas á un disco de goma elástica endurecida y dispuestas como se indica en la *fig.* 252, de manera que los reóforos se pueden colocar el uno correspondiendo con las placas de carbon por el tornillo *G*, y el otro con la placa de zinc fijándole al tornillo *T*, puesto en comunicacion por medio de una lámina metálica con el tirador *H*, que sostiene la lámina de zinc. El par de la pila así dispuesto, se sumerge en la disolucion de bicromato de potasa colocada en el vaso *I*. La disolucion solo llena las dos terceras partes de su altura, para que la lámina de zinc quede fuera del líquido al elevarla cuando se quiere que cese la corriente eléctrica, produciéndose esta en cuanto se hace descender dicha lámina por medio del tirador *H*.

Fig. 252.

Si las placas de carbon y zinc son de igual longitud, la pila se polariza con gran rapidez; pero dispuestas como se deja dicho, aquella polarizacion es muy lenta y puede funcionar regularmente la pila por espacio de nueve á diez horas.

*392. **Circunstancias que deben tenerse presentes al construir las pilas de corriente constante.**—Las pilas hidro-eléctricas primitivas de un solo líquido se usan poco, por haberse sustituido en la actualidad por las de corriente constante, que, segun lo que llevamos expuesto, presentan un solo diafragma poroso, el cual deja pasar la corriente, pero no permite mezclarse á los líquidos sino muy lentamente; en cada uno de estos líquidos se sumerge uno de los metales del mismo par, destinados, el uno á trasmitir la

corriente, y el otro á engendrarla y trasmitirla. Las condiciones á las cuales debe satisfacer la construccion de las pilas de corriente constante, son: 1.ª, que sobre uno de los metales actúen el líquido ó líquidos excitadores, y sobre el otro no se ejerza accion química, sirviendo solo de conductor; 2.ª, que los dos líquidos deben ser tales que la corriente que resulta de su accion mútua al través del diafragma, se verifique en la misma direccion que la engendrada por el metal atacado y se una á ella.

Esta última condicion de los pares de las pilas se consigue, segun propuso Kaemptz por primera vez, con el zinc amalgamado, por el cual todas las corrientes eléctricas en el interior de las pilas pasan con toda la energía y velocidad posibles. En el zinc puro amalgamado no ejerce accion química el agua acidulada; pero si se pone en contacto el zinc sumergido en agua acidulada con una hoja de cobre, la reaccion química que se desarrolla entre el zinc y el agua acidulada es de una energía poderosa, originándose una corriente eléctrica proporcional. Faraday, fundándose en esta propiedad del zinc amalgamado, se sirvió de él para la construccion de las pilas, opinando este físico que el mercurio, unido al zinc, establece en este metal: 1.º, una cierta homogeneidad en su superficie, y de aquí, segun el mismo físico, resulta la oxidacion regular en todos los puntos del zinc, oxidacion á la que se debe el desarrollo de la electricidad voltáica; y 2.º, que en una batería construida con el zinc amalgamado, si se excita la accion eléctrica por el ácido sulfúrico diluido, dicha batería se halla en actividad cuando los electrodos están unidos, pero cesa de obrar desde el momento en que se rompe la comunicacion de aquellos. Algunos han explicado esta inaccion del zinc amalgamado en el ácido sulfúrico diluido, por un estado eléctrico especial que adquiere el zinc por medio del mercurio.

CAPÍTULO VIII.

Efectos de la electricidad dinámica.

393. **Efectos de las pilas en estado electro-estático.**—En las pilas voltáicas llevamos expuesto (380) que la electricidad puede presentarse estática, si se halla interrumpida la comunicacion de los dos polos de nombre contrario, pero con una tension muy pequeña comparándola con la de los mismos flúidos originados por el frote en las máquinas eléctricas, y cuando se acumulan en estado

disimulado en los condensadores, en las botellas de Leyden y en las baterías eléctricas que se han descrito anteriormente; así es que las atracciones y repulsiones que se observan en los dos reóforos ó polos de la pila sobre los cuerpos ligeros son débiles, saltando chispas muy pequeñas entre aquellos polos. Sin embargo de la poca tension del flúido eléctrico en las pilas voltáicas, Faraday ha demostrado por los hechos anteriores la identidad entre la electricidad desarrollada por el frotamiento y la de las pilas voltáicas, con la diferencia de que en estos últimos aparatos la causa productora de la electricidad es constante y continuada; por esta razon, sus defectos son mucho mas notables que en las máquinas eléctricas por el frotamiento, en las que la tension de la electricidad es grande, pero desaparece instantáneamente poniendo en comunicacion el conductor con el suelo, necesitándose algun tiempo para que aquellos aparatos vuelvan á cargarse de electricidad. Las pilas voltáicas tambien se descargan instantáneamente cuando se establece el contacto entre los polos, pero con la misma rapidez se cargan, dándose lugar en los cuerpos conductores que sirven para establecer aquel contacto, al paso de una corriente continuada de electricidad, cuya cantidad es proporcional al tiempo y á la velocidad que posee el flúido eléctrico marchando por un cuerpo buen conductor.

394. **Efectos de las pilas en estado electro-dinámico.**—Los efectos electro-estáticos de la pila, segun lo dicho en el párrafo anterior, no se diferencian de los de la electricidad desarrollada por frotacion, mas que por su menor intensidad, observándose lo contrario en los efectos de la pila cuando se estudia la electricidad en los cuerpos conductores que sirven para unir los dos polos de los diferentes aparatos voltáicos. En este último caso, siendo los efectos de la electricidad el resultado del movimiento del flúido eléctrico, de la velocidad y de la cantidad desarrollada del mismo agente, se les ha denominado *efectos de la electricidad dinámica.*

La electricidad dinámica ó en forma de corrientes de las pilas voltáicas, puede establecerse por un conductor organizado y por cuerpos inorgánicos. En el primer caso puede la electricidad conmover y producir impresiones en los sentidos del gusto, del oido, de la vista y del tacto, y sobre los sistemas musculares; en este caso los fenómenos resultantes se han llamado fisiológicos ó influyentes en la vida de los animales. En el segundo, ó cuando la electricidad voltáica en estado dinámico obra en los cuerpos inorgánicos, sus efectos son físicos y químicos, dividiéndose los primeros en mecánicos, térmicos, luminosos y magnéticos, y

los segundos en efectos de composicion y de descomposicion.

395. **Efectos fisiológicos.**—Cuando se hace actuar una corriente eléctrica sobre los órganos del sentido del gusto, colocando los dos reóforos de una pila en contacto con aquellos, se experimenta un sabor metálico muy marcado, y una impresion mas ó menos incómoda y dolorosa, segun sea la intensidad y la fuerza de la corriente hidro-eléctrica.

Si la electricidad, pasando por el cuerpo humano, lo verifica por las inmediaciones de los nervios que corresponden al sentido de la vista, se percibe la sensacion del relámpago; cuando la electricidad actúa en el oido, la impresion es como de un choque en el interior del cerebro, siguiéndose la percepcion de un ruido continuado mientras los alambres de los reóforos se hallan colocados en el interior del pabellon de uno y otro oido. Si la electricidad dinámica pasa por otra region cualquiera del cuerpo humano, se perciben movimientos convulsivos con sensaciones mas ó menos violentas, y con especialidad se siente una de quemadura muy enérgica, si los reóforos se hallan en contacto con los nerviecillos que, distribuidos debajo de la piel, constituyen el sentido del tacto. La impresion de una quemadura y los movimientos convulsivos de los músculos, con mas la produccion de pequeñas erupciones fugaces, que aparecen en los puntos inmediatos á los reóforos metálicos en contacto con las capas subcutáneas que forman la piel exterior del hombre, dan lugar para que haya pocos que resistan largo tiempo la accion enérgica de una pila hidro-eléctrica.

La intensidad de las conmociones depende principalmente de la tension de la electricidad, y por consiguiente del número de pares de que se compone la pila. Si este número es muy pequeño, la conmocion producida es insensible. En efecto, sucede en este caso que las dos electricidades acumuladas en cada polo, en lugar de reunirse atravesando un conductor tan imperfecto como el cuerpo humano, encuentran mas facilidad en retroceder y combinarse, volviendo á pasar por la pila misma. La reunion de las dos electricidades se hace tanto mas fácil al volver por la pila, cuanto menor sea el número de pares que atraviese: si, por el contrario, el número de pares es considerable, las dos electricidades encontrarán mas facilidad en reunirse pasando por el cuerpo, aunque sea mal conductor, que en retroceder al través de los multiplicados obstáculos que presenta una pila compuesta de muchos pares.

El efecto de una corriente voltáica sobre los animales varía

con su direccion. Lehot y Marianini han observado que si la corriente se propaga siguiendo las ramificaciones de los nervios, se produce una contraccion muscular en el momento que principia, y una conmocion cuando concluye; mientras que si se propaga en direccion contraria de las ramificaciones nerviosas, produce una sensacion en todo el tiempo que actúa, y una contraccion en el momento que se interrumpe.

En los animales recientemente muertos, la corriente de una pila enérgica verifica conmociones y movimientos extraordinarios. Algunos animales asfixiados han vuelto inmediatamente á la vida cuando se les ha colocado entre los dos polos de la pila: estos experimentos se han hecho con conejos aparentemente muertos hacia media hora. Por último, los experimentos al parecer indican que las funciones digestivas suspendidas por la seccion de los nervios que se dirigen al estómago, pueden restablecerse momentáneamente por la influencia de la corriente eléctrica de la pila.

396. **Efectos mecánicos.**—Cuando se produce en los experimentos con las pilas la luz eléctrica, se observa que el colorido de la tinta varía algo, segun que la luz se origina despues de pasar las corrientes por conductores de cobre terminados por diferentes sustancias, como son el carbon, el hierro, el cobre, el zinc, el mercurio, el platino y otros cuerpos buenos conductores. Estos colores de la luz eléctrica los han explicado algunos con mucha probabilidad por una accion mecánica de la electricidad sobre los cuerpos por donde pasa, y cuyos efectos consisten en la separacion de las moléculas de la materia que los forma, y en el trasporte de dichas moléculas impelidas por la corriente eléctrica, la cual no solo es suficiente para llevarlas al espacio ó punto donde se neutralizan los flúidos eléctricos de la pila, originándose la luz eléctrica, sino al través de obstáculos mas ó menos resistentes. La disgregacion molecular citada, y el trasporte de los átomos á lo largo de los cuerpos conductores, son dos de los efectos mecánicos mas principales por cuyo medio se explican los diferentes coloridos de la luz eléctrica, y de los cuales se deducen consecuencias muy interesantes en las acciones químicas de la electricidad.

397. **Efectos caloríficos.**—Cuando una corriente voltáica atraviesa un hilo metálico, produce los mismos efectos que la descarga de una batería (373); el hilo se calienta y se enrojece si su longitud y diámetro no son muy grandes, y se funde y volatiliza si es muy delgado y corto. Con pilas poderosas se han llegado á fundir todos los metales, y hasta el iridio y el platino, que necesitan un fuego muy fuerte para fundirse. El carbon es el único cuerpo

que no se ha podido fundir hasta el dia por la pila; sin embargo, Desprez ha conseguido ablandarle, y ha observado indicios de su fusion con una pila de Bunsen compuesta de 600 pares, reunidos en seis filas paralelas.

Haciendo pasar la corriente por hilos metálicos de diferente naturaleza, pero del mismo diámetro y longitud, observó Children que los hilos poco conductores de la electricidad se calientan mas que los mejores conductores; de donde dedujo que los efectos caloríficos de la pila son debidos á la resistencia que encuentra la corriente para atravesar el conductor que reune los polos.

Se ha dicho que los efectos caloríficos dependen de la cantidad eléctrica puesta en movimiento por la pila, y por consecuencia de la superficie de los pares. En efecto, por pequeño que sea el número de pares, las dos electricidades prefieren reunirse por el conductor metálico que se las presenta, que atravesar de nuevo la pila, por buen conductor que sea el líquido de que se haga uso. Se puede dar á los elementos que forman los pares de la pila una superficie muy grande, y servirse de un líquido buen conductor, el cual no ofrece otra ventaja que la de aumentar la velocidad de propagacion del flúido, presentando tambien la de desarrollar por su accion sobre el zinc la mayor electricidad posible. Así es que con un solo par de Wollaston cuya superficie sea ancha, se funde un hilo de hierro delgado.

398. **Efectos luminosos.**—Los efectos luminosos de la pila se manifiestan por chispas, ó por la incandescencia de las sustancias que se colocan entre los dos pares. Para obtener las chispas se aproximan los extremos de los dos electrodos á una pequeña distancia, y se produce una série de chispas muy vivas, las cuales pueden sucederse con tal rapidez que produzcan una luz contínua. Con una pila de Bunsen compuesta de 8 á 10 pares se obtienen brillantes penachos luminosos, haciendo comunicar uno de los electrodos con una escofina redonda de las que se usan en los laboratorios para taladrar los corchos, y pasando el otro extremo del electrodo sobre los dientes de la escofina. Haciendo pasar la corriente producida por el aparato de induccion de Ruhmkorff, que se describe posteriormente, las chispas adquieren una intensidad mucho mas considerable.

Si se ponen en comunicacion con los polos de una pila bastante enérgica dos conos de carbon bien secos, y despues de hallarse momentáneamente en contacto los vértices de estos conos se les separa lentamente hasta colocarlos á la distancia de unos 2 centímetros, se verá en el instante lanzarse la corriente eléctrica del

uno al otro cono, y producir un arco de luz muy viva y brillante. Esta luz se aproxima mucho á la del sol por su brillantez y sus propiedades, siendo su temperatura tan elevada, que funde en pequeños glóbulos el diamante, trasformándole en grafito. El calor producido no puede atribuirse á una verdadera combustion, puesto que los mismos efectos tienen lugar cuando los conos de carbon se encuentran en el vacío. Para obtener un arco de luz de 6 ó 7 centímetros de longitud, es necesario emplear una pila compuesta de un gran número de pares, con la cual la corriente eléctrica puede adquirir una tension mas fuerte que la que generalmente se emplea para producir la incandescencia de los hilos metálicos. El célebre Davy fué el primero que en 1801 hizo este experimento; empleó una pila compuesta de 2000 pares formados de placas de 11 centímetros de lado, y llegó á producir, por la aproximacion de las puntas de los dos conos de carbon, un arco de luz de 10 centímetros de longitud. El mismo fenómeno se produce empleando, en vez de carbon, musgo de platino ó cobre en polvo encerrado en tubos de vidrio.

* Por poco que dure el experimento de la luz eléctrica, se observa que se aumenta el volúmen del carbon que se halla en el polo negativo, y se disminuye el del polo positivo, haciéndose mayor la distancia entre los vértices de los dos conos, y por lo tanto la intensidad de la luz se va disminuyendo. Se consigue que la intensidad de la luz sea siempre la misma, aproximando constantemente y con mucha lentitud el uno al otro los dos conos de carbon. Para evitar algun tanto el cuidado tan asíduo que por parte del operador se exige con el objeto de que se mantengan los conos de carbon á distancia conveniente, se han construido aparatos *reguladores de la luz eléctrica*, con los cuales se consigue que los extremos de los conos de carbon se encuentren próximamente á la misma distancia todo el tiempo que duran los experimentos. Por mucho tiempo se ha usado para hacer este experimento el carbon de madera fuertemente calcinado y apagado en el mercurio; este carbon, por su mucha porosidad, arde con gran rapidez en el aire; en este caso es preciso hacer el experimento en el vacío. En el dia se hace uso solamente de los residuos carbonosos que quedan en las retortas empleadas en la extraccion del gas del alumbrado: este carbon es tan duro y compacto, que se le puede dar la forma de barritas prismáticas de 20 centímetros de longitud, y arde lentamente en el aire, evitando con él operar en el vacío.

CAPÍTULO IX.

Electro-química.

399. **Efectos químicos de la pila: descomposicion del agua.**—Cuando se altera el equilibrio de las afinidades químicas, se da orígen á fenómenos eléctricos, que alterando á su vez el equilibrio de las moléculas que los rodean, producen muchas veces compuestos que no se hubieran podido formar por otros medios en iguales circunstancias.

El estudio de estos compuestos y el de los medios de producirlos constituye una ciencia particular, á la cual se ha dado el nombre de *electro-química*. Becquerel, á quien puede considerarse como fundador de esta nueva parte de la física, ha obtenido, con el auxilio de las fuerzas eléctricas, descomposiciones cuya produccion en la naturaleza habia sido considerada como un misterio. El empleo de la electricidad es ventajoso en las composiciones y descomposiciones de los cuerpos, por la lentitud con que se la puede hacer obrar sobre las moléculas de estos, permitiéndolas unirse de la manera que las es mas natural, obteniéndose así los cuerpos cristalizados.

De lo dicho se deduce que, los efectos químicos de la pila consisten en los fenómenos moleculares que se producen en el interior de los cuerpos por las corrientes galvánicas, verificándose las composiciones ó las descomposiciones de estas bajo la influencia electro-química; pero en general las combinaciones son los efectos secundarios, mientras que las descomposiciones son los efectos directos de la accion de la corriente. Si una corriente galvánica atraviesa por un compuesto binario, generalmente se descompone en sus dos elementos; y si el medio en el cual la descomposicion tiene lugar es flúido, uno de los elementos pasa al polo positivo y el otro al negativo. En dos compuestos binarios en que sea comun uno de los dos elementos que los forman, el elemento comun que tiene su mismo signo electro-químico en uno de los compuestos, se puede variar de signo en el otro; así, en la descomposicion del ácido sulfúrico por la pila, el azufre es electro-positivo, mientras que en el sulfuro de carbono es electro-negativo.

El primer efecto químico obtenido por las corrientes galvánicas, fué la descomposicion del agua. Para producir fácilmente

esta descomposicion, se emplea un vaso ó copa de vidrio (*fig.* 253), atravesado su fondo por dos alambres de platino que se elevan algunos centímetros en el interior del vaso; en este se echa agua ligeramente acidulada para hacerla mejor conductora de la electricidad, y se coloca sobre cada hilo una campanita de cristal graduada llena de agua. Haciendo comunicar los reóforos de una pila con los hilos de platino, principia la descomposicion, apareciendo numerosas burbujitas de gas que se desprenden de los hilos y se elevan en las campanas. El gas hidrógeno se recoge en la campana que corresponde al hilo negativo, y el oxígeno en la que cubre el hilo positivo, siendo el volúmen del primer gas doble del volúmen del segundo. Este experimento es el mas decisivo de todos los que se pueden hacer sobre la descomposicion de los compuestos binarios.

Fig. 253.

El aparato que se acaba de describir se emplea para medir la intensidad de las corrientes, recibiendo en este caso el nombre de *voltámetro*. El empleo del voltámetro en la apreciacion de la intensidad de la corriente, está fundado en el principio descubierto por Faraday, de que en las descomposiciones electro-químicas, *la cantidad en peso de los elementos separados es proporcional á la cantidad de flúido eléctrico que pasa en un tiempo determinado*; por consecuencia, en el experimento anteriormente descrito, el volúmen de los gases recogidos puede servir para calcular la intensidad química de la corriente.

400. **Descomposicion de los óxidos metálicos y de los ácidos.**—Las corrientes galvánicas ejercen sobre los óxidos metálicos la misma accion que sobre el agua, reduciendo á todos y trasportando el oxígeno al polo positivo y el metal al polo negativo. Por medio de corrientes muy enérgicas, Davy llegó, en 1807, á descomponer la potasa y la sosa, descubriendo los metales potasio y sodio. El mismo procedimiento ha seguido en estos últimos años Deville para reducir la alúmina y extraer el aluminio.

Los oxácidos se descomponen del mismo modo que los óxidos, y siempre se dirige el oxígeno al polo positivo y el radical al polo negativo. Los hidrácidos tambien son descompuestos en los dos elementos que los forman, dirigiéndose el hidrógeno al polo negativo, y el otro cuerpo al polo positivo.

401. **Descomposicion de las sales.**—Los compuestos ternarios en

el estado de disolucion se descomponen por la accion de la pila, siendo la descomposicion unas veces completa y otras parcial, segun varían las afinidades químicas y la energía de las corrientes. Si el ácido y la base de una sal son estables, se separan, dirigiéndose el ácido al polo positivo y el óxido al negativo. Esto sucede con los sulfatos, los carbonatos y los fosfatos de los metales de las dos primeras secciones. Si el ácido es poco estable, se descompone; el oxígeno se dirige al polo positivo y el radical pasa al negativo. Si el óxido es fácilmente descomponible, el metal reducido marcha al polo negativo, y el oxígeno al polo positivo. Esto es lo que se observa en las sales de plomo, de cobre, de plata, y en general con las sales formadas por los metales de las cuatro últimas secciones. En fin, si los elementos del ácido y del óxido no tienen gran afinidad, su oxígeno se presenta en el polo positivo y sus radicales en el polo negativo.

Fig. 254.

* Se demuestra la descomposicion de las sales por la pila con un tubo de vidrio encorvado en forma de *U* (*fig.* 254), en el cual se echa una disolucion de sulfato de potasa ó sosa neutra, teñida de azul por la tintura de violeta. Se sumergen en el líquido de cada rama del tubo las láminas de platino *A* y *B*, las que se ponen en comunicacion con los electrodos de la pila: al cabo de algunos minutos, el líquido que rodea la lámina positiva *A* se colora de rojo, y el que rodea la negativa *B* de verde, lo que prueba que la sal se descompone y que el ácido es trasportado al polo positivo y el óxido al polo negativo.

* 402. **Fenómenos de trasporte observados en las descomposiciones.**— En las descomposiciones de las sales por la pila, se observa con frecuencia el fenómeno de trasporte de sus elementos al través de otras sustancias. Si se pone en una copa de cristal una disolucion de sulfato de potasa y en otra agua pura, y se hacen comunicar los líquidos de estas dos copas por un cuerpo conductor, tal como una torcida de algodon ó unos hilos de amianto húmedo, sumergiendo el electrodo positivo de una pila en la disolucion de sulfato de sosa y el electrodo negativo en el agua destilada, la descomposicion de la sal se efectúa poco á poco, como si los dos electrodos directamente se hallasen sumergidos en la disolucion, encontrándose despues de algun tiempo el ácido sulfúrico en la

copa donde se halla el electrodo positivo, y la potasa en la copa donde se encuentra el electrodo negativo.

* 403. **Anillos coloreados formados por una corriente galvánica.**—En la descomposicion de las sales por la pila, Nobili ha obtenido sobre las placas de algunos metales anillos coloreados de tintas muy brillantes. Estos anillos se encuentran formados por capas metálicas delgadas, que se depositan sobre las placas; su coloracion es semejante á la de los anillos coloreados de Newton (303). Para obtener estos anillos coloreados, se coloca la placa en el fondo de un vaso que contenga una disolucion de acetato de plomo ó de sulfato de cobre, y se hace comunicar la placa con el electrodo negativo de una pila débil y la disolucion con el electrodo positivo: este hilo debe colocarse perpendicularmente á la placa, y llegar su extremidad hasta uno ó dos milímetros de su superficie, siendo conveniente terminarle por una punta de platino muy afilada. Los anillos coloreados se producen en algunos segundos alrededor de la punta, y su coloracion varía con la naturaleza de la sal disuelta, la de la placa y el signo del polo que se comunica con ella.

* 404. **Precipitaciones metálicas formadas por las corrientes.**—Sumergiendo en una disolucion salina metálica ligeramente acidulada un metal mas oxidable que el de la sal, el metal de esta se deposita lentamente sobre la superficie del metal sumergido, y este sustituye equivalente por equivalente al metal precipitado; por ejemplo, si la sal es el sulfato de cobre y el metal sumergido es el hierro, en este supuesto el cobre se deposita sobre el hierro, y la sal de cobre se trasforma en sal de hierro. Esta precipitacion de un metal por otro se atribuye en parte á las afinidades, y en parte á la accion electro-química que tiene lugar en el contacto del metal precipitante con el metal precipitado, unida á la accion del ácido contenido en la disolucion, puesto que esta actúa sobre el metal precipitante y determina la corriente que descompone la sal. Se conoce desde muy antiguo una cristalizacion metálica, llamada por los alquimistas *árbol de Saturno*, que es una aplicacion de las precipitaciones que se acaban de indicar. El árbol de Saturno está formado por la precipitacion de pequeñas láminas muy brillantes de plomo, que se extienden como si fueran las hojas de un vegetal, sobre fragmentos de zinc fijos á unos alambres de laton y sumergidos en una disolucion de acetato de plomo.

405. **Ley de las descomposiciones químicas por la pila.**—Faraday ha descubierto en las descomposiciones químicas verificadas por la pila, la ley siguiente: *siempre que una misma corriente actúa*

simultáneamente sobre diversas disoluciones, los pesos de los elementos separados se hallan en la misma relacion que sus equivalentes químicos. Los experimentos que han conducido á esta ley, se han hecho por medio de voltámetros unidos entre sí por hilos de platino bajo la influencia de la misma corriente; operando de este modo con las disoluciones salinas de diferentes metales, las cantidades de los metales precipitados sobre los hilos negativos de los voltámetros son respectivamente proporcionales á los equivalentes químicos de los metales precipitados.

* 406. **Hipótesis de Grotthuss sobre las descomposiciones electro-químicas.**—Faraday consideraba los polos de una batería hidro-eléctrica como los puntos de ingreso y de salida de las corrientes eléctricas al propagarse por un cuerpo electrolítico cuyos elementos poseian alguna atraccion y repulsion particulares sobre las fuerzas atractivas y repulsivas de los polos de la batería. Fechner ha tratado de explicar los efectos químicos de las corrientes eléctricas en la hipótesis de depender aquellos de las dos fuerzas elementales de la electricidad; Grotthuss á su vez ha modificado esta hipótesis partiendo de los siguientes hechos: 1.º En todo compuesto binario, uno de los elementos es electro-positivo y el otro electro-negativo. 2.º En los compuestos ternarios formados de dos compuestos binarios en que es comun el elemento mas electro-negativo, uno de estos es electro-positivo y el otro electro-negativo.

Fundándose en estos hechos, Grotthuss explica las descomposiciones electrolíticas, admitiendo que bajo la influencia de las electricidades contrarias de los electrodos de la pila, se produce en el líquido donde se sumergen una série de descomposiciones y de recomposiciones sucesivas de un polo á otro, de suerte que los elementos de las moléculas extremas que no se recomponen quedan libres y se dirigen á los polos.

Galvanoplastia. — Dorado y plateado galvánicos.

407. **Aplicaciones electro-químicas.** — Los efectos de descomposicion, acerca de los cuales acabamos de indicar las principales circunstancias, han presentado en estos últimos años numerosas aplicaciones; y como en sus efectos no interviene el calor, puede operarse á un mismo tiempo sobre cuerpos que gozan de las propiedades mas diversas con respecto á este agente, debiéndose á esta circunstancia favorable que la industria encuentre tan pre-

ciosas ventajas en los procedimientos eléctricos para depositar los metales sobre cuerpos preparados al efecto, originándose de aquí la *galvanoplastia* y el *dorado* ó *plateado por la pila*, de que nos vamos á ocupar.

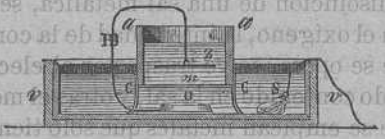
Se ha manifestado (400) que si una corriente eléctrica actúa en la disolucion de una sal metálica, segun sea la afinidad del metal con el oxígeno, la intensidad de la corriente y las circunstancias en que se opera, se ve trasportar al electrodo negativo unas veces el óxido contenido en la sal, y otras el metal; lo último sucede siempre que se emplean metales que solo tienen una pequeña afinidad con el oxígeno, como son el cobre, estaño, plata, oro y platino. Los metales depositados cubren en todos sus puntos el electrodo negativo; y si la corriente es suficientemente débil, las moléculas se agregan y el depósito adquiere bastante dureza y presenta todas las propiedades de una masa metálica ordinaria. Si la superficie conductriz sobre la cual ha empezado la precipitacion metálica está muy limpia y tersa, puede adherirse íntimamente, no adquiriendo entonces sino un espesor muy pequeño, en cuyo caso se comprende el *dorado* y *plateado galvánico*: si, por el contrario, esta superficie se halla ligeramente cubierta por materias extrañas, la adherencia no tiene lugar; pero si se deja adquirir al precipitado cierto espesor, se le puede separar de la superficie del molde, reproduciéndose entonces todas las sinuosidades y accidentes, aun los mas delicados, con la mayor perfeccion, constituyendo uno de los objetos de la *galvanoplastia*.

408. **Galvanoplastia.**—Hemos visto, al describir la pila de Daniell (388), que se formaba un depósito de cobre en el polo positivo, que provenia de la disolucion del sulfato de cobre. Jacobi y Spencer fueron los primeros físicos que observaron que el cobre depositado se amoldaba con admirable precision á la forma de los cuerpos que le reciben, consiguiendo reproducir medallas si se hace depositar el metal sobre moldes en hueco ó en relieve preparados al efecto. Estos moldes se sacan sobre la estearina, la guta-percha, el yeso, sobre una mezcla hecha con partes iguales de cera y resina, y se les cubre con polvo de plombagina, para hacerlos conductores de la electricidad.

Los primeros aparatos empleados con este objeto se diferencian de un elemento de la pila de Daniell, en que el vaso metálico exterior está reemplazado por un vaso de vidrio ó de porcelana donde se coloca el molde de la medalla, formando el polo positivo sobre el cual se ha de precipitar el metal. La *fig.* 255 representa un aparato de este género: *a a* es un vaso de vidrio con el fondo formado

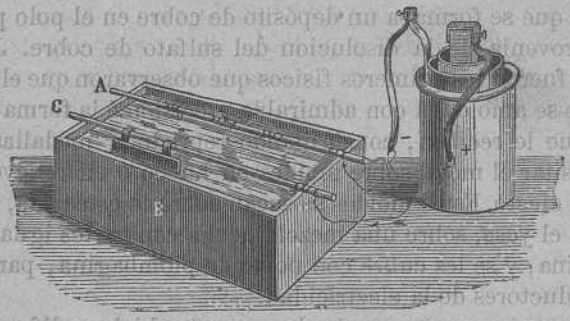
con una membrana porosa *m*, que puede ser un pedazo de vejiga; este vaso contiene el agua débilmente acidulada, en cuyo líquido se sumerge, suspendido por un hilo metálico, un pedazo de zinc amalgamado *z*; un anillo de madera *c c* sostiene el vaso *a a* en medio de otro *v v*, lleno de una disolucion saturada de sulfato de cobre; el molde *o*, sobre el cual se ha de depositar el metal, se halla colocado dentro de esta disolucion, y se comunica eléctricamente por un hilo metálico con el zinc del vaso superior. Para mantener la disolucion de cobre saturada, se sumerge en ella un saquillo de tela de lona *s*, lleno de cristales de sulfato de cobre. La teoría de este aparato es la misma que la del elemento de Daniell; pero presenta el inconveniente de que, al cabo de cierto tiempo de estar funcionando, una parte del sulfato de zinc formado atraviesa la membrana, y mezclándose con el sulfato de cobre, se alteran las cualidades del depósito. Jacobi ha evitado esto con la invencion de los electrodos solubles, cuya disposicion es la que hoy se emplea por las ventajas que presentan.

Fig. 255.



Para obtener la reproduccion en cobre de una medalla por este segundo procedimiento, en un baño *B* (*fig.* 256), lleno de sulfato

Fig. 256.



de cobre, se sumerge el molde preparado, y se le suspende de una varilla de laton *A*, que está en comunicacion con el electrodo negativo de un par de Bunsen; se sumerge igualmente una lámina de cobre y se suspende de la varilla *C*, que se comunica con el electrodo positivo del mismo par. La corriente eléctrica descom-

pone el sulfato de cobre; el ácido y el oxígeno del óxido se dirigen al polo positivo, y el cobre al polo negativo, en donde se deposita lentamente sobre el molde suspendido de la varilla *A*. La lámina positiva se disuelve en el líquido á medida que el cobre que queda libre de la descomposicion de la sal disuelta se deposita en el molde, de tal modo que el líquido permanece en un estado perfecto de concentracion: trascurridas 30 ó 35 horas, el molde está cubierto de una capa de cobre sólida y resistente. Se pueden obtener varias medallas á la vez suspendiendo los moldes de la varilla *A*, bastando una lámina de cobre en la otra varilla, siempre que sea suficientemente gruesa, para sustituir todo el cobre que se deposita en los moldes. Por este procedimiento se han llegado á reproducir estátuas de bronce, bajorelieves y otra infinidad de cuerpos, como frutas de todas especies, peces, aves, etc.

409. **Dorado y plateado galvánico.**—De la Rive fué el primero que en 1840 empleó las corrientes eléctricas para dorar y platear los metales. El dorado y plateado por la pila se diferencia de la galvanoplastia en que la capa metálica que se deposita sobre los objetos que se doran y platean es mas delgada y mucho mas adherente. Para conseguir la mayor adhesion posible, se pulimenta la superficie del metal que se desea dorar. De la Rive opera del modo siguiente: forma un par voltáico con el objeto que se ha de dorar y una placa de zinc, uniéndolos por medio de un alambre de cobre; sumerge el primero en una disolucion lo mas neutra posible de cloruro de oro, y el zinc en agua acidulada, hallándose separados ambos líquidos por un diafragma poroso. La corriente producida por esta combinacion voltáica determina sobre el objeto metálico sumergido en la disolucion del cloruro de oro una precipitacion de este metal, formando una capa tanto mas gruesa cuanto mas tiempo dura la accion de la electricidad.

Ruolz y Elkington, á fines del año 1841, modificaron este procedimiento formando verdadera industria del dorado y plateado galvánico. Estos físicos han encontrado mas ventaja empleando la corriente de una pila voltáica formada de muchos pares en vez de uno solo, y sustituyendo el cloruro de oro por el cianuro del mismo metal, el cual se forma vertiendo la disolucion de cloruro de oro en otra de cianuro de potasio. El uso de este compuesto presenta la ventaja de que, en lugar de desprenderse en la descomposicion de la disolucion el gas cloro, que altera algo el metal, es el cianógeno, que no actúa sobre ningun cuerpo de los que se pueden sumergir en las disoluciones. En el dia se emplea para el dorado y plateado galvánicos el aparato descrito en

la *figura* 256, con la diferencia de ser tres ó cuatro pares de Bunsen los que forman la pila. Para el dorado se echa en el baño una disolucion formada por 1 gramo de cloruro de oro, 100 gramos de agua y 10 gramos de cianuro de potasio. La disolucion para el plateado está formada de las mismas proporciones que la anterior, solo que en vez de 1 gramo de cloruro de oro se pone 1 gramo de cianuro de plata. La pieza que se ha de dorar ó platear se ata con alambres metálicos á la varilla unida al electrodo negativo de la pila, y á la varilla unida al electrodo positivo una hoja de oro ó de plata, que se disuelven y mantienen la disolucion en un estado de concentracion constante.

CAPÍTULO X.

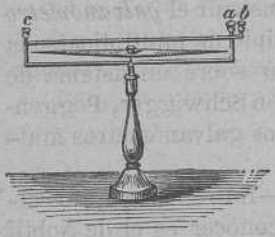
Electro-magnetismo.

410. **Efectos magnéticos de la pila.**—*Experimento de Œrsted.*—Los fenómenos magnéticos originados por las corrientes hidro-eléctricas los principió á estudiar Œrsted; pero entre todos aquellos, los mas importantes son los que resultan de la influencia que ejerce una corriente de electricidad sobre las agujas magnéticas que se colocan en las inmediaciones de los conductores por donde está pasando la electricidad. Ya en 1819 Œrsted habia observado, y en 1820 publicó, que si se colocaba en la proximidad del conductor de una corriente eléctrica una aguja imantada, esta se desviaba de su posicion normal, volviendo á la misma en cuanto cesaba la corriente; la direccion que tomaba la aguja dependia de su posicion con relacion al conductor y de la distancia de la corriente. Así, suponiendo que la aguja se halla colocada encima del hilo metálico que reune los dos polos, se desvía su polo austral hácia el Este, si el extremo del hilo por el cual pasa la corriente, situado del lado del polo Sur de la aguja, se halla en comunicacion con el polo positivo de la pila, y la otra extremidad, situada del lado Norte de la aguja, toca al polo negativo. El polo austral de la aguja, por el contrario, se desvía al Oeste cuando el polo positivo de la pila está situado hácia la extremidad Norte de la misma, y el negativo hácia la extremidad Sur. Hemos supuesto la aguja imantada colocada sobre el hilo conductor; si se coloca debajo, tambien se desvía, pero en direccion opuesta.

Se demuestra fácilmente el desvío de la aguja en las dos direcciones opuestas, segun su posicion relativamente al hilo conductor de la pila, con el aparato representado en la *fig.* 257.

Las cápsulas metálicas *a b* y *c* están llenas de mercurio y dispuestas para recibir la extremidad de los reóforos de una pila. Sumergiendo en el mercurio de la cápsula *a* la extremidad de uno de los reóforos, y la extremidad del otro reóforo en la cápsula *b*, la corriente pasará por encima de la aguja; trasladándole de esta cápsula á la *c*, la corriente pasará por debajo de aquella, notándose en cada caso, cualquiera que sea la direccion del desvío, que tiende siempre á colocarse perpendicularmente al hilo que trasmite la corriente.

Fig. 257.



Si se supone, como lo ha hecho Ampere, que una persona se hallase colocada en el hilo condutor *c b*, de manera que la corriente entre por los piés y salga por la cabeza y de cara á la aguja, veria dirigirse, en todos los casos que se acaban de considerar, el polo austral de la aguja hácia su izquierda, y el boreal á su derecha, llamando izquierda y derecha de la corriente la izquierda y derecha de la persona supuesta. En la corriente así *personificada* se pueden resumir todos los casos en un principio general, que se expresa del modo siguiente: *en la accion directriz de las corrientes sobre los imanes, el polo austral es constantemente desviado hácia la izquierda de la corriente.*

Poco tiempo despues del descubrimiento de Œrsted, se observó que los imanes en reposo ejercian una accion directriz sobre las corrientes movibles, y el estudio de los fenómenos que dependen de las acciones mútuas que se ejercen entre las corrientes y los imanes, constituye en la actualidad una parte muy importante de la electricidad, á la que se ha dado el nombre de *electro-magnetismo*.

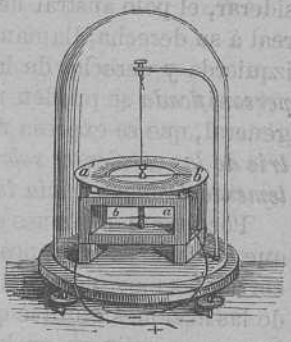
411. **Galvanómetros.**—Cuando las corrientes son poderosas, es suficiente, para hacer que giren las agujas, que el conductor de una pila pase en una direccion sobre aquellas; pero los efectos en el cambio de posicion de las agujas serán mas apreciables cuando la misma corriente eléctrica obre sobre y debajo de los imanes. Si en vez de estudiar los efectos de las corrientes eléctricas enérgicas quisiéramos apreciar la influencia que ejercen sobre las agujas magnéticas las corrientes débiles de la electricidad, fundándonos en el principio anterior, se comprende que debiéramos hacer que el conductor de estas corrientes pasase diferentes veces sobre y debajo de las agujas magnéticas, para que

triplicándose, cuadruplicándose, y en definitiva multiplicándose la influencia giratoria de la misma corriente sobre los imanes, se pudiera reconocer la influencia y los efectos resultantes de las corrientes débiles de la electricidad sobre las agujas magnéticas libremente suspendidas.

En el primer principio, ó sea en el de exponer una aguja sujeta, como en el experimento de Œrsted, á la influencia del paso de una corriente, se fundó Jacobi para construir el *galvanómetro* que lleva su nombre. En el segundo principio de multiplicarse la influencia de la electricidad sobre una ó sobre un sistema de agujas libremente suspendidas, se fundaron Schwigger, Poggendorff y Nobili para construir sus respectivos galvanómetros multiplicadores.

Galvanómetro multiplicador de Nobili.—Entre los aparatos citados anteriormente, el que mas interesa conocer es el de Nobili (*fig.* 258), que consiste en un hilo de cobre cubierto de seda, rodeado á un bastidor de madera rectangular, dando en algunos de aquellos aparatos 50 vueltas, en otros 200 á 300, y en los mas sensibles de 800 á 1000. En el centro del bastidor se halla suspendida una aguja semi-astática (330), de tal modo, que mientras una de las agujas *b a* se halla en el centro del rectángulo, la otra *a' b'* se encuentra sobre un limbo circular fijo á la parte superior del bastidor, dividido en grados de circunferencia.

Fig. 258.



Cuando se quiere hacer un experimento con este aparato, se principia por volver el rectángulo en la direccion del meridiano magnético; la aguja está entonces en el plano del bastidor, y el efecto de la corriente que pasa por los extremos del alambre que envuelve al bastidor del galvanómetro, tiende á desviarla de esta posicion, formando un ángulo mayor ó menor segun que la corriente es mas ó menos enérgica. Puede tambien, por la direccion del movimiento de la aguja, reconocerse cuál es la direccion en que marcha la corriente. Este aparato, por la facilidad con que permite apreciar la presencia y direccion de la corriente mas débil que pasa por el hilo, ha llegado á ser el fundamento de importantes descubrimientos de la física; con él se ha conseguido demostrar que la electricidad desenvuelta en la pila es debida mas

bien á una accion química que al simple contacto de metales diferentes. Por medio de este aparato Becquerel ha podido probar que en todas las combinaciones químicas tiene lugar un desprendimiento de la electricidad, y determinar las leyes que siguen estas combinaciones.

Para medir la diferencia de intensidad de dos corrientes, se construyó el galvanómetro con dos hilos de igual longitud y diámetro, en cuyo caso se llama *galvanómetro diferencial*, y se obtiene aquella diferencia haciendo pasar simultáneamente y en sentido contrario una corriente por cada hilo.

Para observar las corrientes hidro-eléctricas, se construyen galvanómetros multiplicadores de 2,000 á 20,000 vueltas ó de *hilo largo*, y de 30 á 300 vueltas ó de *hilo corto* para observar las corrientes termo-eléctricas, que mas adelante se describen. El alambre de los primeros debe ser fino ó de pequeño diámetro, y grueso el de los segundos.

Acciones de las corrientes sobre los imanes.

412. **Leyes de la accion de las corrientes sobre los imanes.**—La influencia que ejercen las corrientes sobre los imanes, segun Biot, Sabart y Smith, están sujetas á las dos leyes siguientes:

1.ª *La influencia de un conductor sobre una aguja magnética se disminuye en razon inversa de la distancia.*

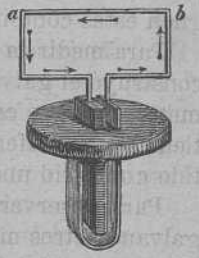
2.ª Segun Laplace, *la fuerza que corresponde á cada punto de una corriente, está en razon inversa del cuadrado de la distancia de los imanes.*

413. **Accion recíproca de los imanes sobre las corrientes.**—En el galvanómetro multiplicador de Nobili, se ha demostrado que una aguja magnética, libremente suspendida, gira bajo la influencia de una corriente eléctrica que pasa por un conductor fijo; pero se comprende el resultado que deberia obtenerse cuando el iman fuese el fijo y el conductor eléctrico el movible; en este último supuesto se notaria que el conductor movible, pasando por él la electricidad, tiende á ponerse en cruz con relacion á la direccion Norte Sur de un iman colocado en las inmediaciones de aquel conductor.

Para demostrar este principio, es necesario que los hilos por donde pasen las corrientes estén dispuestos de modo que se muevan con la mayor facilidad. Se pueden tener corrientes muy movibles por medio de las *pilas flotantes* ideadas por de la Rive, cuyos aparatos consisten en un disco de corcho (*fig.* 259) bajo el

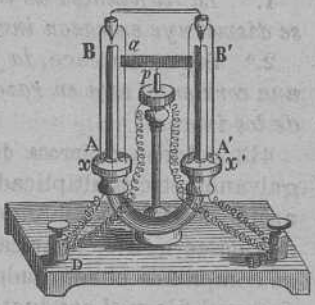
cual se coloca un pequeño par de Wollaston, ó simplemente una lámina de cobre y otra de zinc, separadas unos dos centímetros, y unidas por su parte superior con un hilo de cobre. Se hace flotar esta pila sobre agua acidulada, y la corriente se establece inmediatamente en la direccion que indican las flechas, ó sea del cobre al zinc. Si hallándose inmóvil el flotador se coloca una aguja imantada que pueda girar libremente alrededor de una punta que la sirva de apoyo, se notará que la aguja tiende á colocarse perpendicularmente á la corriente, dirigiéndose el polo austral hácia la izquierda de la corriente (410). Pero si suponemos, por el contrario, que el flotador está libre y que se coloca horizontalmente sobre la parte *a b* del hilo una barra imantada, el aparato gira alrededor de su eje vertical, y el plano del hilo se fija perpendicularmente á la barra, hallándose el polo austral de esta á la izquierda de la corriente.

Fig. 259



*414. **Experimento de Ampere.**—Para demostrar la accion de los imanes fijos sobre las corrientes movibles, nos podemos servir del aparato construido primeramente por Ampere (*fig.* 260), el cual consiste en un iman encorvado en *U*, sobre cuyos polos se colocan las corrientes movibles *A B* y *A' B'* con sus extremos afilados en punta, las cuales tocan á la superficie del mercurio contenido en las dos cápsulas de ébano *x x'*. Poniendo este aparato en relacion con los reóforos de una pila por los puntos *D D*, la corriente entra por el mercurio contenido en la cápsula *x*, sube por la corriente móvil *A B*, descendiendo despues por el brazo del iman como cuerpo conductor, para elevarse por el brazo de este último y descender despues por la segunda corriente movible *A' B'*. Las corrientes en este experimento tienden á ponerse paralelas, pero bajo la influencia de los imanes, los conductores movibles giran hácia la derecha ó hácia la izquierda, conforme sea la direccion de la corriente eléctrica.

Fig. 260.



CAPÍTULO XI.

Electro-dinámica.

415. **Fenómenos electro-dinámicos.**—El experimento de Œrsted (410) y los fenómenos producidos por las acciones de las corrientes sobre los imanes, condujeron á Ampere al descubrimiento de una nueva série de fenómenos relativos á la accion de las corrientes unas sobre otras y á la accion de la tierra sobre las corrientes; la exposicion de estos fenómenos y las leyes que los producen constituye la parte de la electricidad denominada *electro-dinámica*.

416. **Denominacion de las corrientes.**—Ampere consideró teóricamente el experimento de Œrsted como un efecto de la accion mútua entre dos corrientes eléctricas, y bajo este punto de vista, queriendo dar solidez á sus ideas teóricas por medio de las experiencias, llegó á la siguiente consecuencia: la electricidad en estado de movimiento, ó sean las corrientes eléctricas, se *atraen* y se *repelen*, siguiendo leyes constantes, y de un modo parecido, en cuanto á la atraccion y repulsion, á las observadas en la electricidad estática, ó en estado de tension y acumulada en los conductores de las máquinas ordinarias.

Generalmente se ha convenido en admitir en toda corriente eléctrica una direccion determinada (382) desde el polo positivo de una pila al polo negativo, pasando por el conductor, en el supuesto de que se halle establecida con el último la comunicacion entre los polos; pero conviene advertir que con mucha frecuencia en los experimentos electro-dinámicos se denominan tambien *corrientes* los conductores por donde aquellas marchan ó pasan, en cuya acepcion se comprenderán las divisiones que se hacen de *corrientes movibles* cuando los conductores están libremente suspendidos, de *corrientes fijas* cuando los conductores no tienen movimiento, y de *corrientes rectas*, *circulares*, *espirales*, etc., por causa de la forma particular que presentan los conductores.

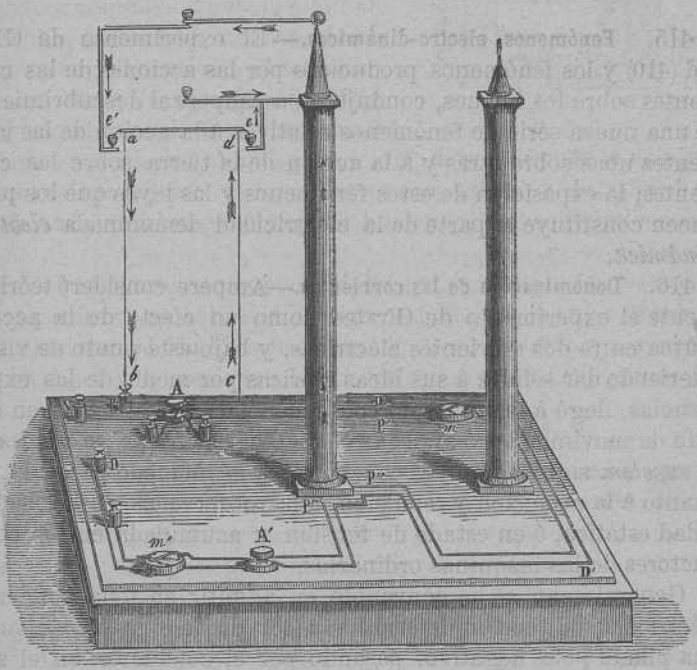
417. **Leyes de las corrientes.**—Comprendidas las anteriores indicaciones, es fácil demostrar las leyes descubiertas por Ampere sobre la influencia atractiva y repulsiva de las corrientes eléctricas, y que aquel físico expresó diciendo:

1.ª *Cuando las corrientes pasan por dos conductores paralelos y movibles, si aquellas marchan en una misma direccion, las*

corrientes, y por consiguiente los conductores movibles, se atraen y se repelen en el caso contrario.

Para demostrar esta primera ley, supongamos (*fig.* 261) la

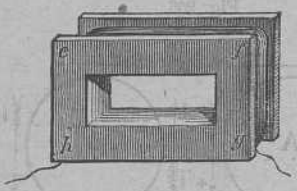
Fig. 261.



mesa universal para el estudio de los fenómenos electro-dinámicos, ideada por el constructor de aparatos de física Sr. Breton, la cual presenta la notable ventaja de no hacerse en ella uso de las cápsulas con mercurio de que se valió Ampere en sus investigaciones. Los polos de la pila se ponen en comunicacion con los puntos *N* y *P*; la corriente entra por *N*, marcha por la lámina metálica *P' P'' P'''* incrustada en la mesa, saliendo por el centro de la columna *C*, conforme la indicacion de las flechas, y despues de recorrer la corriente movible *a b c d*, que consiste en un rectángulo de hilo de cobre sostenido en las pequeñas cápsulas *e e'* por dos puntas metálicas, desciende por el exterior de la columna, siguiendo de nuevo por la lámina metálica *D D' D''* y el hilo del multiplicador *e f g h* (*fig.* 262), construido con alambre de cobre cubierto de seda, el cual se fija á la mesa en la parte

inferior del conductor movible, de tal modo, que una parte de este se encuentre dentro del rectángulo, y los extremos del hilo de cobre se pongan en comunicacion con los extremos de la solucion de continuidad que presenta la lámina metálica donde se han de colocar aquellos para que la corriente llegue en definitiva á salir por el punto *P*. La mesa universal tiene además dos brújulas *m m'* que sirven para comprobar la primitiva experiencia de Œrsted, y dos botones metálicos *A A'* con los cuales puede hacerse cambiar la direccion de la corriente de izquierda á derecha y viceversa.

Fig. 262.



Dispuesta la mesa universal del modo anteriormente descrito, tendremos que el paso de la corriente eléctrica se verifica por el conductor movible *a b c d*, el cual es atraido por la corriente fija del multiplicador rectangular cuando se hace por los botones

Fig. 263.

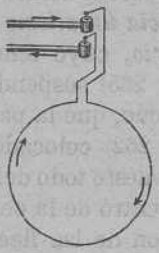


Fig. 265.

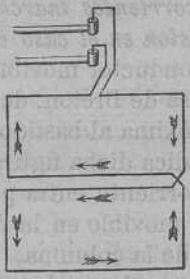
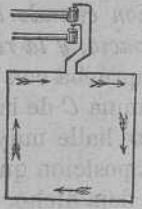


Fig. 264.

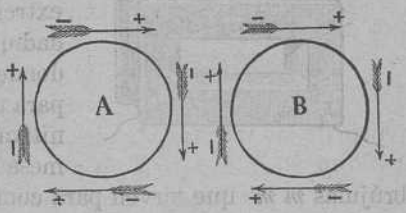


metálicos *A A'* que marchen las corrientes, que son paralelas en aquellos conductores, en una misma direccion, siendo el conductor movible repelido cuando las corrientes marchan en direccion opuesta; quedando demostrada la primera ley de Ampere, el cual hizo uso para sus experimentos de conductores movibles, dispuestos como se ven en las *figuras* 263, 264 y 265, los cuales se colocan en la columna *C* de la mesa universal de Breton, de un modo semejante al conductor regular *a b c d*, reproduciéndose en todos los experimentos los mismos resultados.

La explicacion de la primera ley de las atracciones y repulsiones de los conductores movibles y paralelos por donde pasan las corrientes eléctricas, y sus relaciones con las leyes de las atrac-

ciones y repulsiones que se presentan por la electricidad estática en las máquinas ordinarias, se puede reconocer por la *figura* 266, en la cual *A* y *B* son las secciones trasversales de dos conductores paralelos por donde pasan corrientes eléctricas; observándose por las flechas y los signos de la electricidad colocados á los extremos de aquellas, que si la marcha de la electricidad es la misma en los dos conductores, los extremos de las dos flechas intermedias poseen la electricidad contraria, desarrollándose la atraccion recíprocamente entre los conductores; siendo repelidos en el caso de que en uno de los conductores cambiase la posicion de las flechas indicadoras de la direccion de las corrientes de la electricidad.

Fig. 266.



2.ª *Cuando las corrientes eléctricas que pasan por dos conductores movibles, ó el uno movible y el otro fijo, marchan en direcciones que forman entre sí un ángulo, en este caso se desarrolla la atraccion cuando las corrientes marchan hácia un mismo punto del espacio, y la repulsion en el caso contrario*, cuyo fenómeno se comprueba con el conductor movible (*fig.* 265) suspendido de la columna *C* de la mesa de Breton, de tal modo, que la parte inferior se halle muy próxima al bastidor (*fig.* 262) colocado en la misma posicion que indica dicha figura. Dispuesto todo del modo que se deja dicho, la corriente entra por el centro de la columna *C*, pasa por el circuito movible en la direccion de las flechas, y vuelve por el exterior de la columna, pasando por el multiplicador, saliendo por *P* para volver á la pila. Si se ha colocado el circuito movible de modo que forme un ángulo con el multiplicador, se observará en el momento de pasar la corriente, que se disminuye aquel ángulo, porque las dos corrientes marchan hácia un mismo punto. Si se cambia la direccion de las corrientes haciendo girar el boton *A* de la mesa universal, se aumentará el ángulo formado entre el hilo y el multiplicador, lo que manifiesta evidentemente que hay repulsion.

3.ª *Dos porciones de una misma corriente se repelen mútuamente.* Para demostrar que en los diferentes puntos ó secciones sucesivas de una misma corriente están contínuamente repeliéndose las electricidades, se sirvió Ampere del aparato *figura* 267, que consiste en una tabla de madera poco porosa, en la cual se

hayan abierto dos ranuras de 6 á 8 milímetros de profundidad, que se llenan de mercurio; sobre este líquido se pone un conductor de cobre *P A B N*, barnizado, excepto los extremos *N* y *P*. Si los dos brazos *N B* y *P A* del conductor de cobre son paralelos, y se ponen en comunicacion los reóforos de una pila *N'* y *P'* con el mercurio de las ranuras, tendremos que las corrientes siguen por el camino *P' P A B N N'*, y como el conductor es movible, se traslada sobre el mercurio, alejándose paralelamente asimismo sobre la superficie del metal líquido. Para conseguir realizar esta experiencia, es necesario que la pila sea bastante enérgica.

Fig. 267.

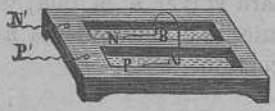
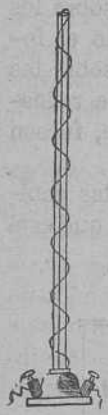


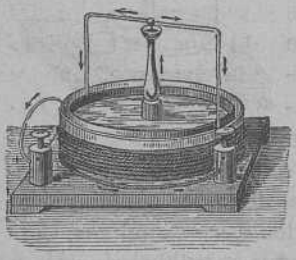
Fig. 268.



4.ª *Cuando dos corrientes eléctricas pasan por conductores paralelos, poseyendo aquellas la misma intensidad y siguiendo direcciones contrarias, se neutraliza su influencia, no presentando ninguna accion sobre los conductores movibles*; esto se comprueba para las corrientes sinuosas con el aparato (*fig.* 268) de la mesa universal, en el cual la corriente sube rectilínea por el centro y desciende sinuosa por el exterior, en cuyo caso no se ejerce ninguna accion sobre los conductores movibles descritos anteriormente.

Fundándose en la segunda ley de la influencia atractiva y repulsiva de las corrientes angulares, se han construido numerosos aparatos, por cuyo medio se da orígen á movimientos de rotacion, disponiendo las corrientes en forma circular. Citaremos el principal experimento, describiendo con brevedad el aparato que sirve para comprobar las leyes referidas.

Fig. 269.



418. **Rotacion contínua de una corriente bajo la influencia de otra corriente.**—Este experimento, que se debe á Savart, se verifica tomando el vaso metálico (*fig.* 269), rodeado de un alambre multiplicador, y la columna que se halla en su centro sirve de apoyo á un eje que sostiene un conductor movible formado por un alambre encorvado en sus dos extremidades y soldadas estas á un ligero anillo de cobre. El vaso se llena con agua aci-

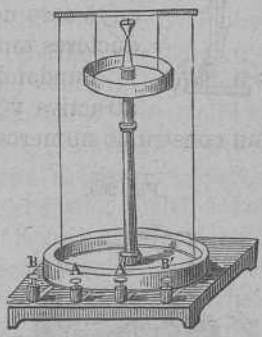
dulada, en la que se sumerge el anillo del conductor movible, y tendremos que la corriente entra por el centro de la columna, desciende por el conductor movible el agua acidulada, recorre posteriormente el hilo del multiplicador para volver á la pila, y se produce una rotacion de derecha á izquierda ó de izquierda á derecha, conforme sea la marcha de las corrientes.

Accion de la tierra sobre las corrientes.—Solenóides.

419. **Accion directriz de la tierra sobre las corrientes.**—Se lleva demostrado experimentalmente, que las corrientes obran sobre los imanes y viceversa; pero actualmente se ha demostrado el fenómeno que expresó Eisenlohr, diciendo: la tierra obra sobre las corrientes eléctricas movibles como si toda ella estuviera rodeada de corrientes eléctricas que, pasando de Este á Oeste, fuesen casi paralelas al Ecuador.

Para comprobar experimentalmente la exactitud de las comparaciones anteriores, se coloca en el aparato (*fig.* 270), que está formado por dos vasos de cobre, el superior de un diámetro menor que el inferior, y sobre la columna que sostiene á este segundo vaso, una corriente movible, que debe equilibrarse para que se mantenga en la posicion horizontal y los extremos de los alambres no toquen al fondo de los vasos de cobre, en los cuales se echa agua acidulada. Puestos en comunicacion los electrodos de una pila con los tornillos B y B', por el tornillo B pasa la corriente sin tocar á los vasos, por un alambre metálico que hay en el interior de la columna, el cual está aislado, y vuelve la corriente á la pila por el tornillo B', que se comunica con el vaso inferior por una lámina de metal, despues de haber pasado por el conductor movible, el agua acidulada y los vasos metálicos. Cerrada de este modo la corriente, el conductor movible principia á girar, colocándose perpendicularmente al meridiano magnético, observándose además que la influencia de la tierra sobre la corriente movible hace marchar al conductor de Este á Oeste.

Fig. 270.

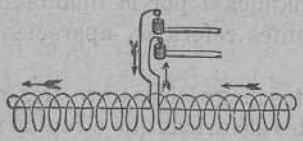


La influencia de la tierra sobre las corrientes movibles se pue-

de demostrar mas fácilmente por medio de los flotadores de M. de la Rive (413). La corriente que pasa por el conductor *a b* bajo la influencia de la tierra, da lugar á que el plano de corcho flotante gire, colocándose en una posicion constante de Este á Oeste.

420. **Solenóides.**—Ampere dió el nombre de *solenóides electro-dinámicos* á un sistema de pequeñas corrientes casi circulares y paralelas, establecidas sobre un mismo hilo de cobre recubierto de seda y arrollado en forma de hélice (*fig.* 271), siendo circunstancia indispensable que el alambre de cobre atraviese, despues de formada la hélice, por el eje central de aquella curva. En este supuesto, colocadas las corrientes en hélice que pasan por los solenóides en la columna *C* de la mesa universal (*fig.* 261), se observará que las extremidades semejantes de dos solenóides se repelen, y se atraen las contrarias, mientras que el resto del solenóide no ejerce ninguna accion sobre otra corriente fija ó movible. Si aquellos conductores en hélice son simétricos y regulares, quedan formados unos aparatos, semejantes por sus propiedades á los imanes, sin embargo de no estar constituidos los solenóides por el hierro, níquel y demás cuerpos magnetizables; deduciéndose, por último, que por las corrientes voltáicas se pueden constituir cuerpos imantados con el cobre, oro, plata, platino ó cualquier otro metal que por ser buen conductor de la electricidad deja paso á las corrientes en forma de solenóide, segun la definicion que anteriormente se ha dado de estos conductores.

Fig. 271.



* 421. **Teoría de Ampere sobre el magnetismo.**—La generalidad de los físicos consideraron la influencia que ejercen las corrientes eléctricas en la direccion de las agujas magnéticas, como uno de los descubrimientos mas importantes de Œrsted, pues por él la ciencia se prometia descubrir las relaciones que existian, ó la identidad entre las causas que producen los efectos magnéticos y los de la electricidad. Ampere fué el primero que, al notar la analogía que existe entre las propiedades de los solenóides y las de las agujas imantadas, estableció su teoría del magnetismo, considerando las corrientes eléctricas como causa de los fenómenos magnéticos.

Ampere, en vez de atribuir los fenómenos magnéticos á la existencia de dos flúidos, los explica por las propiedades generales de la electro-dinámica, considerando las agujas y barras imantadas como la reunion de corrientes voltáicas paralelas entre

sí, exactamente iguales á la de los solenóides, y por consiguiente dirigidas perpendicularmente al eje magnético de los imanes. Estas corrientes circulan constantemente en la misma direccion alrededor de las moléculas de cada iman; su resultante equivale, por consecuencia, á una corriente única, de una intensidad igual á la suma de todas las intensidades parciales, la cual se dirige circularmente á la superficie de los imanes: de modo que los imanes, segun esta teoría, no son mas que solenóides, y las atracciones y repulsiones magnéticas una consecuencia de las acciones mútuas de las corrientes. En las sustancias simplemente magnéticas, dichas corrientes circulan en todas direcciones, y es nula la resultante de sus acciones electro-dinámicas: por la imantacion se disponen paralelamente las corrientes referidas, apareciendo la polaridad en aquellas sustancias.

Por esta teoría se explican los efectos magnéticos terrestres, admitiendo la existencia de las corrientes eléctricas que circulan sin cesar alrededor del globo de Este á Oeste, perpendicularmente al meridiano magnético. Estas corrientes eléctrico-terrestres son la causa de la imantacion natural de los imanes, del hierro, y de que las agujas de las brújulas se fijen en la direccion de los polos Norte y Sur de la tierra (317), así como tambien de la accion del globo sobre los flotadores de la Rive (413) y demás corrientes movibles, bien sean horizontales, ó bien verticales.

CAPÍTULO XII.

Imantacion por las corrientes.—Telégrafos eléctricos.

422. **Imantacion por las corrientes.**—Hemos indicado (419) que los solenóides de Ampere presentan propiedades semejantes á las de los imanes: para demostrar aquella indicacion, se puede verificar el siguiente procedimiento experimental. Sea un alambre de cobre torcido en una espiral plana (*fig.* 272); si se cubre con una lámina trasparente de concha, extendiendo limaduras de hierro sobre ella mientras la electricidad está pasando por el conductor en espiral, las limaduras se fijan sobre los puntos correspondientes al alambre. Esta primera observacion, verificada por Arago, ha dado orígen á la imantacion *temporal* de las barras de hierro

Fig. 272.

dulce, conocidas bajo la denominacion de *electro-imanes*, los cuales adquieren, bajo la influencia de una corriente eléctrica en solenóide, una imantacion instantánea, volviendo á su estado natural y de indiferencia en cuanto la corriente cesa de pasar. Pero si son de acero las barras sujetas á la accion de las corrientes eléctricas que pasan por los hilos de cobre arrollados en hélice, en este caso el magnetismo adquirido queda permanente.

La hélice por donde ha de pasar la corriente eléctrica para producir la imantacion en las barras de hierro ó de acero, se forma arrollando el hilo de cobre cubierto de seda alrededor de un tubo de vidrio, dentro del cual se colocan las barras. Si el hilo está arrollado de izquierda á derecha por encima, la hélice se llama *destrorsum* (*fig.* 273); y si, por el contrario, el hilo se ha arrollado de derecha á izquierda por debajo, se denomina la hélice *sinistrorsum* (*fig.* 274). En la hélice destrorsum, el polo boreal *b* de la barra

Fig. 273.

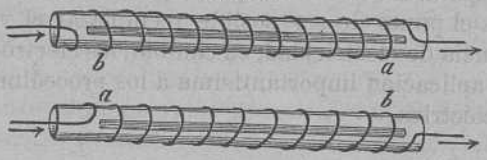
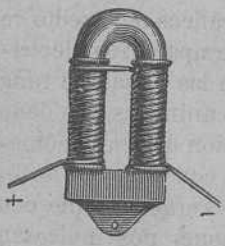


Fig. 274.

que se imanta corresponde á la extremidad por donde entra la corriente, y el austral *a* corresponde á la extremidad por donde sale, polarizándose las barras en un órden inverso si la hélice es sinistrorsum.

423. **Electro-imanes.**—Se da el nombre de *electro-imanes* á unas barras de hierro dulce en forma de herradura (*fig.* 275), en cuyas dos ramas se arrolla muchas veces un alambre de cobre cubierto de seda. El alambre debe estar arrollado en ambas ramas en la misma direccion, á fin de que la electricidad en dichas extremidades se presente polarizada con diferente nombre cuando por el hilo pase una corriente eléctrica.

Fig. 275.



Los electro-imanes han sido estudiados por Fechener, Dal Negro, por Plaff y algunos otros físicos, llegando á los resultados siguientes: 1.° La fuerza que presentan para sostener peso los electro-imanes, es proporcional á la intensidad

de la corriente eléctrica. 2.° Si la intensidad de la corriente es la misma, la fuerza suspensiva del electro-iman se aumenta con el número de vueltas de la corriente en solenóide. 3.° La fuerza atractiva de los electro-imanes es proporcional á los diámetros de los cilindros de hierro. 4.° Cuanto mas puro y dulce es el hierro, tanto mas enérgico es el electro-magnetismo que puede presentar, volviendo á su estado natural casi en el mismo instante de cesar la corriente. 5.° Las formas redondas en las barras de hierro favorecen notablemente al desarrollo del magnetismo por la electricidad.

En los principios físicos de la construccion de los electro-imanes, en la energía de la fuerza que ellos desarrollan y en la facilidad de anular dicha fuerza, se han fundado diferentes mecánicos para construir máquinas puestas en movimiento por medio de la imantacion temporal del hierro. Este problema, sin embargo de los esfuerzos de Jacobi y Lenz, que en 1831 habian conseguido una fuerza motora próximamente igual á la de un caballo, y de los nuevos aparatos construidos por Higton, no está del todo resuelto hasta el punto de ser posible reemplazar el vapor con la nueva potencia de electricidad; en cambio, los electro-imanes han tenido una aplicacion importantísima á los procedimientos de la telegrafía eléctrica.

Telegrafía eléctrica.

424. **Historia de la telegrafía eléctrica.**—La posibilidad de aplicar la electricidad para trasmitir noticias de un punto á otro, fué anunciada con alguna oscuridad en el siglo pasado; pero los primeros experimentos para conseguirlo se verificaron en Madrid por D. Francisco Salvá, primero con la electricidad de las máquinas por el frote, y no habiendo obtenido el citado físico el resultado que se prometia de sus primeras experiencias, propuso posteriormente en una de sus Memorias inéditas de 1801, que en vez de establecer los signos convencionales telegráficos por medio de las simples atracciones y repulsiones en los campanarios eléctricos ó por las chispas, convendria servirse de las ancas de rana por el procedimiento de Volta, cuyos órganos animales han dado lugar con mucha posterioridad á la construccion del galvanómetro de Matteucci. Este proyecto de Salvá, y la construccion de los telégrafos con el galvanómetro inorgánico ó magnético, que con grandes ventajas llegó á construir Wheatstone, nos indicarán todo el valor del proyecto de Salvá cuando abrigó la esperanza de establecer su telégrafo eléctrico desde Madrid á Sevilla, en la lí-

nea de Andalucía, que en su época pensó el Gobierno construir con los telégrafos aéreos ú ópticos de aquel tiempo.

Ampere, fundándose en el descubrimiento de Œrsted, construyó, hácia el año 1820, su telégrafo eléctrico, pero se necesitaban tantos hilos como signos hubiera que indicar. Sin embargo, el principio fundado en la desviacion de una aguja imantada por la accion de una corriente, es el mismo que el del telégrafo de Wheatstone; y si la atencion de todos los que se han dedicado al estudio de la aplicacion de la electricidad á la telegrafía se hubiese dirigido sobre este punto, se hubiera encontrado desde luego el medio de hacer mas conocido este admirable descubrimiento.

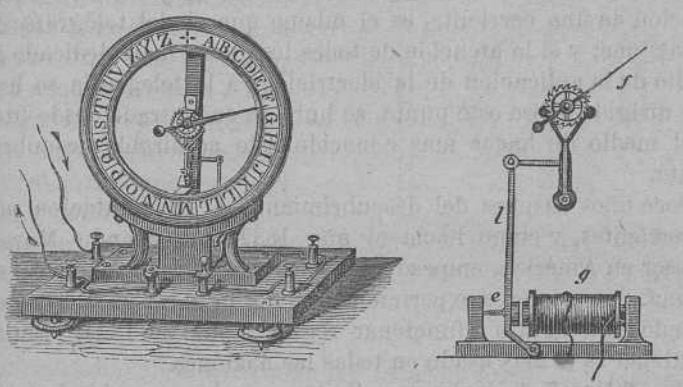
Doce años despues del descubrimiento de la imantacion por las corrientes, y como hácia el año 1832, fué cuando Morse, profesor en América, empezó á ocuparse de la realizacion de su sistema. Sus primeros experimentos tuvieron lugar en 1837, empezando su telégrafo á funcionar regularmente en 1844, y en la actualidad es el mas usado en todas las naciones.

425. **Telégrafo de cuadrante.**—Existen muchas especies de telégrafos de cuadrante, pero solo describiremos uno, que hace algunos años estuvo muy generalizado en las estaciones los caminos de hierro. Se compone este telégrafo de una pila y de dos aparatos, el uno para trasmitir el despacho, que se llama *manipulador*, y el otro en donde se lee el despacho tal como ha sido trasmitido, al cual se le da el nombre de *receptor*; y por último, del circuito de hilos metálicos que reune estos diversos aparatos. Cada estacion telegráfica tenia á la vez un manipulador y un receptor, puestos á voluntad en relacion con el circuito perteneciente á la misma pila.

El receptor (*fig.* 276) se compone de un cuadrante vertical que lleva en su contorno las veintisiete letras del alfabeto, mas un signo que sirve de punto ó señal y se halla colocado delante de la letra *A*: una aguja *f*, fija en el centro de una rueda, puede correr este cuadrante, presentando la rueda que la sostiene veintiocho dientes inclinados. Una pieza metálica en forma de *Y* está situada por debajo de esta rueda, y lleva en las extremidades de sus ramas dos pequeñas varillas cilíndricas, destinadas á engranar alternativamente en los dientes de la rueda. Esta *Y*, movible alrededor de un eje colocado en su base, se pone en movimiento por una palanca angular *l* que se mueve alrededor de su extremidad inferior, la cual tiene encima de este centro de rotacion una pequeña pieza de hierro ó armadura colocada enfrente de los polos

de un electro-iman *g*, y unida á un pequeño resorte *e*, que tiende continuadamente á alejarla del electro-iman. Por último, una de las extremidades del electro-iman se comunica con el polo posi-

Fig. 276.



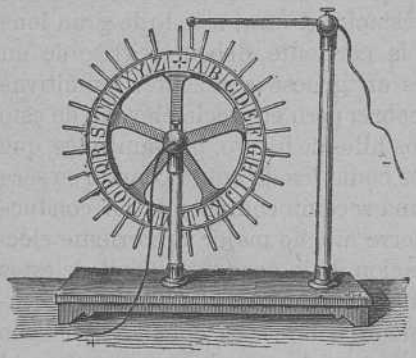
tivo de la pila, mientras que la otra extremidad se fija al hilo que une el receptor con el manipulador.

Supongamos que la corriente pasa por el alambre del electro-iman: entonces la armadura es atraida por los polos del electro-iman y empuja la palanca; la varilla de la derecha se separa, y la de la izquierda viene á chocar contra la rueda, haciendo avanzar una semi-latitud de diente. Interrumpiendo el circuito, la armadura se separa de los polos del electro-iman por la fuerza de traccion del resorte, haciéndolo á su vez la palanca, la cual separará la varilla de la izquierda enganchando la de la derecha, que vendrá á su vez á chocar contra un diente, haciéndole avanzar una semi-latitud. Estos dos movimientos habrán hecho avanzar un diente, y por consiguiente la aguja del cuadrante habrá pasado de una casilla á la siguiente, puesto que la rueda tiene tantos dientes como casillas el cuadrante. Con 10 tránsitos de la corriente y 10 interrupciones sucesivas, se hará pasar la aguja de la letra *A* á la *J*, ó de *B* á *K*, etc.; por último, de una letra cualquiera á la décima que la sigue.

El manipulador colocado en la otra estacion se halla destinado á producir estas alternativas en el tránsito é interrupcion de la corriente. Para su fácil inteligencia, lo reduciremos á la mayor simplicidad. Supongamos una rueda (*fig.* 277) de laton, provista de veintiocho dientes, bajo los cuales se hallan trazadas igualmen-

te las veintisiete letras del alfabeto castellano y el signo de marca; el eje metálico de esta rueda, colocado sobre dos montantes aisladores de marfil, recibe el hilo positivo de la pila por el intermedio del receptor; el hilo negativo que viene de esta misma pila presenta su extremidad á los dientes de la rueda, cerrando el circuito eléctrico cada diente que da orígen al paso de la corriente por el hilo, y una interrupcion en aquella luego que el diente ha pasado. Si hallándose la aguja del receptor sobre el punto de partida y el diente de señal del manipulador delante del hilo, se hacen pasar seis dientes de la rueda sobre este, de manera que pase la letra *F* por delante del hilo, habrán tenido lugar seis tránsitos y seis interrupciones de la corriente, y por consiguiente habrá marchado la aguja del receptor seis casillas sobre su cuadrante, hallándose tambien delante de *F*. Haciendo pasar la letra *R* del manipulador por delante del hilo, continuando el movimiento de rotacion en la misma direccion, la aguja del receptor se dirigirá sobre la *R*, y así sucesivamente para todas las demás letras del parte telegráfico. Para devolver la respuesta desde la estacion de llegada á la de partida se sacará el receptor del circuito, pasándole al sitio del manipulador, mientras que en la estacion de partida se reemplazará, por el contrario, el manipulador por el receptor, y de este modo la misma pila y circuito sirven para la trasmision (1).

Fig. 277.



La velocidad de trasmision de la electricidad por los hilos conductores es tan grande, que no hay mas tardanza que el tiempo empleado en hacer avanzar con rapidez el manipulador de una á otra letra para formar las palabras, y la lectura de ellas, existiendo simultaneidad casi completa entre los movimientos del mani-

(1) En los modelos de los telégrafos que generalmente se presentan en las cátedras, y los que por iguales sistemas se emplean en un principio, en las líneas telegráficas, en vez de tener la rueda dentada tantos dientes como letras hay en el manipulador y receptor, solo tiene la mitad de aquellos, y por su disposicion, al ser atraida la pieza de hierro por el electro-iman, pasan dos letras, una al aproximarse, y la otra al separarse de él.

pulador y los del receptor, cuando las distancias no son demasiado considerables.

426. **Empleo de la tierra como conductor de la corriente eléctrica en una línea telegráfica.**—Los hilos que sirven de conductores á las corrientes trasmitidas de una estacion á otra, siendo de gran longitud para que no se debilite la corriente, deben elegirse de un metal buen conductor y darles un grueso suficiente. Primitivamente se servian de hilos de cobre; pero el precio elevado de este metal ha hecho se prefieran los hilos de hierro, galvanizados, que no son tan buenos conductores como los de cobre cuando su seccion es igual, pero que bajo una seccion equivalente en conductibilidad á la del cobre, le recorre mucho mejor la corriente eléctrica. En efecto, siendo la relacion de la conductibilidad de estos dos metales como 1 á 7, será necesario un hilo de hierro tres veces mayor en diámetro que uno de cobre para obtener el mismo efecto. Además de estas ventajas existen otras para emplear el hierro, cual es la de ofrecer mayor tenacidad y resistir mejor á las diversas causas físicas de destruccion que actúan sobre los hilos telegráficos. Estos se hallan ordinariamente suspendidos sobre maderos, y descansan en los puntos de enlace sobre materias aisladoras: en ocasiones se prefiere hacerlos pasar bajo del suelo; en otras hay que tenderlos en el fondo de los mares.

El conductor submarino que sirve para establecer la comunicacion en Francia é Inglaterra, de Douvres á Calais, que funciona desde 1852, está compuesto de cuatro hilos separados entre sí, revestidos de guta-percha y cubiertos de una capa impermeable, formada por una mezcla de resina y grasa.

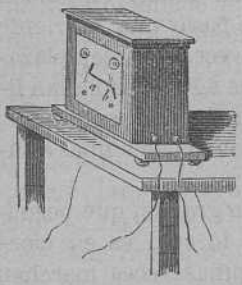
Hemos visto que en el aparato telegráfico descrito son necesarios al menos dos hilos para comunicar entre sí las estaciones; mas por una idea ingeniosa se ha conseguido suprimir uno de estos hilos, reemplazándole por la tierra, que entonces obra como un conductor imperfecto, pero de una seccion sumamente grande. Para esto se introducen en el suelo húmedo los extremos del hilo conductor, terminados por láminas metálicas bastante anchas.

La resistencia que los circuitos telegráficos oponen á las corrientes que los atraviesan, exige el empleo de pilas que posean una gran energía; para esto se recurre á un gran número de elementos, siendo la pila de Daniell muy útil para este objeto.

427. **Telégrafo de signos.**—La administracion francesa encargó á Breguet la construccion de un telégrafo eléctrico que reprodujese en pequeñas dimensiones los signos inventados por los

hermanos Chappe para el telégrafo aéreo. Los signos en este aparato telegráfico son producidos por dos palancas *a b* (*fig.* 278), movibles en su parte media: la mitad de cada una de las palancas está pintada de blanco, y la otra mitad de negro, y pueden tomar cada una ocho posiciones situadas á 45° las unas respecto de las otras, originándose de este modo 64 signos distintos, y por consiguiente se tiene un número mas considerable que en el telégrafo de letras, con la ventaja de que para pasar de un signo á otro no puede nunca haber mas de 7 signos intermedios. La disposicion del manipulador es absolutamente la misma que en el telégrafo de letras que acabamos de describir, no habiendo otra diferencia que en el número de interrupciones de la rueda, que es de cuatro. En cuanto al receptor, contínuamente es solicitada la rueda dentada del escape por un resorte que la hace girar en el momento que el electro-iman la atrae ó que pasa la corriente. Cada una de las dos estaciones que se comunican, se halla provista de un doble manipulador para las dos palancas del telégrafo, y de un doble receptor.

Fig. 278.



Ordinariamente se añade á los aparatos telegráficos una campanilla ó timbre, que sirve para advertir al empleado de la estacion de qué punto se le envia el despacho. El principio de estos aparatos es de los mas simples: un electro-iman fijo sobre una tabla, mediante una pequeña lámina metálica, se pone en comunicacion con la corriente de la línea ó con la de una pila local; desde el electro-iman, marcha la corriente á una lámina elástica de acero, fija por un extremo á la armadura del mismo, y el otro se apoya ligeramente á dicha armadura, pasando despues la corriente por otra placa de laton, que tambien está en contacto con la armadura, dirigiéndose despues á la pila por un conductor dispuesto al efecto. Cuando la corriente pasa por el electro-iman atrae la armadura y con ella un pequeño martillo en que se termina, el cual, golpeando sobre un timbre, le hace sonar. En el momento del choque cesa el contacto entre la armadura y la lámina elástica, quedando interrumpida la corriente, y por lo tanto inactivo el electro-iman; pero la lámina de acero, por su elasticidad vuelve á establecer el contacto con la armadura y circula de nuevo la corriente, repitiéndose estos movimientos

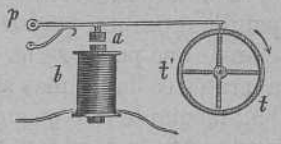
con gran rapidez, en tanto que la corriente circule por el aparato.

428. **Telégrafo de Wheatstone.**—El principio de este aparato es el mismo experimento de Œrsted; consiste en mover en uno ú otro sentido dos agujas imantadas, haciendo pasar una corriente por un hilo colocado cerca de ellas. Algunas veces es reemplazado el hilo por un pequeño electro-iman, y las agujas se hallan ligeramente inclinadas al horizonte. Se concibe fácilmente que, cambiando las posiciones simultáneas ó sucesivas de ambas agujas, puede originarse un gran número de signos.

Estos aparatos son de una sensibilidad tan grande, que permiten el empleo de corrientes poco intensas, lo cual es en ciertos casos un inconveniente, puesto que algunas veces marchan los aparatos por solo las influencias de la electricidad atmosférica, originándose perturbaciones en la trasmision de los despachos.

429. **Telégrafo de Morse.**—Se han construido muchos telégrafos que escriben los despachos; pero el inventado por Morse en Nueva-York el año 1837, fué adoptado inmediatamente en la América del Norte, y despues en Europa, hallándose hoy todavía muy generalizado. Está dispuesto de la manera siguiente: una hoja de papel se encuentra arrollada sobre un tambor *t t'* (*fig.* 279), al cual imprime un movimiento de rotacion bastante lento un mecanismo de relojería ó la mano del telegrafista. Por encima de la hoja de papel se encuentra un lápiz ó un pequeño punzon de acero, colocado en la extremidad de un brazo de palanca, movible alrededor del punto *p*, que un resorte mantiene á una corta distancia del cilindro de papel. Un pedazo de hierro dulce *a*, unido á la palanca, sirve de armadura á un electro-iman, de tal modo, que cuando pasa la corriente, traslada la atraccion sobre la resistencia del resorte, y el lápiz sobre el papel: interrumpiendo varias veces por mas ó menos tiempo la corriente que pasa en el electro-iman, pueden trazarse caractéres formados de puntos ó líneas, cuyas combinaciones representan las letras del alfabeto, segun se manifiestan en el siguiente cuadro:

Fig. 279.



ALFABETO, *cifras, signos é indicaciones usuales que se emplean para la correspondencia con el telégrafo de Morse.*

ALFABETO.

A . —	H	Q — — . —
A′ . — . —	I . .	R . — .
B — . . .	J . — — —	S . . .
C — . — .	K — . —	T —
Ch — — — —	L . — . .	U . . —
D — . .	M — —	V . . . —
E .	N — .	W . — —
E′ . . — . .	Ñ — — . — —	X — . . —
F . . — .	O — — —	Y — . — —
G — — .	P . — — .	Z — — . .

CIFRAS.

1 . — — — —	5	9 — — — — .
2 . . — — —	6 —	0 — — — — —
3 . . . — —	7 — — . . .	Línea de fraccion:
4 . . . . —	8 — — — . .	— — — — — —

SIGNOS.

Punto	Admiracion — — . — —
Coma . — . — . —	Paréntesis — . — — . —
Dos puntos — — — . . .	Comillas . — . . — .
Punto y coma — . — . — .	Subrayado . . — — . —
Interrogacion . . — — . .	Punto y aparte . — . — . .

INDICACIONES USUALES.

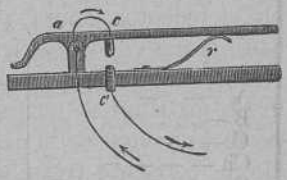
Llamada — . — . — . —	Despacho oficial . . . — . .
Final . — . — . — .	Id. de servicio . — — . .
Enterado . . . — .	Id. privado . — — . — . .
Espera . — . . .	Aviso de tras.ⁿ — . — . — .
Urgente	Fin de tras.ⁿ . — . — . —
Antefirma	Invit. á tras.ⁿ — . . . . — .
Error	Firmado . . . . .

Se obtiene la interrupcion referida por medio del brazo de palanca del manipulador movible en *a* (*fig.* 280), donde se encuentra un eje por el cual entra la corriente, pasando despues á una pieza metálica *c*, la que por medio de un resorte *r* es sostenida á distancia de otra pieza *c′*, igualmente metálica, por la cual sale la corriente. Apretando la palanca por la extremidad próxima al muelle *r* con el dedo, se aproximan las dos piezas *c* y *c′* y pasa la

corriente, que se traslada de este punto al electro-iman situado en la estacion opuesta.

Para preservar al telegrafista que maneja el aparato de los efectos de una descarga eléctrica en tiempos tempestuosos, los alambres conductores se hallan en comunicacion con un aparato llamado *para-rayos*, que consiste en dos láminas de laton dentadas, colocadas en un mismo plano en presencia los dientes de ambas, pero sin tocarse; una lámina está en comunicacion con la tierra, y la otra en el paso de la corriente. Esta llega por el hilo de la línea y continúa su marcha por la placa dentada á un conmutador, para dirigirse despues á un pequeño galvanómetro que sirve para indicar, por el desvío de la aguja, si la corriente pasa por los aparatos. En el caso de que el hilo conductor se cargue de una cantidad de electricidad atmosférica capaz de producir descargas eléctricas peligrosas, por influencia atrae la electricidad hácia la lámina dentada que está en comunicacion con la tierra, y escapándose por las puntas, evita todo riesgo á los que estén cerca del aparato.

Fig. 280.



430. **Telégrafos de Hughes y Caselli.**—Lo expuesto hasta aquí con referencia á la telegrafía eléctrica, por medio de los aparatos de Breguet y Morse, es suficiente para darse cuenta de la aplicacion de la electricidad á la trasmision de señales á larga distancia; pero tendiendo á trasformarse en la actualidad el material dinámico de la referida telegrafía, parece conveniente dar una ligera idea de los principios físicos en que están fundados los nuevos aparatos introducidos en aquella.

El americano Hughes ha inventado un telégrafo eléctrico, en que los despachos se trasmiten y resultan impresos mecánicamente. Caselli, con su pantelégrafo, simultáneamente ha conseguido que la telegrafía eléctrica pueda reproducir químicamente la escritura y las figuras á larguísimas distancias.

Estos dos sistemas telegráficos tienen un principio fundamental comun, y es el de contar ambos con mecanismos á los extremos del conductor (ó sea en las estaciones), que den orígen á movimientos concordantes é isócronos en dos órganos distantes. En el del sistema Hughes, los receptores consisten en dos ruedas dentadas que llevan en sus resaltes ó dientes grabadas las letras para imprimir; y en el de Caselli, cuyos órganos de movimiento

corcordante consisten en dos cilindros ó partes de cilindros metálicos, en uno de los cuales el manipulador escribe el despacho con trazos de tinta grasa que interrumpen el paso de la corriente eléctrica, mientras que un puntero de hierro, apoyándose en el papel humedecido con una débil disolucion de cianuro de potasio en el receptor, acusa por la descomposicion química y color azul, el paso de la corriente electro-telegráfica.

Se comprende que las ruedas dentadas é impresoras del telégrafo de Hughes necesitan, además de girar con isocronismo perfecto á pesar de la distancia, de electro-imanes por cuyo medio la corriente trasmitida produzca la fuerza necesaria para la impresion de los despachos. Respecto del pantelégrafo de Caselli, toda la dificultad consiste en el régimen y movimiento de los dos punteros manipulador y receptor, por medio de aparatos de relojería, bien isócronos y concordantes.

431. **Telegrafía trasatlántica.**—Esta parte de la física aplicada, ha presentado desde sus primeros tiempos dificultades graves, de las cuales vamos á tratar con suma brevedad. La primera depende de la condensacion de las corrientes á lo largo de los cables, con variables indeterminadas en las diferentes secciones de aquellos; la segunda, de la resistencia que presentan los hilos conductores á las corrientes; la tercera, de las contra-corrientes que pueden presentarse en el agua del mar, como envolventes de los cables; y la cuarta, de la marcha en oleadas de la electricidad por los conductores submarinos, que son causa, ó de la confusion de las señales en los receptores, ó de su anulacion completa, y siempre de una lentitud en las trasmisiones telegráficas, con perjuicio evidente de tiempo.

En la actualidad, la mayor parte de las dificultades indicadas se han superado con los receptores trasatlánticos de Thomson. Este físico para ello propuso, y está adoptado como receptor, el galvanómetro, pegado con la aguja imantada á un pequeño espejo. Sobre este y la aguja llega la luz viva de una lámpara distante, pero que penetra en la cámara oscura del galvanómetro por una ranura rectangular; por este medio el haz rectangular de rayos de luz se refleja en el espejo, teniendo en su campo la imágen opaca de la aguja, hasta tocar en una escala en la cual es posible percibir con rapidez relativa la mas pequeña desviacion de la aguja, y por consecuencia las señales telegráficas, á pesar de las dificultades que son propias de los conductores excesivamente largos, de las corrientes y resistencia de las aguas del mar, y disponiendo de pilas de fuerza y energía eléctrica moderada.

432. **Relojes eléctricos.**—La maravillosa rapidez de la corriente eléctrica se ha utilizado para señalar y telegrafiar á cada instante en un lugar dado la hora de otro situado bajo una longitud diferente. En efecto, se sabe que si se encuentra $0^h\ 0^m\ 0^s$ un lugar cuando un astro pasa por su meridiano, no pasará el mismo astro por el meridiano de otra longitud sino despues del tiempo necesario para pasar por el arco del Ecuador comprendido entre ambos meridianos; luego la hora no será la misma en el mismo instante en dos puntos situados en meridianos diferentes. La trasmision de una señal eléctrica entre dos puntos cualesquiera, puede ser considerada como instantánea, y por consiguiente una estacion muy distante puede indicar el momento preciso del paso de un astro convenido por el meridiano de un lugar; la hora de esta estacion será evidentemente la diferencia de las horas en ambos lugares, y trasformándolo en grados, minutos y segundos de grado, se tendrá la diferencia de las longitudes de ambos puntos.

Al lado de esta aplicacion de la telegrafía eléctrica, tan interesante para la astronomía, viene á colocarse otra, destinada á disminuir el número de accidentes en los caminos de hierro. Supongamos que en un reloj ordinario que marcha con gran regularidad, se introduce una pieza análoga al telégrafo de Morse, la cual se pone en relacion con el reloj de tal modo que las intermitencias de la corriente tengan lugar de segundo en segundo; supongamos además que en otra estacion se encuentra un aparato semejante al receptor del telégrafo de letras, con la diferencia de que las letras sean reemplazadas por los signos de las horas, y se verá que la hora de la primera estacion se repite segundo por segundo en la segunda.

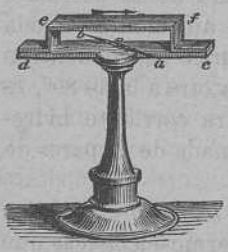
CAPÍTULO XIII.

Corrientes termo-eléctricas.

433. **Experiencias de Seebeck.**—Se llevan estudiadas las corrientes eléctricas producidas por las acciones químicas, que son el manantial mas enérgico de la electricidad dinámica. Pero además de las acciones químicas, el calor puede originar corrientes eléctricas, las cuales, aunque débiles, son de una uniformidad que no es fácil encontrar en aquellas. Estas corrientes han recibido el nombre de *corrientes termo-eléctricas*, para distinguirlas de las corrientes originadas por las acciones químicas, que se designan bajo el nombre de *corrientes hidro-eléctricas*.

Se ha demostrado (375) que un simple cambio en la temperatura de ciertas sustancias minerales bastaba para desenvolver en ellas la electricidad. Los metales presentan un fenómeno de la misma naturaleza, habiendo sido Volta el primero que anunció que una lámina de plata calentada desigualmente por sus dos extremidades, constituia un elemento electro-motor; pero posteriormente se han notado los mismos fenómenos en otros metales, observando que el desarrollo de la electricidad tenia lugar en cuanto se calentaba uno de los extremos de una barra ó lámina metálica, siendo conducido el flúido positivo á la extremidad de la barra donde se propaga el calor, y permaneciendo el flúido negativo en la extremidad calentada. Seebeck, profesor de Berlin, descubrió, en 1821, que el calor puede producir corrientes eléctricas en los circuitos metálicos. Para demostrar la existencia de las corrientes termo-eléctricas, se emplea el aparato representado en la *figura* 281, el cual consiste en una lámina de cobre ó antimonio *e f*, cuyas extremidades están encorvadas y soldadas á una lámina de bismuto *d c*. En el interior del circuito formado por estas dos láminas hay una aguja imantada *a b*, movible sobre una punta de acero. Colocando el aparato en la direccion del meridiano magnético, se calienta ligeramente una de las soldaduras por medio de una lámpara de alcohol, y se verá á la aguja desviarse de su verdadera posicion, que indica la produccion de una corriente de *d* hácia *f*, si se calienta la soldadura *d*, permaneciendo fria la soldadura *c*. Si en lugar de calentar la soldadura *d* se enfria con hielo, conservando la soldadura *c* su temperatura, continuará la corriente, pero en sentido inverso, ó lo que es lo mismo, de *c* á *d*; y en ambos casos la corriente será tanto mas enérgica cuanto mayor sea la diferencia de temperatura que exista entre las dos soldaduras.

Fig. 281.



434. **Causa de las corrientes termo-eléctricas.**—Las corrientes termo-eléctricas no son debidas á la accion del contacto, puesto que tienen lugar en circuitos formados de un solo metal; ni tampoco provienen de acciones químicas, pues que Becquerel ha demostrado que se producen del mismo modo en el vacío que en el gas hidrógeno. Segun esto, los fenómenos termo-eléctricos no pueden ser atribuidos sino á la desigual propagacion del calor al través de diferentes partes del circuito.

Para demostrarlo se toma un arco formado de dos metales, y

se unen sus dos extremidades á las del hilo del galvanómetro, bien soldándolas entre sí, ó poniéndolas simplemente en contacto. En tanto que todos los puntos del círculo así formado se hallan á la misma temperatura, el galvanómetro no indica ninguna corriente; pero si se calienta una de las soldaduras ó el punto de union, inmediatamente la desviacion de la aguja indica el paso de una corriente. Si todas las partes del circuito son homogéneas, no se manifiesta ninguna corriente, aun cuando se caliente alguno de sus puntos, porque el calórico se propaga igualmente en todas las direcciones.

435. **Propiedades de las corrientes termo-eléctricas.**—Las corrientes termo-eléctricas se diferencian de las corrientes hidro-eléctricas en que las primeras se trasmiten difícilmente por los líquidos. Así, la corriente termo-eléctrica mas enérgica no actúa sino muy débilmente sobre el galvanómetro, dependiendo esta diferencia solo de la tension, que es mas débil en las corrientes termo-eléctricas que en las hidro-eléctricas. Pouillet, valiéndose del galvanómetro diferencial, halló que la intensidad de la corriente termo-eléctrica, originada por una lámina de antimonio soldada á otra de bismuto (*fig.* 281), cuyas soldaduras se encuentran sometidas la una á la temperatura de 100° y la otra á la de 80°, es cien mil veces menor que la intensidad de otra corriente hidro-eléctrica originada por una pila de artesa formada de 12 pares de 10 centímetros de lado.

436. **Pilas termo-eléctricas.**—Se llaman *pilas termo-eléctricas* los aparatos destinados á acumular las tensiones termo-eléctricas que se producen en un circuito compuesto de varios metales, cuando se calientan las soldaduras pares, por ejemplo, permaneciendo las otras soldaduras á una temperatura constante.

La primera pila de este género, construida por Œersted y Fourier, se compone (*fig.* 282) de barras alternativas de bismuto y

Fig. 282.

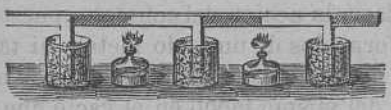
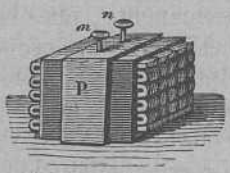


Fig. 283.

antimonio, soldadas en línea recta ó formando círculo; las barras de bismuto se conservan por una de sus extremidades y se terminan por apéndices que se sumergen en hielo fundente, mien-

tras que las soldaduras se calientan por medio de lámparas de alcohol hasta la temperatura de 200° á 300°. Nobili modificó la referida pila termo-eléctrica con el objeto de que ocupase un pequeño espacio. Su aparato tambien se compone de barras de bismuto y antimonio de 32 milímetros de longitud, 25 de latitud y 1 de espesor, soldadas por sus dos extremidades (*fig.* 283), de modo que la primera barra de antimonio se halla soldada con la siguiente de bismuto, y esta con la que le sigue de antimonio, y así continuando hasta formar una fila de pares, como representa la figura. La barra de bismuto se suelda lateralmente á la de antimonio de otra fila de igual número de pares dispuestos del mismo modo, y la de antimonio á una tercera, y esta á una cuarta, teniendo de esta manera una pila de forma prismática, que presenta todas las soldaduras pares en una de las caras, y las impares en la opuesta. Dispuestos de este modo todos los pares, se aislan los unos de los otros por medio de bandas de papel engomado, encerrados en una caja de laton *P* (*fig.* 284), de manera que las soldaduras queden descubiertas por ambos lados. Dos tornillos de laton *m* y *n*, aislados por medio de un anillo de marfil, se atornillan á dos varillas metálicas que se comunican interiormente, la una con el primer antimonio, que representa el polo positivo, y la otra con el último bismuto, que representa el polo negativo. Estas varillas se ponen en comunicacion con las extremidades del hilo de un galvanómetro, siempre que se trata de estudiar las corrientes termo-eléctricas.

Fig. 284.



437. **Aplicacion de las pilas termo-eléctricas.**—Entre las aplicaciones mas importantes de las pilas termo-eléctricas y de los galvanómetros multiplicadores, se encuentra la construccion de los termómetros magnéticos, que Becquerel ha aplicado como aparatos pirométricos en los hornos de fundicion, mientras que Nobili ha construido el termómetro diferencial magnético (*fig.* 137), que ha servido á Melloni para sus investigaciones sobre el calórico radiante (223) y sobre la atermancia y diatermancia de los diferentes cuerpos.

CAPÍTULO XIV.

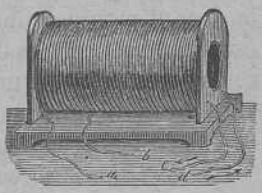
Fenómenos de induccion.

438. **Induccion por las corrientes.**—A Faraday se deben los principales experimentos verificados con el objeto de obtener cor-

rientes eléctricas por la influencia de otras corrientes. Este físico da el nombre de *corrientes por induccion* ó *corrientes inducidas* á las corrientes que se desarrollan en los conductores metálicos bajo la influencia de las corrientes voltáicas, de los imanes y de la tierra.

Se demuestra la induccion de las corrientes por medio de un cilindro hueco de carton ó de madera (*fig.* 285), sobre el cual se arrollan en hélice dos hilos de cobre recubiertos de seda, el uno grueso y el otro fino. Las dos extremidades *a* y *b* del hilo fino se ponen en comunicacion con un galvanómetro, y haciendo pasar una corriente voltáica por el hilo grueso *c d*, que se denomina *hilo inductor*, se observa que en el instante de pasar por este hilo la corriente en la direccion de *c* hácia *d*, por ejemplo, la desviacion de la aguja del galvanómetro indicará que en el hilo *a b* existe una corriente *inversa* á la primera, es decir, en sentido contrario, cuyo efecto no es permanente, pues la aguja se vuelve á su posicion primitiva despues de algunas oscilaciones, aun cuando la corriente inductora continúe pasando por el hilo *c d*. En cuanto se suprime la comunicacion *c d* con la pila, ó lo que es lo mismo, en cuanto cesa de pasar por este hilo la corriente, se produce de nuevo en el hilo *a b* una corriente inducida, instantánea como la primera, pero *directa*, ó en la misma direccion que la corriente inductora.

Fig. 285.



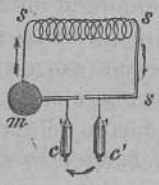
439. **Induccion por los imanes.**—Se ha dicho en el párrafo 422, que bajo la influencia de una corriente se imanta una barra de acero. Ahora diremos que recíprocamente un iman determina en los circuitos metálicos corrientes de induccion. Faraday lo ha demostrado por medio de un aparato igual al descrito en el párrafo anterior, con la diferencia que en vez de dos hilos solo tenga uno formando una espiral de 200 á 300 vueltas sobre el cilindro. Poniendo las dos extremidades del hilo en comunicacion con un galvanómetro, se introduce de repente en la oquedad del cilindro una barra fuertemente imantada, y se observa que, en el momento de introducir la barra, la aguja del galvanómetro indica el paso instantáneo de una corriente inducida en el hilo, inversa de la que existe alrededor de la barra, y permanece en seguida indiferente en su posicion primitiva mientras la barra imantada está contenida en el interior del cilindro, desviándose de nuevo, pero en una direccion contraria ó indicando una corriente inducida directa cuando se retira la barra.

Se puede demostrar la influencia inductriz de los imanes por el experimento siguiente: se coloca en el interior del cilindro hueco recubierto de un solo hilo una barra de hierro dulce, y se aproxima de repente un polo de otra barra fuertemente imantada; la aguja del galvanómetro se desvía volviendo al cero así que el iman se fija, y se desvía en sentido contrario cuando se le retira.

Los mismos efectos de induccion se obtienen en el hilo de un electro-iman si se hace girar con rapidez una barra fuertemente imantada, de manera que los polos actúen sucesivamente por influencia sobre los dos brazos del electro-iman.

440. **Induccion de una corriente sobre sí misma.**—Toda corriente eléctrica establecida en un conductor por medio de una batería voltáica, cuando se interrumpe, origina una nueva corriente especial en el conductor. Faraday atribuia este fenómeno á la influencia inductiva entre las diferentes porciones de la espiral que forma un conductor en hélice. Esta corriente inductiva la denominó aquel físico *extra-corriente*. Para demostrar su existencia se emplea el aparato (*fig.* 286), en el cual *m* es la batería, *s s* el conductor en espiral, y *c c'* los polos de la pila. Si teniendo cogidas con las manos las piezas cilíndricas *c c'* se interrumpe la comunicacion de los polos y alternativamente se la cierra, se notará que al romper el contacto se da lugar á la extra-corriente por induccion, sintiendo una sacudida mas ó menos violenta

Fig. 286.



441. **Induccion de los cuerpos en movimiento.**—M. Arago, guiado por la influencia que habia visto se ejercia sobre una aguja imantada por la armadura de cobre donde se hallaba colocada, descubrió, en 1825, una nueva clase de fenómenos de induccion. Este físico observó que el número de oscilaciones que hace una aguja imantada en tiempos iguales, si se la desvía de su posicion de equilibrio, es muy pequeño cuando se halla en presencia de ciertos metales, particularmente del cobre, que puede reducir el número de 300 oscilaciones á 4. Si á una placa circular de este metal se imprime un movimiento de rotacion cuando se la coloca debajo de la aguja libremente suspendida, y á una pulgada de distancia próximamente, la aguja se desvía en el momento de su posicion ordinaria, parándose á los 20 ó 30° del meridiano, si el movimiento de la placa es regular, aumentándose el desvío con la velocidad de rotacion de la placa, y concluyendo algunas veces por seguirla completamente en su movimiento, siendo en todos los

casos la direccion de su desvío el mismo que el de la rotacion de la placa de cobre. En este experimento hay necesidad de colocar una membrana ó lámina de papel bastante tersa entre la aguja y la placa, á fin de que el movimiento del aire no se trasmita á la aguja. La intensidad de la fuerza desarrollada por la rotacion depende de la distancia de la aguja á la placa, de su longitud, de la intensidad magnética de sus polos, y de la velocidad, espesor y naturaleza de la placa. Si se destruye la continuidad de la placa de cobre haciendo hendiduras por medio de la sierra ó lima en la direccion de los radios, se disminuye el efecto de rotacion sobre la aguja imantada: rellenando las hendiduras con plomo ú otro metal, recobra la placa casi su primera energía, no consiguiéndose esto si se rellenan de agua, ácidos ó polvos metálicos. Sustituyendo la aguja en este experimento por una hélice atravesada por la corriente eléctrica, se observa que la placa en movimiento ejerce sobre esta hélice la misma accion que ejercia sobre la aguja, lo cual nos manifiesta, no solo una nueva analogía entre las propiedades de los imanes eléctricos y la de los ordinarios, sino tambien una prueba mas de la identidad que existe entre estas dos especies de imanes, y por consiguiente entre la electricidad y el magnetismo. Faraday ha demostrado por medio del galvanómetro, que estos fenómenos son debidos á corrientes de induccion originadas en las placas por la influencia de los imanes.

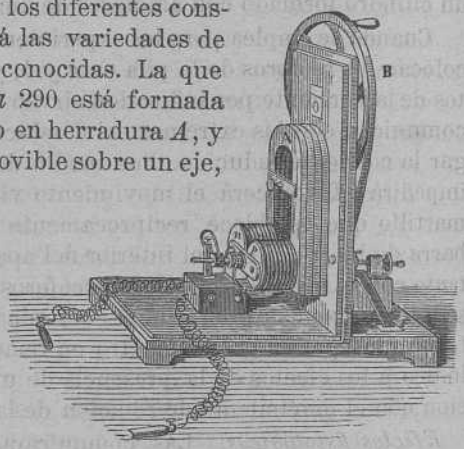
442. **Aparatos de induccion.**—Una vez descubiertas las corrientes de induccion por medio de los imanes, diferentes constructores y físicos se han ocupado en inventar aparatos por cuyo medio los efectos de las corrientes inducidas fuesen contínuos y la direccion de aquellas corrientes constante. La primera máquina de esta clase la construyó Pixii en 1822, siendo modificada posteriormente por Clarke, Saxton y Dove.

En todas estas máquinas, denominadas *pilas electro-magnéticas*, existen tres partes principales, á saber: 1.ª, un iman en forma de herradura que puede sostener de 25 á 50 kilógramos; 2.ª, dos cilindros de hierro dulce; y 3.ª, dos hélices de induccion formadas con hilos de cobre recubiertos de seda sobre cada uno de aquellos cilindros. El iman es la parte de la máquina de donde emana la influencia inductiva de un modo continuado, reemplazando á las corrientes eléctricas no permanentes. Los cilindros de hierro dulce, con la hélice de cobre que los reune, son las partes del aparato sobre las cuales el iman ejerce su influencia inductora, convirtiendo momentáneamente aquellos cilindros en imanes, porque se les supone dotados de un movimiento veloz de

revolucion que los hace pasar por delante de los polos del iman. Cuando los cilindros de hierro dulce se hallan delante de los polos del iman, se desarrollan corrientes por induccion en un sentido que cambia de direccion en el momento en que se separan los cilindros de hierro de los polos del iman. Si el movimiento de giro continúa, las corrientes de electricidad con direcciones opuestas se reproducen al dar frente á los polos ó al separarse de aquellos puntos del iman.

Para conseguir que las corrientes inversas originadas por las pilas electro-magnéticas obren en una misma direccion, los hilos de la hélice se comunican con un *conmutador* ó *girotropo* que se halla colocado sobre el eje de rotacion. El conmutador es la pieza en esta clase de pilas que se ha modificado por los diferentes constructores, dándose lugar á las variedades de pilas electro-magnéticas conocidas. La que se representa en la *figura* 290 está formada por un manojo magnético en herradura *A*, y un iman temporal *n p*, movible sobre un eje, al cual se le hace girar por medio de una rueda y cadena ó cuerda sin fin *B*. Los extremos de la hélice del iman temporal se comunican con el conmutador *m s*, construido de metal y marfil, teniendo esta pila sus reóforos en los puntos *s* y *m*.

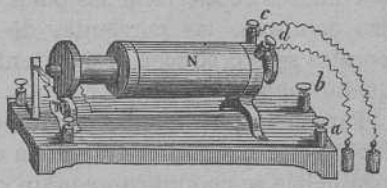
Fig. 290.



Por sus efectos, las pilas electro-magnéticas son las que generalmente se usan en la medicina, y con ellas se pueden graduar todos los efectos electro-fisiológicos, desde la conmocion mas ligera hasta la sacudida mas enérgica. En estos aparatos, cuando se les aplica á la medicina, se consigue el movimiento de rotacion de los cilindros de hierro dulce ó de los imanes por medio de aparatos de relojería, que permiten regularizar el movimiento de rotacion y con él las impresiones producidas. Además, los aparatos electro-médicos cuentan con medios para disminuir ó aumentar la distancia entre los polos del iman y los extremos de los cilindros de hierro dulce, consiguiéndose recíprocamente el debilitar ó el hacer mas intensos los efectos fisiológicos de las corrientes eléctricas inducidas de que nos hemos ocupado.

443. **Efectos producidos por las corrientes de induccion.**—Las corrientes inducidas dan orígen á todos los efectos de las corrientes voltáicas directas, con la ventaja de no ser necesarios mas que uno ó dos pares de la pila de Bunsen para producir por las corrientes inducidas todos los efectos de las pilas mas enérgicas. Estos efectos pueden demostrarse por medio del aparato *figura* 288, que consiste en una espiral formada de dos hilos de cobre aislados por medio de seda y arrollados sobre un cilindro en cuyo interior se halla una barra de hierro dulce, ó un cilindro formado con alambres de dicho metal.

Fig. 288.



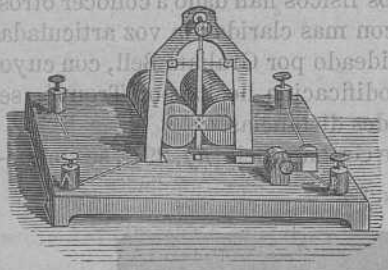
Cuando se emplea para los experimentos el aparato descrito, se colocan los reóforos de la pila en *a* y *b*, y para reconocer los efectos de la corriente por induccion sirven los tornillos *c* y *d*, que se comunican con los extremos del conductor donde ha de tener lugar la corriente inducida. Por medio del tornillo y muelle *p* se impedirá ó favorecerá el movimiento vibratorio de un pequeño martillo que establece recíprocamente la comunicacion con la barra de hierro dulce del interior del aparato. Establecido el contacto con el martillo cuando los reóforos de una pila se tocan, si se interrumpe con prontitud la comunicacion de los botones *a b*, tendremos que un galvanómetro en relacion con los tornillos *c d* indicará los efectos de la presencia de una corriente por induccion con el movimiento de rotacion de la aguja galvanométrica.

Efectos fisiológicos. Las comunicaciones producidas por las corrientes de induccion cuando pasan al través del cuerpo humano, son violentísimas y fáciles de obtener. Para experimentarlas se destornilla la tuerca que sujeta el martillo del aparato anteriormente descrito (*fig.* 288), y el martillo presentará un pequeño movimiento de vaiven; en este caso el paso de la corriente por los reóforos *a b* dará lugar á dicho movimiento en el martillo, que con rapidez cierra y abre la comunicacion de los reóforos. En este supuesto, tocando á los cilindros de cobre que están en relacion con los polos *c d* de la corriente por induccion, se sentirán sacudidas muy violentas.

Efectos químicos. Separando en el aparato (*fig.* 288) el cilindro exterior *N*, se pueden obtener efectos de descomposicion muy sensibles en el voltámetro colocado en relacion con el aparato por los dos tornillos que se hallan situados delante del martillo.

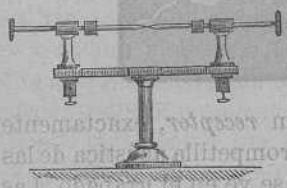
Efectos mecánicos. Si en el aparato de induccion de Froment (*fig.* 289) se colocan los reóforos de una pila en *A* y *B*, por la vibracion del martillo que se trasmite á la placa de hierro *x*, se da lugar al sonido agudo de la *sirena eléctrica*. Este sonido puede hacerse mas ó menos agudo é intenso por medio de los tornillos colocados en las extremidades de las varillas que sostienen dicho martillo.

Fig. 289.



Efectos caloríficos. Los efectos caloríficos con los aparatos de induccion consisten principalmente en el enrojecimiento y fusion de los metales. Estos efectos han sido aplicados en 1853 por el coronel don Gregorio Verdú para dar fuego á las minas, con notables ventajas en el arte de la guerra. El coronel citado se vale del aparato de induccion construido por Ruhmkorff, semejante al representado en la *figura* 288, con el cual se enrojecen los hilos metálicos muy delgados y se da fuego á los cebos químicos que inflaman la pólvora en los hornillos de las minas, tanto subterráneas como submarinas.

Fig. 290.



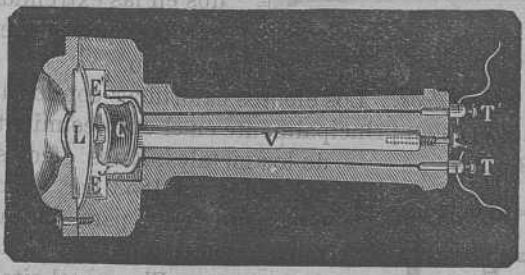
Los *efectos luminosos* de las corrientes por induccion se pueden obtener poniendo el aparato *figura* 290 en comunicacion con los polos del aparato de induccion, y se originará entre las dos puntas de carbon la misma luz eléctrica de que se trata en el párrafo 398.

Efectos electro-acústicos. Estudiando cuidadosamente hace años los fenómenos de imantacion y desimantacion que las corrientes electro-magnéticas producian en una barra de hierro dulce, algunos físicos concibieron la esperanza de poder trasmitir las vibraciones de los sonidos articulados por medio de los hilos telegráficos, si se les disponia de modo que por imantaciones y desimantaciones sucesivas de dos láminas distantes y delgadas de hierro, estas pudieran vibrar automáticamente al unísono. Wheatrtone, en 1863, fué el primero que logró trasmitir los sonidos musicales por un hilo telegráfico. Despues el físico Ries trasmitió á grandes distancias sonidos inarticulados; posteriormente Gray y Lacour, fundándose en el sistema ideado por Ries,

llegaron á construir un complicado aparato, con su trasmisor y receptor, con el cual consiguieron la traslacion á distancia del sonido mediante una série de corrientes discontínuas de intensidad variable; últimamente varios físicos han dado á conocer otros sistemas, pero el que trasmite con mas claridad la voz articulada es el aparato llamado *teléfono*, ideado por Graham Bell, con cuyo instrumento, y mediante la modificacion hecha por Trouvé, se puede comunicar la voz á grandes distancias.

444. **Teléfono.**—El teléfono de Graham Bell (*fig.* 291), se compo-

Fig. 291.



ne, como aparato, de un *trasmisor* y un *receptor*, exactamente iguales y de forma parecida á la de una trompetilla acústica de las que se usan en los escritorios, conforme se ve en el grabado. Las partes esenciales del trasmisor y receptor son una lámina de hierro dulce muy delgada *L*, llamada *membrana metálica*, que vibra al unísono de la voz; esta membrana se halla colocada delante de la embocadura del aparato, y por consiguiente en las mejores condiciones para reproducir las vibraciones sonoras que recibe; detrás de esta lámina, y perpendicular á su plano, se encuentra la extremidad de una varilla de acero imantada *V*, separada de la membrana por un pequeño espacio, y fija la otra extremidad, por medio de un tornillo, á la base de la caja cilíndrica ó armadura de madera que encierra todo el aparato. La extremidad de la varilla de acero imantada próxima á la membrana, se encuentra dentro de una pequeña *bobina* ó carrete *C* de hilo de cobre muy fino, y los dos extremos de este hilo *E* y *E'* se unen á los hilos de una línea telefónica. Como el trasmisor y receptor se hallan formados de las mismas piezas, resulta que ambos están unidos por los alambres que parten de *T* y *T'*, formando así un circuito contínuo con los hilos de los carretes.

El uso de este aparato es muy sencillo. El que hace de trasmisor se coloca á pequeña distancia de la boca, y hablando claro y sin

forzar la voz, el diafragma vibra al unísono de los múltiples y variados sonidos que se producen al emitir las palabras, las cuales se oirán en el extremo de la línea, apoyando la embocadura del otro aparato contra el pabellon de la oreja.

La explicacion que se ha dado del modo de funcionar el aparato es la siguiente: las ondas sonoras de la voz articulada se trasmiten á la lámina metálica poniéndola en vibracion, y modificando estas vibraciones el estado magnético del iman, desarrollan corrientes eléctricas en el hilo del carrete, las cuales son inmediatamente trasmitidas al otro extremo. Estas corrientes obran sobre el iman del teléfono receptor, y las modificaciones que este experimenta hacen vibrar la membrana, reproduciéndose por este medio la voz del que habla con igual fuerza é idénticas inflexiones.

El aparato descrito presenta el inconveniente de no poder comunicar la voz á grandes distancias, á causa de la debilidad de las corrientes producidas por el trasmisor; inconveniente que, como se deja dicho, ha conseguido evitar Trouvé, haciendo que en vez de una membrana, sean varias las que vibren por un mismo sonido, y reuniendo todas las corrientes engendradas por los imanes correspondientes á cada lámina, se produce una intensidad única que crece en proporcion del número de los imanes influidos. En efecto, la caja que contiene la lámina vibrante *L*, la ha sustituido Trouvé por otra de forma cúbica, cuyos lados, menos uno, están formados por una membrana de hierro dulce, colocada frente á la varilla de acero imantada con su correspondiente carrete. Cada una de estas láminas, puesta en vibracion por las ondas sonoras de la voz articulada, modifica el estado magnético del iman fijo á corta distancia de dicha lámina, y como el objeto sea reforzar las corrientes trasmisoras en proporciones ilimitadas, resulta que todas las corrientes engendradas por estos imanes se unen, produciéndose una cuya intensidad, dice Trouvé, es proporcional al número de imanes influidos. Segun este principio, si fuera necesario producir una intensidad mayor que la obtenida por las membranas y varillas magnéticas colocadas en la caja cúbica, se conseguiria reemplazando esta por otra de mayor número de lados, y por lo tanto de membranas vibrantes. Con esta ingeniosa disposicion se consigue que un despacho sujeto á pasar por varias estaciones, el empleado de las estaciones intermedias solo ha de pronunciar la misma nota ó frases que se le dirijan, recibiendo luego la comprobacion del parte que minutos antes habia expedido. Para ello se dividen los imanes y las membranas en dos séries, cuyos esfuerzos se totali-

zan en dos partes diferentes, ó lo que es lo mismo, se hace que los circuitos de los imanes estén reunidos por mitad, de manera que pronunciando una palabra en el aparato así dispuesto, esta envia corrientes por el mismo hilo, y en direccion contraria. Por ejemplo, si un parte se expide desde Madrid á Aranjuez, es recibido por el empleado de la estacion de Getafe, este le reexpide á la estacion de Ciempozuelos, y por el mismo alambre que fué trasmitido á la estacion de Getafe, vuelve al punto de partida; el empleado de la estacion de Ciempozuelos le reexpide á Aranjuez, término de su destino, y como en el caso anterior, por el mismo alambre que fué trasmitido se verifica el retorno á la estacion de Getafe, pudiendo así servir de comprobacion. Además se puede disponer de un conmutador para poner en comunicacion todos los imanes si fuera preciso.

A los aparatos telefónicos les faltaba un avisador, semejante á la campanilla ó timbre de alarma de que se sirve la telegrafía eléctrica, lo cual se ha conseguido colocando en el polo opuesto á la embocadura del teléfono, otro carrete análogo al *C*, y cuyo alambre está formando parte del circuito.

Dicho teléfono se coloca sobre un pié, y todo en una caja de resonancia, de modo que el polo de que antes hemos hablado quede inmediato á una de las ramas de un diapason que produzca al vibrar el do_4. En la otra estacion se coloca otro aparato idéntico, y cuyo diapason esté perfectamente al unísono del primero.

Para comunicarse por este medio se hace vibrar el diapason de la estacion de partida ó golpeándole con un martillo de hierro recubierto de piel, y las corrientes de induccion que originan en el carrete adicionado al aproximarse y separarse de él la rama correspondiente del diapason, producen una série de vibraciones idénticas en el diapason de la estacion de llegada, capaces de ser oidas á gran distancia, lo cual conseguido, se continúa la trasmision haciendo uso del teléfono.

445. **Fonógrafo.**—Otro de los instrumentos nuevamente inventados es el llamado *fonógrafo*, con cuyo aparato se ha conseguido estereotipar los sonidos que manda el teléfono, permitiendo esta gran invencion el poder archivar la voz humana y oirla cuando se quiera. En efecto, la voz humana, y mejor aun el canto, queda *escrita* sobre una hoja de papel de estaño ó de talco, y cuando se quiera se puede hacer *hablar* á la lámina, con la claridad y entonacion producidas por la persona de quien las palabras procedan.

La lámina de estaño sobre la cual quedan impresas las vibraciones producidas por la voz, se halla cubriendo un cilindro de

cobre de unos 10 centímetros de diámetro, atravesado por un eje que se apoya sobre dos piés de metal ó madera, que se mueve por medio de un manubrio: en el eje de este cilindro hay labrada una rosca, haciendo de tuerca uno de los piés; con esta disposicion, el cilindro, además de girar, avanza. Delante de este cilindro se encuentra una placa flexible ó membrana, que tiene fija en direccion perpendicular á su plano una aguja fina, la cual toca ligeramente á la hoja de papel de estaño que se ha pegado por los bordes al cilindro con cola ordinaria.

Las vibraciones producidas por la voz sobre la membrana metálica imprimen, mediante la punta, sobre el metal maleable surcos y agujeros mas ó menos profundos y de diámetro diferente, segun la duracion y la intensidad de los sonidos que los producen, quedando así impresa sobre el plomo la forma de la onda producida por la fonacion. De este modo se tiene un *cliché* ó lámina metálica que reproduce clara y distintamente la palabra en ella impresa, para lo cual se hace girar el cilindro, y por consiguiente la lámina de estaño, pasando sobre la punta de la membrana, que como se deja dicho, se apoya ligeramente en su superficie, y esta reproduce en la membrana todas las modulaciones que el sonido de la voz habia impreso, de la misma manera que si las ondas sonoras salieran de la laringe de la persona que las pronunció.

El aparato descrito, es el inventado por Edison, quien le ha perfeccionado adicionándole cajas y tubos que refuerzan el sonido, colocando dentro de ellos el teléfono cuando se haya de trasmitir á distancia; y además ha ideado un aparato que llama *aereófono*, consiguiendo con este ingenioso instrumento que, tanto la voz reproducida por el fonotógrafo como la directa de un orador de poca voz, puedan hacerse oir ante gran número de personas.

Últimamente, Du Moucel ha presentado á la Academia de Ciencias de Paris el aparato llamado *micrófono*, ideado por Hughes, para reforzar y hacer perceptibles en el teléfono los sonidos muy débiles. Se espera que este aparato se perfeccione pronto, con lo cual la ciencia habrá conseguido tener para el sentido del oido medios de investigacion, equiparables hasta cierto punto con los que son propios del microscopio para el sentido de la vista. De todo lo expuesto se deduce que la electro-acústica, como rama nueva de la física moderna, se está formando y perfeccionando en estos momentos, y de ella se esperan importantes descubrimientos, tanto para la práctica y utilidad de la ciencia aplicada, como para establecer y demostrar mejor algunas de sus teorías.

OCTAVA PARTE.

METEOROLOGÍA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones preliminares.

446. **Objeto de la meteorología.**—Envuelto el hombre, como todos los séres que viven en la superficie de la tierra, por una atmósfera gaseosa que presenta á cada momento cambios é irregularidades, se comprende el interés que debe tener el estudio de los fenómenos físicos que pasan en ella, actuando con mas ó menos energía en los vegetales, cuya existencia trascurre en puntos fijos de la tierra, y en los séres animales, á pesar de los medios que tienen estos últimos para trasladarse de unas á otras regiones del globo. Para el que desea comodidad y la salud, y que retrocede ante las dificultades que pueden presentarle los fenómenos atmosféricos; para el marino, para el agricultor en particular, cuya existencia y riqueza se comprometen ó desaparecen por causa de aquellos fenómenos, les interesa doblemente el estudio de los fenómenos atmosféricos, objeto exclusivo de la ciencia que ha recibido el nombre de *meteorología*. El interés de la meteorología desde muy antiguo lo comprendió el vulgo, conservándose al través de los siglos algunas noticias sobre los cambios atmosféricos, entre las cuales se hallan muchas exactas, por ser el resultado de numerosas observaciones verificadas en determinados lugares. La educacion científica y la necesidad reconocida del estudio de los fenómenos atmosféricos ó meteorológicos, han hecho idear diferentes instrumentos y aparatos, de que nos hemos ocupado anteriormente, con el objeto de estudiar

las leyes generales que rigen á los fenómenos físicos de la atmósfera. Con aquellos aparatos, diestramente construidos, se verifican un gran número de observaciones que, reunidas por el método sintético, han dado ya notables resultados. Sin embargo, la meteorología científica se constituye en la actualidad, tocando con dificultades, algunas casi insuperables, porque esta ciencia todavía no puede hacer uso del método experimental en todo su desarrollo.

Conociendo el objeto y estado actual de la meteorología, pasaremos á estudiar los fenómenos físicos mas principales de la atmósfera terrestre.

447. **Atmósfera terrestre.**—La inmensa cantidad de gases y vapores que envuelven por todas partes á la tierra, se denomina *atmósfera*, que como cuerpo puede considerarse mecánica, física y químicamente. En el sistema de Henry, los diferentes cuerpos de que se compone la atmósfera pueden representarse por la presion que ejercen sobre el barómetro, con los números siguientes: La presion del nitrógeno, cuerpo el mas abundante en la atmósfera, es igual á 593 milímetros en el mercurio de la columna barométrica; la presion del oxígeno, ó sea el elemento vivificador, es igual á 157 milímetros; el vapor acuoso que da orígen á las lluvias, equivale á 11 milímetros; la presion del ácido carbónico, gas de una gran importancia para la vida vegetal, la aprecia Henry en 0,5 milímetros.

448. **Constitucion física de la atmósfera terrestre.**—La atmósfera debe ser finita y limitada, porque los últimos átomos son pesados y su fuerza repulsiva se disminuye con las distancias (101). Además, segun Howard, existe, como á diez veces la altura de las montañas mas elevadas de la tierra, una capa de aire á una baja temperatura, con cuyo frio concluye la expansion de los gases, constituyéndose la atmósfera con una superficie y figura esferoidal semejante á la de las agua del Océano, y sujeta á movimientos análogos á estas.

449. **Constitucion química de la atmósfera.**—El análisis del aire recogido en la cima de los Alpes, verificado por Saussure; el hecho por Marti en algunos puntos de España; el practicado en otras localidades de la tierra por diferentes químicos, y el del aire recogido á la altura de 22,000 piés por Gay-Lussac y Thenard, han dado por resultado que en todas partes el aire atmosférico se halla, conforme veremos en las nociones de química, formado de la mezcla de las mismas proporciones de oxígeno y de nitrógeno, y que solo el vapor acuoso y el ácido carbónico se han presentado

variables en su cantidad. En estos análisis se han fundado algunos para sostener la opinion de que la atmósfera de la tierra está formada de cuatro atmósferas químicamente independientes, pues sus elementos no están combinados, sino simplemente mezclados, á saber: atmósfera constituida por el nitrógeno, atmósfera del oxígeno, la del vapor acuoso y la del ácido carbónico.

CAPÍTULO II.

Calor terrestre.

450. **Temperatura de la atmósfera.**—El calor del aire que se halla en contacto con la superficie de la tierra, se estudió primeramente por Halley, sirviéndose del termómetro, con el objeto de determinar la influencia calorífica del sol, que siendo diferente con la diversa latitud de los lugares de la tierra, sirvió de fundamento á la clasificacion de los *climas físicos*, muy diferentes de los *climas geográficos* ó constituidos por la duracion diurna de la luz solar. Por *climas meteorológicos* se entiende una extension de la superficie terrestre, en la cual se nota que la temperatura media en el año se presenta próximamente igual. Humboldt, para determinar los climas meteorológicos por la temperatura del aire próxima á la superficie de la tierra, se ha servido del trazo de las *líneas isotermas*.

451. **Líneas isotermas.**—Enlazados por trazos lineales los puntos de la superficie de la tierra que presentan el mismo grado de calor anual, resultan curvas mas ó menos irregulares sobre la superficie del globo, las cuales se han denominado *isotermas*. Humboldt reunió para el trazo de las isotermas, las observaciones termométricas verificadas durante los dias en diferentes puntos de la tierra. Estas observaciones, que se llaman diurnas, sumadas entre sí y divididas por su número, le dieron la observacion que se ha denominado *media temperatura de un dia*. El mismo método sintético aplicado á las observaciones de los dias, proporciona, primero, la media temperatura mensual, y segundo, el calor medio del año. De estas últimas medias anuales se sirvió aquel célebre viajero para trazar sus *isotermas anuales* y deducir las siguientes consecuencias:

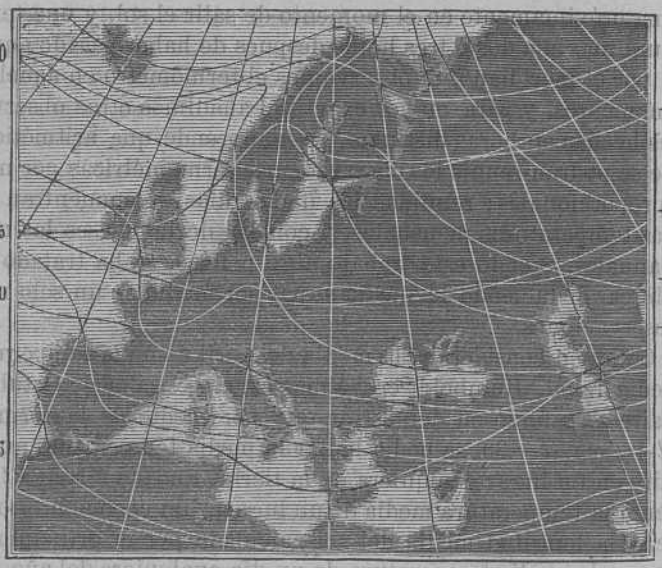
1.ª Que en la superficie de la tierra existe una línea isoterma (*fig.* 291) de máxima temperatura anual, á la que se considera como el *ecuador térmico* del globo.

2.ª Hácia el Norte y Sur del Ecuador existen otras isotermas cuyas temperaturas decrecen con las latitudes.

3.ª Por su forma convexa y cóncava y por sus inflexiones, las isotermas divergen mas y mas de los paralelos geográficos de la tierra, con especialidad en las inmediaciones de los continentes; pero sobre la superficie de los mares y en su interior, las isotermas presentan tendencias á ser paralelas y uniformes.

4.ª Si se comparan las líneas *isóteras* ó de igual temperatura media de verano con las *isoquimenales* ó líneas de igual temperatura de invierno, se notan irregularidades, que fueron conocidas de los antiguos en los climas á que denominaron excesivos por el frio y por el calor extraordinario, correspondiendo á estos el interior de España.

Fig. 202.



452. **Polos de máximo frio.**—Brewster, por los principios de Mayer, concibió la idea de que habia dos polos de máximo frio en cada uno de los hemisferios de la tierra, colocados próximamente en los polos magnéticos del globo, denominándolos *polo Oeste de máximo frio* ó *del Canadá*, y *polo Este* ó *de la Siberia*. La existencia de estos dos polos se ha comprobado tambien por la

forma de las curvas isotermas, que en las regiones de los mares polares tienden á cerrarse sobre los puntos de máximo frio señalados por Brewster.

453. **Zonas isotermas.**—Por medio de las curvas trazadas por Humboldt (*fig.* 292), la superficie de la tierra resulta dividida en seis zonas climatológicas diferentes, que pueden expresarse del modo siguiente:

Zona ecuatorial: entre las curvas isotermas de 25° á 20° centígrados.

Zonas cálidas: entre las curvas isotermas de 20° á 15°.

Zonas templadas: entre las curvas isotermas de 15° á 5°.

Zonas frias: entre las curvas isotermas de 5° á 0°.

Zonas heladas: entre las curvas isotermas de —5° á —10°

Zonas frígidas ó *polares*: bajo la curva isoterma de —15°.

454. **Temperatura media anual.**—El aire atmosférico que envuelve á un termómetro, durante los dias presenta una temperatura mínima próximamente en el momento de salir el sol, y una temperatura máxima dos ó tres horas despues de haber pasado aquel astro por el meridiano. Si observamos el termómetro en aquellos dos momentos, y para mayor exactitud añadimos otras observaciones hechas en horas distintas, se comprende que aritméticamente se podrán reunir las observaciones termométricas por medias proporcionales; reunidas las de los dias, se encuentran las medias temperaturas mensuales, y con las de los meses las medias anuales. Siendo este trabajo algo penoso, se ha tratado de simplificar deduciendo la media anual por medio de un solo mes de observaciones.

* Chilquen consideraba la media de Abril como la temperatura media anual. Humboldt creyó mas exacto el calor de Octubre. Plaifaire se esforzó en demostrar que por medio de la fórmula $x = l + f\,sen.\,(t - 30)$ se podia hallar la media temperatura anual del aire en un lugar cualquiera de la tierra. En esta fórmula t representa la temperatura media de un lugar, f un coeficiente constante, l la longitud media del sol calculada por el principio de Aries, y x la media temperatura de un dia cualquiera del año. Ofverboro sostiene que la temperatura media del último tercio de Abril es próximamente la de todo el período anual, segun las observaciones verificadas en Stockolmo durante 50 años. La temperatura media anual de España se puede calcular aproximadamente por el siguiente cuadro:

TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES DE ESPAÑA.

Madrid	Segun el Observatorio	14°,17
Salamanca	D. Dionisio Barreda	13,1
Valladolid	D. Demetrio Duro	10,5
Soria	D. Benito Calahorra	9,0
Santiago	D. Antonio Casares	14,4
Oviedo	D. Leon Salmean	12,7
Santander	D. Manuel Herrán	11,1
Bilbao	D. Manuel Naveran	14,2
Vergara	D. José Alfageme	12,7
Tudela	Escuela de Agricultura	14,0
Zaragoza	D. Valero Causada	13,4
Barcelona	D. F. Salvá y otros	17,0
Tarragona	D. Francisco J. Bru	15,1
Valencia	Sociedad de Amigos del Pais	18,4
Málaga	D. José Uriarte	18,1
San Fernando	El Observatorio	19,8
Sevilla	D. Fernando Castro	17,3
Menorca	M. Cleghorn	18,15
Santa Cruz (Canarias)	Profesor Bandini	21,6

455. **Calor del interior de la tierra.**—La temperatura del interior de la tierra ejerce una influencia muy notable sobre el calor propio de las capas inferiores del aire, en medio de las cuales viven la generalidad de los séres: por esta razon se ha estudiado cuidadosamente, valiéndose de los termómetros enterrados á diversas profundidades, y anotando las temperaturas propias de los manantiales y fuentes, habiéndose deducido algunas consecuencias generales é importantes sobre el calor terrestre, que pueden expresarse del modo siguiente:

1.ª Bajo la superficie terrestre existen capas al través de las cuales la temperatura, comparada con la del aire, se disminuye hasta una profundidad variable con las latitudes, con la naturaleza de los terrenos y con la proximidad de los mares.

2.ª La disminucion de la temperatura bajo la superficie de la tierra tiene un plano límite, en el cual la temperatura es constante é igual al calor medio anual del lugar donde se verifican las observaciones.

3.ª La profundidad del plano de temperatura constante en los climas helados y frios es grande: en los climas templados llega á ser de 30 á 40 piés, mientras que en los climas cálidos y ecuatoriales la profundidad del plano de calor constante no pasa de 1 á 2 piés.

4.ª Entre la línea de igual temperatura y la superficie del globo se observan cambios y oscilaciones termométricas, debidas á la influencia del calor diferente en el aire durante los veranos y el

trascurso de los inviernos. Estas variaciones de temperaturas extremas en el trascurso de los años no se perciben á la máxima profundidad, mientras que las mayores oscilaciones en el calor de los dias ó en un mes no son perceptibles en el centro de España á la profundidad de 8 á 10 piés.

5.ª Como la vegetacion existe en parte sostenida por el infinito número de raíces que viven, se extienden y crecen en medio del espacio subterráneo, cuya temperatura es variable, M. Fox sostiene la opinion de que seria interesante para el agricultor y para la ciencia que se ocupa del estudio de la vida de los séres vegetales, el trazo de líneas *isogeotermas* ó de igual temperatura anual bajo la superficie de la tierra.

456. **Temperatura de las fuentes.**—Midiendo el calor del agua en los manantiales, fuentes y pozos, se ha notado que aquellas aguas se presentan mas calientes que el aire atmosférico. Esta diferencia de temperatura es pequeña cuando las aguas salen de poca profundidad, pero llega á ser excesivamente grande cuando el orígen de las fuentes se halla á mucha profundidad, y cuando las aguas manantiales pasan en su camino por las inmediaciones de los volcanes. La temperatura de las fuentes poco profundas, que tambien se han llamado frias, sigue la ley enunciada por Humboldt, que desde la cima de los montes hasta las llanuras, y desde el círculo polar hasta el Ecuador, la série creciente progresiva de la temperatura de las fuentes se disminuye con la media termométrica del aire.

Segun Wahlemberg, la temperatura de las rocas y de los diferentes terrenos que existen bajo la superficie de la tierra, se eleva cada vez mas comparada con el calor del aire, conforme se pasa del Ecuador hácia los polos de la tierra, segun una ley semejante á la expuesta para los manantiales.

457. **Temperatura de la tierra á grandes profundidades.**—Las indicaciones termométricas de las aguas manantiales que llegan de gran profundidad á la superficie del globo y las recogidas en el interior de las minas, han demostrado que el calor propio de la tierra se aumenta gradualmente conforme se desciende y cuando se ha pasado el plano constante de temperatura, siendo aquel aumento de temperatura de 1° por cada 33 metros próximamente de profundidad. De este aumento gradual de temperatura se han deducido consecuencias mas ó menos hipotéticas sobre el estado interior de la tierra, sobre lo que fué en tiempos antiguos y sobre el porvenir del globo considerado como un cuerpo físico que, hallándose en el espacio, pierde por irradiacion una parte de su

temperatura propia, en cuyo supuesto se le compara á los cuerpos que se enfrian siguiendo las leyes del enfriamiento explicadas en el tratado del calor.

458. **Radiacion terrestre.**—El espacio por donde marcha la tierra en derredor del sol, se le ha supuesto con una temperatura de 150° á 160° bajo cero; y segun Howard, á una altura diez veces mayor que las montañas mas elevadas, el frio es tan intenso, que contraresta á la fuerza expansiva de los gases difícilmente liquidables. Por esta razon se comprende que tanto el calor del interior de la tierra como el propio de la superficie del globo, debe irradiarse hácia los espacios referidos, siguiéndose un enfriamiento que debe percibirse cuando desaparezca ó se modifique la accion directa de los rayos caloríficos del sol, vivificadores de las existencias orgánicas en la superficie terrestre. La irradiacion de la tierra puede calcularse por la temperatura de su superficie comparada con la del aire, compuesto gaseoso muy diatermo.

Los resultados obtenidos hasta hoy sobre la irradiacion terrestre, han conducido á las consecuencias siguientes:

1.ª Que la irradiacion de la tierra se aumenta desde el Ecuador hácia los polos.

2.ª Que la fuerza radiante y el enfriamiento de la superficie terrestre se aumentan con el nivel de los lugares sobre las aguas del mar.

3.ª Que la irradiacion es muy grande en el invierno cuando la atmósfera está despejada, moderándose los efectos de la irradiacion en las noches que el cielo se halla cubierto, á las que relativamente se llama noches templadas.

459. **Irradiacion solar.**—Los rayos del sol (225) son uno de los orígenes mas poderosos del calor, y la superficie de la tierra recibe la influencia de aquel calórico radiante despues de pasar por la atmósfera, cayendo con inclinaciones diferentes segun la situacion de los lugares y conforme sea la posicion astronómica de la misma tierra relativamente al sol. De la posicion astronómica entre estos dos cuerpos celestes resultan las estaciones ó períodos del año, que se han llamado *invierno* y *verano*. Estas dos primeras estaciones representan las inclinaciones mínimas y máximas de los rayos solares incidiendo sobre la superficie de la tierra, y segun los principios térmicos del calor radiante, la mayor y menor energía de la irradiacion solar sobre la tierra.

La irradiacion solar ha sido estudiada por diferentes físicos, valiéndose de termómetros cuyos depósitos se ennegrecen para que absorban los rayos caloríficos del sol. Herschel propuso el

aparato que denominó *actinómetro*, de la palabra *actinos* (rayo), para seguir el estudio indicado. El actinómetro de Herschel se compone de un termómetro *a b* (*fig.* 293), cuyo depósito cilíndrico *a* es de unos 20 centímetros de largo, y esta lleno de agua destilada que tiene en disolucion *amonio-sulfato de cobre*. Esta sal doble tiñe de azul el agua del termómetro, y por consecuencia absorbe los rayos rojos que son los mas cálidos del espectro de la luz solar. Con estas condiciones físicas el termómetro es excesivamente sensible, y la menor diferencia en la radiacion solar puede apreciarse.

Fig. 293.

Los actinómetros se han modificado en su construccion, denominándolos *pireliómetros*; pero tanto por estos como por los termómetros de bola cubierta con negro de humo, se ha llegado, relativamente á la irradiacion solar, á las consecuencias generales siguientes:

1.ª La fuerza térmica de la irradiacion solar en la superficie de la tierra se aumenta desde el Ecuador hácia los polos. 2.ª Se aumenta con las alturas del nivel de los terrenos sobre las aguas del Océano. 3.ª Se modifica profundamente por la presencia y cantidad de nubes y vapores atmosféricos. 4.ª Se aumenta rápidamente en los primeros momentos despues de la salida del sol, y se disminuye con la misma velocidad cuando aquel astro se acerca al Occidente. 5.ª La energía de la radiacion solar se aumenta ó se disminuye gradualmente durante el dia, llegando á ser mas grande en la cima de las montañas, antes que el sol toque al meridiano, y en los valles una hora próximamente despues que el astro del dia ha pasado de aquella línea.

460. **Grados de calor en las capas superiores de la atmósfera.**—Si se ha demostrado que la temperatura se aumenta hácia el interior de la tierra, tambien se ha visto que los termómetros descienden conforme se elevan en la atmósfera. La proporcion que guardan los descensos del termómetro en la atmósfera con el aumento en las alturas de nivel, ha sido determinada por diferentes físicos en diversas localidades de la tierra, resultando del conjunto de observaciones termométricas verificadas en las cordilleras de los Pirineos con relacion á la superficie del suelo bajo de Francia, que la temperatura desciende 1 grado por cada 300 piés del nivel. Este mismo número corresponde á las orillas del Ebro en

España, segun las observaciones simultáneas entre la temperatura de los baños de Panticosa y los puntos bajos de Aragon, hallándose en el mismo número para expresar las diferencias consiguientes á la temperatura en el interior de la Península, segun algunas observaciones termométricas verificadas á la misma hora en Madrid y en los baños minerales del Molar.

461. **Region de las nieves perpétuas.**—Disminuyéndose la temperatura de la atmósfera á medida que se aumenta la distancia sobre la superficie de los mares, se comprende porqué en Sierra-Nevada de España y en las cimas de los Pirineos se conservan, como en otras montañas de la tierra, las nieves denominadas *permanentes* durante el trascurso de los años. D. Antonio Ulloa y D. Jorge Juan determinaron, en compañía de comisionados franceses, el nivel del plano de las nieves permanentes en las regiones ecuatoriales. En España, la altura de las nieves referidas en Sierra-Nevada, la determinó Rojas Clemente en 9915 piés, y en el Monte-Perdido, segun Ramond, es de 8400. Sin embargo, el nivel del plano de las nieves perpétuas presenta algunas irregularidades, dependientes principalmente de la irradiacion nocturna de la tierra y de la temperatura media en el invierno y en el verano, que corresponde á las llanuras cuando estas se extienden al pié de las montañas, influyendo tambien la proximidad ó distancia de los mares.

CAPÍTULO III.

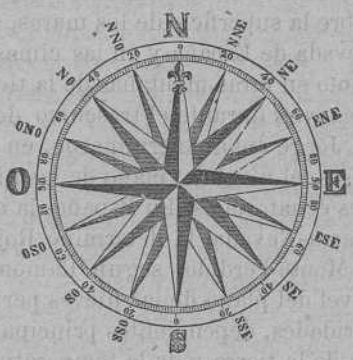
Meteoros aéreos.

462. **De los vientos.**—La atmósfera, ó sea la masa de aire y vapores que envuelve á la tierra, se concibe que puede presentarse en un estado de calma y equilibrio; pero como en aquella actúan algunas causas físicas que hacen cambiar la densidad del aire en puntos mas ó menos distantes, resulta que el referido estado de equilibrio entre las partes de la atmósfera no se mantiene, dándose lugar al movimiento con el cual se trasladan aquellas de unos lugares á otros. Estos movimientos de traslacion que se observan frecuentemente en el aire, y que podríamos asemejarlos al de las aguas de los rios cuando corren, y por consecuencia que formarian tambien corrientes atmosféricas, se llaman *vientos*.

En los vientos considerados como corrientes atmosféricas, se ha procurado estudiar y distinguir su direccion, su velocidad y algunos de sus caractéres ó propiedades físicas.

463. **Direccion de los vientos.**—La direccion de los vientos se conoce generalmente por medio de las veletas, y algunas veces por los movimientos de las nubes, habiéndose clasificado aquellos meteoros, atendiendo á los puntos de donde corren, en vientos del Norte, Este, Sur y Oeste; pero como no bastase para las necesidades esta primera division, se formaron otras clases diferentes de vientos, interpolando entre aquellos cuatro el Nordeste, Sudeste, Sudoeste y Noroeste, nombres con los cuales se indican los vientos cuando corren y llegan de puntos intermedios entre los cuatro cardinales ó primeros. Posteriormente, entre los ocho vientos referidos se han interpolado otros ocho (*fig.* 294), y entre los diez y seis resultantes otros tantos, construyéndose con todos la *estrella* ó *rosa de los vientos*, cuyos treinta y dos rayos sirven para marcar una de las direcciones, que tambien se llaman *plagas* y *rumbos* de las corrientes atmosféricas.

Fig. 294.



Combinando la direccion diversa de los vientos con el tiempo que se mantienen en una de aquellas, las corrientes atmosféricas se han dividido en *vientos constantes* ó que conservan casi todo el año una misma direccion, como son los *aliseos* de los mares ecuatoriales; en *vientos monzones*, que presentan una direccion tres, cuatro y seis meses, y la contraria en los tres, cuatro y seis meses siguientes, como acaece en algunos puntos de las costas de África y de Asia, y en *vientos variables*, cuyo nombre dice que no presentan la regularidad de direccion de los dos primeros, y son los que se notan en las regiones templadas, en Europa y en el interior de los dos continentes.

464. **Velocidad de los vientos.**—La velocidad de los vientos, que puede variar y varía desde la *brisa* apenas sensible hasta el *huracan* que troncha y arranca los árboles y arruina los edificios, tambien ha dado motivo á una clasificacion de los vientos, cuyos nombres bastan para poderlos distinguir y reconocer, llamándose al viento por su diferente velocidad, *viento* ó *brisa débil* en el primer grado de velocidad, y sucesivamente *viento* ó *brisa moderada*, *viento fuerte* ó *brisa fresca*, *viento violento* ó *muy fuerte*,

viento tempestuoso y *huracan*. Algunos, entre el estado de calma de la atmósfera y el huracan, admiten y consideran que las corrientes del aire pueden presentar 10 grados de velocidad clasificados con los números 1, 2, 3, 4..... 10. La velocidad de los vientos se determina por medio de los anemómetros, descritos en el párrafo 136.

Los vientos se ha notado que presentan propiedades físicas diferentes, conforme varían los lugares de donde llegan y paises por donde pasan, adquiriendo ó perdiendo parte de la temperatura que les es propia, y sobrecargándose en unos puntos de vapor acuoso y perdiendo en otros la humedad. De aquí han resultado los nombres de *vientos frios*, entre los cuales se cuentan como notables los Nortes y Noroestes en Europa; de *vientos húmedos* y *templados*, como los Sudoestes en España; de *vientos cálidos* y *secos*, como el Samoun ó Samsin, que llega de los desiertos de África y abrasa y destruye la vida vegetal con frecuencia en las costas del Mediterráneo.

465. **Causas de los vientos.**—Las causas físicas de los vientos y de sus cambios de direccion, velocidad, caractéres y propiedades, se comprende que son infinitas; pero la primera y principal causa de los vientos se puede expresar, diciendo que si en dos regiones próximas de la atmósfera, tales como las que corresponden á los Pirineos, y á las llanuras de las dos Castillas en el interior de España, se notase que el aire en una de las dos regiones estaba mas caliente que en la otra, se estableceria necesariamente un viento en lo alto que correria desde la region cálida á la fria, y recíprocamente otra corriente baja que se sentiria en la superficie de la tierra ó del mar, que llegaria de la region fria marchando hácia el punto cuya temperatura fuese relativamente mas elevada; por consecuencia, los vientos son fenómenos atmosféricos que indican la existencia de un desequilibrio de temperatura por exceso ó por defecto en dos puntos mas ó menos distantes de la atmósfera.

466. **Brisas marinas y de las montañas.**—Fundándose en la causa física anteriormente referida de los vientos, es como se pueden explicar fácilmente los fenómenos meteorológicos de ciertas corrientes atmosféricas regulares que son propias de las costas y que tambien se observan en los paises próximos á las grandes cordilleras de montañas. La regularidad de estas corrientes consiste en establecerse generalmente en todas las costas un viento que llega desde el mar durante la mayor parte del dia, y otro en direccion contraria que corre desde el interior de la tierra hácia el

mar durante la noche. Estas dos corrientes atmosféricas, que son propias de las costas y tierras próximas al Océano, se llaman, segun algunos, *vientos marinos* y *vientos terrales*, y segun otros, *brisa de mar* y *brisa de tierra*. En las grandes cordilleras se notan efectos análogos en los movimientos del aire atmosférico, marchando el viento desde las sierras hácia las llanuras próximas durante el dia, y desde estas últimas hácia la cima de aquellas durante la noche, resultando las *brisas de las montañas*.

La explicacion de las brisas como efectos de la falta de equilibrio en la temperatura en dos puntos próximos de la tierra, es fácil. La superficie del mar durante el dia, bajo la influencia de los rayos solares, se calienta menos que la de los continentes, y de aquí resulta que el aire de la tierra correrá durante el dia por las partes superiores hácia el mar, y recíprocamente las partes de la atmósfera en contacto con la superficie mas fria del mar se moverán con direccion á la tierra, resultando la brisa diurna marina, bien conocida en todas las costas. Un efecto contrario al que de dia producen los rayos solares se verifica durante la noche por causa de la irradiacion nocturna del calor, mas enérgica en la superficie de la tierra que en la del mar, resultando mayor enfriamiento en la primera que en la segunda, y como consecuencia inmediata el establecerse ó entablarse, como se dice en los paises de costa, durante las noches los vientos terrales, ó sea la brisa nocturna del interior.

Las brisas de las montañas se establecen por las mismas causas físicas, ó sea por las diferencias de temperatura entre las cimas cubiertas de nieves de las montañas y la que corresponde durante el dia y las noches á las grandes llanuras que se extienden desde las faldas de las sierras que existen en el interior de los continentes.

CAPÍTULO IV.

Higrometría.

467. **Objeto de la higrometría.**—El agua que ocupa una gran parte de la superficie de la tierra, sabemos que se evapora espontáneamente en la atmósfera, por lo cual en ella existen siempre vapores acuosos, que acumulándose en sus capas inferiores, impiden que la evaporacion espontánea continúe, y cuando dichas capas atmosféricas se hallan saturadas de vapores, se los restituyen á la tierra por diversos medios, bajo la influencia de la pre-

sion y cambios de temperatura, para principiar de nuevo la evaporacion en cuanto cesen las acciones que motivaron el cambio de estado. Muchas observaciones que son conocidas de todos pueden citarse en comprobacion de lo expuesto, pero solo indicaremos las mas comunes. Cuando se coloca un vaso que contenga un helado en una habitacion cuya temperatura es caliente, se nota que en la superficie exterior del vaso se fija una capa de agua, no solo en estado líquido, sino que algunas veces se solidifica; esto es debido á que el aire se enfría en las inmediaciones de las paredes del vaso, y debilitándose la facultad de las capas atmosféricas para retener el vapor del agua, este se deposita en forma líquida sobre las paredes del vaso. En las vidrieras de las habitaciones se observa que durante el invierno se cubren por la superficie interior de agua en estado líquido, que á veces se solidifica, porque enfriándose el vidrio por el descenso de la temperatura del aire exterior, el vapor acuoso contenido en el aire de la habitacion se condensa sobre el vidrio en forma líquida, congelándose despues si la temperatura continúa descendiendo. La existencia de los vapores acuosos en la atmósfera tambien se comprueba observando que la potasa cáustica, el cloruro de calcio y otros cuerpos conocidos en la química con el nombre de cuerpos *delicuescentes*, expuestos al aire por mas ó menos tiempo, se humedecen y aun se disuelven en el agua que absorben de la atmósfera.

A la parte de la física que tiene por objeto medir la cantidad de vapor acuoso que existe en la atmósfera, se la ha llamado *higrometría*; y á los instrumentos que se emplean para la determinacion de los vapores acuosos que existen en un punto de la atmósfera, se les da el nombre de *higrómetros*. Cuando la cantidad de los vapores no se puede calcular por los instrumentos, y estos indican tan solo la presencia del vapor, se les llama *higróscopos*.

468. **Higrómetros.**—Los higrómetros pueden dividirse por el principio físico en que está fundada su construccion, en tres clases. En la primera se comprenden todos aquellos higrómetros que consisten en una sustancia absorbente del vapor acuoso del aire atmosférico, cuya sustancia se dilata ó contrae sufriendo cambio en sus dimensiones y peso, de los cuales se saca partido para averiguar la humedad que contenga el aire. A los cuerpos que poseen la propiedad de absorber prontamente la humedad del aire y la de permitir que los abandone el vapor acuoso cuando el aire está seco, se les ha dado el nombre de cuerpos *higroscópicos*; estos corresponden principalmente al reino vegetal y animal. Como ejemplos de sustancias higroscópicas pueden citarse el cabello

humano, las barbas de ballena, el marfil, las pieles, las maderas y otras muchas sustancias. Los higróscopos construidos con los cuerpos citados no expresan la cantidad del vapor existente en la atmósfera, pues solo indican el grado de saturacion en que se halla el aire. Por esta razon, con el mejor de los higróscopos citados, el mismo grado de su escala podria representar cantidades diferentes del vapor que existe en la atmósfera, conforme la temperatura fuese elevada y cálida ó baja y fria.

469. **Higrómetros de absorcion.**—Entre los higróscopos de absorcion, el mas generalmente usado es el construido por Saussurre, que consiste en un cabello humano de 20 á 30 centímetros de largo, y privado de la grasa animal de que se halla ordinariamente cubierto, lo cual se consigue haciéndole hervir en una lejía muy debilitada. Uno de los extremos del cabello está sujeto por una pinza metálica, y el otro se arrolla á una polea que gira sobre su eje, haciendo recorrer á una aguja indicadora los grados ó divisiones de un arco de circunferencia (*fig.* 295). Los dos puntos extremos se trazan colocando el aparato en dos recintos, el uno perfectamente desecado y el otro saturado de humedad. Las posiciones que la aguja del higrómetro toma en ambos casos, se marcan con los grados 0 y 100, dividiendo posteriormente el espacio en 100 partes iguales. Los grados indicados por el higróscopo de cabello no deben considerarse proporcionales con las cantidades de vapor existentes en el aire; así es que señalando el higróscopo 80°, 50° ó 25°, no indica el aparato que el aire atmosférico contenga $\frac{4}{5}$, $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{4}$ de la cantidad de vapor que contendria cuando marcase 100°. Todo lo mas que puede deducirse de aquellos números observados es, que á los 50°, el aire está mas distante de ser saturado que á 80°, y á los 25° mas que cuando por la observacion se lee en el higróscopo 50°. Gay-Lussac ha formado experimentalmente una tabla de la fuerza elástica de los vapores, de 10 en 10 grados de temperatura, en correspondencia con los grados del higróscopo descrito anteriormente, con el objeto de convertirle en verdadero higrómetro.

Fig. 295.

La segunda clase de higróscopos está formada por algunas

sustancias inorgánicas que tienen la propiedad de absorber la humedad del aire, haciéndose sensiblemente mas pesadas. Entre estas sustancias se puede elegir el cloruro de calcio, la potasa cáustica, el ácido sulfúrico, etc.; colocadas en vasos á propósito sobre el platillo de una balanza sensible, el peso variable de aquellas sustancias con el trascurso del tiempo indica las cantidades variables de la humedad que el aire contuvo. Estos higróscopos, preparados con las sustancias citadas, tienen el inconveniente del tiempo que necesita trascurrir para verificarse la absorcion del vapor acuoso, siendo mucho mayor el que necesitan para desprenderse los vapores del agua absorbidos y quedarse útil el aparato higroscópico.

470. **Higrómetros de condensacion.**—A esta clase de higrómetros corresponden todos aquellos cuyas indicaciones están fundadas en la conversion del calórico libre en latente durante la evaporacion de los líquidos, y por consecuencia del enfriamiento producido en la condensacion de los vapores acuosos de la atmósfera sobre la superficie de los cuerpos.

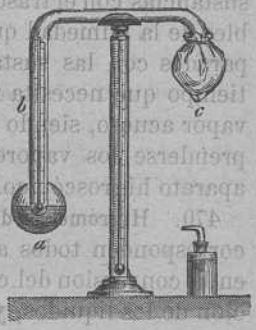
Leroy fué el primero que propuso llenar un vaso con agua á la temperatura ordinaria y enfriar dicho líquido por medio de trozos de hielo, hasta que la superficie exterior del vaso comenzase á cubrirse por un depósito líquido de los vapores del agua que se hallan en el aire ambiente. La diferencia de temperatura del agua contenida en el vaso y la del aire exterior podian indicar, segun Leroy, la cantidad de humedad que existe en la atmósfera inmediata; pues si el aire estaba saturado de humedad, las dos temperaturas serán iguales, y por un descenso muy pequeño en el calor del vaso la humedad debia precipitarse. El calor con el cual el vapor acuoso principia á precipitarse sobre las paredes del vaso de Leroy, se ha llamado *punto de rocío*.

Los higrómetros condensadores construidos por Daniell, por Jones y Regnault con el éter sulfúrico, y el *psicrómetro* de Augusto, son aparatos fundados en el principio anterior, é indican á la vez la tension del vapor contenido en la atmósfera, el punto de rocío y el peso del vapor existente en un volúmen dado de aire atmosférico que pudiera tomarse como unidad. El higrómetro de Daniell (*fig.* 296) se compone de dos esferas *a c*, reunidas por un tubo cerrado. El interior del aparato, que está purgado de aire, contiene una cantidad de éter sulfúrico, suficiente para llenar los dos tercios de la esfera *a*, cuyos vapores saturan (187) el resto de la capacidad. Además el brazo *b* del tubo tiene un termómetro en su interior, cuyo depósito llega hasta cerca del fondo de la esfera

correspondiente, que es azul. La esfera *c* está cubierta con una tela fina de algodon, y en el pié del higrómetro se coloca otro termómetro.

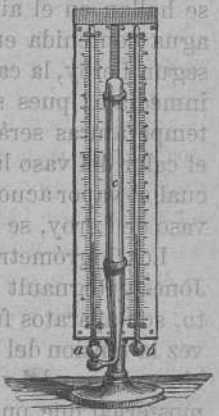
Para verificar una observacion higrométrica con el aparato de Daniell, se humedece con éter la esfera *c*; este líquido se evapora robando calor á dicha esfera, y por el enfriamiento producido en ella se liquidan parte de los vapores etéreos que contiene, disminuyéndose la tension del vapor por efecto de la condensacion; y como en el vacío los vapores se producen instantáneamente (195), el éter de la esfera *a* se volatiliza hasta saturar todo el espacio como se hallaba antes de la liquefaccion del vapor en la esfera *c*, cuyos vapores son liquidados á medida que van llegando á dicha esfera.

Fig. 296.



La evaporacion rápida del éter de la esfera *a* hace que descienda su temperatura; esta á su vez enfria las capas del aire que la rodean, hasta el punto de precipitarse sobre ella los vapores acuosos que en dichas capas existen disueltos, empañándose la esfera; á este punto se ha llamado de *rocío*. El termómetro interior indica la temperatura de este punto, y su diferencia con el termómetro exterior proporciona los datos numéricos necesarios para el cálculo de la *fraccion de saturacion* ó humedad en el momento de la observacion.

Fig. 297.



El *psicrómetro* de Augusto (*fig.* 297) consiste en dos termómetros muy sensibles de mercurio *a* y *b*, cuya marcha en su dilatacion y contraccion corresponde exactamente. El depósito del termómetro *a* está cubierto por una tela fina de algodon humedecida por el agua pura ó destilada: cuando este líquido se evapora, el termómetro correspondiente descenderá proporcionalmente; pero en el aire muy seco la diferencia en los dos termómetros será grande, porque la evaporacion es rápida, y, por el contrario, colocado el aparato en medio del aire húmedo, siendo lenta la evaporacion, aquella diferencia será pequeña, y nula cuando el aire esté saturado completamente de humedad.

471. **Evaporacion del agua en la superficie de la tierra.**—La evaporacion espontánea que presenta el agua en puntos diferentes de la superficie de la tierra, depende del estado de humedad del aire; pero aquella en la superficie del globo se disminuye con las latitudes, ó marchando desde el Ecuador hácia los polos. Tambien varía notablemente con el trascurso de las estaciones, siguiendo próximamente la relacion que entre sí guardan las temperaturas medias de los meses sucesivos, presentando irregularidades muy notables en las inmediaciones del Mediterráneo y en la proximidad de las costas del Océano. Peltier demostró que el estado eléctrico del aire influia enérgicamente sobre la evaporacion espontánea del agua.

CAPÍTULO V.

Meteoros acuosos.

472. **Lluvia.**—Cuando las corrientes atmosféricas están saturadas de humedad, los vapores acuosos pueden liquidarse, entre otras causas, por un cambio de temperatura, por el choque entre dos corrientes atmosféricas, y por la pérdida instantánea de mucha cantidad del flúido eléctrico de las nubes. En estos supuestos, los vapores se condensan, presentándose el fenómeno conocido vulgarmente bajo la denominacion de *lluvia*, que puede caer en gotas muy pequeñas ó lloviznas, en lluvia fuerte y en lluvia torrente.

En estas tres formas se presenta la lluvia con frecuencia en España, correspondiendo las lloviznas á las costas cantábricas, y en el interior por las faldas de las serranías y cordilleras; las lluvias fuertes son las generales á todo pais, mientras que las lluvias torrenciales ocurren algunas veces en la costa cantábrica, en las del Mediterráneo y en las Islas Baleares.

La cantidad de agua que cae en un lugar cualquiera de la tierra, se mide por medio del aparato denominado *pluvímetro* (*figura* 298), que consiste en un vaso cilíndrico ó cúbico *A* de metal, cerrado por su parte superior con otro vaso *B*, cuyo fondo tiene la forma de embudo, para recibir el agua de lluvia, la cual pasa al vaso cilíndrico por el pequeño orificio *o*, consiguiéndose de este modo evitar en cuanto es posible la evaporacion del agua recogida en el vaso, cuya altura en el interior se mide por el tubo comunicante *C*, que se eleva desde su fondo delante de una escala dividida en milímetros.

Segun los datos recogidos dia por dia en los pluvímetros, y por la suma de las cantidades de lluvia anual, se ha comprobado que el agua que cae sobre la superficie de la tierra se encuentra disminuida desde el Ecuador á los polos, mas notablemente desde las

Fig. 298.

costas hácia el interior de los continentes, y cuando los terrenos se levantan poco á poco; mientras que, por el contrario, la lluvia se aumenta en lugares próximos á las cordilleras de montañas y pendientes de subida á las últimas.

473. **Lluvias ecuatoriales.**—Las lluvias en el Ecuador caen generalmente acompañadas de tempestades eléctricas, y segun algunos meteorologistas, constituyen una zona ó faja que se encuentra un poco al Norte del Ecuador geográfico, donde por la cantidad de lluvia que allí cae se le considera como el *ecuador de máxima lluvia* de la tierra. A los dos lados del ecuador de las lluvias constantes se extienden dos fajas mas anchas, de cuya reunion resultan las zonas de las lluvias periódicas, que caen en épocas determinadas del año, mientras que fuera de los Trópicos y en el resto de los dos hemisferios de la tierra, aquellas son variables.

474. **Regiones sin lluvia.**—En la costa del Perú, segun observaron antiguamente los españoles, y en el Oeste de Méjico, hay grandes territorios en los cuales rara vez llueve. En el interior de África y en los desiertos de Asia, tambien se ha notado la falta casi absoluta de la lluvia. La escasez de la lluvia en estas regiones de la tierra se ha explicado por la influencia de las montañas y por la accion enérgica del sol, contribuyendo además en algunas de aquellas regiones su situacion topográfica en el interior de grandes continentes.

475. **Lluvias en los climas de Europa.**—La cantidad de lluvia se

va disminuyendo en Europa conforme se pasa de las costas del Atlántico á las mesas y terrenos elevados del interior, aumentándose sobre las cordilleras de montañas, lo cual se halla comprobado en la Península Ibérica, pues mientras en las costas de España y Portugal, al Norte del Tajo, caen 3^m,048 á 3^m,302 de lluvia anual, en el interior de Castilla solo recogen los pluvímetros 0^m,406 á 0^m,457, y en el Pirineo y serranías del interior se duplica la lluvia recogida. La cantidad de lluvia en Europa tambien decrece hácia el interior del continente, á partir desde Coimbra (Portugal), donde caen de 3 á 4 metros de lluvia, hasta Polonia, donde caen 0^m,381, y en Yakaterimburgo, donde se recogen tan solo 0^m,330, asegurándose por algunos que en el interior de la Siberia la cantidad de lluvia todavía es menor.

Los dias de lluvia en el período anual son: en Gibraltar 68, en Santiago 150, en Madrid 60, en Inglaterra y Francia 152, en Moscow 205, en Cazan 90, en Irkoutsk (interior de Rusia) 57.

La lluvia en regiones diferentes del globo cae mas en una estacion anual que en otra; y si en Europa se reunen los distritos en los cuales durante una de las cuatro estaciones del año cae un tercio de la lluvia anual, podria dividirse la Europa en tres regiones *hietográficas*, del modo siguiente:

1.ª *Region del Sur*, ó de las lluvias de invierno en Europa.

2.ª *Region del centro*, ó de las lluvias de otoño.

3.ª *Region continental é interior*, ó de las lluvias de verano.

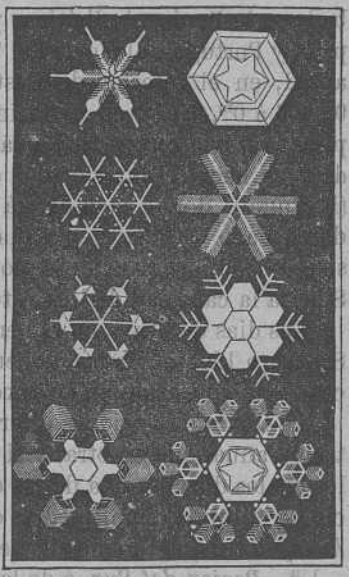
La línea que divide las dos primeras regiones pasa entre Lisboa y Coimbra, toca en el cabo de Nao, pasa por la isla de Ibiza y Sur de la isla de Cerdeña, toca en el Norte de la costa de Sicilia, por Nápoles, y con probabilidad se extiende por la cima de los Apeninos.

476. **Lluvias torrenciales.**—Al fenómeno meteorológico que consiste en caer en una localidad cualquiera una cantidad grande de lluvia en pocas horas, se le ha denominado *lluvia torrencial*: estas lluvias son frecuentes en las regiones ecuatoriales. En la Habana, como por ejemplo, puede citarse la lluvia de 18 de Julio de 1854, durante la cual, segun el Sr. Casaseca, cayeron 71,5 milímetros de agua en dos horas y media.

477. **Nieve.**—Los vapores acuosos en la atmósfera, no solo se condensan hasta liquidarse, sino que por el enfriamiento se solidifican, cayendo hácia la superficie de la tierra en forma de *nieve*, con un volúmen, segun Leslie, nueve veces mayor que el del agua, y con una velocidad en su caida treinta veces menor que la de las gotas de dicho líquido.

Generalmente, las nieves están formadas de copos esponjosos constituidos por un inmenso número de cristales de agua solidificada, cuyas formas mas notables pueden reconocerse por la *figura* 299, y recogiendo la nieve cuando cae sobre un pedazo de paño negro. Alguna vez la nieve se presenta en pequeños cristales sueltos y mezclados con agua de lluvia, en cuyo caso constituye el fenómeno de las *neviscas* ó *agua de nieve*, que no deja de ser frecuente en las tierras llanas del interior y por las costas cantábricas de España.

Fig. 299.



478. **Granizo.**—La formacion del *granizo* es uno de los fenómenos meteorológicos cuya explicacion ofrece grandes dificultades. Hutton explicaba la formacion de este meteoro por el choque de dos nubes cargadas de cantidades diferentes de vapor acuoso y con desiguales temperaturas, en cuyo supuesto la condensacion del vapor y la solidificacion de las gotas de agua en forma de hielo se siguen inmediatamente. Volta supuso que en el fenómeno del granizo tenia una parte la accion de la electricidad para dar orígen y aumentar el volúmen de los granizos. Howard observó que simultáneamente una nube se podia resolver á la vez y en un mismo momento en agua, en copos de nieve, en bolas de nieve y en granizo. En definitiva, las verdaderas causas de la formacion del granizo no están bien determinadas, y el granizo para algunos es un fenómeno tempestuoso.

* 479. **Forma de los granizos.**—Las figuras y extructura de los granizos en España son generalmente las observadas por los meteorologistas en otros paises; así es que se citan en nuestro pais granizos de forma esférica con un núcleo ó centro mate y de nieve, otros radiados desde el centro, algunos formados por capas concéntricas y cristalinas, no pocos con estas mismas capas separadas por otras al parecer de nieve mate, y aunque rara vez, se citan granizos con pajas, pelos y pequeñas chinas en el interior. Con extructuras semejantes á las anteriores, se han visto en Es-

paña granizos ovóideos, piramidales, esféricos y esferoidales erizados de puntas. Como una de las formas mas extraordinarias de los granizos, y contra las leyes admitidas en la cristalografía del agua, se pueden citar los recogidos por el profesor Perez Pascual en la tempestad de granizo que cayó por Palencia en 11 de Junio de 1855. Los granizos tenian la forma de prismas cuadrangulares, de pulgada y media de longitud y de algunas líneas de base, y muchos la de esferóides erizados de puntas.

480. Rocío.—El *rocío* es un fenómeno meteorológico que depende de la condensacion de los vapores acuosos de la atmósfera sobre las superficies de las hojas de las plantas y otros cuerpos durante la noche, formando gotas que desaparecen bajo la influencia del sol algun tiempo despues de su presencia en el horizonte.

Las causas físicas que favorecen la formacion del rocío, segun Wells, son: la irradiacion nocturna, la naturaleza de los terrenos, la conductibilidad y capacidad que tienen los cuerpos para el calor, la posicion de estos y la proximidad de las montañas cuando sus cimas son agudas y aisladas, ó cuando son planas formando llanuras ó páramos extensos. Tambien influyen en la formacion del rocío corrientes atmosféricas de mucha ó poca velocidad.

Las superficies horizontales recogen siempre mas rocío que las verticales y las inclinadas al horizonte. Durante la noche principia á depositarse desde las doce hasta la salida del sol, correspondiendo próximamente á este último momento la máxima cantidad de rocío depositada, siendo mayor en la primavera y otoño que en el verano, y se ha observado que es mas copioso en las mañanas de las noches en que hay niebla, con especialidad si corre suavemente el aire.

La cantidad de vapor que anualmente se deposita en forma de rocío en diferentes puntos de Europa, no está determinada actualmente. Sin embargo, en las costas de Oeste de Europa se calcula que la cantidad de vapor que pasa al estado líquido formando el rocío, da orígen á una capa de agua cuyo espesor es de 5 pulgadas; próximamente la sexta parte de la cantidad de lluvia que cae durante el mismo tiempo en aquella region.

Como veremos mas adelatne, la caida y la elevacion del rocío electriza con grados diferentes á los cuerpos que existen en la superficie de la tierra. Los grados de electricidad percibidos durante los rocíos, podrán ser si se quiere pequeños, pero por su continuidad durante largos períodos del año, este fenómeno meteorológico tiene una influencia notable sobre la vida de las plantas; por esta

razon los horticultores, aunque sin explicarse el motivo científicamente, tienen varias prácticas para moderar la accion de los rocíos sobre las plantas que cultivan.

481. **Escarcha.**—Durante el invierno y algunas mañanas del otoño y primavera, el rocío que se forma sobre los cuerpos cuya temperatura es mas baja que la de la congelacion del agua, presenta en forma de hielo el vapor que sobre ellos se deposita, en cuyo supuesto se denomina *escarcha*. Las escarchas mas intensas penetran pocas pulgadas en los terrenos, pero en cambio modifican é influyen de distintos modos sobre las diversas variedades de las plantas, y en estas de diferente modo sobre cada uno de los órganos vegetales. La escarcha generalmente se forma en nuestro clima al principio de la primavera y hácia el medio del otoño.

482. **Nieblas.**—Cuando una gran cantidad de los vapores acuosos que se elevan de la superficie de la tierra, se condensan en las regiones bajas de la atmósfera, se presenta el fenómeno de las *nieblas*. Este meteoro es muy frecuente durante el invierno, y las causas mas á propósito para su produccion se reunen en la desembocadura de los rios, en los terrenos pantanosos y en las llanuras favorables á la formacion del rocío. En todas estas localidades, cuando la temperatura del aire es de 1 á 6 grados mas baja que la del agua ó terreno, se da orígen á las *nieblas húmedas*, diferentes de las nieblas que se han llamado *secas* porque no afectan á los higrómetros, las cuales tienen algunas veces un olor mas ó menos fétido, presentándose elevadas sobre la superficie de los terrenos.

483. **Calinas.**—Algunos meteorologistas atribuyen á las nieblas secas el fenómeno denominado en España *calinas*, que es frecuente durante el verano en muchas localidades de España. El aspecto de la atmósfera durante la calina aparece como si una cantidad grande de humo se tendiese por el horizonte. El espacio se aclara gradualmente hácia el zénit, de tal modo, que el humo aparente del horizonte se cree enrarecido hácia las alturas. Las calinas corresponden por lo regular á los meses mas cálidos del año, y durante aquellos el sol, al salir y al ponerse, aparece con tintas rojizas fuertes y uniformes, palideciendo el disco solar cuando el astro se encuentra en una posicion aparente de pocos grados sobre el horizonte. Las tintas de los edificios y objetos lejanos durante los períodos diurnos, cambian simultáneamente de colorido con los rayos de un sol, al cual la generalidad ha denominado *encaniculado* ó *calinoso*.

484. **Nubes.**—Los vapores acuosos en la atmósfera por lo general se presentan flotantes en grandes masas, las que se han denominado *nubes*, cuya forma y colorido varían extraordinariamente. Sin embargo de la mucha dificultad que ha presentado la clasificacion de las nubes, Howard las divide en siete clases, tres con forma primitiva y cuatro en forma compuesta.

1.ª *Cirrus.*—Nubecillas paralelas ó formadas de filamentos divergentes, extendiéndose ó aumentándose en una ó en todas direcciones.

2.ª *Cumulus.*—Nubes voluminosas, de superficie convexa, cuya base al parecer se presenta horizontal, y que se aumentan de abajo hácia arriba, ó por la parte superior.

3.ª *Stratus.*—Nubes continuas y extendidas en un plano horizontal, recibiendo incremento de abajo hácia arriba, ó por la parte superior.

4.ª *Cirro-cumulus.*—Nubes en masas covexas, de poco volúmen, separadas entre sí, pero con alguna tendencia á reunirse en un plano atmosférico horizontal.

5.ª *Cirro-stratus.*—Nubes en masas horizontales y en ocasion ligeramente inclinadas en una parte de sus bordes ó en toda la periferia. Se presentan enrarecidos los vapores y mas claro el espacio, doblándose, desgajándose ú ondulando dichos bordes. Separadas estas nubes, constituyen otras en pequeñas masas vaporosas con los mismo caractéres anteriores.

6.ª *Cumulo-stratus.*—Son los cirro-stratus anteriores, unidos en columnas y apareciendo mezclados en cantidad grande con los primeros, ó bien formando una base ancha ó cirro-stratus mas elevado.

7.ª *Cirro-cumulo-stratus* (nimbus).—Nubes de lluvia, ó grupo de nubes en el cual se está precipitando la lluvia. Se distinguen por presentarse en una capa horizontal, dominando los cirrus por la parte superior de la nube, mientras los cumulus, debajo y lateralmente, son mucho mayores.

Kaemtz ha procurado aclarar las descripciones anteriores clasificando las nubes:

1.° En *cirrus* (cola de gato de los marinos).—Nubes formadas de filamentos delgados y divergentes: en ocasiones se parecen, por el cruzamiento de los filamentos nebulosos, á las mallas de un tejido delicado.

2.° *Cumulus* ó nubes de verano (balas de algodon de los marinos).—Con frecuencia se presentan con formas hemisféricas sostenidas por una base horizontal. Algunas veces se amontonan

unas sobre otras y forman como grandes y distantes montañas cubiertas de nieve.

3.° *Stratus.*—Nubes que se presentan en forma de banda ó faja horizontalmente cuando el sol se pone, desapareciendo cuando el sol se levanta sobre el horizonte.

4.° *Cirro-cumulus.*—Nubes de bordes redondos, que con frecuencia se llaman nubes de lana, y cuando se cubre con ellas la atmósfera, se dice está aborregada ó empedrada.

5.° *Cirro-stratus.*—Están compuestas de bandas y filamentos mas compactos y cerrados que los de los cirrus, y á cuyo través en ocasiones pasan difícilmente los rayos del sol y de la luna. Estas nubes forman capas horizontales que en el zénit parecen estar compuestas de un gran número de nubes delgadas, mientras que en el horizonte tan solo se observa una faja estrecha y delgada.

Cuando los cumulus se reunen, cada vez se hacen mas densos; en este caso la variedad de aspecto atmosférico toma el nombre de *cumulu-stratus*, el cual con frecuencia se extiende por el horizonte con líneas pardas oscuras, azuladas, rojizas y de color de heces de vino, convirtiéndose en *nimbus* ó nubes de lluvia. Estas últimas se las conoce por su color gris sucio uniforme, con sus bordes desgarrados y lineales en direccion de la tierra. En cuanto á las nubes de que se componen los cumulu-stratus, son tan complicadas, que es imposible distinguirlas por una clasificacion exacta.

485. **Mareas atmosféricas.**—Uno de los fenómenos mas notables que presenta la atmósfera, es el que se ha podido reconocer por medio de las alturas barométricas observadas á diferentes horas del dia, y las cuales al parecer indican que el Océano atmosférico presenta, como los mares, un movimiento de flujo y reflujo que se repite dos veces en el trascurso del dia. El coronel Sykes dice que existen cuatro mareas atmosféricas, dos durante el dia y dos durante la noche, correspondiendo el máximo flujo á la máxima altura del barómetro. Para reconocer las horas y momentos de las mareas atmosféricas, llevamos expuesto que se observa el barómetro, cuyo aparato presenta, en la generalidad de los lugares de la tierra, una máxima altura á las nueve de la mañana, disminuyéndose gradualmente la altura barométrica hasta próximamente las tres de la tarde, reproduciéndose un segundo máximo á las nueve de la noche y un segundo mínimo á las tres de la mañana, como expresiones de los cuatro movimientos de las mareas indicadas en la atmósfera.

CAPÍTULO VI.

Electricidad atmosférica.

486. **Experimentos de Franklin y Dalivar.**—Franklin, guiado por sus experimentos sobre la facultad de las puntas (346), se propuso demostrar la identidad sobre el flúido eléctrico de nuestras máquinas y la causa que en las nubes produce el rayo. Para conseguirlo elevó una cometa de papel, armada con una punta de metal, hácia una nube tempestuosa. Mientras Franklin, en América, hacia este experimento, Dalivar en Francia colocaba una barra de hierro aislada, de 40 piés de longitud, sobre una cabaña construida al intento, observando casi á la vez los dos físicos citados que en el momento de pasar algunas nubes por las inmediaciones de la cometa de Franklin y del conductor fijo de Dalivar, se presentaban las atracciones y repulsiones de los cuerpos ligeros (362), apareciendo muy pronto chispas eléctricas semejantes á las de las máquinas eléctricas ordinarias. Posteriormente, Romas repitió con mayor éxito la experiencia de Franklin, continuando otros físicos un estudio tan interesante como lo es el de la electricidad atmosférica. Todos los experimentos de este género son peligrosos: varios físicos han recibido violentas conmociones, y el célebre Richmann, profesor de San Petersburgo, fué muerto el 6 de Agosto de 1753 por una chispa que saltó de un conductor aislado semejante al de Dalivar, que habia colocado en el sitio mas alto de su casa.

487. **Causas de la electricidad atmosférica.**—Los diferentes físicos que han estudiado en distintas épocas la electricidad de las nubes tempestuosas, han hallado que están sobrecargadas de electricidad semejante á la de nuestras máquinas; y han observado tambien que las lluvias, y con frecuencia las nieblas, se hallan casi siempre electrizadas, y que aun el aire en los tiempos claros y tranquilos actuaba en los electrómetros de una manera bien perceptible. Volta suponia que la electricidad, con todos los grados de tension que puede presentar en la atmósfera, es debida á la evaporacion en la superficie de la tierra; Saussure sostuvo la misma opinion, y Pouillet demostró que la evaporacion del agua por sí sola no es una causa suficiente para el desarrollo de la electricidad, si este líquido no contiene algunas sales en disolucion. La combustion, la respiracion de los séres animales, el desprendimiento del ácido carbónico de los vegetales, y las reacciones

químicas que se verifican por estos últimos en el aire atmosférico, dentro del cual viven, son otras de las causas que, reunidas á las primeras, dan orígen á la electricidad de que nos ocupamos.

488. **Electricidad en una atmósfera serena.**—Read, en 1791, demostró, y el Marqués de Ureña en 1803, en Cádiz, comprobó, la existencia de la electricidad atmosférica y algunas de sus leyes cuando el aire está claro y despejado. Segun los registros del Marqués de Ureña, resulta que la electricidad en los tiempos serenos se aumenta en Cádiz hasta dos ó tres horas despues que el sol ha salido, disminuyéndose la tension de la electricidad hasta dos ó tres horas de haber pasado aquel astro por el meridiano, volviendo de nuevo á aumentarse la tension eléctrica en la atmósfera hasta dos ó tres horas despues de principiar la noche. Este resultado de los trabajos de Read, de Schubler y del Marqués de Ureña, que observaron en muy distintos puntos de Europa, ha sido posteriormente comprobado por Arago en Paris, donde tambien ocurren dos máximos y dos mínimos eléctricos en cada período de veinticuatro horas, cuando la atmósfera se halla clara y despejada.

489. **Electricidad del rocío.**—La explicacion teórica que se ha dado de los máximos y de los mínimos eléctricos diurnos y nocturnos, de que se ha hablado en el párrafo anterior, se funda exclusivamente en la formacion de los rocíos, á los cuales se les supone cargados de electricidad cuando descienden en las primeras horas de la noche, reproduciéndose las señales eléctricas de los aparatos colocados en la superficie de la tierra cuando nuevamente vuelven á la atmósfera, evaporándose en las primeras horas del dia.

490. **Electricidad de la lluvia.**—Cuando la lluvia ó la nieve caen, dice Kaemtz que los electrómetros colocados en la superficie de la tierra, al recibir las primeras gotas de la lluvia, dan señales mas ó menos fuertes de electricidad, mientras que durante las continuadas lluvias de temporal no se perciben ningunas señales del flúido eléctrico. Estos hechos en general son ciertos; pero en las inmediaciones de las montañas del centro de España se nota con frecuencia que las lluvias poseen una fuerte tension eléctrica cuando caen aturbonadas en gruesas gotas y de mucha altura, y tambien si las nubes, marchando muy bajas, se resuelven en lloviznas al aproximarse á la tierra: en tales ocasiones la electricidad recogida ha sido grande, pareciendo como si los conductores metálicos fijos á la superficie de la tierra estuviesen sumergidos en la nube rasante que se resuelve en agua. Relativamente á las

lluvias de temporales muy templados y húmedos, en lo general no presentan signos eléctricos en el interior de nuestro pais.

491. **Nubes tempestuosas.**—La electricidad acumulada en las nubes puede adquirir una tension muy fuerte y dar orígen á los fenómenos del *rayo*, del *relámpago* y del *trueno*, que constituyen las tempestades eléctricas. Las nubes tempestuosas en un principio son pequeñas, pero muy pronto se aumenta su volúmen y se extienden por la mayor parte del espacio. Algunas horas antes de principiar la tempestad, y cuando las nubes electrizadas aparecen en el horizonte, se las reconoce por un color gris oscuro algo ceniciento. A cierta distancia de la nube eléctrica se percibe una ligera neblina, como si existiese humo muy difundido en el espacio; además, aquella nube, fija en la apariencia, se presenta como formada de filamentos entrecruzados en un principio, que posteriormente, y cuando la nube está próxima, siguen una direccion mas ó menos inclinada. En ocasiones el centro de las nubes electrizadas tempestuosas se presenta bastante claro y hácia los bordes oscuro. Con frecuencia se notan en ellas movimientos muy rápidos de traslacion, las mas veces por causa del viento, regularizándose algunas veces el camino que siguen las nubes tempestuosas por la forma topográfica del terreno.

492. **Rayo.**—Las chispas eléctricas que saltan en los excitadores de los instrumentos de observacion expuestos á la influencia de la electricidad de las nubes, son muy vivas, su luz es blanco-azulada, y en ocasiones algo rojiza. Su movimiento entre las esferas metálicas de los excitadores, y con especialidad si aquellas tienen partículas ligeras de polvo, cuando la distancia es de algunas líneas, se verifica en direccion curvilínea ó con tendencia á seguir su camino en zig-zag; pero en ocasiones, y cuando las esferas del excitador están en la oscuridad, la chispa eléctrica es acompañada por irradiaciones divergentes en forma de manojos de rayos luminosos que desaparecen á cierta distancia en el aire, desprendiéndose de la esfera superior ó que recibe el flúido eléctrico de la nube. El rayo tambien presenta las mismas tintas luminosas, recorre un trayecto en el espacio mas ó menos prolongado, sigue una línea en zig-zag, se dirige horizontalmente, y con mas frecuencia con oblicuidad, entre dos nubes diferentes, cayendo algunas veces hasta tocar la superficie de la tierra: en ocasiones se le ha observado vertical de nubes inferiores hácia otras mas elevadas. Se atribuye la marcha en zig-zag de la chispa eléctrica por el aire á la resistencia que este gas opone á la reunion de los flúidos para formar el flúido natural (350), cuya

resistencia se aumenta cuanto mas oprimidas se hallan las capas atmosféricas al través de las cuales ha de saltar la chispa eléctrica, influyendo la densidad del aire en el colorido de la chispa (359): así es blanco en las regiones bajas de la atmósfera; pero en las altas, donde el aire está mas enrarecido, toma un color de violeta.

El rayo, cuando cae formando una sola chispa, se llama *simple* ó *verdadero*, segun dice el vulgo en nuestro pais; pero algunas veces se divide en dos ó tres, ó se multiplica hasta formarse manojos divergentes, en cuyo supuesto se le ha denominado *rayo compuesto*, vulgarmente *centella*. Una tercera variedad de rayo es la que ha denominado Arago *globo de fuego*; fenómeno que se ha observado algunas veces en el centro de España: á esta variedad puede referirse el rayo que cayó hace unos años en la torre de Cabanillas, cerca de Guadalajara.

Al rayo acompaña una luz vivísima que ilumina un espacio mas ó menos grande, á cuya claridad casi instantánea se ha denominado *relámpago*, y es seguido de un ruido alternativamente intenso y débil, grave y mas ó menos alto, repitiéndose por los ecos próximos y distantes, constituyendo el *trueno*. Este ruido, como fenómeno físico, ha sido difícil de explicar en todos sus detalles, creyéndole unos efecto del ruido que acompaña á las chispas eléctricas que conmueven vibratoriamente el aire en el espacio donde saltan aquellas. Algunos han supuesto que por las chispas eléctricas se resuelven en lluvia grandes cantidades de vapores de agua, constituyéndose el vacío y el choque entre las masas de aire que se precipitan á llenar aquel. La continuidad del trueno es una cuestion física resuelta por la teoría de los ecos y resonancias variables entre las nubes, y todavía mas por la forma irregular del terreno, en cuyos valles, recodos y circos cerrados se reproduce, multiplica y cambia de timbres el ruido que constituye los truenos en todas sus variedades.

493. **Efectos del rayo.**—Cuando el rayo toca en la superficie de la tierra, da orígen á todos los fenómenos de las chispas de nuestras máquinas, pero con grados de intensidad proporcionales. Los efectos fisiológicos se aumentan, desde una impresion parecida á la que se experimenta por el contacto de una tela de araña que pasase por la frente y rostro, hasta la sacudida en las sienes y pecho, el desmayo mas ó menos grave, la pérdida del movimiento, la de la sensibilidad en algun sentido, las quemaduras mas ó menos profundas en el cuerpo de los animales, y la muerte tranquila como la del sueño, ó con heridas y roturas de las venas y arterias

que se ramifican por el cuerpo. Los efectos mecánicos del rayo se dan á conocer por la proyeccion de los cuerpos, por las ruinas de los edificios, por la rasgadura de los árboles, por el desgaje y proyeccion de la corteza de estos últimos, y por el levantamiento de las tejas y losas en los pavimentos de los edificios por donde pasa el citado meteoro. Los efectos magnéticos del rayo se manifiestan por la imantacion de la clavazon y de todo el herraje que entra en las construcciones sobre las cuales cae el rayo, y por la inversion y cambio de los polos de las agujas de marear ó brújulas marinas.

Los efectos caloríficos consisten en la fusion y volatilizacion de los metales por donde pasa el rayo, en el incendio de los edificios y en la fusion de algunos puntos de los terrenos por donde pasa, constituyendo los tubos que se han denominado *fulminarios* (*fulguritas*), cuya formacion es debida á que el rayo pasa por areniscas que se funden, y estas se aglomeran en derredor de la línea por donde marcha la chispa eléctrica. En caso de llamar á ciertas piedras, *piedras del rayo*, como cree el vulgo, se podrian considerar como verdaderas los tubos fulminarios citados.

Los efectos químicos son variados hasta el infinito, como lo son las reacciones químicas; sin embargo, entre todas llama la atencion la descomposicion del yeso ó sulfato de cal que entra como elemento de las construcciones; la formacion del *ozono* ú oxígeno alotrópico, y el trasporte de las partículas metálicas de los cuerpos buenos conductores, con especialidad del hierro: fenómenos que dan orígen al olor fosforado que acompaña al rayo, y á las manchas negras y ferruginosas, sello por el cual se atestigua el paso del rayo por los diferentes puntos de su camino.

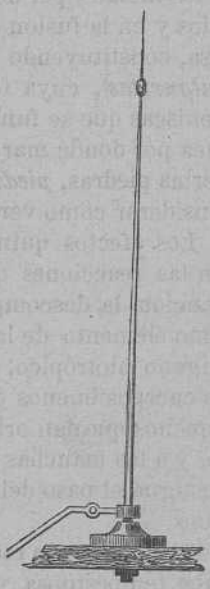
494. **Choque de retroceso.**—Cuando el rayo tiene lugar entre una nube tempestuosa y un cuerpo colocado en la superficie de la tierra, la influencia eléctrica de la nube cesa de repente, y los cuerpos que se encuentran bajo su esfera de actividad, por los cuales no ha pasado el rayo, recobran instantáneamente su estado natural. Esta recomposicion súbita de los dos flúidos es seguida algunas veces de un fenómeno secundario conocido bajo el nombre de *choque de retroceso*, cuyos efectos, aunque menos temibles que los del rayo, son algunas veces bastante violentos para causar la muerte de los hombres y de los animales.

Este fenómeno puede reproducirse en nuestros gabinetes colocando un pájaro que esté en comunicacion con el suelo, bajo la esfera de atraccion de un conductor fuertemente electrizado; des-

cargando repentinamente el conductor, se verá caer el pájaro como atontado.

495. **Para-rayos.**—El importante descubrimiento de los *para-rayos*, cuya utilidad ha sido comprobada por la experiencia, es debido al célebre Franklin. Los para-rayos están formados de una barra de hierro en forma de pirámide cuadrangular ó cónica (*fig.* 300), terminada por una varilla, tambien de forma cónica, de laton, que es menos oxidable que el hierro, encima de la cual se fija á tuerca una punta de platino de $0^m,05$ de longitud.

Fig. 300.



La barra de hierro debe estar fija sobre el tejado del edificio que se desea preservar de la accion del rayo, y su altura no debe exceder de 8 á 9 metros, y el lado de su base de 60 á 70 milímetros. La experiencia ha demostrado que un para-rayos proteje de la descarga eléctrica un espacio circular doble de su altura. Así, pues, una barra de 9 metros de altura puede defender una extension circular de 18 metros de radio, y para un espacio circular que tenga 9 metros de radio basta con un para-rayos de 4^m5 de altura.

El conductor que pone en comunicacion con el suelo la barra del para-rayos, debe estar compuesto de barras de hierro soldadas en sus extremos, ó de muchos hilos de hierro que constituyan una cuerda de 15 á 16 milímetros de diámetro próximamente, la cual se cubre de brea para evitar su oxidacion. No debe existir en este conductor ninguna solucion de continuidad, y se ha de amoldar á la forma del tejado y muro del edificio, llevándole por el camino mas corto á un pozo de aguas permanentes; y si no le hay en el edificio, se hace en el suelo un hoyo de 4 ó 5 metros de profundidad, por el cual desciende el conductor, y se le rodea de carbon calcinado ó cok, para impedir la oxidacion del metal y facilitar la marcha del flúido, por su buena conductibilidad eléctrica. En cualquier caso es conveniente que la extremidad del conductor que penetra en la tierra se divida en muchas ramas, para facilitar el paso del flúido eléctrico.

Si el edificio en que se coloca un para-rayos tiene piezas metálicas, como láminas de plomo ó zinc, canalones de metal ó bar-

ras de hierro, es necesario hacerlas comunicar con el conductor. En los grandes edificios donde se necesitan muchos para-rayos, basta un solo conductor para cada dos barras.

La teoría de los para-rayos está fundada en la electricidad de los cuerpos por influencia y en la facultad de las puntas (346 y 349). En efecto, cuando una nube cargada de electricidad pasa por encima de un para-rayos, actúa por influencia sobre el flúido natural de la barra y del conductor, rechaza al suelo la electricidad del mismo nombre y atrae la de nombre contrario, la cual, marchándose por la punta al aire, tiende á neutralizar la electricidad de la nube, reduciéndola á su estado natural. Sucede algunas veces que un viento fuerte trasporta la nube de un modo rápido hácia la tierra, y entonces se descarga sobre el para-rayos. En este caso, el edificio y todos los cuerpos que se encuentran bajo la esfera de atraccion de la nube, se hallan al abrigo de todo peligro, puesto que el flúido eléctrico, marchando siempre por el conductor mas perfecto, pasará por las cuerdas metálicas al depósito comun sin ocasionar el menor perjuicio; por eso es necesario dar á las barras y conductores las dimensiones indicadas, para que trasmitan sin fundirse toda la electricidad que en estos casos llega á ellos.

Todos los cuerpos que se elevan sobre la superficie de la tierra, tales como los árboles, casas, campanarios, etc., se pueden considerar como verdaderos para-rayos que descargan las nubes electrizadas, dando lugar algunas veces á graves accidentes por su imperfecta conductibilidad. Las iglesias en particular cuyos campanarios son muy elevados, son bajo este punto de vista los sitios mas peligrosos en dias de tempestades, y principalmente en las poblaciones donde se tiene la costumbre de tocar las campanas para conjurar la nube durante la tempestad.

496. **Relámpagos de calor.**—A los relámpagos que algunas veces se ven durante las noches de verano sin percibirse truenos, se les ha denominado *relámpagos de calor*, explicándose su causa por diferentes hipótesis; unos los atribuyen á un estado fosforescente de la atmósfera; otros han sostenido que en la atmósfera clara y serena pueden saltar chispas eléctricas; pero de la Rive cree con mas fundamento que los relámpagos sin truenos son originados por tempestades que pasan en puntos distantes y bajo el horizonte.

497. **Fuegos de San Telmo.**—Los antiguos conocieron bajo el nombre de *Cástor y Polux* un fenómeno eléctrico que consiste en las ráfagas luminosas que se presentan durante las tempesta-

des en los extremos de los mástiles de los buques, y alguna vez, cuando la electricidad es muy abundante en la atmósfera, sobre los árboles y los animales que se encuentran bajo la influencia de las nubes tempestuosas. Esta luminosidad eléctrica la percibieron con frecuencia los marinos españoles en sus primeras expediciones á las regiones ecuatoriales, considerándola como señales favorables en la navegacion. La explicacion teórica de los fuegos de San Telmo, se comprende bien recordando la descarga de los conductores eléctricos en nuestras máquinas por medio de las puntas de metal.

498. **Trombas.**—Las trombas ó grandes torbellinos consisten, segun Kaemtz, en el movimiento de rotacion que se establece en el aire inmediato á las tempestades; y segun Peltier, reconocen por causa la electricidad atmosférica. Estos meteoros se conocen bajo la denominacion vulgar de *mangas de aire* ó *mangas de agua*, los cuales posteriormente se han dividido, segun las localidades, en *mangas* ó *trombas marinas*, y en *trombas terrestres* ó que pasan por el interior de los continentes. La forma de estos meteoros generalmente es cónica, con su base en las nubes; pero tambien se citan algunas cuya base invertida se hallaba sobre la superficie de las aguas. El movimiento giratorio en las trombas llega á ser de tal energía, que eleva los cuerpos ligeros, desarraiga los árboles y arruina los edificios, conmueve las aguas de los mares como si estuvieran dotadas con un movimiento de ebullicion por las inmediaciones de la tromba, elevando además columnas de agua á grandes alturas.

499. **Auroras boreales.**—Uno de los fenómenos luminosos mas notables que se presentan en la tierra, son las auroras polares, que se denominan *boreales* cuando se refieren al polo Norte, y *australes* cuando al polo Sur. En Europa se presenta frecuentemente este fenómeno en las regiones septentrionales: en el hemisferio austral fué D. Antonio Ulloa uno de los primeros que le observaron. La causa de las auroras boreales, por su accion enérgica sobre las agujas imantadas, se cree sea el magnetismo propio de la tierra.

La descripcion del fenómeno tal como se ha observado desde el Norte al Mediodía de Europa, es la siguiente:

1.° Aparecen en el horizonte desde la postura del sol, y en la direccion del polo Norte, algunas nubes negras muy pequeñas, extendidas por el horizonte y en direccion sensiblemente vertical.

2.° Sobre estas pequeñas nubes aparece un segmento, oscuro

pero teñido con un color gris y azul violeta: sobre este segmento, cuyo punto culminante corresponde al meridiano magnético de la tierra, se presenta un arco luminoso de luz blanca y ligeramente teñida de azul. En algunas auroras el arco luminoso claro presenta tintas verdes.

3.° Cuando se ha formado el arco luminoso durante las auroras boreales, la intensidad de la luz es diferente en alguno de sus puntos, trasladándose al parecer dicha intensidad desde unas partes á otras diferentes, en cuyo caso se denomina el fenómeno *cortina boreal de celajes*. En el Norte, el arco luminoso de la aurora algunas veces se llega á cerrar, formándose la *corona boreal*. De todos los puntos del arco luminoso de la aurora, pero mas principalmente de la parte inferior, parten de tiempo en tiempo irradiaciones muy vivas como si fueran ráfagas de fuego, avanzando desde el citado arco hácia el zénit, del cual pasan en muchas ocasiones.

Si se reunen algunas de estas irradiaciones y permanecen en el espacio disminuyéndose y ganando en intensidad luminosa, se las denomina *placas boreales*. Durante las auroras de los polos, el espacio atmosférico aparece iluminado con tintas variables en proporcion á la luminosidad del arco claro y del número y colorido de las irradiaciones que existen en un momento cualquiera de la duracion del fenómeno.

Las irradiaciones cesan, el arco claro principia á debilitarse, y todo el fenómeno de las auroras boreales desaparece gradualmente hácia el crepúsculo de la mañana.

CAPÍTULO VII.

Fenómenos luminosos de la atmósfera.

500. **Color de la atmósfera.**—La diafanidad de la atmósfera no es tan perfecta que en sus moléculas gaseosas dejen de reflejarse algunos rayos luminosos de la luz blanca, siendo absorbidos algunos otros, resultando de aquí el color azul por el cual se distingue la atmósfera terrestre. El colorido particular del espacio atmosférico se cambia con las alturas, volviéndose mas oscuro conforme se observa á mayor altura sobre la superficie de los mares; tambien varía aquel color por la cantidad de vapores que en un momento dado y en determinadas localidades existen suspendidos en el aire, bien difusos y sin que la vista los perciba, bien consti-

tuyendo nubes que, reflejando la luz, dan orígen á las tintas tan variadas que nos presenta el azul del cielo. La presencia de grandes cantidades de vapores que pueden existir bajo el horizonte, cambia el colorido particular de la atmósfera, con especialidad cuando el sol sale ó se pone. En este supuesto, las diferentes tintas del azul propio de la atmósfera han dado orígen á las señales adoptadas por el vulgo para reconocer ó predecir los cambios del tiempo.

501. **Crepúsculo.**—Cuando el sol se halla próximo á tocar en la línea del horizonte, sus rayos tienen que atravesar, para llegar á la tierra, el camino mas largo y al través de las capas mas densas y húmedas de la atmósfera. De aquí resultan dos fenómenos, que son: la mayor refraccion de los rayos luminosos, por la cual se amplifican las imágenes de los astros, y la absorcion de una parte de los rayos azules, en virtud de la cual aparece un espacio atmosférico teñido por un color rojizo. Á esta iluminacion coloreada de la atmósfera se la conoce con el nombre de *luz del crepúsculo*, la cual aparece por el punto opuesto al sol cuando este ha recorrido de Levante á Poniente, ó viceversa, todo el espacio atmosférico. Sobre la duracion y colorido de la luz crepuscular influyen notablemente las latitudes de los lugares, durando en Chile, segun el Padre Acosta, un cuarto de hora, mientras que en el Norte de Europa se prolongan los crepúsculos por muchas horas. Tambien varían los crepúsculos con las estaciones, y meteorológicamente considerados, con las nieblas muy altas, como aconteció en la del verano de 1831, durante la cual los crepúsculos mas notables fueron los de 21, 25 y 26 de Setiembre en Madrid y en todo el Mediodía de Europa. El colorido del crepúsculo en las montañas cubiertas de nieve, origina una sensacion de tristeza por su color, al cual los montañeses denominan *color de la muerte*.

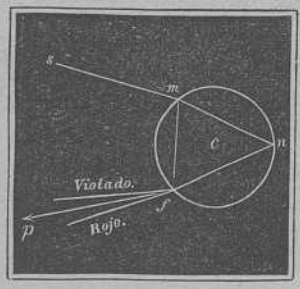
502. **Rayos crepusculares.**—Es muy frecuente, cuando los rayos del sol atraviesan nubes sueltas ó desprendidas cuyos bordes son irregulares, el presentarse un pabellon ó abanico de rayos luminosos que se dirigen hácia la tierra. Si estos rayos divergentes aparecen cuando el sol se halla bajo el horizonte, originándose en los bordes de las nubes que tambien están bajo de aquella línea, el pabellon de rayos solares se pinta sobre la bóveda celeste, constituyendo el fenómeno óptico que se ha denominado *rayos anti-crepusculares* si se presentan por la mañana, y *crepusculares* cuando aparecen 20 ó 30 minutos despues de puesto el sol.

503. **Halos solares y lunares.**—Estos fenómenos luminosos son

difíciles de explicar, aunque la generalidad de los meteorologistas admiten como causa de los *halos* la refraccion y descomposicion de la luz al través de las partículas congeladas de los vapores acuosos en la atmósfera. Consisten en arcos circulares que tienen por centro al sol ó la luna, constituyendo en este estado de simplicidad las *coronas*, que se presentan unas veces blancas y otras veces teñidas con los colores del espectro solar. El fenómeno de las coronas se hace complejo, duplicándose y triplicándose en derredor de los astros citados, y todavía mas aumentándose las coronas de diámetro y apareciendo círculos y arcos luminosos que no tienen por centro al sol, cortando en diferentes puntos á las coronas concéntricas; en este caso el fenómeno luminoso ha recibido el nombre de *halo propiamente dicho*, apareciendo entonces la atmósfera iluminada. Si los arcos luminosos en los halos están teñidos con los colores del espectro, en los puntos de interseccion aparecen manchas mas vivas, que se han comparado con las imágenes del sol ó de la luna, en cuyo caso se originan los *parelios* ó manchas semejantes al sol, y los *paraselenas* ó imágenes semejantes á la luna.

504. **Arco iris.**—El *arco iris* es el fenómeno luminoso que se presenta frecuentemente en la atmósfera, hallándose de espaldas al sol y á cierta distancia de una nube que se resuelve en lluvia, en cuyo supuesto se perciben en la atmósfera arcos de circunferencia teñidos por los colores del prisma. Para comprender la formacion del arco iris originado por la descomposicion de los rayos luminosos al atravesar las gotas de agua que descienden en la atmósfera, supongamos un rayo (*fig.* 301) que pase por el interior de una de aquellas gotas, y tendremos que el rayo *s m* del sol, llegando á la gota líquida *c*, será refractado en la direccion *m n*, y sus colores, dispersados por el grado diferente de refraccion, pasarán en parte al aire y en parte serán reflejados en el punto *n* hácia el punto *p*, desde donde se percibirá la imágen cromática y coloreada del sol en la direccion *p f*.

Fig. 301.



La imágen repetida por la renovacion rápida y constante de las gotas de agua, da lugar en el espacio á la formacion del arco iris, fenómeno que se complica algun tanto cuando los arcos son dobles, en cuyo supuesto se denomina el uno exterior y el otro

interior, diferenciándose entre sí por presentarse invertidas las tintas coloreadas. Rarísima vez se presentan mas de tres arcos íris solares, y es mucho mas extraño que aquellos no sean concéntricos. Cuando los arcos se producen en la atmósfera por causa de los rayos de la luna, se les denomina *arcos lunares*, entre los cuales se cita como uno de los mas notables el que vieron en los Andes D. Antonio Ulloa y D. Jorge Juan.

505. **Estrellas fugaces y piedras meteóricas.**—Entre los fenómenos meteorológicos de orígen desconocido, son notables las *estrellas fugaces* y las *piedras meteóricas*. En las noches claras y despejadas se nota frecuentemente la presencia de cuerpos luminosos en el espacio, semejantes á estrellas, que se mueven de un lugar á otro y que desaparecen repentinamente. Los antiguos llamaron á estos cuerpos *meteoros ígneos* ó *balas de fuego*; en la actualidad se cree sean cuerpos que existen en número muy grande fuera de los límites de la atmósfera, formando parte del sistema planetario.

Cuando las balas de fuego, que tambien se han denominado *bólidos*, y que el vulgo llama *exhalaciones*, caen en la superficie de la tierra, lo hacen en masa, ó dividiéndose en su camino con explosion, en cuyo caso se les denomina *aerolitos*, las cuales, dividiéndose, han dado orígen á las lluvias de piedra consignadas en la historia en diferentes tiempos.

Los aerolitos, analizados químicamente, se han hallado formados principalmente de hierro, con un poco de níquel, cobalto y algunos otros metales.

ÍNDICE

DE LOS

ELEMENTOS DE FÍSICA

ÍNDICE

DE LOS

ELEMENTOS DE FÍSICA.

PRIMERA PARTE.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

		Págs.
Cap. I.	**Nociones preliminares**	1
Cap. II.	**Propiedades de los cuerpos**	4

SEGUNDA PARTE.

NOCIONES DE MECÁNICA.

Cap. I.	**Estática**	12
	De las fuerzas	13
	De las máquinas	19
Cap. II.	**Dinámica**	30
	Movimiento uniforme.—Sus leyes	31
	Movimiento uniformemente acelerado y retardado.—Sus leyes	32
	Movimiento curvilíneo	36
	Rozamiento	43
	Teoría del choque	45
Cap. III.	**Hidrostática**	48
	Condiciones del equilibrio en los líquidos	50
	Cuerpos sumergidos en los líquidos	54
	Pesos específicos.—Areómetros	57
Cap. IV.	**Hidrodinámica**	62
	Tubos adicionales	66
Cap. V.	**Peso y elasticidad del aire**	68
	Presion atmosférica.—Barómetros	71
Cap. VI.	**Medidas de las fuerzas elásticas de los gases**	77
	Manómetros	78
Cap. VII.	**Aparatos fundados en la presion atmosférica**	81
	Bombas para la elevacion de las aguas	82
	Pipeta, fuente intermitente, frasco de Mariotte y sifon.	84
Cap. VIII.	**Aparatos fundados en la elasticidad y compresibilidad del aire**	87
	Máquina neumática y contra-neumática	88
	Escopeta de viento, fuentes de compresion y de Heron.	91
Cap. IX.	**Equilibrio de los cuerpos sumergidos en los gases**	93
	Aerostacion	94
Cap. X.	**Dinámica de los cuerpos gaseosos**	95
	Gasómetros	96

TERCERA PARTE.

ACCIONES MOLECULARES.

Cap. I.	**Atracciones y repulsiones moleculares**	98
	Capilaridad	100
Cap. II.	**Movimiento ondulatorio**	103
	Ondulaciones progresivas, estacionales y de retroceso.	104
Cap. III.	**Acústica**	107
	Trasmision del sonido	108
	Organos de la voz y del oido	112

CUARTA PARTE.

DEL CALÓRICO.

Cap. I.	**Efectos del calórico, é hipótesis sobre la naturaleza de este agente**	114
	Medida de las temperaturas	115
Cap. II.	**Dilatacion de los cuerpos por el calor**	121
	Coeficiente de dilatacion en los sólidos	123
	Coeficiente de dilatacion en los flúidos	125
Cap. III.	**Cambio de estado de los cuerpos**	127
	Vapores.—Medida de su tension	129
	Ebullicion	137
Cap. IV.	**Máquinas de vapor**	145
	Máquina de doble efecto de Watt	146
Cap. V.	**Calorimetría**	153
	Calor específico de los átomos	155
Cap. VI.	**Propagacion del calor**	156
	Conductibilidad	157
	Radiacion del calor	160
	Radiómetro	164
	Trasmision del calor radiante	165
Cap. VII.	**Principales orígenes del calor**	167

QUINTA PARTE.

DE LA LUZ.

Cap. I.	**Trasmision, velocidad é intensidad de la luz**	172
	Hipótesis sobre la naturaleza de la luz	173
	Trasmision de la luz	175
	Intensidad de la luz	176
	Fotómetros	178
Cap. II.	**Reflexion de la luz**	180
	Reflexion en los espejos planos	181
	Id. en las superficies curvas	183
Cap. III.	**Refraccion de la luz**	189
	Prismas	193
	Lentes.—Su division	194
Cap. IV.	**Dispersion de la luz**	192
	Espectro solar	199
	Acromatismo	205
Cap. V.	**De la vision**	207

Ojo humano considerado como un instrumento de óptica 208
Defectos del órgano de la vision, y medios de corregirlos 209
CAP. VI. **Instrumentos de óptica** 213
CAP. VII. **Doble refraccion y polarizacion de la luz** 225
Interferencias 226
Difraccion 228

SEXTA PARTE.

DEL MAGNETISMO.

CAP. I. **Propiedades de los imanes** 232
Hipótesis sobre el magnetismo 234
CAP. II. **Magnetismo terrestre** 238
Brújulas 241
CAP. III. **Diferentes métodos de imantacion** 245

SÉTIMA PARTE.

DE LA ELECTRICIDAD.

CAP. I. **Nociones generales** 250
Hipótesis sobre la naturaleza de la electricidad 253
CAP. II **Medida de las fuerzas eléctricas** 254
Distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos 257
Facultad de las puntas 259
CAP. III. **Electrizacion por influencia** 261
Electróscopos y electrómetros 265
Máquinas eléctricas 267
Efectos de la electricidad estática 272
CAP. IV. **Condensacion de la electricidad** 277
Botella de Leyden 281
Efectos producidos por la descarga de la botella de Leyden 284
CAP. V. **Electricidad desarrollada por el calor y por la presion** 288
Modo de hacer perceptible la electricidad de la turmalina 289
CAP. VI. **Electricidad voltáica** 291
Pila de Volta.—Sus modificaciones 294
CAP. VII. **Electricidad desarrollada por las acciones químicas.** 300
Pilas de corriente constante 302
CAP. VIII. **Efectos de la electricidad dinámica** 307
Efectos fisiológicos, mecánicos y caloríficos 309
CAP. IX. **Electro-química** 313
Descomposicion del agua por la pila 314
Descomposicion de los óxidos metálicos, de los ácidos y de las sales 315
Galvanoplastia.—Dorado y plateado galvánicos 318
CAP. X. **Electro-magnetismo** 321
Accion de las corrientes sobre los imanes 324

CAP. XI.	**Electro-dinámica**	326
	Accion de la tierra sobre las corrientes	331
	Solenóides	332
CAP. XII.	**Imantacion por las corrientes**	333
	Electro-imanes	334
	Telegrafía eléctrica	335
	Telegrafía trasatlántica	344
CAP. XIII.	**Corrientes termo-eléctricas**	345
	Pilas termo-eléctricas	347
CAP. XIV.	**Fenómenos de induccion**	348
	Aparatos de induccion	348
	Teléfono	355
	Fonógrafo	357

OCTAVA PARTE.

METEOROLOGÍA.

CAP. I.	**Nociones preliminares**	359
	Objeto de la metereología	359
	Constitucion física y química de la atmósfera	360
CAP. II.	**Calor terrestre**	361
	Temperaturas medias y líneas isotermas	361
	Climas meteorológicos	363
	Irradiacion solar	366
CAP. III.	**Meteoros aéreos**	368
	Direccion y velocidad de los vientos	369
	Causa de los vientos	370
CAP. IV.	**Higrometría**	371
	Higrómetros.—Su division	372
CAP. V.	**Meteoros acuosos**	376
	Lluvia.—Regiones hietográficas	377
	Nieve y granizo	378
	Rocío y escarcha	380
	Nubes.—Su clasificacion	382
CAP. VI.	**Electricidad atmosférica**	384
	Principales orígenes de la electricidad atmosférica	384
	Del rayo y efectos que produce	386
	Para-rayos	389
CAP. VII.	**Fenómenos luminosos de la atmósfera**	392
	Arco-iris	394

ELEMENTOS DE QUÍMICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones preliminares.

1. **Distincion entre la física y la química.**—En la física se estudian las propiedades de los cuerpos y se dan á conocer las circunstancias que los modifican. Los fenómenos que esta ciencia considera y aprecia, se refieren solo á ligeras modificaciones de extension, de estructura ó de estado, ó á modificaciones aun mas pequeñas que no afectan en nada la sustancia ó materia de los cuerpos. Así el calor dilata los cuerpos, los liquida, los volatiliza, y la electricidad, bajo diversas formas, desenvuelve en ellos propiedades nuevas, sin que ninguna alteracion sensible se manifieste en su peso y naturaleza.

Al lado de estos fenómenos, llamados exteriores de los cuerpos, se producen otros mas íntimos en la materia cuando se pone en movimiento. Las sustancias se unen entre sí perdiendo los caractéres que constituyen la individualidad, y se forman otras nuevas sustancias dotadas de propiedades constantes y revestidas de un carácter distinto. Por ejemplo, el azufre y el mercurio, calentados y puestos en contacto del aire, se unen á uno de los gases de este, y se presentan compuestos en los cuales las propiedades específicas del azufre y del mercurio se han modificado profundamente.

Variando las circunstancias, se descomponen los cuerpos y se trasforman en otros de propiedades características diferentes, como sucede cuando se hace pasar la corriente de la pila por el agua (399 *Fís.*), y esta da orígen á dos gases, oxígeno é hidrógeno. Estos dos gases se combinan de nuevo y vuelven á formar el agua, haciendo pasar por la mezcla de dichos gases una chispa eléctrica, ó elevando su temperatura hasta el calor rojo.

Ciertas sustancias parecen *indescomponibles*, porque pasan de una combinacion á otra sin experimentar alteracion alguna, se unen en diferentes proporciones y forman todos los cuerpos com-

puestos. A estas sustancias se les ha dado el nombre de *cuerpos simples*.

La química se propone determinar estas sustancias simples, observar sus combinaciones y estudiar las leyes bajo las cuales ellas se forman.

Los cuerpos simples ó elementales conocidos hasta el dia son *sesenta y ocho* (1), los cuales se combinan dos á dos, tres á tres, etc., para formar los *cuerpos compuestos*.

2. **Moléculas integrantes y constituyentes.**—En la teoría corpuscular se admite que los cuerpos simples están formados por una multitud de partecillas homogéneas, invisibles é indivisibles, que se conocen con el nombre de *átomos*, y que de la reunion de dos ó mas átomos diferentes se originan las *moléculas*.

Los cuerpos compuestos no pueden dividirse en moléculas de diferente especie por ningun procedimiento mecánico, pero por medios químicos se pueden separar los cuerpos simples que los forman. Las moléculas obtenidas por el primer medio reciben el nombre de *moléculas integrantes*, resultan del producto de la division mecánica, y siempre son semejantes: á las moléculas obtenidas por los medios químicos se les ha dado el nombre de *moléculas constituyentes*; estas forman la molécula integrante del cuerpo compuesto, y necesariamente son diferentes. Así el plomo, que es uno de los cuerpos simples, está formado por la reunion de moléculas integrantes; lo mismo sucede en el azufre. Por el contrario, la galena, que es un cuerpo compuesto de plomo y azufre, está tambien formado de moléculas integrantes, pero cada una de las moléculas contiene plomo y azufre, y estas moléculas sumamente pequeñas que entran en la composicion de la molécula integrante, son las moléculas constituyentes.

Las moléculas que constituyen los cuerpos se mantienen unidas en virtud de una fuerza llamada de *atraccion molecular*. A esta fuerza se la da el nombre de *fuerza de agregacion* ó *cohesion*,

(1) El número de los cuerpos simples no se puede fijar de un modo invariable, pues depende en parte de los progresos y descubrimientos de la química. Esto se evidencia recordando que en tiempo de Lavoisier la potasa y la sosa se consideraban cuerpos simples, y como tales fueron clasificados, hasta que Davy, por medio de una pila muy enérgica (*Fís.* 400), separó el oxígeno, quedando libres los metales potasio y sodio. En estos últimos años, por las observaciones hechas en los espectros luminosos, se han descubierto cuatro metales y recientemente el metal *Gallium*; y se comprende que empleando agentes químicos mas enérgicos que los usados hasta el dia, los cuerpos simples pueden cambiar aumentándose ó disminuyendo, como sucederia si el pelopio fuera un óxido de niobio, segun lo ha anunciado Wuohler, y el metal donario, un óxido ó modificacion alotrópica de otro cuerpo simple.

cuando se refiere á la fuerza que mantiene unidos los átomos de los cuerpos simples ó las moléculas integrantes de los compuestos; y el de *fuerza de combinacion* ó *afinidad química*, cuando tiende á unir los átomos ó las moléculas de naturaleza diferente, para formar otros cuerpos de propiedades distintas de los que entran en su composicion.

3. **Cohesion.**—La cohesion, segun se ha dicho, es la fuerza que mantiene en contacto los átomos de una misma especie ó las moléculas de los cuerpos compuestos. Las moléculas de los cuerpos obedecen simultáneamente á esta fuerza y á la accion repulsiva del calor, que tiende sucesivamente á alejar las partes de un mismo cuerpo. De las variaciones relativas de estas dos fuerzas resultan los diferentes estados de los cuerpos. La fuerza de cohesion es considerable en los sólidos, casi insensible en los líquidos, y completamente nula en los gases.

4. **Afinidad.**—La fuerza que tiende á unir ó mantiene unidas en los compuestos las moléculas de diversa naturaleza, se ha dicho que recibe el nombre de *afinidad química*. Esta fuerza varía mucho segun las circunstancias en que se encuentren los cuerpos; y como se ejerce á pequeñas distancias y de molécula, en molécula no obra en general de una manera sensible sino entre moléculas físicamente libres. Así, es raro ver que los elementos sólidos se reunan para formar compuestos, mientras que el estado líquido y gaseoso es favorable á las combinaciones que son el resultado de la afinidad.

La afinidad puede ser modificada por diferentes causas: 1.°, por el grado de division que puede darse á los cuerpos; 2.°, por las cantidades relativas de los cuerpos entre los que puede verificarse la combinacion; 3.°, por las combinaciones anteriores en que están ya empeñados los cuerpos; 4.°, por la cohesion; 5.°, por el calórico, que frecuentemente cambia el estado de los cuerpos; la luz obra en gran número de casos lo mismo que el calor; 6.°, por el estado eléctrico de los cuerpos; 7.°, por el peso específico; 8.°, en fin, por la presion, que actúa de un modo inverso al calor, recordando que ciertos gases se liquidan si la presion se aumenta, y se gasifican algunos líquidos si se disminuye.

5. **Cristalizacion.**—Si disminuyendo la cohesion de un sólido se le hace pasar al estado líquido ó gas, y cesa la causa que verifica el cambio, de modo que vuelva al primer estado, sus moléculas se solidifican tomando formas regulares, y el sólido que resulta se llama *cristal*. Por consiguiente, *cristalizacion* (139 *Fís.*) es el resultado de una operacion por la cual las moléculas de los cuerpos

líquidos ó aeriformes se aproximan para dar orígen á un sólido regular.

El reino mineral presenta innumerables variedades de cristales. La química solo imita algunas de estas cristalizaciones, pero en cambio produce otras que no se hallan espontáneamente en la naturaleza.

Los agentes que generalmente se emplean para cristalizar los cuerpos, son los líquidos y el calor.

Por el intermedio de los líquidos, la cristalizacion se efectúa.....	1.° Disolviendo la sustancia en un líquido que se evapora lentamente ó que se deja abandonado á una evaporacion espontánea...	Los cristales se forman y crecen en proporcion del líquido evaporado.
	2.° Disolviendo la materia en un líquido hirviendo que se enfria con lentitud.....	Se deposita parte de la materia disuelta, si esta es menos soluble en frio que en caliente
Por el intermedio del calor.....	1.° Si el cuerpo es volátil, se le calienta y se recibe el vapor formado en un recipiente frio.....	El vapor se condensa en el cuerpo frio y forma cristales.
	2.° Si el cuerpo es fusible sin ser volátil, se funde y se deja enfriar lentamente, se horada la costra sólida que se forma en la superficie, y se decanta la parte todavía líquida.....	Si se hace esta operacion en un crisol ó vaso apropósito, resulta una cavidad tapizada de cristales, que recibe el nombre de *geoda*.

En general, cada cuerpo simple ó compuesto presenta formas cristalinas particulares, á una de las cuales se da el nombre de *primitiva*, porque se puede pasar de ella á todas las demás, que se llaman *derivadas*.

Comparando las formas primitivas de los cristales naturales y artificiales, se han reducido á seis grupos, llamados *sistemas de cristalizacion*, distinguiéndose unos de otros por el número ó la disposicion de sus ejes. Estos sistemas son:

1.° El sistema cúbico, caracterizado por tres ejes iguales y perpendiculares entre sí.

2.° El sistema prismático recto de base cuadrada, caracterizado por tres ejes perpendiculares entre sí; dos son iguales, y el tercero, llamado *eje principal*, es desigual.

3.° El sistema prismático rectangular recto ó romboidal, caracterizado por tres ejes perpendiculares entre sí, como en los dos sistemas anteriores, pero estos tres ejes no son iguales.

4.° El sistema romboédrico, caracterizado por cuatro ejes, de los cuales tres son semejantes, dispuestos en el mismo plano é inclinados á 60°; el cuarto eje es diferente y perpendicular al plano de los otros dos.

5.° El sistema rectangular ó romboidal oblícuo, caracterizado por tres ejes desiguales; dos de estos son oblícuos entre sí, y el tercero perpendicular á ellos.

6.° El sistema prismático oblícuo de base paralelográmica, oblicuángula, caracterizado por tres ejes desiguales y oblícuos entre sí.

6. **Isomorfismo.**—En la naturaleza existen sustancias de composicion química diferente, que pueden reemplazarse mútuamente en varias proporciones cuando se cristalizan reunidas en un mismo disolvente, sin alterar el sistema de la primitiva forma cristalina de sus compuestos, aunque en rigor no sea el mismo valor de sus ángulos. A estos cuerpos se les llama *isomorfos* ó de forma semejante. Ejemplo: el azufre y el selenio, combinándose con el plomo, la plata, el zinc, etc., producen compuestos de las mismas formas; los óxidos de hierro, manganeso, cromo, aluminio, etc., á cierto grado de oxidacion y combinándose con los ácidos, producen sales de las mismas formas: todos estos cuerpos son isomorfos.

7. **Dimorfismo.**—Hay un pequeño número de cuerpos de composicion química idéntica, que se presentan cristalizados en dos sistemas diferentes y con diversas propiedades físicas, como se verifica en el carbonato de cal, que se cristaliza en el sistema romboédrico (*espato de Islandia*) y en el sistema prismático rectangular recto (*aragonito*). El cobre y la pirita de hierro se cristalizan en los sistemas cúbico y prismático. A estos cuerpos se les da el nombre de *dimorfos*.

8. **Alotropia.**—Muchos cuerpos simples, sin sufrir alteracion alguna en su composicion ni en su temperatura, presentan propiedades físicas y algunas químicas diferentes. Este cambio de propiedades en los cuerpos de la misma composicion le denominó Berzelius *alotropia*. Como ejemplo del *estado alotrópico* de los cuerpos simples, puede citarse el del fósforo blanco fumante, que es muy venenoso, y el del mismo fósforo de aspecto rojo, que no produce humos y no es venenoso. El diamante y el negro de humo, que están formados por el carbono puro, son otro ejemplo del estado alotrópico del carbono.

9. **Isomería.**—Existen algunos cuerpos cuya composicion química es la misma, y sin embargo poseen propiedades diferentes. A estos cuerpos se les ha dado el nombre de *isoméricos*, y á sus relaciones químicas *isomería*. Como ejemplos de cuerpos isoméricos se pueden citar muchos compuestos de carbono é hidrógeno; el sulfuro de mercurio natural ó cinabrio, y el obtenido artificialmente en los laboratorios combinando el azufre y el mercurio en las mismas proporciones, difieren notablemente por el color rojo y otras propiedades.

La *metamería* y la *polimería* son casos particulares de la isomería. Se llaman cuerpos *metámeros* á los formados por la union de cuerpos diferentes, que poseen idéntica composicion y verifican las mismas reacciones, y cuerpos *polímeros* á los constituidos por la reunion de varias cantidades en peso de una misma sustancia, presentando propiedades físicas diferentes de las que distinguen á la materia que los forma.

10. **Análisis y síntesis.**—Por dos procedimientos susceptibles de gran precision se pueden distinguir los cuerpos compuestos de los que no lo son. El uno de ellos tiene por objeto aislar los componentes de un cuerpo de modo que estos aparezcan con las propiedades que los caracterizan en su estado primitivo, y recibe el nombre de *análisis*. El otro procede en órden inverso, reuniendo los elementos separados de un compuesto, reproduciéndole cual existia, y se llama *síntesis*.

El análisis químico se divide en *análisis cualitativo* y en *análisis cuantitativo*; el primero tiene por objeto conocer las sustancias que forman un compuesto; el segundo, además de esto, determina el peso y volúmen de cada una de ellas: el primero debe siempre preceder al segundo. Tomemos, por ejemplo, la creta: si se calienta esta sustancia en una retorta de hierro, se desprende un gas particular que se denomina *ácido carbónico*, y en la retorta queda cal viva, de donde se deduce que la creta está compuesta de ácido carbónico y cal: este es, pues, el análisis cualitativo. Si ahora se determina la cantidad relativa del ácido carbónico desprendido (para lo cual es necesario recogerle en campanas durante la calcinacion) y de la cal que ha quedado en la retorta, se verifica el análisis cuantitativo.

Poniendo el ácido carbónico recogido en presencia de la cal en condiciones favorables para la combinacion de estos dos cuerpos, el gas no tarda en unirse á la cal, reproduciéndose la creta primitivamente destruida. Esta reproduccion es la *síntesis*, cuya operacion, como se ve, sirve de comprobante de la primera.

Para practicar el análisis químico se hace uso de *agentes* y de *reactivos*. Todo cuerpo ó flúido imponderable por medio del cual se puede verificar la separacion de las partes constituyentes de un compuesto, es un *agente*. Así, para el análisis de la creta que se ha verificado por la intervencion del calor, el calor es en este caso un agente de análisis. Pero si en vez de aislar los principios que forman un compuesto se quiere solo evidenciar su presencia, nos serviremos de cuerpos que por sus reacciones sobre cada uno de los principios hagan aparecer algunas de sus propiedades distintivas que nos den á conocer su naturaleza especial. A los cuerpos que reaccionan de este modo se les da el nombre de *reactivos*. Un reactivo es, segun esto, un cuerpo que, en contacto con otro cuerpo, da lugar á la produccion de signos ó fenómenos característicos que se manifiestan siempre de igual modo cuando las circunstancias en que se verifican son las mismas.

Nomenclatura química.

11. **Nomenclatura actual.**—Los compuestos diferentes que se encuentran en la naturaleza ó que la química prepara, se distinguen los unos de los otros por sus nombres. Pero en medio de la multitud de combinaciones posibles, la memoria de los nombres empleados para designarlas seria muy difícil si se formasen sin reglas fijas é invariables. De aquí la necesidad de denominaciones derivadas de los fenómenos que presentan las combinaciones que sirvan para recordar alguna propiedad del compuesto que el nombre designa.

La nomenclatura química cuyos principios vamos á exponer, es la que en 1787 fué propuesta por los fundadores de la química moderna Lavoisier, Berthollet y Guyton de Morveau. Esta nomenclatura, racional en el momento que se estableció, no se halla en armonía con el estado actual de la ciencia, por los grandes progresos que ha hecho en estos últimos años; pero tendremos cuidado de indicar sucesivamente los defectos principales de que adolece en la actualidad, y algunas modificaciones y ampliaciones que se han introducido para corregirlos.

12. **Nomenclatura de los cuerpos simples.**—Los sesenta y ocho cuerpos simples conocidos hasta el dia, se designan generalmente por un nombre arbitrario cuya etimología recuerda alguna de sus propiedades, y se han dividido en las dos clases siguientes:

1.ª Clase. *Metaloides ó cuerpos no metálicos.*

2.ª Clase. *Metales.*

Esta division fué ideada por Berzelius, y la fundó en ciertas propiedades físicas de los cuerpos; pero atendiendo exclusivamente á las propiedades químicas de los cuerpos simples, se han colocado en la primera clase todos aquellos que, uniéndose con el oxígeno, solo forman compuestos neutros ó ácidos, y en la de los metales á los simples que, uniéndose al oxígeno, forman por lo menos un óxido básico.

Los nombres de los sesenta y ocho cuerpos simples se expresan en la segunda columna del siguiente cuadro: los metalóides, en número de diez y seis, se indican por un asterisco, para distinguirlos de los cincuenta y dos cuerpos restantes, que son metales.

CUADRO DE LOS CUERPOS SIMPLES.

En la columna 1.ª se expresa el número de órden que corresponde á cada cuerpo simple; en la 2.ª los nombres de los cuerpos y su division en metalóides (*) y metales; en la 3.ª los símbolos ó signos que los representan; en la 4.ª los equivalentes referidos á 100 de oxígeno; en la 5.ª los equivalentes referidos á 1 de hidrógeno; en la 6.ª la clasificacion electro-química, principiando por el oxígeno, que es el mas electro-negativo.

1. Número de órden.	2. Nombres de los cuerpos simples.	3. Signos.	4. y 5. EQUIVALENTES. Oxig.º=100.	Hidróg.º=1.	6. Clasificacion electro-química.
1	Aluminio.	Al.	171	13,7	O.
2	* Antimonio.	Sb.	1525	122,6	Fl.
3	* Arsénico.	As.	937	75	Cl.
4	* Azufre.	S.	200	16	Br.
5	Bario.	Ba.	856	68,5	I.
6	Bismuto.	Bi.	2650	212	S.
7	* Boro.	Bo.	136	10,8	Se.
8	* Bromo.	Br.	1000	80	Ph.
9	Cadmio.	Cd.	696	55,7	N.
10	Calcio.	Ca.	250	20	C.
11	* Carbono.	C.	75	6	Bo.
12	Cerio.	Ce.	590	47,2	Si.
13	Cesio.	Cs.	1662	133,4	As.
14	* Cloro.	Cl.	443	35,4	Cr.
15	Cobalto.	Co.	368	29,4	Va.
16	Cobre.	Cu.	396	31,6	Mo.
17	Cromo.	Cr.	328	26,2	W.
18	Didimio.	Di.	620	49,6	Sb.
19	Donario.	Do.	»	»	Te.
20	Erbio.	Er.	»	»	Pp.
21	Estaño.	Sn.	735	58,8	Il.

1. Número de órden.	2. Nombres de los cuerpos simples.	3. Signos.	4. EQUIVALENTES. Oxíg.° = 100.	4. EQUIVALENTES. Hidróg.° = 1.	6. Clasificacion electro-química.
22	Estroncio.	Sr.	548	43,8	Nb.
23	* Fluor.	Fl.	239	19,1	In.
24	* Fósforo.	Ph.	387	31	Ta.
25	Galio.	Ga.	»	»	Ti.
26	Glucinio.	Gl.	87	7	Au.
27	* Hidrógeno.	H.	12,5	1	H.
28	Hierro.	Fe.	350	28	Os.
29	Ilmenio.	Il.	753	60,2	Ru.
30	Indio.	In.	450	36	Ir.
31	* Iodo.	I.	1587	127	Pt.
32	Iridio.	Ir.	1232	98,5	Rh.
33	Lantano.	La.	600	48	Pd.
34	Litio.	Li.	87	7	Ag.
35	Magnesio.	Mg.	150	12	Hg.
36	Manganeso.	Mn.	344	27,5	U.
37	Mercurio.	Hg.	1250	100	Cu.
38	Molibdeno.	Mo.	600	48	Bi.
39	Niobio.	Nb.	512	49	Sn.
40	Níquel.	Ni.	369	29,5	Pb.
41	* Nitrógeno.	N.	175	14	Cd.
42	Oro.	Au.	1227	98,2	Zn.
43	Osmio.	Os.	1242	99,4	Ni.
44	* Oxígeno.	O.	100	8	Co.
45	Paladio.	Pd.	665	53,2	Fe.
46	Pelopio.	Pp.	»	»	Mn.
47	Plata.	Ag.	1351	108	Ce.
48	Platino.	Pt.	1232	98,5	La.
49	Plomo.	Pb.	1294	103,5	Di.
50	Potasio.	K.	490	39,1	Er.
51	Rodio.	Rh.	652	52,1	Tr.
52	Rubidio.	Rb.	1066	85,3	Do.
53	Rutenio.	Ru.	646	51,6	Th.
54	* Selenio.	Se.	495	59,6	Zr.
55	* Silicio.	Si.	350	28,3	Yt.
56	Sodio.	Na.	287	23	Gl.
57	Talio.	Tl.	2550	204	Al.
58	Tántalo.	Ta.	1153	92	Mg.
59	* Teluro.	Te.	800	64	Ga.
60	Terbio.	Tr.	»	»	Ca.
61	Titano.	Ti.	314	25,1	Sr.
62	Torinio.	Th.	743	59,5	Ba.
63	Tungsteno.	W.	1150	92	Li.
64	Urano.	U.	750	60	Tl.
65	Vanadio.	Va.	855	68,4	Cs.
66	Ytrio.	Yt.	402	32,2	Rb.
67	Zinc.	Zn.	412	33	Na.
68	Zirconio.	Zr.	420	33,6	K.

De los sesenta y ocho cuerpos simples, el *oxígeno*, *hidrógeno*, *nitrógeno*, *cloro* y *fluor* se presentan á la temperatura ordinaria en el estado gaseoso; el *bromo* y el *mercurio* en el estado líquido, y los sesenta y uno restantes en el estado sólido.

13. **Nomenclatura de los cuerpos compuestos.**—Los cuerpos compuestos formados por la reunion de varias sustancias simples, se les designa con nombres compuestos que dan á conocer su naturaleza, y en muchos la proporcion de los elementos que los constituyen.

Para relacionar la nomenclatura con un hecho de gran importancia en la química, se ha convenido en determinar el *género* del compuesto por el elemento electro-negativo, y la *especie* por el elemento electro-positivo. Se llama cuerpo electro-positivo el cuerpo que en la descomposicion electro-química (399 *Fis.*) se dirige al polo negativo de la pila, y electro-negativo el cuerpo que se dirige al polo positivo.

Los compuestos formados por un cuerpo simple y el oxígeno reciben los nombres genéricos de *ácido* ó de *base*, segun sean las propiedades químicas de sus compuestos.

14. **Ácidos.**—Cuando un cuerpo forma con el oxígeno una combinacion ácida, se le designa con el nombre genérico de *ácido*, y despues se añade el del cuerpo que está unido al oxígeno, el cual forma la especie del compuesto. Si forma varios grados de acidificacion, se termina el nombre del cuerpo específico en *oso* y en *ico*, ó anteponiendo la palabra *hipo* (que en griego significa *debajo*).

La terminacion en *oso* indica menos oxígeno que la en *ico*, y la voz *hipo* expresa menos cantidad de oxígeno que el nombre del cuerpo que inmediatamente le sigue terminado en *oso* ó en *ico*. Así el cloro forma con el oxígeno los *ácidos hipocloroso*, *cloroso*, *hipoclórico* y *clórico*; pero habiéndose descubierto otra combinacion que tiene mas oxígeno que el *ácido clórico*, se le ha dado el nombre de *ácido hiperclórico*, ó simplemente de *ácido perclórico*, para no alterar las reglas de nomenclatura y evitar así los errores á que daria lugar la variacion de nombre.

No todos los ácidos están formados por el oxígeno, pues el hidrógeno, combinándose con algunos metaloides, forma ácidos que se designan con el nombre de sus principios constitutivos, terminando los nombres lo mismo que los de los otros ácidos. Los que forma el hidrógeno con el cloro, azufre, etc., se llamarán *ácido clorhídrico*, *sulfhídrico*, etc., porque el hidrógeno en todos estos compuestos es constantemente electro-positivo.

Á los ácidos que resultan de la combinacion del oxígeno con

un cuerpo simple, se les da el nombre genérico de *oxácidos*, para diferenciarlos de los ácidos formados por la union de un metaloide con el hidrógeno, y que reciben el nombre de *hidrácidos*. Pero el oxígeno forma con un mismo cuerpo compuestos de varios grados de acidificacion, lo cual no sucede con el hidrógeno, que solo forma una combinacion ácida.

Por lo que se acaba de exponer se deduce que los ácidos resultan de la combinacion de un cuerpo simple con el oxígeno ó con el hidrógeno, y sus propiedades son las siguientes:

1.ª La de unirse á las bases salificables para formar sales.

2.ª La de enrojecer la tintura azul de tornasol.

3.ª La de poseer un sabor mas ó menos agrio, y algunos ser corrosivos.

4.ª La de dirigirse al polo positivo de la pila voltáica cuando se hace pasar la corriente eléctrica por una disolucion salina.

Si los ácidos contienen agua, se denominan *anhidros*; si están combinados con ella, *ácidos hidratados*, y *ácidos dilatados* si están simplemente mezclados con este líquido.

15. **Óxidos.**—Los diversos grados de oxidacion se indican haciendo preceder al nombre genérico de *óxido* las partículas griegas *proto*, *deuto*, *trito*, etc., para el primero, segundo, tercero, etc., grado de oxidacion; y al óxido mas oxigenado se le designa algunas veces con la palabra *peróxido*. Si las cantidades de oxígeno en estos diferentes grados de oxidacion que experimenta un cuerpo son entre sí como los números 1 : $\frac{3}{2}$: 2 : 3, etc., se anteponen las palabras *proto*, *sesqui*, *bi*, *tri*, etc.; así decimos *protóxido de manganeso*, *sesquióxido de manganeso*, *bióxido de manganeso* ó *peróxido de manganeso*, por ser el óxido mas oxigenado que forma el manganeso combinado con el oxígeno.

Algunos químicos, entre ellos Berzelius, se sirven de los adjetivos en *oso* y en *ico* para indicar el menor y el mayor grado de oxigenacion, llamando *óxido manganoso* al protóxido de manganeso, y *óxido mangánico* al sesquióxido de manganeso. Esta nomenclatura, que es semejante á la adoptada para los ácidos, presenta algunos inconvenientes, por no prestarse de un modo fácil á la formacion de los nombres que han de servir para designar las nuevas combinaciones básicas que en lo sucesivo puedan descubrirse. Para evitar este inconveniente, Berzelius hace preceder al nombre genérico *óxido* las preposiciones *sobre* y *sub*, consiguiendo así indicar otras varias combinaciones de este género.

Las propiedades de los óxidos ó bases salificables son las siguientes:

1.ª La de unirse á los ácidos para formar sales.

2.ª La de no alterar el color de la tintura de tornasol, y devolverla el color azul cuando ha sido enrojecida por un ácido.

3.ª La de tener un sabor alcalino, contrario por lo tanto al de los ácidos.

4.ª La de dirigirse al polo negativo de la pila voltáica, cuando se descomponen las sales por la electricidad, por ser el *elemento positivo* del compuesto salino.

Los óxidos que no son bases salificables reciben el nombre de *óxidos indiferentes*; estos óxidos están en general muy cargados de oxígeno, y pasan fácilmente á ser ácidos débiles.

Hay óxidos que puestos en presencia de los ácidos son bases enérgicas, se combinan con ellos formando sales, y en contacto con los óxidos del mismo metal menos oxigenado, se combinan, haciendo el papel de ácidos, como se observa en el óxido de hierro magnético. A estos cuerpos se les designa con el nombre de *óxidos salinos* ú *óxidos neutros* (1).

16. **Sales.**—Las sales son compuestos de segundo órden que resultan de las combinaciones de las bases con los ácidos. Se las designa por un nombre genérico tomado del ácido, cambiando el abjetivo en *ico* ó en *oso* en el sustantivo *ato* ó *ito*, y por el nombre del óxido unido al del ácido que forma el específico. Así se llamarán *sulfatos* y *sulfitos* las sales que provienen de las combinaciones de las bases con los ácidos *sulfúrico* y *sulfuroso*, y se llamarán *hiposulfatos* é *hiposulfitos* las sales formadas por los ácidos hiposulfúrico é hiposulfuroso.

Los ácidos y los óxidos se combinan algunas veces en una sola proporcion; otras veces la base se combina con varias proporciones de ácido, ó el ácido con varias proporciones de base. Cuando las propiedades del ácido y de la base se hallan completamente neutralizadas, se llaman *sales neutras;* si el ácido domina y puede por lo tanto unirse á una ó mas proporciones de base, *sales ácidas* ó *sobre-sales*; y si la base domina y puede unirse á una ó mas proporciones de ácido, *sales básicas* ó *subsales*.

Las diversas proporciones en que se une un ácido á una base para formar una sal ácida, son siempre múltiplas de las cantidades de ácido ó de base que forman las sales neutras. Para expresar las cantidades de ácido en las sales ácidas, se anteponen, unidas al nombre que indica el género, las palabras *proto*, *bi*, *tri*,

(1) La *neutralizacion* de estas sales resulta de que las propiedades de los ácidos y de las bases que las forman no se manifiestan en alto grado. Las propiedades ácidas y básicas son en estos cuerpos iguales y contrarias.

per, que expresan la proporcion de ácido que entra en la sal. Así, en vez de decir *oxalato de potasa*, *oxalato ácido de potasa*, diremos *oxalato*, *bioxalato*, *trioxalato* ó *cuadrioxalato de potasa*. Del mismo modo diremos *sesquicarbonato de potasa* para indicar un carbonato que contiene *vez y media* mas ácido carbónico que el carbonato neutro. Las sub-sales pueden ser *sesquibásicas*, *bibásicas*, *tribásicas*, etc. Para denominarlas se coloca entre el nombre genérico y el específico la palabra que indique la proporcion de las bases que entran á formarlas; así decimos: *sulfato tribásico de peróxido de hierro*.

Las sales se combinan algunas veces entre sí y forman *sales dobles* ó de *doble base*. La nomenclatura de estos compuestos no presenta dificultad, pues todo está reducido á colocar la palabra *doble* despues del nombre genérico de la sal; por ejemplo: la combinacion del *sulfato de potasa* con el *sulfato de alúmina*, se llamará *sulfato doble de alúmina y de potasa*.

Las bases salificables se combinan algunas veces entre sí; para distinguir estos compuestos se les aplica la nomenclatura de los ácidos. El óxido de cobre y el de aluminio presentan esta propiedad de un modo muy notable. Dichos óxidos forman con la potasa un *cuprato* y un *aluminato de potasa*.

Cuando el agua se combina con los ácidos y con los óxidos metálicos, hace el papel de base en los primeros y de ácido en los segundos. A las combinaciones en que el agua hace el papel de ácido se las da el nombre genérico de *hidratos*: así decimos, *hidrato de potasa*, *hidrato de protóxido de hierro*; y las combinaciones en que hace las veces de base debieran denominarse del mismo modo que las demás sales; así, en vez de decir *ácido sulfúrico hidratado*, *ácido nítrico hidratado*, etc., que son los nombres con que se indican, se deberia decir, siguiendo las reglas de nomenclatura establecidas, *sulfato de protóxido de hidrógeno* ó *sulfato de agua*, *nitrato de protóxido de hidrógeno* ó *nitrato de agua*.

17. **Combinaciones de los metalóides.**—En las combinaciones de los metalóides entre sí ó con los metales se forma el nombre genérico con el cuerpo mas electro-negativo, terminándole en *uro*, y en seguida el nombre del metal ó metalóide al cual se une, que forma la especie: así, la combinacion del cloro con el azufre se llama *cloruro de azufre*, la del azufre con el hierro *sulfuro de hierro*.

Los metalóides forman, cuando se unen entre sí ó con los metales, muchas combinaciones. Las cantidades de metalóide com-

binadas con el mismo peso del metal ó metalóide, se hallan entre sí como las cantidades del oxígeno combinadas con un mismo cuerpo que forma diferentes grados de oxidacion (15), y por lo tanto, se las nombra anteponiendo las palabras *proto*, *sesqui*, *bi*, *tri*, etc., al nombre de la combinacion. Ejemplo: el azufre se une al hierro en diferentes proporciones y forma el *protosulfuro*, *sesquisulfuro* y *bisulfuro de hierro*.

La série de cuerpos formados por las combinaciones indicadas presenta algunas excepciones:

1.ª Los compuestos formados por la union del hidrógeno con un metal ó metalóide, reciben el nombre de *hidrácidos* (14).

2.ª Por la misma razon se ha dado el nombre de *sulfácidos* á ciertos sulfuros que entran en combinacion con otros sulfuros que se conocen con el nombre de *sulfo-bases*, para formar verdaderas sales, que se denominan *sulfo-sales*. Con algunas combinaciones del cloro sucede lo mismo que con los sulfuros, y se les da el nombre de *clorácidos*, y el de *cloro-bases* á los cloruros metálicos básicos que se unen á los clorácidos. Hay otros ácidos que tambien se exceptúan: tales son el *ácido fluobórico*, el *ácido fluosilícico* y el *ácido sulfocarbónico* ó *sulfuro de carbono*.

Estas combinaciones tienen el inconveniente de que, para expresarlas, hay que emplear una terminacion que los principios de la nomenclatura tienen reservada exclusivamente para los ácidos oxigenados.

3.ª Las combinaciones gaseosas del hidrógeno con un metalóide que no presentan caractéres ácidos ó básicos, se exceptúan tambien de la regla general. Así se llama *hidrógeno fosforado*, *hidrógeno arseniado*, *hidrógeno carbonado*, en vez de *fosfuro de hidrógeno*, *arseniuro de hidrógeno*, *carburo de hidrógeno*, á los compuestos formados por el hidrógeno y los cuerpos fósforo, arsénico, azufre y carbono.

Dos combinaciones binarias conservan en la nomenclatura química, además del nombre que las corresponde conforme á las reglas sentadas anteriormente, otro arbitrario hasta cierto punto, como son el *nitruro de hidrógeno*, conocido con el nombre de *amoniaco*, y el *nitruro de carbono*, que se denomina *cianógeno*. Al *protóxido de hidrógeno* ó *agua* se la conserva su nombre vulgar.

18. **Aleaciones metálicas.**—Las combinaciones de los metales entre sí reciben el nombre de *aleaciones*. Se designan las aleaciones por los nombres de los metales que las forman, poniendo primero el nombre del metal mas electro-negativo; así se llama alea-

cion de cobre y zinc la combinacion del cobre con el zinc. Cuando el mercurio hace parte de la aleacion, esta recibe el nombre de *amalgama*.

Leyes que presiden á la composicion de los cuerpos.—Signos y fórmulas químicas.

19. **Ley de los pesos.**—Cuando los cuerpos se combinan, desaparecen muchas ó todas las propiedades que los distinguen, pero su *peso* permanece invariable, lo cual se expresa diciendo que, «el peso de un compuesto es igual á la suma de los pesos de los componentes.»

Esta ley, debida á Lavoisier, ha sido la causa de los grandes progresos que la química ha hecho desde que aquel ilustre químico introdujo el uso de la balanza en los laboratorios, por cuyo medio se puede seguir á los cuerpos en sus combinaciones y descomposiciones, y comprobar este principio fundamental de la química: «Nada se pierde, nada se crea en las reacciones químicas.»

Si el hierro que se cubre de *orin* en el aire húmedo, aumenta de peso, es por haberse combinado con oxígeno y vapor de agua que existian en el aire; pero analizado el orin de hierro formado, se hallará que aquel peso es igual á la suma de los pesos del hierro, oxígeno y vapor acuoso que se han combinado.

El carbon y la madera, cuando arden en nuestros hogares, vemos que desaparecen, dejando un poco de ceniza, lo cual es debido á que el carbono se ha unido al oxígeno del aire formando el gas ácido carbónico, cuyo peso es igual á la suma de los pesos del oxígeno y carbono combinados.

20. **Ley de las proporciones definidas.**—Las propiedades de un cuerpo compuesto dependen de la naturaleza de sus principios constitutivos y de las relaciones que presentan las cantidades *ponderables* que la afinidad ha reunido, cuyas propiedades no varían si la composicion permanece constante. Esta ley, que se apoya en multitud de hechos, recibe en química el nombre de *ley de las proporciones definidas*.

La observacion y la experiencia demuestran que, si varía cualquiera de los elementos que forman un compuesto, se verifica en este una alteracion mas ó menos grande, y siempre notable en sus caractéres: en su consecuencia, dos compuestos no podrán tener las mismas propiedades si no están formados por los mismos elementos unidos en la misma relacion.

Siempre que un compuesto *definido* reune un conjunto de ca-

ractéres que le individualicen, presenta una composicion definida é invariable la relacion que existe entre los pesos de sus elementos constituyentes.

21. **Ley de las proporciones múltiples.**—Si se hace el análisis de diferentes compuestos binarios de elementos idénticos, y se calculan las proporciones de los elementos que las forman, se observará que estas proporciones son constantemente el producto de la multiplicacion por 1, 2, 3, 4, etc., de la cantidad de uno de los elementos, quedando siempre la misma cantidad del otro.

Esta ley se manifiesta en todos los compuestos definidos que la química nos presenta. Pueden servirnos de ejemplo los cinco compuestos que forma el nitrógeno con el oxígeno.

100 vol. de nitrógeno	con	50	de oxígeno forman	100 vol. de protóxido de nitrógeno.
100	idem	100	idem	200 de bióxido de nitróg.
100	idem	150	idem	el ácido nitroso.
100	idem	200	idem	el ácido hiponítrico.
100	idem	250	idem	el ácido nítrico.

En esta série de compuestos vemos que la cantidad *a* de nitrógeno se une con la cantidad *b* de oxígeno para formar el protóxido, y se une á las cantidades $2b$, $3b$, $4b$, $5b$ del mismo cuerpo para formar los otros compuestos. Sucede en algunas combinaciones gaseosas que el volúmen del compuesto es menor que la suma de los gases que le forman, por causa de la *contraccion* que experimentan dichos gases, la cual se halla en una relacion sencilla con el volúmen de uno de ellos, como se observa en el primero de los dos compuestos gaseosos que forma el nitrógeno con el oxígeno.

Si de las combinaciones binarias pasamos á las combinaciones complejas resultantes de la union de las mismas sustancias simples, hallaremos la misma ley, y además se observará que, cuando dos cuerpos binarios en que es comun el elemento electro-negativo están combinados, la cantidad del elemento electro-negativo del uno se halla en una relacion muy simple con el elemento electro-negativo del otro.

22. **Ley de los equivalentes químicos.**—Las cantidades ponderables de diferentes cuerpos, cuando pueden reemplazarse mútuamente en las combinaciones de un mismo órden, reciben el nombre de *equivalentes químicos*. Supongamos que la cantidad *a* de un cuerpo se combina con otros cuerpos cuyas cantidades están representadas por *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, y forman los compuestos *ab*, *ac*,

ad, *ae*, *af*; entonces, si nos enseña la experiencia que la cantidad *h* de otro cuerpo puede combinarse con los mismos cuerpos formando los compuestos *bh*, *ch*, *dh*, *eh*, *fh*, se dirá que la cantidad *h* equivale á la cantidad *a* en los compuestos formados.

La experiencia ha demostrado que los equivalentes de *a* y de *h*, ó sus múltiplos, expresan al mismo tiempo las proporciones bajo las cuales estas sustancias son susceptibles de unirse para formar las diversas combinaciones de la química.

El equivalente del oxígeno se expresa por 100, y á este número se refieren los equivalentes de los demás cuerpos: de aquí el decir algunos químicos que *equivalente* ó *número proporcional* de un cuerpo es la cantidad en peso de dicho cuerpo que se une á 100 de oxígeno para formar el primer grado de oxidacion. Segun esto, el número proporcional del hidrógeno será de 12,50, porque 100 de oxígeno y 12,50 de hidrógeno forman el protóxido de hidrógeno ó agua.

El equivalente de un compuesto se determina sumando los equivalentes de los cuerpos simples que le forman. El del protóxido de hidrógeno será 112,50.

En la columna 4.ª del cuadro de los cuerpos simples (12) se expresan los equivalentes químicos de dichos cuerpos referidos á 100 de oxígeno. Si en vez de referir los equivalentes químicos al del oxígeno se hubiese elegido otro cuerpo simple por término de comparacion, el hidrógeno, por ejemplo, se obtendrian otras séries de números muy diferentes en sus valores absolutos de los que se expresan en la columna 4.ª de aquel cuadro, pero presentarian constantemente las mismas relaciones. En la 5.ª columna de dicho cuadro se expresan los equivalentes químicos de los cuerpos simples, referidos 1,00 de hidrógeno. Como refiriendo los equivalentes al hidrógeno los cálculos son mas sencillos, algunos químicos dan la preferencia á esta unidad.

La teoría de los equivalentes es de una importancia grande en la química, y merece un estudio mas detenido que el que permiten unos elementos de esta ciencia.

23. **Leyes de los volúmenes.**—Si en vez de pesar las cantidades de los cuerpos que se combinan para formar un compuesto, se consideran los volúmenes de los mismos reducidos al estado gaseoso, se hallará una relacion en extremo sencilla, y para algunos mas exacta que la invariabilidad de los pesos de aquellos que se unen para formar los compuestos (19), la cual dió á conocer Gay-Lussac por el enunciado de las dos leyes siguientes:

1.ª «Los gases, medidos á la misma presion y temperatura, se

combinan en volúmenes que están en una relacion muy sencilla.»

Ejemplos: Dos volúmenes de hidrógeno se combinan siempre con uno de oxígeno para formar dos volúmenes de vapor de agua. Del mismo modo, dos volúmenes de hidrógeno se combinan con dos de cloro para formar cuatro volúmenes de gas ácido clorhídrico. Por último, dos volúmenes de nitrógeno se unen á seis de hidrógeno para formar cuatro volúmenes de gas amoniaco. En estos tres ejemplos vemos que, los volúmenes de los gases, se combinan en las sencillas relaciones de dos á uno, de dos á dos, de dos á seis.

2.ª «El volúmen del gas ó vapor del compuesto resultante, se halla tambien en una relacion sencilla con los volúmenes de los componentes.»

En los ejemplos anteriores se demuestra esta segunda ley. En efecto, el volúmen del vapor de agua con relacion á los volúmenes del oxígeno é hidrógeno que le forman, está en la relacion de dos á dos para el hidrógeno y de dos á uno para el del oxígeno. El volúmen del gas ácido clorhídrico está en la relacion de cuatro á dos respecto de los volúmenes de los gases que le forman, ó lo que es lo mismo, en la relacion de dos á uno. Finalmente, el volúmen del gas amoniaco con relacion á los volúmenes de nitrógeno é hidrógeno que le forman, está en la relacion de cuatro á dos respecto del nitrógeno, y de cuatro á seis con relacion al hidrógeno.

De los anteriores ejemplos se deduce: 1.° Que si los gases se combinan en volúmenes iguales, generalmente no hay contraccion; es decir, el volúmen del compuesto necesariamente ha de ser igual á la suma de los volúmenes de los componentes; puede servir de ejemplo la formacion del ácido clorhídrico. 2.° Que si son desiguales los volúmenes de los gases que se combinan, siempre habrá contraccion: esta será una tercera parte de la suma de los volúmenes, si los gases combinados lo verifican en la relacion de dos volúmenes del uno y un volúmen del otro; puede servir de ejemplo la formacion del agua.

La contraccion se eleva á la mitad de la suma de los volúmenes si los gases se combinan en la relacion de tres á uno, como se verifica en la formacion del amoniaco.

24. **Signos y fórmulas químicas.**—El equivalente de una sustancia simple se da á conocer por el símbolo químico que se emplea para indicarla. Al lado del nombre de cada uno de los 68 cuerpos elementales, columna 3.ª del cuadro de los cuerpos simples (12), se halla el signo que sirve para representarle. El equivalente de

un cuerpo compuesto se formula uniendo los símbolos químicos de sus elementos; por ejemplo, si queremos expresar las proporciones en que el plomo y el oxígeno están combinados en los óxidos que forman, se pondrán delante de la letra O, que designa el oxígeno, el signo del plomo, PbO y PbO^2: la cifra 2 colocada como si fuera un exponente sobre la letra O en el segundo compuesto, indica que la cantidad de oxígeno es doble que la del primero. Si la composicion de un cuerpo se repite varias veces, se le hace preceder una cifra como si fuera un coeficiente, que multiplique los signos y las cifras que representan los equivalentes de cada uno de los simples delante de los cuales se hallan; así, para expresar dos equivalentes de bióxido de plomo, se formulará del modo siguiente: $2PbO^2=2Pb+4O$. Los coeficientes sirven generalmente para separar todos los símbolos que se hallan á la derecha hasta llegar á cualquiera de los signos +, —, = ó ×; pero, para mayor claridad, cuando varios compuestos son multiplicados por un mismo coeficiente, conviene reunirlos bajo un paréntesis, como en este ejemplo: $2 (CaCl + SO^3 + HO)$.

En la formulacion de los compuestos binarios se escribe primero el cuerpo mas electro-positivo, siguiéndole el cuerpo mas electro-negativo (KO). Del mismo modo las sales se formulan indicando primero la base y despues el ácido, separado por una coma ó un punto (KO,SO^3).

Por medio de la formulacion química se pueden presentar de una manera fácil y abreviada todas las reacciones químicas, poniendo los productos en forma de ecuacion. En el primer miembro se escriben los símbolos de los nombres de las sustancias producidas, que son los mismos que constituyen el primer miembro, pero dispuestos en órden diferente.

La ecuacion se llama *literal* si solo expresa una reaccion por medio de signos; y se denomina *ponderal* cuando expresa el número de equivalentes de las diferentes sustancias que entran en reaccion. La ecuacion será literal y ponderal á la vez, si debajo de la ecuacion literal se escribe la ponderal: por ejemplo, la reaccion que tiene lugar cuando se pone el zinc en contacto del ácido sulfúrico y el agua (26); este cuerpo se descompone, el oxígeno se une al zinc, y el óxido de zinc formado al ácido sulfúrico, desprendiéndose el hidrógeno; la reaccion se expresa por la siguiente igualdad:

Zinc.		Acido sulfúrico.		Agua.		Sulfato de zinc.		Hidrógeno.
Zn	+	SO^3	+	HO	=	ZnO,SO^3	+	H
406,50	+	500	+	112,50	=	1006,50	+	12,50

Estas ecuaciones son de una utilidad grande en la química; por su medio se calculan fácilmente las cantidades en peso de los cuerpos que se deben emplear en una reaccion, ó las de los productos obtenidos.

* Algunos químicos siguen una formulacion bastante diferente de la que hemos expuesto, adoptando para ello como fundamental, el átomo y su peso en lugar de los equivalentes. Los símbolos con que expresan los cuerpos simples, no representan, pues, un equivalente, sino un átomo con su peso correspondiente.

Los átomos de cada cuerpo simple tienen un poder de combinacion distinto; así un átomo de cloro, por ejemplo, no se combina mas que con otro átomo de hidrógeno para formar el compuesto estable, ácido clorhídrico; el átomo de oxígeno se combina con dos átomos de hidrógeno, constituyendo el agua; un átomo de nitrógeno con tres de hidrógeno para dar el amoniaco; un átomo de carbono con cuatro de hidrógeno, para constituir el gas de los pantanos, etc. Esta diferente fuerza de combinacion de cada átomo, que generalmente se mide con relacion al hidrógeno, se llama *dinamicidad*; y de ahí la division de los cuerpos en *monodinamos*, *didinamos*, *tridinamos*, *tetradinamos*, etc., segun que cada uno de sus átomos pueda combinarse con uno, dos, tres, cuatro, etc., de hidrógeno ó de otro cuerpo monodinamo que haga sus veces. Sucede con frecuencia que un grupo de átomos homogéneos ó distintos, ejercen en las reacciones químicas el mismo papel que un átomo solo, trasportándose íntegros de unas combinaciones á otras; á estos grupos de átomos se ha dado el nombre de *radicales*, los cuales tambien tienen *su dinamicidad*.

Por último, habiendo observado algunos casos en que, al parecer, en ciertos compuestos estables los cuerpos electro-positivos como el hidrógeno, son reemplazados por cuerpos electro-negativos como el cloro, bromo, iodo, etc., sin que las propiedades fundamentales del compuesto primitivo se alterasen, los químicos á que nos referimos han creido que no podia ser el antagonismo eléctrico la causa de las combinaciones químicas, porque cuerpos de carácter eléctrico completamente opuesto, vienen á ejercer una misma funcion en un compuesto y se sustituyen mútuamente con arreglo á su dinamicidad. De esta teoría, llamada de las *sustituciones*, nació una nueva teoría sobre la constitucion de los cuerpos y la manera de verificarse las combinaciones, y que por contraposicion á la *teoría dualística* que admite el antagonismo de las dos electricidades como causa de aquellas, se llamó *unitaria*.

Muchos químicos unitarios no se han parado aquí, puesto que por sustitucion de unos átomos por otros y de un compuesto podrian derivarse otros varios, han llegado á fijar cuatro de aquellos, de donde derivan casi todos los de la química inorgánica y muchos de la orgánica.

Al cuerpo primitivo donde se verifican estas sustituciones, le dan el nombre de *tipo químico*, y á los compuestos resultantes de estas sustituciones *compuestos derivados*. Los cuatro tipos químicos son el hidrógeno, el agua, el ácido clorhídrico y el amoniaco, que se formulan del modo siguiente:

$$\left\{\begin{matrix}H\\H,\end{matrix}\right. \qquad \left\{\begin{matrix}H\\Cl,\end{matrix}\right. \qquad O'' \left\{\begin{matrix}H,\\H\end{matrix}\right. \qquad N''' \left\{\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right.$$

Cada símbolo de cuerpo simple referente en estas fórmulas, segun ya se ha dicho, representa un átomo. Para poder derivar y formular con arreglo á estos tipos los demás cuerpos simples y compuestos que la química estudia, han tenido que idearse los *tipos condensados* y los *tipos mixtos*.

La formulacion que resulta de este modo, sobre ser embarazosa y complicada, no adelanta gran cosa en la explicacion de las reacciones químicas, y exige para poder valerse de ella con desenvoltura, un conocimiento perfecto de las relaciones entre los equivalentes y los pesos atómicos de las dinamicidades de los cuerpos simples y radicales compuestos, y de la manera de derivar despues de los tipos simples, condensados ó mixtos los cuerpos que se quieran expresar, todo lo cual supone un conocimiento bastante profundo de la ciencia química, por cuya razon esta teoría no puede aplicarse en la enseñanza, y principalmente para los que han de estudiar unos elementos de esta ciencia.

El paso de las fórmulas por equivalentes á las fórmulas por átomos, no es difícil, pero es algo mas complicado de lo que á primera vista parece, si se tiene en cuenta que hay cuerpos en que el átomo y el equivalente se confunden, como sucede, por ejemplo, al oxígeno y al azufre, mientras que hay otros que entran por átomo doble, es decir, que cada equivalente corresponde á dos átomos, como sucede al hidrógeno y al cloro; y por último, que las fórmulas atómicas han de presentar dos volúmenes.

Así la potasa cáustica ó hidrato de potasa se formula en equivalentes y con arreglo á la teoría dualística KO, HO; para formularla en átomos, como el potasio y el hidrógeno son de los cuerpos que entran por átomo doble, habrá que duplicarlos, formulando K^2O, H^2O, y desechando el criterio dualístico $K^2O^2H^2$:

pero esta fórmula representa cuatro volúmenes; reduciéndola á dos, tendremos, K O H. Si ahora la queremos representar por tipos, la derivaremos del tipo agua, en el cual un átomo de hidrógeno ha sido sustituido por otro de potasio, y se tendrá, $O'' \left\{ \begin{matrix} K \\ H \end{matrix} \right.$; este es el caso mas sencillo que se puede presentar.

Pero, á mas de la complicacion que á las fórmulas da esta teoría, y que la hace muy poco á propósito para la enseñanza de la ciencia, hay otras razones muy dignas de tenerse en cuenta que la quitan mucho de su importancia y valor.

Por todo lo expuesto, y admítase ó no la formulacion por tipos, la formulacion por átomos, desechando la nocion del equivalente y tome por fundamento el peso atómico, no nos parece conveniente adoptar otra teoría por las razones dichas que la dualística, siguiendo en esto á Berthelot, cuya autoridad en la ciencia nadie puede hoy dia desconocer. Este distinguido químico, dice (1): «La notacion de Berzelius ofrece la ventaja de manifestar desde luego las relaciones de peso, las relaciones de volúmen y las proporciones múltiples. La notacion atómica moderna lleva la confusion á la expresion de estas últimas (óxidos de nitrógeno), y no se conforma rigurosamente, ni á las relaciones de los pesos equivalentes (dos clases de metales), ni á las relaciones de los volúmenes (mercurio y cadmio gaseosos).»

«La definicion del equivalente es una nocion clara, susceptible, en general, de ser realidad por experimentos precisos. No sucede lo mismo con la nocion del átomo, que descansa, ya sobre la nocion del equivalente, pero desvirtuada, ya sobre la nocion de la molécula gaseosa, lo que es una repeticion de principio, ya sobre la nocion del calórico específico de los elementos sólidos, cantidad variable que no puede servir de base á una definicion rigurosa.

»En una palabra, el átomo queda definido en el nuevo sistema por tres nociones diferentes, que conducen con frecuencia á resultados incompatibles, entre los cuales la eleccion es arbitraria. La definicion del átomo, lo es, pues, igualmente á causa de la confusion producida en la ciencia por una hipótesis que reprobamos como base en la enseñanza de la química.»

---

(1) Tomo 84, pág. 1408, C. R. Id., id., pág. 1194, id.

CAPÍTULO II.

De los metalóides y sus principales combinaciones.

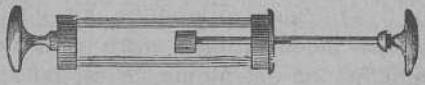
OXÍGENO.

COMBUSTION Y LLAMA.

25. **Oxígeno.**—El *oxígeno* fué descubierto en 1774 por Priestley, en Inglaterra, descomponiendo con una lente convergente el bióxido de mercurio colocado debajo de una campana. Poco tiempo despues, Scheele en Suecia y Lavoisier en Francia, obtuvieron este cuerpo por procedimientos diferentes, sin tener conocimiento del experimento del químico inglés. Este gas ha sido conocido bajo los diferentes nombres de *aire de flogisticado*, *aire vital*, *aire eminentemente respirable*, *aire puro*, *aire del fuego*. El nombre de *oxígeno*, que significa *engendrador de ácidos*, le fué dado cuando se creó la nomenclatura química, en cuya época se atribuia exclusivamente á este cuerpo la propiedad de la acidificacion.

Propiedades.—El oxígeno es un gas incoloro, inodoro, insípido, poco soluble en el agua; este líquido disuelve $\frac{1}{21}$ de su volúmen á la temperatura ordinaria: su densidad especifica es mayor que la del aire; si se representa la densidad del aire por la unidad, la del oxígeno es 1,1056: su facultad refringente es 0,924. Comprimiendo este gas rápidamente en un eslabon neumático (*fig.* 1), se desarrolla una temperatura que pasa de 200° y produce una luz muy viva. Segun Thenard, este último efecto es debido á la combustion de cierta cantidad de la grasa con que se unta el piston del eslabon.

Fig. 1.



Sometiendo el gas oxígeno á una presion de 320 atmósferas y un frio de 140°, producido por la rápida evaporacion de los ácidos sulfuroso y carbónico liquidados, y la originada por la expansibilidad del oxígeno al darle salida de los aparatos donde se halla

comprimido á la referida presion, se ha conseguido la liquefaccion (1).

Haciendo pasar por bastante tiempo una corriente de chispas eléctricas por el gas oxígeno, adquiere un olor particular que recuerda algo el del fósforo, y adquiere la propiedad de ser absorbido á la temperatura ordinaria por la plata, y la de desalojar al iodo inmediatamente de sus combinaciones con los metales cuando estos cuerpos están húmedos (2).

---

(1) El 2 de Diciembre de 1877, Cailletet comunicó á la Academia de Ciencias de Paris que habia conseguido la liquefaccion del oxígeno; y Picte veinte dias despues telegrafió á la misma Academia desde Ginebra, que habia liquidado dicho gas bajo 320 atmósferas de presion y un frio de 140°. Los aparatos empleados por estos dos químicos varían mucho en su forma y disposicion, pero ambos han recurrido al enfriamiento y compresion simultáneos, considerando mas la presion que el enfriamiento.

(2) Schoenbein, guiado por las indicaciones de Priestley, Cavendish y Van-Marum sobre el olor que acompaña á la descomposicion voltáica del agua, y el olor fuerte que adquiere el oxígeno cuando se hace atravesar por él una corriente de chispas eléctricas, ha llegado á demostrar que el olor de la descomposicion del agua solo se manifiesta en el electrodo positivo cuando está formado por un metal no oxidable, como el platino y el oro, y que es igual al que despide el oxígeno cuando se ha hallado expuesto á una corriente de chispas eléctricas, cuyo olor le pierde por el contacto de las materias orgánicas reducidas á polvo, el carbon pulverizado, limaduras de hierro ó de otros metales fácilmente oxidables, y algunas disoluciones salinas, ácido nítrico, etc., verificándose lo mismo cuando su temperatura se eleva á 100°. Schoenbein, fijándose en el olor del oxígeno electrizado, y sin atender á su naturaleza, le dió el nombre de *ozono*. Marignac, Becquerel y Fremy han demostrado últimamente que el ozono no es mas que una modificacion alotrópica del oxígeno, debida á la electricidad.

El oxígeno *ozonizado*, nombre que tambien se da á esta modificacion alotrópica del oxígeno, produce combinaciones y descomposiciones que no verifica bajo la forma ordinaria; en presencia del agua trasforma el cloro, bromo y iodo en ácido clórico, brómico y iódico; bajo la influencia de una base enérgica, se une directamente al nitrógeno, produciendo nitratos; convierte un gran número de sulfuros en sulfatos; oxida de un modo enérgico los compuestos oxigenados inferiores; decolora el tornasol y otras materias colorantes de orígen orgánico.

El ozono se reconoce por la accion que ejerce sobre los ioduros, dejando libre el iodo, y la de este cuerpo sobre el almidon, que le da un color azul intenso. Se disuelve en 100 partes de agua destilada una de almidon, y en esta disolucion se sumerge una hoja de papel, se la deja escurrir, y antes de que se acabe de secar, se pasa por una disolucion de ioduro de potasa. Este papel, cortado en tiras, recibe el nombre de *papel ozonométrico*, porque expuesto á la accion del ozono, en un principio amarillea y despues toma el color azul propio del ioduro de almidon que se forma, reconociéndose por la intensidad de este color la cantidad variable de ozono que existe en el aire. Si la accion del ozono sobre el papel ozonométrico es muy prolongada, el color azul desaparece y el papel se blanquea.

Los vapores y gases que en la traspiracion vegetal son exhalados por las plantas, obran sobre el papel iodurado, sucediendo lo propio con los vapores nitrosos, mas frecuente en el aire de lo que se creia antes de las observaciones hechas sobre el ozono en estos últimos años: una insolacion fuerte produce la misma coloracion azul sobre el papel iodurado y almidonado.

No siendo el papel iodurado, segun lo anteriormente expuesto, el medio mas conveniente para conocer desde luego la existencia del ozono en la atmósfera, Houzeau ha propuesto sustituir dicho papel por el de tornasol enrojecido por un ácido é impregnado de ioduro de potasio. El ozono descompone este cuerpo formándose la potasa, que cambia en azul el papel rojo. Pero produciendo el mismo cambio de color los vapores nitrosos, por-

La propiedad mas característica de este gas es la de activar la combustion de los cuerpos, cuyo fenómeno se observa introduciendo en una campana llena de oxígeno una cerilla con solo un punto en ignicion, y se verá inflamarse en el mismo instante de sumergirla en el gas y arder con una luz mas viva que en el aire. El carbon, el azufre, el fósforo, el hierro, etc., sumergidos en una atmósfera de oxígeno despues de inflamados, arden con una llama tan brillante, que la vista apenas la puede soportar.

La combustion del hierro en el oxígeno es uno de los experimentos mas notables de la química. Este experimento, que se debe á Ingenhoux, se dispone del modo siguiente: se llena de gas oxígeno sobre la *cuba hidro-neumática* (1) un frasco grande de boca ancha ó una campana y se la coloca sobre una cápsula de fondo plano, como representa la *figura* 2, se toma un alambre delgado de hierro, doblado en espiral, y mejor aun una pequeña lámina de acero (puede servir el muelle de un reloj de bolsillo, que tiene la ventaja sobre el alambre de hierro de presentar mayor superficie); se recuece esta lámina para poderla doblar, y despues de bien limpia y doblada formando una espiral, se la fija por un extremo á un corcho que ajuste á la boca del frasco, y en el otro extremo se pone un trozo de yesca. Dispuesto todo del modo que se acaba de indicar, se enciende la yesca y se introduce la espiral dentro del frasco lleno de oxígeno; en el momento que la yesca se pone en contacto del gas, comienza á arder con una llama muy viva que se comunica á la lámina de acero, la cual se enrojece, esparcien-

Fig. 2.

---

que el ácido nitroso, descomponiendo el ioduro de potasio, da orígen á un nitrito de reaccion alcalina, este medio es tan ineficaz como el anterior para comprobar la existencia del ozono en la atmósfera; debiendo, por consiguiente, acoger con gran reserva las observaciones *ozonométricas* fundadas en la diferente coloracion que presentan el papel almidonado y el de tornasol enrojecido, cuando por cierto tiempo se les ha tenido expuestos al aire.

Formándose el ozono cuando se hace atravesar una corriente de chispas eléctricas por el oxígeno, es evidente que tambien se producirá durante las tempestades; y como posee la propiedad de oxidar un gran número de cuerpos, se atribuyen á su presencia en el aire húmedo las oxidaciones que vemos en ciertas sustancias, la produccion del nitro sobre la tierra, y la del ácido nítrico que se ha reconocido libre en el aire y disuelto en el agua de lluvia.

(1) La *cuba hidro-neumática* es un aparato fundado en la impenetrabilidad de los lí-

do chispas muy brillantes, cayendo al fondo del frasco glóbulos fundidos de óxido de hierro. Conviene dejar en el fondo del frasco una capa de agua, á fin de evitar su rotura por los glóbulos candentes que descienden.

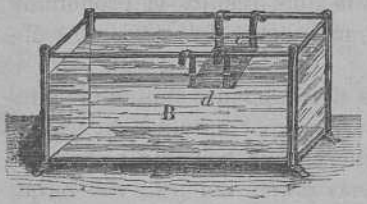
Accion del oxígeno sobre la vida animal.—Todo el mundo sabe que sin el aire no se puede sostener la vida animal, siendo debida la influencia del aire sobre la vida de los animales al oxígeno, que es absorbido en el acto de la *respiracion*, y el resultado inmediato de la respiracion animal es la *hematosis*, ó sea la trasformacion de la sangre *venosa* en sangre *arterial*.

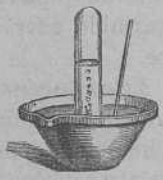
Las distintas propiedades que presenta la sangre venosa y arterial; la diferencia que existe entre los principios componentes del aire inspirado y los del espirado; el reducirse en este á catorce partes el oxígeno, sustituyéndole cierta cantidad de ácido carbónico y agua en vapor, permaneciendo inalterable la del nitrógeno, establecen la consecuencia de que *el oxígeno es el elemento necesario para la respiracion y el agente principal de la hematosis*. Cuál es su accion íntima, cuáles los fenómenos moleculares

---

quidos con los gases. Consiste, como lo indica la *figura* 3, en una capacidad *B* llena de agua, que generalmente es una especie de baño de madera, de cristal ó de cobre. A una

Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.





pulgada de su borde superior, se halla colocada una tabla ó *puente c d*, que es como la cuarta parte de su superficie total, la cual tiene una cortadura en uno de sus lados, destinada á dar paso á los tubos que conducen los gases, y en medio de ella hay un orificio sobre el cual se colocan las campanas llenas de agua que deben recibirlos. En la superficie inferior de dicha tabla y debajo del orificio, hay una concavidad á manera de embudo, que facilita la direccion de los gases.

Fig. 6.

Se suele reemplazar el baño que se acaba de describir por un lebrillo ó cristalizador de porcelana ó de cristal, como representan las *figuras* 4 y 5, y en vez de puente se emplea una cápsula de barro invertida (*fig.* 6), que tiene una abertura central *a* y otra lateral *b*, para dar paso á la extremidad del tubo *t*, por donde se desprenden los gases.

Cuando los gases que se tratan de recoger en las campanas son solubles en el agua, se emplea el mercurio, y la cuba recibe en este caso el nombre de *hidrargiro-neumática ó baño de mercurio*, que generalmente es de mármol ó de porcelana.

y orgánicos que pasan en los pulmones durante la respiracion, ó en otros órganos, por el contacto mediato ó inmediato del gas referido con la sangre, es objeto especial de la fisiología.

Accion del oxígeno sobre la vida vegetal.—Sobre los vegetales, el oxígeno obra directamente como principio nutritivo; favorece su crecimiento, uniéndose con los demás principios que los acompañan, y no solamente se halla en los jugos que las plantas absorben por las raíces, sino tambien en los flúidos que toman de la atmósfera.

La respiracion vegetal es distinta, segun los tejidos de las plantas donde se efectúe, sean verdes ó tengan otro color cualquiera, esté ó no en contacto con la luz. Las partes coloreadas, durante el dia y la noche, absorben oxígeno y exhalan ácido carbónico. Los tejidos verdes funcionan durante el dia descomponiendo el ácido carbónico, exhalando el oxígeno y apropiándose el carbono; estos tejidos, durante la noche, absorben el oxígeno y desprenden el ácido carbónico. Las hojas, los tallos verdes, las cubiertas exteriores de la flor, son los órganos donde especialmente se efectúa la respiracion, penetrando el aire por los *estomas* ó poros, aberturas numerosas que se hallan distribuidas en aquellas partes.

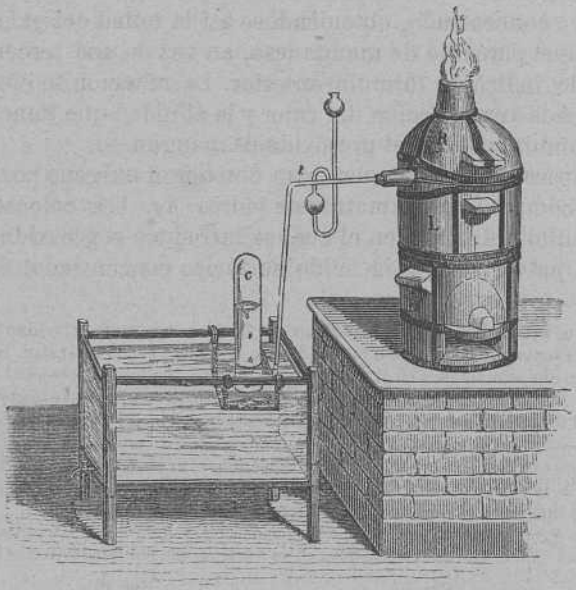
Los fenómenos químicos de la respiracion diurna vegetal son inversos de los relativos á la respiracion animal: hay entre ambos reinos una compensacion, de la cual resulta la proporcion invariable entre los elementos componentes del aire atmosférico.

Estado natural.—El oxígeno es el cuerpo mas abundantemente esparcido en la naturaleza, y el mas importante por su accion en los fenómenos químicos. Este cuerpo forma la quinta parte del aire atmosférico y las nueve décimas partes del peso del agua; entra en la composicion de la mayor parte de las sustancias que constituyen la parte sólida de la tierra, y se le encuentra en todas las materias vegetales y animales.

Preparacion.—Entre los varios procedimientos que pueden seguirse para obtener el oxígeno, el mas barato de todos consiste en calentar hasta el rojo el peróxido del manganeso natural. Se principia por reducir á polvo el peróxido del manganeso, tratándole despues por el ácido clorhídrico para descomponer las pequeñas porciones de carbonato de cal que siempre le acompañan: se lava repetidas veces este polvo, y despues de bien seco, se le introduce en una retorta de barro, que se coloca en un *hornillo H* (*fig.* 7) provisto de su *laboratorio L* y cubierto con un *reverbero R*.

Al cuello de la retorta se adapta, por medio de un tapon de corcho, un *tubo de seguridad t* (1), que se comunica con una campana *c* llena de agua y colocada boca abajo sobre el puentecillo de la

Fig. 7.

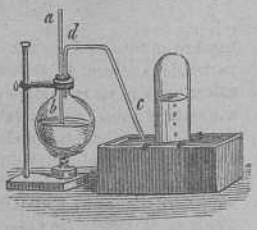


cuba hidro-neumática. Conviene no recoger las primeras porciones del gas, por salir mezcladas con el aire atmosférico que llena el aparato. En la retorta queda, despues de terminada la opera-

(1) Los *tubos de seguridad* son unos aparatos fundados en las propiedades de los gases comprimidos, los cuales se destinan á impedir la *absorcion* en los aparatos químicos.

Teoría de los tubos de seguridad.—Si en el aparato *figura* 7, desde el instante en que principia á actuar el calor, se produce un desprendimiento contínuo de gas oxígeno, la elasticidad de este gas se hará progresivamente mayor en la retorta, y cuando llegue á ser igual á la presion atmosférica, aumentada con la presion de la columna líquida que existe entre la extremidad del tubo de desprendimiento sumergida en la cuba y el nivel del líquido en la misma, el gas sale por este tubo y se eleva en la probeta. Si el desprendimiento del gas cesa, y se enfria la retorta, la presion del interior se irá disminuyendo, y la presion atmosférica que se ejerce sobre la superficie del líquido de la cubeta le hará elevarse por el tubo de desprendimiento ó *abductor* hasta penetrar en la retorta, y se verifica la absorcion.

Fig. 8.



Tubo recto.—El tubo de seguridad mas sencillo es un tubo recto (*fig.* 8), el cual atraviesa el tapon de corcho donde se halla el tubo de desprendimiento ó abductor *c d*, y se sumerge en la materia del

cion, un óxido con menor cantidad de oxígeno que el peróxido:

$$3MnO^2=(MnO,Mn^2O^3)+O^2.$$

Se facilita la extraccion del oxígeno del peróxido de manganeso mezclando esta sustancia con un peso igual al suyo de ácido sulfúrico concentrado, obteniéndose así la mitad del oxígeno que contiene el peróxido de manganeso, en vez de una tercera parte, segun lo indica la fórmula anterior. La reaccion se efectúa actuando á la vez la accion del calor y la afinidad que tiene el ácido para combinarse con el protóxido de manganeso.

El aparato que se emplea para obtener el oxígeno por este medio, se compone de un matraz de vidrio (*fig.* 11), colocado sobre un hornillo ordinario, en el cual se introduce el peróxido de manganeso pulverizado y el ácido sulfúrico concentrado. Si el per-

---

matraz, que necesariamente ha de ser líquida, y debe permanecer el resíduo en el mismo estado. En tanto que el desprendimiento del gas se verifica con regularidad, la presion interior hace que se mantenga en el tubo *a b* una columna líquida proporcional al exceso de esta presion sobre la de la atmósfera; pero cuando la absorcion tiende á producirse, el nivel baja en el tubo recto *a b*, y si este nivel desciende hasta la extremidad del tubo, el aire exterior penetra en el matraz. Por poco que la presion se disminuya en el interior del matraz, el aire exterior penetra por el tubo, uniéndose al flúido elástico en él contenido, y hace que la presion en el interior se mantenga constante, é impide de este modo que la altura del líquido en el tubo de desprendimiento pase de cierto límite.

Tubo en S.—Cuando las materias que reaccionan no son líquidas, se emplea un tubo encorvado *a b* (*fig.* 9) que lleva una esfera en su parte media, por cuya forma se le ha dado el

Fig. 9.

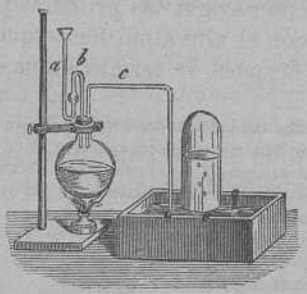
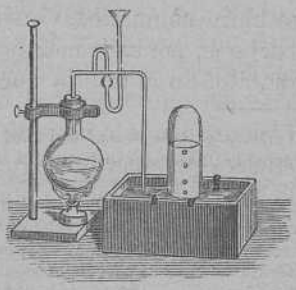


Fig. 10.

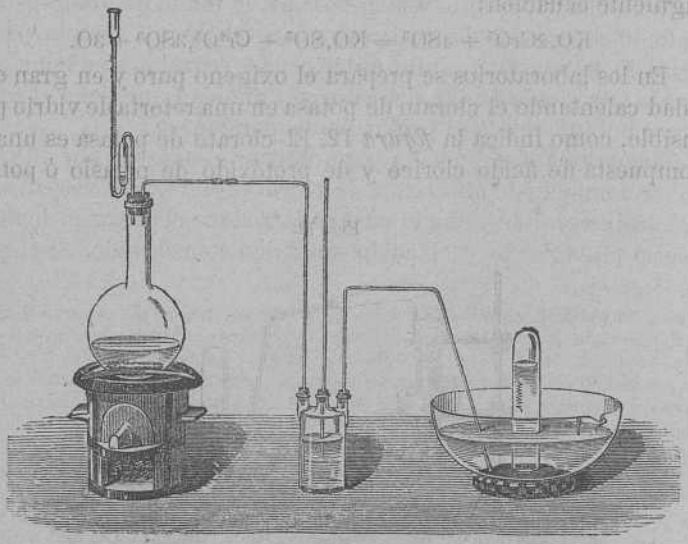


nombre de *tubo en S*. Se echa en este tubo agua ó mercurio hasta llenar las dos terceras partes de la esfera. Al principiar el desprendimiento de los gases, el agua contenida en la esfera se eleva en la rama *a* á una altura proporcional á la columna líquida, que el gas al salir por el tubo *c* atraviesa en la cuba, permaneciendo constante en todo el tiempo que dura la operacion. Cuando la presion en el interior se disminuye, el agua baja en la rama *a*, y llegando el líquido al punto mas bajo de ella, el aire atmosférico atravesará en virtud de su ligereza el agua de la esfera y penetrará en el matraz, impidiendo la absorcion como en la disposicion precedente. Este tubo de seguridad sirve al propio tiempo para verter el líquido en el matraz sin tener que desmontar el aparato.

Tubo de Welter.—El *tubo de Welter* (*fig.* 10) es un tubo de desprendimiento, el cual lleva soldado de un modo invariable el tubo en *S* que acabamos de describir.

óxido de manganeso no se ha tratado préviamente por el ácido clorhídrico, se adapta á la boca del matraz el tubo de *desprendimiento* ó *abductor*, el cual conduce el gas á un frasco de tres bo-

Fig. 11.



cas, que recibe el nombre de *frasco lavador* ó *de locion*, en el que se halla una disolucion de potasa para absorber el ácido carbónico que se desprende por la accion del ácido sulfúrico sobre el carbonato de cal, que, segun se ha dicho, siempre acompaña al peróxido de manganeso natural; y despues de atravesar el gas dicha disolucion, pasa por un segundo tubo á la cuba de agua dispuesta como se ve en la figura, donde se halla la campana que le ha de recibir.

Peróxido de manganeso. . . . . { Oxígeno. / Protóxido de manganeso. } Protosulfato de manganeso.
Ácido sulfúrico. . . . . }

$$MnO^2+SO^3=MnO,SO^3+O.$$

En el procedimiento anterior se puede reemplazar el peróxido de manganeso por ciertas sales, cuyo ácido, perdiendo una parte de su oxígeno, forme un compuesto mas estable, capaz de unirse al ácido sulfúrico. La sal que mejor reune estas circunstancias es el bicromato de potasa ($KO,2CrO^3$). El ácido crómico, abandonando la mitad de su oxígeno, se trasforma en sesquióxido de cromo

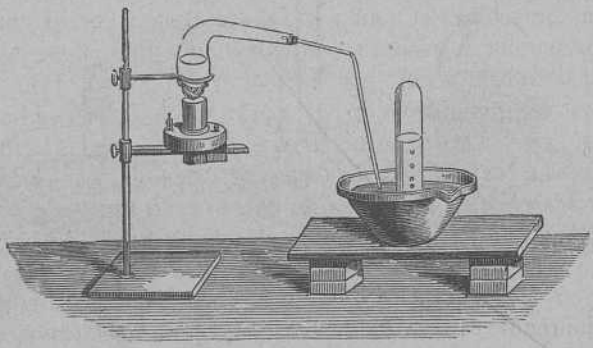
(Cr^2O^3), el cual se une al ácido sulfúrico y forma el sulfato de sesquióxido de cromo ($Cr^2O^3,3SO^3$).

Para la preparacion del oxígeno por medio de la accion recíproca del ácido sulfúrico y del bicromato de potasa, se mezclan una parte de la sal y dos del ácido: la reaccion se expresa por la siguiente ecuacion:

$$KO,2CrO^3 + 4SO^3 = KO,SO^3 + Cr^2O^3,3SO^3 + 3O.$$

En los laboratorios se prepara el oxígeno puro y en gran cantidad calentando el clorato de potasa en una retorta de vidrio poco fusible, como indica la *figura* 12. El clorato de potasa es una sal compuesta de ácido clórico y de protóxido de potasio ó potasa:

Fig. 12.



por la accion del calor se descompone fácilmente, desprendiéndose todo el oxígeno contenido en el ácido y en la base, y en la retorta queda un resíduo compuesto de cloro y potasio, ó sea cloruro de potasio. La teoría de esta descomposicion se representa por la ecuacion siguiente:

$$KO,ClO^5 = KCl + 6O.$$

Mezclando el clorato de potasa con la mitad de su peso de bióxido de cobre ó de peróxido de manganeso, se facilita su descomposicion.

26. **Combustion.**—La *combustion* es el fenómeno general que se verifica cuando los cuerpos se combinan con desprendimiento de calor y de luz.

Antes se creia que solo habia combustion cuando el oxígeno ó *cuerpo comburente* se combinaba con cualquiera de las sustancias simples llamadas colectivamente *cuerpos combustibles*; pero se ha modificado esta opinion al ver el desprendimiento de calor y de

luz que tiene lugar cuando se echa antimonio ó arsénico pulverizado en el gas cloro, y el que se verifica cuando se exponen volúmenes iguales de cloro y de hidrógeno á la accion directa de los rayos solares. En ambos casos el gas cloro hace el papel de cuerpo comburente. Sin embargo, se llama todavía combustion al fenómeno en virtud del cual un cuerpo simple se combina lenta ó rápidamente con el oxígeno. Cuando la combinacion es lenta, no hay desprendimiento de luz, porque el calor desarrollado no llega á ser suficientemente intenso para hacerse luminoso; pero evidentemente el fenómeno es el mismo.

27. **Llama.**—Todo cuerpo sólido *fijo*, ó lo que es lo mismo, que no es susceptible de reducirse á gas cuando se le enrojece por la accion de una temperatura muy elevada, no produce llama. Es evidente que un carbon, por ejemplo, calentado hasta el calor rojo, no presentará el fenómeno de la llama. Por el contrario, todo cuerpo que es gaseoso, ó que siendo sólido puede en todo ó parte pasar á este estado por la accion del fuego, arde siempre con llama: el gas hidrógeno, el azufre y el fósforo se hallan en este caso. Luego la *llama* no es otra cosa que *una materia gaseosa calentada hasta el punto de hacerse luminosa, y cuya temperatura excede al calor blanco de los cuerpos sólidos.*

La llama no presenta siempre el mismo grado de brillantez. El hidrógeno y el azufre dan una luz mas débil que la que corresponde á la llama de los cuerpos que por la combustion dan orígen á compuestos fijos. Esta es la razon porqué el fósforo, cuando se quema, la produce tan viva.

Una llama débil, como por ejemplo, la del gas hidrógeno, puede hacerse brillante introduciendo en ella un cuerpo sólido como cal viva, magnesia, pedacitos de amianto ó un alambre delgado de platino.

Davy, que ha hecho investigaciones muy curiosas sobre la llama, ha observado que, haciéndola pasar al través de una red metálica medianamente tupida que se halle á la temperatura ordinaria, los gases se enfrian hasta el punto de pasar por las mallas del tejido metálico sin ser luminosos, sobre cuya parte superior se les puede inflamar nuevamente aproximando una bujía encendida. De esta propiedad de las telas metálicas ha sacado partido el mismo Davy para la construccion de su *lámpara de seguridad* ó *lámpara de mineros*, con la cual ha evitado las desgracias que solian ocurrir en las minas de carbon de piedra.

HIDRÓGENO.

PROTÓXIDO DE HIDRÓGENO *(agua)*.—BIÓXIDO DE HIDRÓGENO *(agua oxigenada)*.

28. **Hidrógeno.**—El descubrimiento del hidrógeno data desde fines del siglo XVII, pero sus propiedades principales no se conocieron hasta que Cavendish las estudió en 1766, dándole el nombre de *gas inflamable*. Al formar la nueva nomenclatura recibió el de *hidrógeno*, cuyo nombre indica ser uno de los principales constituyentes del agua.

Propiedades.—El hidrógeno es un gas incoloro, insípido é inodoro cuando está puro; Cailletet y Pictet han conseguido liquidar este gas bajo una presion de 650 atmósferas y 140 grados de frio: es muy poco soluble en el agua, este líquido desuelve $\frac{1}{100}$ de su volúmen de gas hidrógeno: es el mas refringente de todos los gases; su facultad refringente es de 6,61: es el gas mas ligero de todos los flúidos elásticos, pues su densidad específica es 0,0692, próximamente 14,5 veces mas ligero que el aire; por esto se usa para llenar los globos aereostáticos (132 *Fís.*). No sirve para la combustion, pero si se aproxima una cerilla encendida á la boca de una campana que contenga este gas, arde en presencia del aire y se forma agua. Si se mezcla con el aire en la proporcion de 5 volúmenes de este gas y 2 de hidrógeno, y se aproxima una cerilla encendida, ó se hace pasar una chispa eléctrica por la mezcla, se verifica una explosíon, la cual es mas enérgica cuando se forma una *mezcla detonante* con 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno.

La inflamacion de la mezcla detonante de hidrógeno y de oxígeno, ó del hidrógeno solo en contacto del aire, no es solamente producida por la aproximacion de una cerilla encendida ó por el paso de una chispa eléctrica, sino que tiene lugar aun en frio por la presencia de ciertos cuerpos, principalmente del musgo de platino (1). De esta propiedad se ha sacado partido para la construccion de las lámparas de gas hidrógeno.

El calor producido por la llama del hidrógeno alimentada por

(1) Cuando se descomponen por el calor ciertas combinaciones del metal platino, se obtiene una masa esponjosa de platino metálico, la cual recibe el nombre de *esponja ó musgo de platino*.

el oxígeno puro es tan intenso, que determina la fusion de cuerpos que apenas son reblandecidos sensiblemente á las temperaturas mas elevadas de nuestros hornos.

El paladio y otros metales poseen la propiedad de absorber grandes cantidades de hidrógeno, llegando á formar con algunos compuestos definidos como pasa con el potasio, sodio, cobre, y especialmente con el paladio, que absorbe 800 veces su volúmen de dicho gas hidrógeno. Este notable fenómeno de absorcion fué descubierto por Graham y le dió el nombre de *oclusion*, admitiendo que el hidrógeno en el paladio y demás metales que le absorben existe en el estado líquido ó en un estado de combinacion sólida, lo cual ha sido comprobado por Troost representando los compuestos definidos con los referidos metales por la fórmula M^2H.

El hidrógeno condensado en el paladio adquiere propiedades nuevas y muy diferentes de las que le caracterizan; se puede considerar como una variedad mas activa que el hidrógeno ordinario, y para distinguirle en tal estado le han dado el nombre de *hidrogenium*. Las propiedades del hidrogenio son, respecto de las del hidrógeno ordinario, comparables en cuanto á su actividad á las del ozono con relacion á las del oxígeno ordinario. En efecto; el hidrogenio se combina en la oscuridad con el cloro y con el iodo; cambia los ferricianuros en ferrocianuros; trasforma el peróxido de hierro y sus sales en protóxido y sales ferrosas, y descompone el bicloruro de mercurio en protocloruro y mercurio metálico.

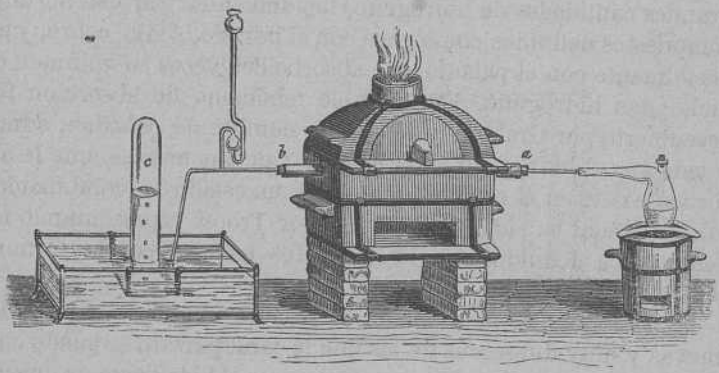
Estado natural.—El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza. Combinado con el oxígeno forma el agua, y existe en el mayor número de materias orgánicas.

Preparacion.—El gas hidrógeno se extrae del agua poniendo en juego la afinidad que el oxígeno tiene con los metales. En efecto, ciertos metales, como veremos mas adelante, descomponen el agua á la temperatura ordinaria, apropiándose el oxígeno y dejando libre el hidrógeno. Otros la descomponen á una temperatura elevada, y aun á [illegible] ordinaria bajo la influencia de los ácidos. Siendo los primeros metales bastante caros, se emplean los segundos, y entre estos se prefiere el hierro y el zinc.

Para descomponer el agua á una temperatura elevada, se introducen en un tubo de porcelana alambres delgados de hierro, doblados en forma de pequeños ovillos, y despues se coloca el tubo en un horno de reverbero (*fig.* 13); á la extremidad *a* del tubo se adapta una retorta mediada de agua, y á la extremidad *b* un tubo abductor para conducir el gas bajo la campana *c* colocada en el

baño hidro-neumático. Se calienta lentamente el tubo de porcelana hasta enrojecerle, y en seguida se hace hervir el agua de la

Fig. 13.

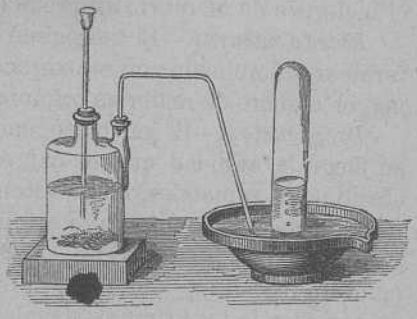


retorta. Al pasar el vapor del agua por el hierro hecho ascua, es descompuesto; el metal se combina con el oxígeno, y queda libre el hidrógeno, que se dirige á la campana.

$$3Fe+4HO=Fe^3O^4+4H.$$

Para descomponer el agua á la temperatura ordinaria, se coloca este líquido y granalla de zinc en un frasco de dos bocas (*figura* 14). A una de las bocas se adapta un tubo *a*, propio para conducir el gas debajo de la campana *c*, llena de agua, y á la otra boca se ajusta un tubo recto *b* que se termina en un embudo, y se le introduce hasta muy cerca del fondo del frasco, por el cual se echa en pequeñas porciones el ácido sulfúrico.

Fig. 14.

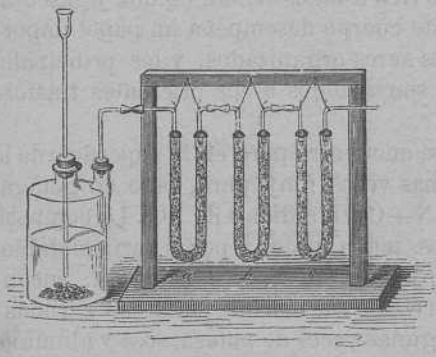


En el momento de ponerse el ácido en contacto del zinc, principia la reaccion, se descompone el agua y se forma el óxido de zinc, que se combina con el ácido sulfúrico, y se desprende el hidrógeno.

$$Zn+SO^3+HO=ZnO,SO^3+H.$$

El hidrógeno preparado por este medio no es puro, porque el zinc que generalmente se emplea contiene una pequeña cantidad de carbono, y algunas veces ligeras porciones de arsénico, azufre y fósforo. Estas sustancias se unen al hidrógeno naciente, formándose un carburo de hidrógeno, ácido sulfhídrico, hidrógeno arsenical y el hidrógeno fosforado, los cuales comunican al hidrógeno que se desprende un olor nauseabundo. Para separar estos cuerpos del hidrógeno se les hace pasar por varios tubos en forma de *U* (*figura* 15), que contengan piedra pomez empapada en las disoluciones de nitrato de plomo, sulfato de plata y potasa cáustica. El nitrato de plomo contenido en el tubo *a*, absorbe el hidrógeno sulfurado; el sulfato de plata que se halla en el tubo *b*, el hidrógeno fosforado y el hidrógeno arsenical; y la potasa contenida en el tubo *c*, el carburo de hidrógeno.

Fig. 15.



29 **Protóxido de hidrógeno (agua).**—El *agua* fué considerada por los antiguos como uno de los cuatro elementos, hasta que á fines del siglo XVIII Lavoisier manifestó la composicion de este cuerpo.

Propiedades.—El agua es insípida, inodora é incolora cuando se mira la luz al través de pequeñas masas; pero si se mira al través de grandes masas, presenta un color verdoso bastante marcado: es sólida á 0°; de 0° á 100° se presenta en el estado líquido, y á 100° bajo la presion de $0^m,760$, pasa al estado de vapor: su densidad en el estado líquido á la temperatura de 4°,1 y á la presion de $0^m,760$, es 1,000; en el estado sólido es 0,940, y la de su vapor 0,622. El calórico de fusion del hielo es 79° (183 *Fís.*), y el calórico latente de evaporizacion del agua es 540°: su volúmen se aumenta $\frac{1}{14}$ por la solidificacion, presentando á la vez formas cristalinas.

El agua se descompone con suma [illegible] á una temperatura de 1100° (1); no ejerce accion sensible sobre los reactivos colo-

(1) En la descomposicion del agua por el calor se separan el hidrógeno y el oxígeno en las mismas proporciones que se [illegible] para producirla, formándose la mezcla detonante; á este fenómeno especial se le ha denominado *disociacion*. La disociacion no se reduce solo al agua, pues se observa tambien en otros cuerpos.

reados. Se combina con los ácidos y con las bases: con los ácidos hace el papel de base, y con las bases el de ácido. Se combina tambien con gran número de sales, modificando algunas veces la forma cristalina de estas.

Estado natural.—El agua se encuentra abundantemente esparcida en la naturaleza en los tres estados sólida, líquida y gaseosa, ó en el estado de vapor. Este cuerpo desempeña un papel importante en la economía de los seres organizados, y los principales fenómenos meteorológicos son debidos á sus diferentes trasformaciones.

El agua líquida jamás se encuentra pura en la superficie de la tierra. La de lluvia es algunas veces muy pura, pero en general contiene en disolucion $O+N+CO^2$ é indicios de NO^5. La composicion de las aguas de los rios, manantiales y pozos varía notablemente con la naturaleza de los terrenos por donde pasa, encontrándose frecuentemente en ella la sal marina, sulfatos y carbonatos de cal y magnesia, y algunas veces de potasa, sosa y alúmina.

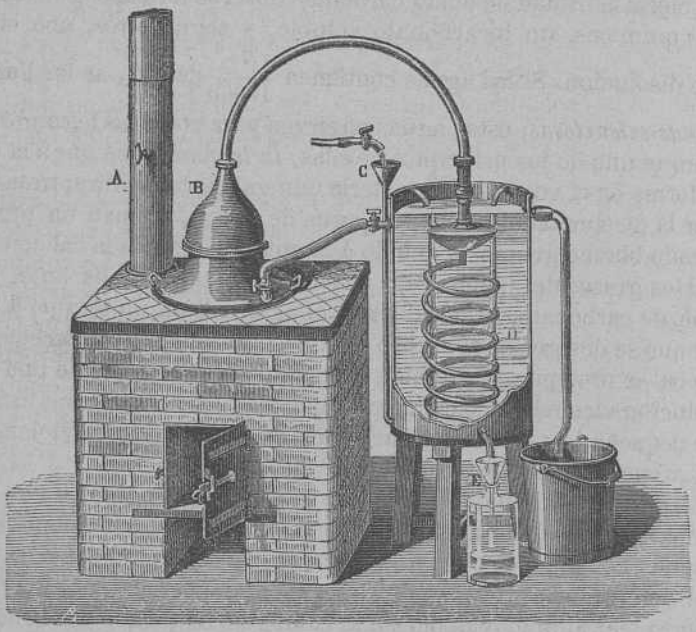
Las aguas que son insípidas, disuelven el jabon y cuecen bien las legumbres, reciben el nombre de *aguas dulces* ó *potables*; estas aguas conservan su trasparencia aun despues de la ebullicion, y dejan muy poco resíduo cuando se evaporan. A las aguas que no reunen estas circunstancias se las llama *aguas crudas*, las cuales, por carecer de las propiedades de las potables, no pueden utilizarse en el uso doméstico.

Preparacion del agua destilada.—Para destilar el agua se emplea el aparato llamado *alambique* (*fig.* 16), que se compone de una caldera de cobre estañado, que se denomina *cucúrbita*, la cual se coloca en un hornillo; en esta vasija se echa el agua que se quiere destilar; de una segunda parte *B*, llamada *cúpula* ó *capitel*, tambien de cobre estañado, que se adapta á la boca de la cucúrbita, y se comunica por medio de un tubo encorvado de cobre con el *serpentin*; este consiste en un tubo de estaño bastante largo, en forma espiral, contenido en una cuba cilíndrica *D*, de metal ó madera, que se mantiene llena de agua. La extremidad del serpentin desemboca fuera de la cuba. Al pasar los vapores por el tubo se condensan, formando pequeñas gotas líquidas que corren por él y se recogen en un frasco *E* de vidrio, llamado *recipiente*, porque *recibe el producto de la destilacion.*

El agua del refrigerante *D* que sirve para la condensacion del vapor, se calienta y se eleva á la parte superior (212 *Fís.*). Se mantiene fria haciendo llegar una corriente de agua que vierte en el embudo *C*, colocado sobre un tubo que desciende verticalmente

hasta cerca del fondo del refrigerante, y la caliente sale por un orificio practicado cerca del borde de este depósito. El agua caliente del refrigerante sirve para reemplazar la que se evapora en la

Fig. 16.



caldera, haciéndola llegar por un tubo, provisto de una llave que pone en comunicacion ambos depósitos, como lo demuestra el grabado.

Las primeras porciones de agua destilada no deben recogerse, porque arrastran consigo todas las sustancias volátiles que el agua tiene en disolucion, ni tampoco debe apurarse demasiado la destilacion, porque se podrán descomponer los cuerpos fijos contenidos en el agua, dando lugar á compuestos gaseosos volátiles que impurificarian las últimas porciones del agua destilada.

Ensayos del agua destilada.—Para asegurarse de la pureza del agua destilada, se usan los reactivos siguientes: el *agua de cal* ó *de barita*, que indican la presencia del ácido carbónico; el *cloruro de bario*, que precipita los sulfatos; el *nitrato de plata*, que forma con los cloruros *un cloruro de plata* insoluble; el *oxalato de amoniaco*, que precipita las sales de cal; el *sulfhidrato de amoniaco*, que indica la presencia de las sales metálicas; el *cloruro de oro* que manifiesta la existencia de materias orgánicas.

* La cal que contienen ciertas aguas, puede estar unida al ácido sulfúrico, formando el sulfato de cal ó yeso, que es soluble en el agua, ó combinada con el ácido carbónico formando un carbonato, CaO,CO^2, que es insoluble en el agua, pero que á favor de cierta cantidad de ácido carbónico libre, se forma, segun algunos químicos, un bicarbonato soluble, y segun otros, una simple disolucion. Si las aguas contienen $\frac{7}{10000}$ de cal, se las llama *aguas selenitosas*; estas aguas no sirven para cocer las legumbres, porque uno de los principios de ellas, *la legúmina*, se une á la cal y forma en el vegetal una materia mineral bastante dura; tratadas por la disolucion alcohólica de agua de jabon, forman un precipitado blanco grumoso, debido á la combinacion de la cal con los ácidos grasos del jabon. Para conocer si la cal se halla en el estado de carbonato, se hace hervir el agua por algun tiempo á fin de que se desprenda el exceso de ácido carbónico y el carbonato de cal se precipite, y tambien vertiendo algunas gotas de una disolucion alcohólica de campeche, que toma un color de amatista si es pequeña la cantidad de carbonato de cal, y un tinte violeta si la proporcion de esta sustancia es considerable.

Análisis.—El análisis del agua se puede hacer empleando dos procedimientos distintos: el primero consiste en descomponer este líquido por la pila voltáica (399 *Fís.*), y el segundo en hacer pasar determinada cantidad de vapor de agua por un peso dado de hierro bien limpio y expuesto al calor rojo en un aparato igual al descrito en el párrafo 28. Por lo que aumenta el peso del hierro, se aprecia el peso del oxígeno, y el del hidrógeno por el volúmen de este gas recogido en la campana.

Síntesis.—Para verificar la síntesis del agua, pueden seguirse tambien dos métodos diferentes: el primero, debido á Dumas, consiste en hacer pasar una corriente de gas hidrógeno puro y seco por un óxido metálico fácilmente reductible. La parte de peso que ha perdido el óxido metálico, da el oxígeno, que ha entrado en la composicion del agua formada y pesada, y la diferencia entre los dos pesos da el del hidrógeno.

El segundo método se practica con el *eudiómetro de mercurio*: se introducen en este aparato

100 pulgadas cúbicas de gas hidrógeno
100 » » de » oxígeno.

Total. . . . 200 pulgadas cúbicas de mezcla.

Verificando la combinacion de estos dos gases por medio de la chispa eléctrica, quedan 50 pulgadas cúbicas de oxígeno, de donde se deduce que 100 pulgadas cúbicas de hidrógeno se han combinado con 50 pulgadas cúbicas de oxígeno, ó dos volúmenes de hidrógeno con un volúmen de oxígeno. Resultando el agua de la combinacion de dos volúmenes de hidrógeno y un volúmen de oxígeno, es fácil hallar su composicion en peso, puesto que conocemos las densidades de los dos gases que la forman:

1 volúmen de oxígeno pesa.			1,1056
2 » de hidrógeno »	$2 \times 0{,}0692 =$		0,1384
El agua producida pesa.			1,2440

Para apreciar el peso del oxígeno y el del hidrógeno contenidos en 100 partes de agua, se establecerán las proporciones siguientes:

$$1{,}2440 : 1{,}1056 :: 100 : x = 88{,}87 \text{ oxígeno.}$$
$$1{,}2440 : 0{,}1384 :: 100 : x = 11{,}13 \text{ hidrógeno.}$$

100,00 partes de agua.

30. **Bióxido de hidrógeno** (HO^2).—El agua oxigenada fué descubierta por Thenard el año 1818, estudiando la accion de los ácidos sobre el bióxido de bario.

Propiedades.—El bióxido de hidrógeno es un líquido incoloro, inodoro, de un sabor metálico desagradable: en su mayor grado de concentracion tiene consistencia de jarabe, y su densidad es entonces 1,452: no se solidifica á —30°. El calor descompone el agua oxigenada en agua y oxígeno si está concentrada á la temperatura de 20°, y á la de 100° aun cuando esté muy diluida: no hace las veces de ácido ni de base; decolora el papel de tornasol y blanquea la piel, produciendo una sensacion de quemadura.

Preparacion.—Se obtiene el bióxido de hidrógeno, echando en una cápsula de platino, rodeada de hielo, unos 250 gramos de agua y de ácido clorhídrico concentrado; se vierte poco á poco una pasta muy flúida, formada con 12 gramos de bióxido de bario y agua, agitando contínuamente la mezcla. El bióxido de bario se disuelve, produciéndose agua oxigenada y cloruro de bario.

$$HCl + BaO^2 = HO^2 + BaCl.$$

El agua oxigenada obtenida contiene bastante agua, y para aumentar la cantidad de bióxido de hidrógeno, se echa gota á gota ácido sulfúrico, para que no se caliente el líquido, cuidando

de no verter un exceso de ácido, que precipita la barita, regenerándose el ácido clorhídrico.

Se filtra y echa en el líquido nueva cantidad de bióxido de bario; el ácido clorhídrico regenerado, reacciona como antes; se vuelve á filtrar, y así se repite esta operacion hasta seis ó siete veces, tratando últimamente el líquido por el sulfato de plata para separar el cloro. Se filtra y trata el líquido por la barita en exceso para quitar todo el ácido sulfúrico que aun contiene, y algunas porciones de alúmina y peróxido de hierro que provienen del bióxido de bario. El líquido nuevamente filtrado se evapora en el vacío á la temperatura ordinaria, en presencia del ácido sulfúrico concentrado, hasta que tome consistencia de jarabe espeso.

El agua oxigenada se emplea para preparar algunos óxidos singulares, como los bióxidos de estroncio, calcio y cobre; para la restauracion de los cuadros antiguos que se han ennegrecido por las emanaciones sulfhídricas.

NITRÓGENO.

PROTÓXIDO Y BIÓXIDO DE NITRÓGENO.—ÁCIDOS NITROSO, HIPONÍTRICO Y NÍTRICO.—NITRURO DE HIDRÓGENO *(amoniaco)*.

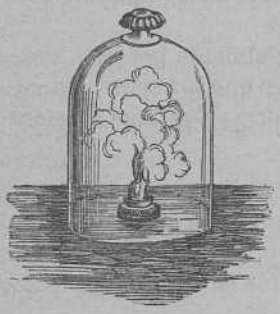
31. **Nitrógeno.**—Este cuerpo fué descubierto en 1772 por Rutherford, y en 1775 Lavoisier le halló mezclado con el oxígeno en el aire atmosférico.

Propiedades.—El nitrógeno es un gas que se ha conseguido liquidarle á la presion de 200 atmósferas y temperatura de 13°, es incoloro, insípido é inodoro: el agua disuelve á la temperatura ordinaria $\frac{1}{40}$ del volúmen de este gas: su densidad es de 0,791 á la temperatura de 0° bajo la presion de 76 centímetros. No sirve para la combustion: se combina con el oxígeno en cinco proporciones diferentes, y da orígen á los compuestos NO, NO^2, NO^3, NO^4, NO^5; con el hidrógeno forma el *nitruro de hidrógeno* ó *amoniaco* NH^3.

Estado natural.—El nitrógeno es muy abundante en la naturaleza: mezclado con el oxígeno constituye las cuatro quintas partes del aire atmosférico: en el estado de combinacion se le encuentra en gran número de sustancias de orígen vegetal, en casi todas las sustancias animales, en el ácido nítrico y en el nitrato de potasa *(nitro* ó *salitre)*.

Preparacion.—Generalmente se extrae el nitrógeno del aire por la combustion del fósforo. Se coloca sobre la superficie del agua de un baño hidro-neumático (*fig.* 17) un disco de corcho que mantiene flotante una capsulita de porcelana, la cual contiene un trozo de fósforo; se inflama el fósforo, y todo se cubre en seguida con una campana. El fósforo arde á expensas del oxígeno del aire contenido en la campana, pasando al estado de ácido fosfórico que se disuelve en el agua, y el nitrógeno queda libre. Terminada la combustion del fósforo, y despues de enfriado el gas, se observa que el volúmen primitivo del aire se ha reducido á los $\frac{4}{5}$ próximamente.

Fig. 17.



El nitrógeno preparado por este medio no es puro, pues se encuentra mezclado con una corta cantidad de vapores de fósforo y ácido carbónico. Los vapores de fósforo se separan fácilmente haciendo llegar á la vasija donde se halla el gas unas burbujas de gas cloro; este cuerpo se combina con el fósforo y forma un cloruro soluble, y el ácido carbónico por medio de la potasa cáustica que absorbe dicho ácido, formando un carbonato tambien soluble.

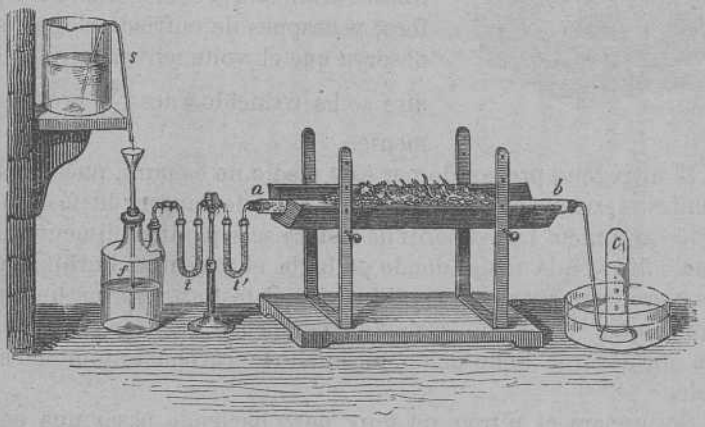
Se prepara el nitrógeno muy puro haciendo pasar una corriente de aire por un tubo de vidrio poco fusible *a b* (*fig.* 18) lleno de torneaduras de cobre, y colocado sobre un pequeño hornillo de palastro, estrecho y largo, para poderle rodear de carbones encendidos. Al extremo *b* de este tubo se ajusta otro encorvado para dirigir el gas á la campana *c*, y el extremo opuesto *a* se comunica con un frasco *f* de dos bocas por medio de dos tubos *t* y *t'* en forma de *U*, los cuales contienen fragmentos de piedra pomez, humedecidos los del tubo *t* con una disolucion de potasa cáustica, y los del tubo *t'* impregnados de ácido sulfúrico concentrado. Haciendo llegar al frasco *f*, que sirve de gasómetro, un pequeño chorro de agua por medio del sifon *s*, el aire contenido en él marchará al tubo *a b*, pasando primero por el tubo *t*, donde pierde el ácido carbónico (gas que siempre contiene el aire atmosférico, el cual es absorbido por la potasa), y despues por el tubo *t'*, en el que queda toda la humedad que le acompaña, la cual es absorbida por el ácido sulfúrico. El aire así purificado

llega al tubo *a b*, pasando al través del cobre incandescente: este cuerpo se combina con el oxígeno, y el nitrógeno marcha á la campana *c*.

32. **Aire atmosférico.**—El aire atmosférico le consideraban los antiguos como uno de los cuatro elementos de la naturaleza, hasta que Lavoisier y Scheele dieron á conocer la composicion de este flúido.

El aire atmosférico está formado esencialmente por una mezcla de oxígeno y nitrógeno en proporciones que son sensiblemente las mismas en todos los puntos de la tierra. Contiene además

Fig. 18.



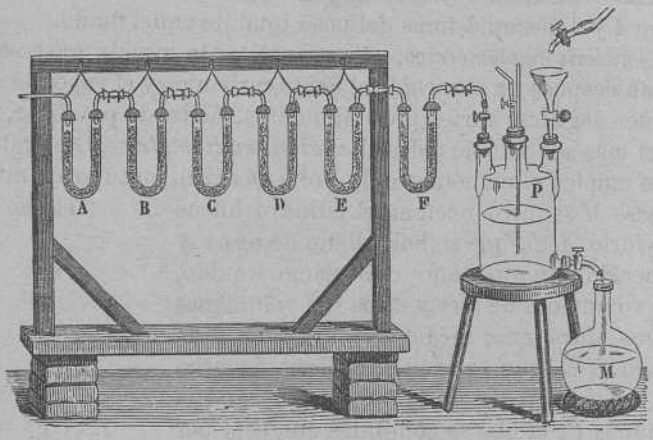
una pequeña cantidad de gas ácido carbónico, vapor de agua en proporciones muy variables, y cantidades casi inapreciables de algunos otros gases y vapores originados por la descomposicion de las materias orgánicas, vegetales y animales.

Propiedades.—El aire es un gas incoloro é inodoro; mal conductor del calor y de la electricidad cuando está seco: su densidad y facultad refringente están representadas por la unidad, y á ellas hemos visto que se refieren la densidad y facultad refringente de los demás gases: su densidad con relacion al agua es $\frac{1}{770}$: un litro de aire seco á la temperatura de 0° y presion de $0^{m},760$, pesa $1^{gr},2032$. Siendo liquidables los dos gases que forman el aire es indudable que tambien se le puede hacer cambiar de estado.

Análisis del aire.—Para determinar la cantidad de ácido car-

bónico y vapor de agua que contiene el aire, se hace pasar una corriente de este flúido al través de una série de tubos de vidrio *A*, *B*, *C*, *D*, *E* (*fig.* 19), unidos entre sí por otros de menor diámetro y por trozos de tubos de goma elástica que se atan fuertemente á los de vidrio. El primero se comunica con la atmósfera por medio de un tubo estrecho destinado á dar entrada al aire, y el último *F* se halla unido á un *aspirador P*, que puede ser un frasco de tres bocas, dispuesto como indica la figura. Los tubos *A* y *B* están llenos de fragmentos de piedra pomez empapados de ácido sulfúrico concentrado, para absorber el vapor de agua, y

Fig. 19.



los tubos *C* y *D* contienen fragmentos de la misma piedra, humedecidos con la disolucion concentrada de potasa cáustica, la cual absorbe el ácido carbónico: el tubo *E*, que tambien está lleno de pedazos de piedra pomez impregnados de ácido sulfúrico, tiene por objeto retener el vapor de agua que el aire desecado puede tomar de la disolucion de potasa. El tubo *F*, que tambien contiene pedazos de piedra pomez empapados de ácido sulfúrico y está en comunicacion con el aspirador, sirve para impedir que llegue al tubo *E* el vapor del agua contenida en dicho aspirador. Los tubos *A*, *B*, *C*, *D* y *E* se pesan cuidadosamente antes de montar el aparato.

Abriendo la llave del frasco, saldrá el agua que contiene, y el aire pasa por toda la série de tubos en *U* á ocupar el espacio que aquella deja vacío. Cuando se llena el matraz *M*, cuyo volúmen se ha determinado anteriormente, se separan los tubos y se pesan otra vez: el aumento que en el peso de los tubos *A* y *B*, se obser-

ve, da la cantidad de vapor de agua, y el de los tubos C, D, E, la cantidad de ácido carbónico que tiene el aire atmosférico que ha atravesado por el aparato.

Llamando V al volúmen del agua desalojada del frasco, que es ocupado por un volúmen igual de aire desecado y privado del ácido carbónico, el peso P del aire será:

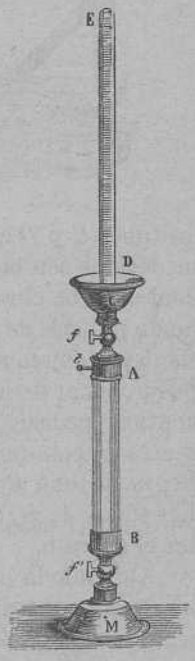
$$P = V\,1gr,2932\,\frac{1}{1+0,00365\,t}\cdot\frac{H-F(t)}{0,760};$$

t es la temperatura del agua del frasco que hace de aspirador; $F(t)$ la tension máxima correspondiente al vapor.

Las cantidades de ácido carbónico contenidas en el aire varían entre 4 y 6 diezmilésimas del peso total de aquel flúido.

Análisis eudiométrico.—Para analizar la mezcla gaseosa que queda despues de absorbido el ácido carbónico y el vapor de agua, pueden seguirse varios procedimientos, fáciles de practicar, siendo el mas sencillo de todos el *análisis eudiométrico*. Generalmente se emplea el eudiómetro de Volta (*fig.* 20), en cuyo aparato por la base M se introducen en el cilindro hueco de vidrio A B, que se halla lleno de agua y sumergido en un baño del mismo líquido, 100 volúmenes de aire y otros 100 volúmenes de gas hidrógeno, medidos con el tubo graduado E D, que se encuentra lleno de agua y ajustado á rosca en la base de la cápsula metálica C, la que se comunica con este por medio de la llave f. Despues de introducidos los gases, se cierra la llave f' y se hace pasar una chispa eléctrica por la mezcla, para lo cual el casquillo A está taladrado, por cuyo orificio pasa un tubo de vidrio que lleva en su interior un alambre de laton, terminado en el exterior por una esfera t, y la extremidad interior se aproxima al casquillo metálico. Se hace saltar la chispa eléctrica por la mezcla gaseosa, y se verifica en el interior del aparato la detonacion, debida á la formacion del agua. Abriendo la llave f, parte del agua contenida en el tubo graduado descenderá al cilindro A B, pasando á ocupar el espacio que el agua deja vacío los gases contenidos en este cilindro. Sumergiendo en el baño todo el aparato hasta que coincida el nivel de

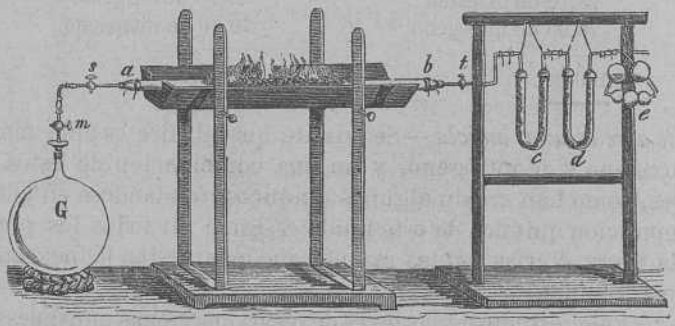
Fig. 20.



agua que queda en el tubo *E D* con la superficie del agua del baño, se observará que solo han quedado 137 volúmenes de 200 que primitivamente se pusieron. La detonacion ha hecho que desaparezcan 63 volúmenes, que se han trasformado en agua, cuerpo que, como hemos visto (29), está formado por 2 volúmenes de hidrógeno y 1 volúmen de oxígeno. Dividiendo por 3 los 63 volúmenes que han desaparecido, el cociente 21 expresa el oxígeno contenido en los 100 volúmenes de aire atmosférico introducidos en el eudiómetro. Luego este flúido está compuesto de 21 partes de oxígeno y 79 de nitrógeno.

Análisis por el cobre.—El método mas exacto que puede emplearse para determinar la cantidad de oxígeno y nitrógeno existentes en el aire, es debido á los Sres. Dumas y Boussingault, y consiste en separar el oxígeno del nitrógeno por el cobre puro expuesto á temperatura elevada. El aparato empleado por estos dos químicos (*fig.* 21) es, con corta diferencia, igual al descrito en el

Fig. 21.



segundo procedimiento de la preparacion del nitrógeno (párrafo 31). Consiste en un globo de vidrio *G*, que se comunica por medio de una llave *m* con el tubo de vidrio poco fusible *a b*, lleno de una determinada cantidad de cobre puro, y provisto de dos llaves colocadas á sus extremos, el cual se halla dispuesto horizontalmente sobre un hornillo de palastro, de modo que pueda ser calentado en toda su longitud. Por medio de la llave *t* se pone este tubo en comunicacion con los tubos en *U c d*, que lo están á su vez con un aparato de bolas de Liebig *e*; en este aparato se introduce una disolucion de potasa cáustica; en el tubo *d* fragmentos de piedra pomez humedecidos con la disolucion de potasa, y en el tubo *c* fragmentos de la misma piedra impregnados de ácido sulfúrico concentrado.

Se principia por hacer el vacío en el globo *G* y en el tubo *a b*, y cerrando despues las llaves *m s*, se eleva la temperatura del tubo hasta el rojo. Despues de enrojecido el tubo, se abren las llaves *t s*, y lentamente la llave *m* del globo. El aire exterior penetra en el globo despues de haber atravesado el aparato de bolas *e* y los tubos *d c* y el *a b*, que le despojan del ácido carbónico y del vapor de agua, y cediendo su oxígeno al cobre enrojecido, el nitrógeno pasa solo al globo. Cuando este se halla lleno de nitrógeno, se cierran las llaves, y desmontando el aparato, se pesa el globo y el tubo, se hace el vacío de nuevo en ambos, y se vuelven á pesar: la diferencia de los pesos dará el del nitrógeno que los llenaba; el aumento que el peso del cobre contenido en el tubo haya experimentado, indicará la cantidad de oxígeno mezclado con el nitrógeno.

De los diferentes análisis hechos por este procedimiento, resulta que el aire está compuesto:

En peso.	En volúmen.
23,10 de oxígeno.	20,90 de oxígeno.
76,90 de nitrógeno.	79,10 de nitrógeno.
100,00	100,00

El aire es una mezcla.—Se admite que el aire es una mezcla de oxígeno y de nitrógeno, y no una combinacion de estos dos gases, como han creido algunos químicos, fundándose en que la composicion química de este flúido es igual en todos los puntos de la tierra. Varias son las razones que manifiestan la inexactitud de esta opinion:

1.ª En el estudio de las leyes de las proporciones múltiples y de los volúmenes 22 y 23 hemos visto que los gases se combinan en proporciones sencillas, y en el aire no se verifica esto.

2.ª Cuando se combinan dos gases, hay siempre desprendimiento de calor y de luz; fenómeno que no se presenta cuando se mezclan el oxígeno y el nitrógeno en las mismas proporciones que existen en el aire, sin embargo de obtener un compuesto idéntico por todos sus caractéres físicos al aire atmosférico.

3.ª La facultad refringente del aire es igual á la suma de las facultades refringentes de los dos gases que le forman: si estos dos gases estuvieran combinados, la facultad refringente del aire seria diferente, puesto que todos los gases compuestos poseen una facultad refringente mayor ó menor que la de los elementos que los forman.

4.ª El agua que por algun tiempo se encuentra en contacto del aire, disuelve mayor cantidad de oxígeno que de nitrógeno. Si estos dos gases estuvieran combinados, se disolverian en el agua en las mismas proporciones en que se hallan formando el aire.

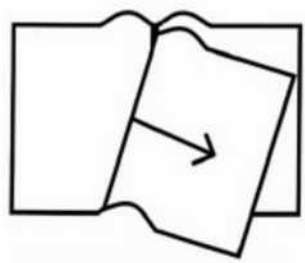
33. **Acido nítrico** (1).—Este ácido, conocido antiguamente bajo el nombre de *espíritu de nitro*, fué descubierto á fines del siglo XIII por Raimundo Lulio, destilando una mezcla de nitrato de potasa y arcilla; pero su naturaleza no se conoció hasta que en 1784, Cavendish la fijó exactamente. En el comercio se le conoce con los nombres de *agua fuerte* y el primitivo de *espíritu de nitro*.

Propiedades.—El ácido nítrico se obtiene en el estado sólido y en el estado de hidrato. En el estado sólido anhidro se presenta de color blanco y cristalizado en prismas romboidales, conservando tal estado á la temperatura ordinaria, siempre que no sea superior de 27°,5. Se funde á los 30° y hierve á los 47°, descomponiéndose á los 80° en oxígeno y en ácido hiponítrico, con desprendimiento de calor y de luz.

El ácido nítrico en su mayor grado de concentracion (NO^5+HO) y recien preparado, es fumante, incoloro, de un color característico y sabor acre: es muy corrosivo: hierve á 86°, y se solidifica á—50°, tomando la consistencia de manteca. El ácido fumante contiene un 14 por 100 de agua, y su densidad es de 1,522. Este líquido deja de ser fumante cuando tiene un 40 por 100 de agua, y entonces no hierve hasta los 123°, siendo su densidad de 1,42.

Es un oxidante muy enérgico: desorganiza la piel y la mancha de color amarillo: enrojece la tintura de tornasol y destruye las materias colorantes, incluso el índigo, que resiste á la accion de todos los ácidos. Si se sumerge algodon en rama en este ácido concentrado y se le tiene por algunos minutos, lavándole despues en gran cantidad de agua y secándole en seguida de sacarle del líquido, se obtiene una sustancia semejante por su aspecto al algodon, pero que se diferencia de él en que se inflama instantáneamente, desapareciendo sin dejar resíduo al aproximarla un carbon encendido: á este cuerpo se le ha dado el nombre de *algodon nítrico*, *piróxilo*, *piroxilina* y *pólvora de algodon*. El almidon y el papel, tratados por el ácido nítrico del mismo modo que el algodon, forman una sustancia de la misma composicion que el piróxilo, y poseen tambien las propiedades explosivas.

(1) Damos principio al estudio de los compuestos oxigenados del nitrógeno por el ácido nítrico, por ser este ácido el que se emplea para preparar los otros compuestos de nitrógeno y oxígeno.

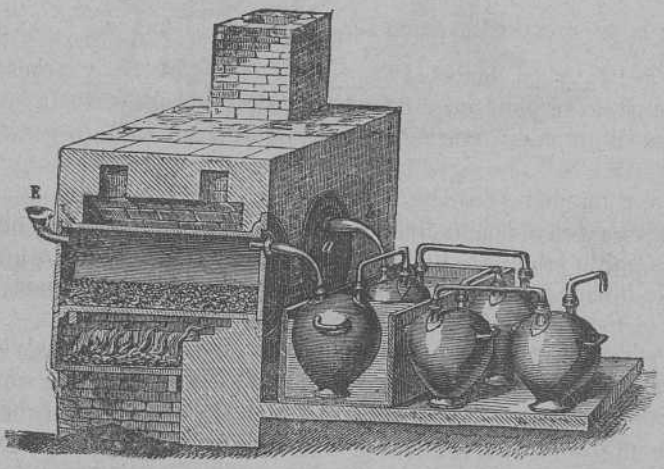


FALTAN DOCUMENTOS
(paginas, cuadernillos...)
ISO 9878/1990

de este fondo, cerrando en seguida la abertura con un tapon de arcilla cocida.

El ácido nítrico obtenido por estos procedimientos es de color amarillo, debido al ácido nitroso, que se trasforma fácilmente en ácido nítrico por el nitrato de plomo ó por el bicromato de potasa: contiene además un poco de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico: el primer ácido se separa por la destilacion ó por el nitrato de barita, y el segundo por el nitrato de plomo.

Fig. 23.



El ácido nítrico hidratado se emplea en las artes para la fabricacion del ácido sulfúrico, para el grabado en cobre y para disolver la mayor parte de los metales: en medicina se usa como cáustico.

34. **Protóxido de nitrógeno.**—El *protóxido de nitrógeno* ú *óxido nitroso* fué descubierto por Priestley el año 1776. Se presenta á la temperatura y presion ordinaria en el estado gaseoso: á la temperatura de 0° y bajo una presion de 30 atmósferas se liquida, y se solidifica por su rápida evaporacion: la solubilidad de este gas en el agua es $= \frac{1}{2}$, y su peso específico es 1,527. No sirve para la respiracion, pero los cuerpos inflamados arden en él con una llama muy brillante. Las personas que le han respirado han experimentado una sensacion de alegría, y por esto se le ha dado el nombre de *gas hilarante*. Mezclado con el hidrógeno, y aproxi-

mando á la mezcla una cerilla encendida ó haciendo atravesar por ella la chispa eléctrica, produce una detonacion.

Preparacion.—Se obtiene este cuerpo descomponiendo el nitrato de amoniaco por el calor.

$$NH^3,HO,NO^5=4HO+2NO.$$

35. **Bióxido de nitrógeno.**—El descubrimiento de este cuerpo se debe á Hales, y el exacto conocimiento de sus propiedades á Priestley, Davy y Gay-Lussac.

Propiedades.—El *bióxido de nitrógeno* es un gas sin color: su olor y sabor no se conocen, se liquida á la temperatura de 14° bajo la presion de 166 atmósferas: el agua disuelve $\frac{1}{20}$ de este gas á 10°, y su densidad específica es 1,039. Da vapores rojos cuando se pone en contacto del aire, absorbiendo la mitad de su volúmen de oxígeno, y se trasforma en ácido hiponítrico ($NO^2+O^2=NO^4$): no sirve para la respiracion: es absorbido por las sales protoxidadas de hierro, y las comunica un color pardo oscuro: se disuelve en el ácido nítrico concentrado, y le hace variar de colores segun sea el grado de concentracion del ácido, por quitar el óxido nítrico una porcion de oxígeno al ácido nítrico pasando los dos al estado de ácido hiponítrico ($NO^2+2NO^5=3NO^4$).

Preparacion.—Se obtiene el bióxido de nitrógeno disolviendo los metales en el ácido nítrico diluido. Los metales que se emplean ordinariamente son el cobre ó el mercurio. Con el cobre se obtiene el bióxido de nitrógeno puro, si la reaccion se verifica á una baja temperatura y el ácido nítrico se ha dilatado en suficiente cantidad de agua.

$$3Cu+4NO^5=3CuO,NO^5+NO^2.$$

El aparato que se usa para la preparacion de este gas, es igual al empleado para la preparacion del hidrógeno.

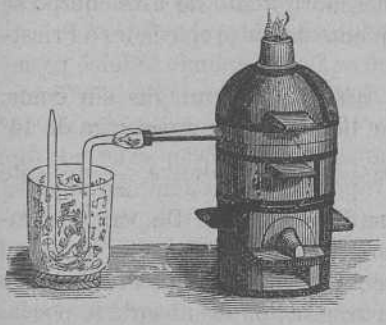
36. **Ácido nitroso.**—Haciendo pasar cuatro volúmenes de óxido nítrico y un volúmen de oxígeno por un tubo en forma de *U* sumergido en una mezcla frigorífica, se obtiene un líquido de color azul, que es el *ácido nitroso*, cuyo color conserva hasta la temperatura de 0°, á la cual hierve y se volatiliza rápidamente. Si se calienta suavemente con la mano la vasija donde se halla, se descompone en óxido nítrico que se desprende y ácido hiponítrico ($2NO^5=NO^2+NO^4$).

37. **Ácido hiponítrico.**—Este cuerpo fué descubierto al mismo tiempo que el ácido nítrico, pero no se conocieron bien sus pro-

piedades hasta las investigaciones hechas por Dulong y Gay-Lussac.

Propiedades.—El ácido hiponítrico es un líquido de color amarillo anaranjado á una temperatura superior á 15°; á 0° es amarillo, y á 20° incoloro: su sabor es cáustico: hierve á 28° y se solidifica á —13°,5: su densidad es de 1,42: da vapores de color rojo intenso, y la densidad de estos vapores es de 1,72. Enrojece la tintura azul de tornasol, y mancha la piel de amarillo, desorganizándola completamente.

Fig. 24.



Preparacion. Se prepara el ácido hiponítrico calentando en una retorta de barro el nitrato de plomo bien desecado; la retorta comunica con un recipiente de vidrio (*fig.* 24) sumergido en una mezcla frigorífica, en el cual se va condensando el ácido.

$$PbO,NO^5 = PbO + O + NO^4.$$

38. **Nitruro de hidrógeno ó amoniaco.**—El *amoniaco* fué obtenido primeramente por Scheele en el estado gaseoso; Priestley logró descomponerle por una corriente de chispas eléctricas, y en 1785 Berthollet descubrió las respectivas proporciones de hidrógeno y nitrógeno que le forman.

Propiedades.—El amoniaco es un gas incoloro y trasparente á la temperatura ordinaria; líquido á —40°, ó á 10° bajo una presion de 6,5 atmósferas: su olor es tan fuerte y penetrante que excita las lágrimas: su sabor es acre y cáustico: es muy soluble en el agua: el peso específico de este cuerpo en el estado gaseoso, es de 0,597, y en estado líquido es de 0,76.

Es un álcali muy enérgico, y por presentarse en el estado gaseoso se le ha dado el nombre de *álcali volátil*: restablece el color azul de la tintura de tornasol enrojecida por un ácido, y neutraliza los ácidos mas enérgicos. El calor y la electricidad le descomponen en hidrógeno y nitrógeno, duplicando su volúmen: el oxígeno le descompone á una temperatura elevada, formándose agua, corta cantidad de ácido nítrico y nitrógeno libre

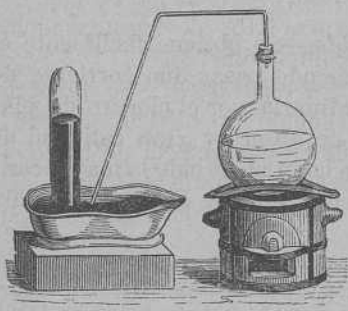
$$2NH^3 + 11O = 6HO + NO^5 + N.$$

Algunos metalóides de los que mas adelante se estudian, des-

componen este gas á una temperatura elevada, y muchos metales, como el potasio, sodio, cobre, hierro, etc., verifican la misma descomposicion cuando se hallan en condiciones iguales á los metalóides. El gas amoniaco se une directamente con un volúmen igual al suyo de ácido clorhídrico, y forma el clorhidrato de amoniaco ó sal amoniaco, NH^3,HCl; se combina con los oxácidos, y si estos son hidratados, produce sales análogas á las que con los mismos ácidos originan los óxidos alcalinos (1).

Estado natural.—El amoniaco se forma cuando se hace pasar una corriente de chispas eléctricas por una mezcla de hidrógeno y nitrógeno en presencia de un ácido líquido ó en el estado de vapor: se forma tambien cuando se descompone el agua por la oxidacion del hierro en contacto del aire húmedo: en el estado de clorhidrato, existe en los excrementos de los camellos, y en el estado de carbonato se desprende en la putrefaccion de las sustancias animales, produciéndose tambien este carbonato cuando se destilan materias animales. La *urea* que se encuentra en los orines de los mamíferos, se trasforma, á poco tiempo de hallarse en presencia del aire, en carbonato de amoniaco.

Fig. 25.



(1) La forma cristalina y las propiedades físicas y químicas del clorhidrato de amoniaco, son casi idénticas á las de los cloruros de potasio, KCl, y sodio, NaCl, aun cuando la fórmula química de la sal amoniaco difiera de las fórmulas de estos cuerpos.

Si el amoniaco seco se combina con un oxácido anhidro, el ácido sulfúrico, por ejemplo, se obtiene un compuesto, NH^3,SO^3, semejante por su fórmula al sulfato de potasa, KO,SO^3, pero que no posee la forma cristalina ni las demás propiedades de los sulfatos; á este cuerpo se le ha dado el nombre de *sulfámido*, y á los compuestos análogos á él se les denomina *ámidos*. La presencia de un equivalente de agua en el ácido ó en el amoniaco, es suficiente para que se forme un cuerpo cristalizado como el sulfato de potasa, y todas las sales formadas por un oxácido hidratado y el amoniaco, son isomorfas con las de potasa. Sin embargo, el sulfato de potasa, KO, SO^3, es anhidro, y el sulfato de amoniaco NH^3HO,SO^3 es hidratado. Si se adoptasen estas fórmulas para las sales amoniacales, se vendria á deducir que las sustancias de fórmulas desemejantes presentan los mismos caractéres, y que no son ciertas las leyes de isomorfismo. Estas anomalías desaparecen si se admite la existencia de un cuerpo poco estable formado de amoniaco y de hidrógeno NH^4 radical que posee las propiedades de los metales y al cual Berzelius llamó *amonio*.

Ampere, admitiendo la teoría del amonio ideada por Berzelius, expresa con gran claridad la composicion de las sales amoniacales: el clorhidrato de amoniaco, NH^3HCl; segun esta hipótesis, es el cloruro de amonio, NH^4Cl, isomorfo del cloruro de potasio KCl; y el sulfato de amoniaco que tiene un equivalente de agua, es el sulfato anhidro de amonio NH^4O,SO^3, análogo al sulfato anhidro de potasa KO, SO^3.

Investigaciones hechas para aislar el amonio.—Poco tiempo despues del descubrimiento

Preparacion.—Se prepara el gas amoniaco calentando en un matraz de vidrio, ó en una retorta de grés, si se desea obtener mayor cantidad (*fig.* 25), 1 parte del clorhidrato de amoniaco (*sal amoniaco* del comercio) con 2 partes de cal viva. Se emplea un exceso de cal para retener el agua formada.

$$NH^3HCl + CaO = HO + CaCl + NH^3.$$

Se recoge el amoniaco sobre el mercurio, porque es un gas muy soluble en el agua.

Para obtener el gas amoniaco perfectamente seco, se le hace pasar al través de fragmentos de potasa cáustica. No se puede emplear el cloruro de calcio, porque este cuerpo tiene mucha afinidad con el amoniaco.

Preparacion del amoniaco líquido.—Se obtiene fácilmente el amoniaco en el estado líquido haciendo pasar una corriente de amoniaco seco á la temperatura ordinaria por el cloruro de plata, cuerpo que tiene la propiedad de absorber gran cantidad de este gas. Cuando el cloruro de plata haya absorbido la mayor cantidad posible de gas, se le coloca en el tubo de Faraday (*fig.* 26);

---

de los metales alcalinos, Berzelius repitió el experimento de Davy (100 *Fís.*) con el clorhidrato de amoniaco, y observó que el mercurio, en cuyo líquido sumergió el reóforo negativo de la pila, se hinchaba, tomando el aspecto de una materia mantecosa, sin perder el brillo metálico. Es evidente que se ha formado una amalgama, pero su poca estabilidad es causa de que no se la haya podido estudiar como las formadas con los metales alcalinos. Esta amalgama se puede obtener con mas facilidad poniendo en contacto de la amalgama de potasio una disolucion de clorhidrato de amoniaco; se forma cloruro de potasio, y el mercurio se hincha rápidamente, y á poco tiempo se le ve flotar en el líquido. La amalgama de amonio formada se descompone en cuanto cesa la reaccion, que es bastante rápida, del clorhidrato de amoniaco y la amalgama de potasio, desprendiéndose cuatro volúmenes de hidrógeno y uno de nitrógeno, apareciendo el mercurio con sus propiedades primitivas.

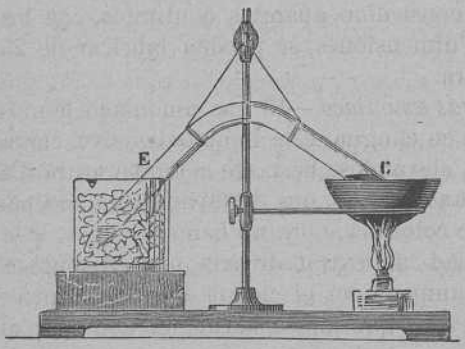
Estos experimentos demuestran evidentemente que el amonio, aun cuando no se haya podido aislar, existe algunos instantes, pero que el calor y el agua le descomponen inmediatamente.

A la teoría del amonio se hace la siguiente objecion: ¿Cómo se puede explicar que el cloro, que tiene mas afinidad con el hidrógeno, ceda este cuerpo al amoniaco? A esta objecion se puede contestar que el amonio NH^4, metal comparable al potasio K, tiene con el cloro una gran afinidad, y que la reaccion reconoce por causa una *afinidad predisponente* semejante á la que hace que el zinc (28), cuerpo que no ejerce accion sobre el agua, la destruya en presencia del ácido sulfúrico, porque el óxido de zinc que se *ha de formar* tiene mucha afinidad con este ácido.

Además, la propiedad que tienen ciertos cuerpos de reemplazar equivalente por equivalente al hidrógeno en ciertas combinaciones, y el existir un cuerpo compuesto, el cianógeno, que desempeña el papel de cuerpo simple metalóide, son otras tantas razones para admitir la existencia del amonio. A estos compuestos, que producen reacciones químicas como los cuerpos simples, se les llama *radicales compuestos*. En química orgánica se conoce un número considerable de radicales compuestos, que producen las mismas reacciones que los metales, formando compuestos análogos á los de estos cuerpos simples.

se calienta la extremidad *C* del tubo que contiene el cloruro de plata amoniacal, sumergiéndola en un baño de agua cuya temperatura se eleve gradualmente hasta 38°, enfriando al mismo tiempo, por medio de una mezcla frigorífica la otra extremidad: á la temperatura de 38°, dicho cloruro se funde y entra en ebullicion, abandonando todo el amoniaco, el cual se condensa en el estado líquido incoloro en la parte fria del tubo *E*. Este fenómeno de liquefaccion puede reproducirse á voluntad haciendo enfriar el cloruro de plata, que absorberá de nuevo el amoniaco, volviéndose á formar el cloruro amoniacal descompuesto.

Fig. 26.



Carre, en 1861, inventó un aparato para liquidar el gas amoniaco por la compresion, con el cual, además de conseguir la liquefaccion de este gas, se utiliza el frio que se produce al volatilizarse el amoniaco liquidado, para la congelacion de varios líquidos, y especialmente para la fabricacion del hielo.

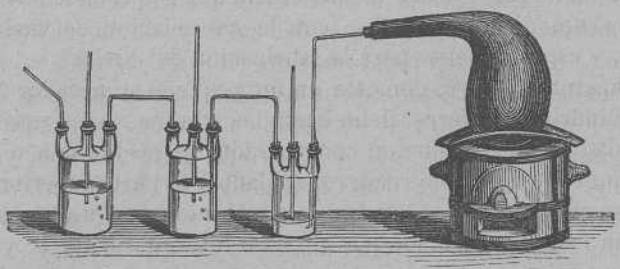
El aparato de Carre consiste en un pequeño generador ó caldera cilíndrica de hierro: llena hasta las tres cuartas partes de su capacidad de una disolucion concentrada de gas amoniaco en el agua: un tubo metálico recurvo, soldado á la parte superior de la caldera, sirve para ponerla en comunicacion con un recipiente tambien metálico formado por un vaso interior cilíndrico y otro exterior cónico, que deja un espacio entre ellos de unos 3 á 4 centímetros. Los bordes de estos vasos están perfectamente soldados para que no se escape el gas amoniaco.

Se calienta la caldera y el gas amoniaco se desprende, ejerciendo una presion sobre sí mismo cada vez mayor, hasta que se liquida en el recipiente, que debe estar sumergido en agua. En cuanto cesa el desprendimiento del gas, se retira la caldera del fuego y se sumerge en agua fria. El agua de la caldera se enfria, y redisolviendo rápidamente el gas amoniaco, se produce un vacío (195 *Fis.*), que es ocupado por nueva cantidad de gas que se desprende del amoniaco líquido; y sucediéndose estos cambios de

estado con suma rapidez, se enfria el recipiente, congelándose el líquido que contenga el vaso interior. Terminada la operacion, el aparato se encuentra en las mismas condiciones que se hallaba en un principio. Por este procedimiento se obtiene el hielo á bajo precio, pues con 1 kil. de carbon vegetal, se pueden producir 3 kil. de hielo. Carre ha construido aparatos contínuos, con los cuales, y segun sean sus dimensiones, se pueden fabricar de 25 á 400 kil. de hielo por hora.

Disolucion acuosa del gas amoniaco.—El gas amoniaco hemos dicho que es muy soluble en el agua: este líquido disuelve cerca de 500 veces su volúmen, elevándose bastante la temperatura. La disolucion es casi instantánea; así es, que destapando una campana llena de gas amoniaco colocada sobre un baño de agua, esta se lanza con una velocidad tan extraordinaria, que en muchos casos suele romperse la campana por el choque brusco de la columna de agua; y para evitar que pueda herirse el operador al hacer este experimento, se envuelve la campana con un pedazo de paño ó lienzo fuerte. Introduciendo en una campana llena de gas amoniaco un trozo de hielo, se funde inmediatamente, absorbiendo el gas.

Fig. 27.



La disolucion acuosa del amoniaco se prepara en un aparato de Woolf: este aparato consiste en una série de frascos de tres bocas, dispuestos del modo que indica la *figura* 27: el primer frasco contiene una pequeña cantidad de agua para lavar el gas, y desde este pasa á otros frascos llenos del mismo líquido hasta las tres cuartas partes de su capacidad. Los tubos deben hallarse en este aparato sumergidos hasta el fondo de los frascos, si se quiere obtener una disolucion concentrada, por ser mas ligera la disolucion del amoniaco que el agua pura. Para preparar en grande la disolucion del amoniaco en el agua, se emplea la cal recien apa-

gada y la sal amoniaco, y en algunas partes el clorhidrato se reemplaza por el sulfato de amoniaco.

La disolucion del amoniaco se usa en medicina para cauterizar las picaduras de los reptiles y de los animales venenosos. En el estado gaseoso se emplea para sanear el aire de una habitacion que asfixia á los animales que le respiran, por tener mucho ácido carbónico.

AZUFRE.

ÁCIDOS SULFUROSO Y SULFÚRICO.—ÁCIDO SULFHÍDRICO.

39. **Azufre.**—Con la palabra *azufre*, los antiguos químicos designaban todas las sustancias inflamables, cualquiera que fuese su naturaleza, hasta que Sthal fijó la significacion vaga de esta palabra, aplicándola exclusivamente á la sustancia combustible que vamos á estudiar.

Propiedades.—El azufre es sólido, deleznable, de un color amarillo de limon, inodoro, pero por la frotacion desprende un olor particular, y al propio tiempo se electriza negativamente: existe bajo varios estados alotrópicos, debidos á la accion del calor: se le puede obtener amorfo y cristalizado en agujas prismáticas brillantes por fusion, y en octaedros en el sulfuro de carbono por via húmeda: es mal conductor del calor y de la electricidad: cuando se eleva su temperatura, se percibe un pequeño ruido, que proviene de la separacion de sus moléculas por la desigual dilatacion que experimentan: es insoluble en el agua, pero soluble en los aceites volátiles, como en la esencia de trementina, y sobre todo en el sulfuro de carbono: la densidad del azufre cristalizado es 2.08: se funde á la temperatura de 111°, conservando su color amarillo; toma un color rojo á los 160°, y adquiere una consistencia pastosa, la cual se va aumentando, segun que la temperatura es de 220 y 250°. Elevando la temperatura hasta los 400°, entra en ebullicion y se volatiliza.

El oxígeno y el aire á la temperatura ordinaria no ejercen accion sobre el azufre; pero á los 150° se inflama y arde con una llama azul, desprendiéndose un olor sofocante bien conocido (SO^2). Combinándose este cuerpo con el oxígeno, forma ocho compuestos bien definidos, todos ácidos, y son: el *ácido hiposulfuroso* (S^2O^3), el *ácido hiposulfúrico trisulfurado* (S^5O^5), el *ácido hiposulfúrico bisulfurado* (S^4O^5), el *ácido hiposulfúrico monosulfurado* (S^3O^5), el *ácido sulfuroso* (SO^2), el *ácido hiposulfúrico* (S^2O^5), el *ácido sulfú-*

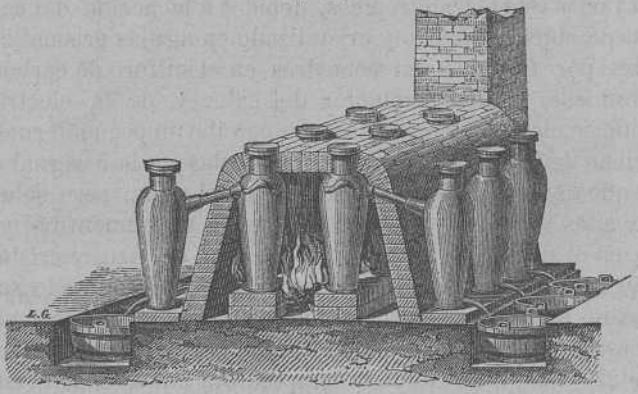
rico (SO^3), y el *ácido persulfúrico* (S^2O^7), últimamente descubierto por Berthelot. Los mas interesantes de estos ácidos son el SO^2 y el SO^3. Tambien se conoce un compuesto de azufre oxigenado é é hidrogenado á la vez, muy poco estable, el ácido *hidrosulfuroso* S^2O^3H.

El azufre se combina con el hidrógeno y forma dos compuestos: el *ácido sulfhídrico* (HS) y el *bisulfuro de hidrógeno* (HS^2). Se combina tambien con algunos metaloides y con la mayor parte de los metales, formando *sulfuros*.

Estado natural.—El azufre se encuentra en las inmediaciones de los terrenos volcánicos, y principalmente en las *solfataras* de Sicilia, unas veces cristalizado en octaedros y otras en masas traslucientes y opacas. En España se halla en bastante cantidad en Hellin y Conil. Existe en el estado de combinacion en los sulfuros metálicos y en los sulfatos; se encuentra en algunas aguas minerales, en el estado de ácido sulfhídrico, y algunas sustancias vegetales le contienen.

Preparacion.—La extraccion del azufre se compone de dos destilaciones sucesivas. En la primera basta calentar las materias

Fig 28.

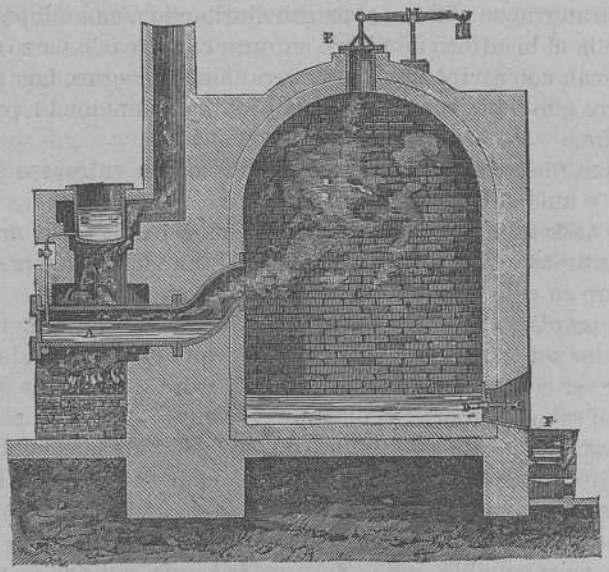


térreas con que se halla mezclado, en ollas grandes colocadas en dos filas en un horno de galera (*fig.* 28), las cuales tienen en su parte superior un tubo inclinado, tambien de barro, que sirve para conducir el azufre fundido á otras ollas iguales á las primeras y agujereadas en su fondo, colocadas en la parte exterior del horno, haciendo de recipientes. De tiempo en tiempo se destapa el agujero del fondo de las ollas exteriores para dar salida al azufre líquido, que cae en unas cubetas llenas de agua, en donde se

solidifica. El azufre obtenido por esta primera destilacion contiene de 10 á 15 por 100 de materias térreas, y se le conoce en el comercio con el nombre de *azufre en bruto.*

El azufre en bruto se somete á una segunda destilacion. El aparato en que se practica esta operacion consiste en un cilindro de hierro fundido *A* (*fig.* 29) colocado sobre un horno, cuyo cilindro se comunica con una espaciosa cámara de mampostería *C* que sirve de recipiente. El vapor de azufre va á la cámara, donde

Fig. 29.



se condensa en forma de polvo finísimo, que constituye las *flores de azufre.* La cámara tiene una válvula en la parte superior *E*, la cual deja salir el aire interior calentado, é impide la entrada del exterior. Fuera del horno se halla colocada una caldera *B*, en la que se echa el azufre en bruto que se ha de destilar en el cilindro, la cual se comunica con este por medio de un tubo con su correspondiente llave. Esta caldera se calienta por la corriente del aire que pasa del hogar á la chimenea, y se abre de tiempo en tiempo la llave del tubo para que caiga el azufre fundido en el cilindro, reemplazando así la cantidad de aquel cuerpo que pasa á la cámara en el estado de vapor; en esta cámara se puede obtener, segun se quiera, el azufre en flor ó fundido.

Cambiando de estado el vapor de azufre, calienta la cámara,

que adquiere una temperatura superior á 111°; el azufre no puede ya condensarse en el estado sólido, y pasa al estado líquido, reuniéndose en el suelo de la cámara hácia la parte inclinada de la base, donde tiene una abertura que permanece cerrada hasta que la cámara adquiere la temperatura necesaria para que se verifique la liquefaccion de los vapores: entonces se da salida al azufre líquido por la abertura *F* y va á parar á unos moldes de madera de abeto ligeramente humedecidos, en los cuales toma la forma de cilindros: este es el azufre que en el comercio se conoce con los nombres de *azufre de cañon* ó *en canutillo*.

En Hungría se obtiene el azufre destilando á una temperatura moderada el bisulfuro de hierro en unos cilindros de barro que se comunican con recipientes de madera llenos de agua. Las piritas de hierro que se destilan contienen próximamente un 14 por 100 de azufre.

El azufre se emplea para preparar los ácidos sulfuroso y sulfúrico, y unido al carbon y al nitro forma la pólvora.

40. **Ácido sulfuroso.**—Este ácido es conocido desde la mas remota antigüedad; pero hasta el año 1777, en que Lavoisier quemó al azufre en el oxígeno, no se conoció su composicion.

Propiedades.—El ácido sulfuroso es un gas incoloro, de un olor particular sofocante que excita la tos, y que todo el mundo conoce, por ser el que produce una pajuela azufrada ordinaria cuando arde: su sabor es fuerte y picante: es muy soluble en el agua; 1 pulgada cúbica de este líquido disuelve 80 pulgadas cúbicas de gas sulfuroso: su densidad es 2,247. El ácido sulfuroso se liquida á la temperatura de—10° bajo la presion de $0^m,760$, y á la de 15° por una presion de 2 atmósferas próximamente: el líquido es incoloro, muy movible, y de una densidad igual á 1,42: es uno de los líquidos mas refringentes, por la gran cantidad de vapores que desprende: volatilizándose en el aire, produce un frio suficiente para solidificar el mercurio y liquidar el gas cloro y el amoniaco.

Es un ácido poco enérgico: no sirve para la respiracion; enrojece la tintura de tornasol, decolorándola despues: la mayor parte de las materias colorantes orgánicas son alteradas ó decoloradas por este ácido; unas veces las quita el oxígeno, y otras se combina solo con la materia colorante, produciendo una combinacion incolora. Por esta propiedad, se emplea para blanquear las telas de seda y lana, para quitar las manchas de fruta en las telas de lienzo, y para contener la fermentacion de los vinos. No se descompone por el calor: el oxígeno á una temperatura elevada, y

en presencia del platino esponjoso, se combina con él, formándose el ácido sulfúrico: el ácido nítrico le trasforma en ácido sulfúrico á la temperatura ordinaria, desprendiéndose ácido hiponítrico ó bióxido de nitrógeno.

$$SO^2+NO^5,HO=SO^3,HO+NO^4.$$

Preparacion.—El ácido sulfuroso se forma cuando el azufre arde en el aire ó en el oxígeno. En los laboratorios se prepara generalmente este ácido descomponiendo el ácido sulfúrico en caliente por un metal que no descomponga el agua, como el mercurio y el cobre.

$$Cu+2SO^3=CuO,SO^3+SO^2.$$

Para preparar grandes cantidades de ácido sulfuroso, se calienta en un matraz de vidrio una mezcla formada de seis partes de peróxido de manganeso pulverizado y una parte de flor de azufre.

$$MnO^2+2S=MnS+SO^2.$$

El ácido sulfuroso se usa en medicina con muy buen éxito en el tratamiento de las enfermedades cutáneas.

41. **Acido sulfúrico.**—Este ácido, conocido con los nombres de *ácido vitriólico* y *aceite de vitriolo*, fué descubierto por Basilio Valentino á fines del siglo xv. Lavoisier le clasificó dando á conocer su naturaleza, y Berzelius determinó la proporcion de sus principios constituyentes. El ácido sulfúrico se está formando contínuamente en la naturaleza por la combustion lenta del hidrógeno sulfurado en el aire húmedo y caliente, bajo la influencia de las materias porosas. Por medio de esta reaccion se explica la formacion del ácido sulfúrico y los sulfatos en los sitios donde se desprende el hidrógeno sulfurado.

El ácido sulfúrico se produce cuando se *tuestan* (1) al aire los esquistos aluminosos y piritosos. La pirita de hierro (sulfuro de hierro) absorbe el oxígeno del aire y se trasforma en sulfato de hierro y en ácido sulfúrico, cuyo ácido se combina con la alúmina del esquisto. Este ácido se halla en el estado de libertad en algunos rios que corren por las inmediaciones de los volcanes en actividad. Humboldt y Boussingault le han reconocido en las aguas del rio Pusambio (América meridional), al cual se llama *rio Vinagre* por la acidez de sus aguas.

---

(1) Se llama *tostar* una sustancia calentarla en contacto del aire, de modo que se combine con el oxígeno.

El ácido sulfúrico es uno de los ácidos mas enérgicos que se conocen y el mas usado en las reacciones químicas. Se presenta bajo tres formas distintas: 1.ª, puro ó anhidro (SO^3); 2.ª, combinado con el agua (SO^3HO); 3.ª, en el estado de ácido fumante, el cual está formado por los dos anteriores, llamado *glacial* ó ácido sulfúrico de Nordhausen ($2(SO^3)HO$).

Acido sulfúrico anhidro.—Este ácido es sólido á la temperatura ordinaria, y se cristaliza bajo la forma de agujas finas bastante largas y aglomeradas, formando masas parecidas al *asbesto.* Se funde á los 25° próximamente; hierve entre 30 y 35°; sus vapores son incoloros. Es muy ávido de humedad; así, echando en el agua una pequeña cantidad, produce un ruido semejante al que ocasiona un hierro hecho ascua cuando se le sumerge en dicho líquido; este ruido es debido al desprendimiento y condensacion instantánea de los vapores originados por el calor de la combinacion del ácido y del agua. Dejando caer una gota de agua en un frasco que contenga ácido sulfúrico anhidro, se verifica una explosion, acompañada de desprendimiento de luz.

El ácido sulfúrico anhidro esparce en el aire húmedo humos muy abundantes, lo cual no se observa en el ácido hidratado, siendo esto debido á que el ácido sulfúrico anhidro posee, á la temperatura ordinaria una tension mayor que el vapor del ácido hidratado colocado en las mismas circunstancias. En efecto, cuando los vapores del ácido anhidro se ponen en contacto del aire húmedo, se combinan con cierta cantidad de agua, y el ácido ya hidratado no puede permanecer en estado de vapor invisible, precipitándose una porcion de él en forma de niebla espesa. Del mismo modo se explica la causa de los humos que produce en el aire el ácido nítrico monohidratado, y los producidos por todas las sustancias gaseosas y volátiles que dan humos cuando se hallan expuestas al aire.

Preparacion.—Se obtiene el ácido sulfúrico anhidro haciendo pasar una mezcla de gas ácido sulfuroso y oxígeno por un tubo de porcelana que contenga musgo de platino y esté calentado hasta el rojo. El platino ejerce una *accion de presencia* (142 *Fís.*) que determina la combinacion de los dos gases.

Se obtiene mas fácilmente este ácido descomponiendo por el calor el bisulfato de sosa anhidro en una retorta de barro: la mitad del ácido de la sal se destila en el estado de ácido anhidro, condensándose en un recipiente enfriado con hielo.

Acido sulfúrico monohidratado.—El ácido sulfúrico monohidratado es un líquido blanco, inodoro, de sabor muy ácido y de

consistencia oleaginosa: su densidad es de 1,85 á la temperatura de 15°; se solidifica á la temperatura de —34°, y hierve á 325°. Es un ácido muy enérgico: destruye las sustancias vegetales y animales, y es un veneno de los mas activos. Tiene gran afinidad con el agua, y á esta propiedad es debida la gran cantidad de calor que se desprende cuando se mezclan los dos líquidos, y la carbonizacion de las maderas sumergidas en él.

El ácido sulfúrico disuelto en el agua es precipitado por las disoluciones de barita en el estado de sulfato de barita, cuyo compuesto es completamente insoluble.

Preparacion.—Se obtiene calentando el azufre con el ácido nítrico, pero la oxidacion del azufre en este procedimiento es muy lenta. Se consigue mucho mejor y mas pronto haciendo pasar una corriente de ácido sulfuroso por el ácido nítrico concentrado, expuesto á una temperatura próxima á la de su ebullicion. El ácido sulfuroso se combina con parte del oxígeno del ácido nítrico, y le trasforma en ácido hiponítrico. Por la destilacion se separa el ácido sulfúrico del ácido nítrico en exceso.

El procedimiento industrial de la preparacion del ácido sulfúrico está fundado en las reacciones siguientes:

1.ª El deutóxido de nitrógeno NO^2 en contacto del aire se trasforma en ácido hiponítrico NO^4.

2.ª El ácido hiponítrico, bajo la influencia de la humedad, se convierte en ácido nítrico hidratado y en deutóxido de nitrógeno:

$$3NO^4 + 2HO = 2(NO^5,HO) + NO^2.$$

3.ª El ácido sulfuroso en presencia del ácido nítrico hidratado pasa al estado de ácido sulfúrico, y trasforma al ácido nítrico en ácido hiponítrico:

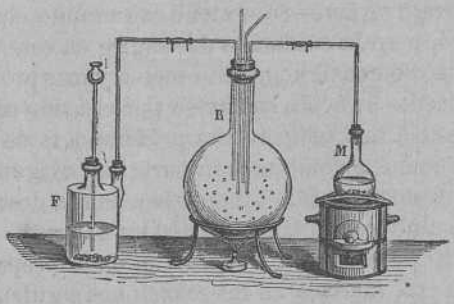
$$SO^2 + NO^5,HO = SO^3,HO + NO^4.$$

* Por medio del experimento siguiente se pueden hacer ver todas las reacciones que se suceden en la fabricacion del ácido sulfúrico por el método llamado *inglés*. En un gran recipiente de vidrio *R* (*fig.* 30) lleno de aire, se echa un poco de agua que se hace evaporar calentando ligeramente la parte inferior del recipiente por medio de una lamparilla de alcohol, á fin de mantener saturado de humedad el aire contenido con él. Cuando el aire se halle saturado de vapor acuoso, se hace llegar simultáneamente al interior del recipiente gas sulfuroso obtenido por la reaccion en caliente del ácido sulfúrico concentrado sobre el co-

bre contenido en un matraz *M*, y gas deutóxido de nitrógeno que se produce en el frasco de dos bocas *F* por la reaccion entre el cobre y el ácido nítrico diluido.

El deutóxido de nitrógeno, poniéndose en contacto con el oxígeno del aire del recipiente, se trasforma en ácido hiponítrico. Este ácido, bajo la influencia de la humedad, se convierte en ácido nítrico y en deutóxido de nitrógeno. El ácido nítrico formado actúa sobre el ácido sulfuroso, haciéndole pasar al estado de ácido sulfúrico, y pasando él mismo al de ácido hiponítrico, se descompone nuevamente por el contacto del agua en ácido nítrico y en deutóxido de nitrógeno. El deutóxido de nitrógeno nuevamente formado, volviéndose á encontrar en presencia del oxígeno del aire, se trasforma en ácido hiponítrico; y esta sucesion de reacciones se prolonga así indefinidamente, de tal manera, que mientras quede oxígeno en el recipiente, el mismo deutóxido de nitrógeno podrá hacer pasar una cantidad indefinida de ácido sulfuroso á ácido sulfúrico.

Fig. 30.



Si no se eleva la temperatura del agua del recipiente para que su vapor no pase de la débil tension que le corresponde á la temperatura ordinaria de la atmósfera, se forma un hidrato cristalizado que tiene por fórmula $NO^5,2SO^3$, resultante de la reaccion del ácido hiponítrico sobre el ácido sulfuroso. Este hidrato se deposita en cristales sobre las paredes del recipiente, cuyos cristales se descomponen en el contacto con el agua; pero si no existe la cantidad de agua necesaria para su descomposicion, se disuelven en el ácido sulfúrico, alterando la pureza de este ácido y reteniendo además una porcion de ácido nitroso que hubiera podido servir para trasformar en ácido sulfúrico una nueva cantidad de ácido sulfuroso.

Para la fabricacion en grande del ácido sulfúrico se reemplaza el recipiente de la experiencia precedente por cámaras de plomo, á las cuales se hace llegar contínuamente el ácido sulfuroso, el aire atmosférico, el vapor de agua y pequeñas cantidades de ácido nítrico. El gas sulfuroso es producido por la combustion del

azufre al aire libre, utilizándose el calor desprendido en esta combustion para evaporar el agua.

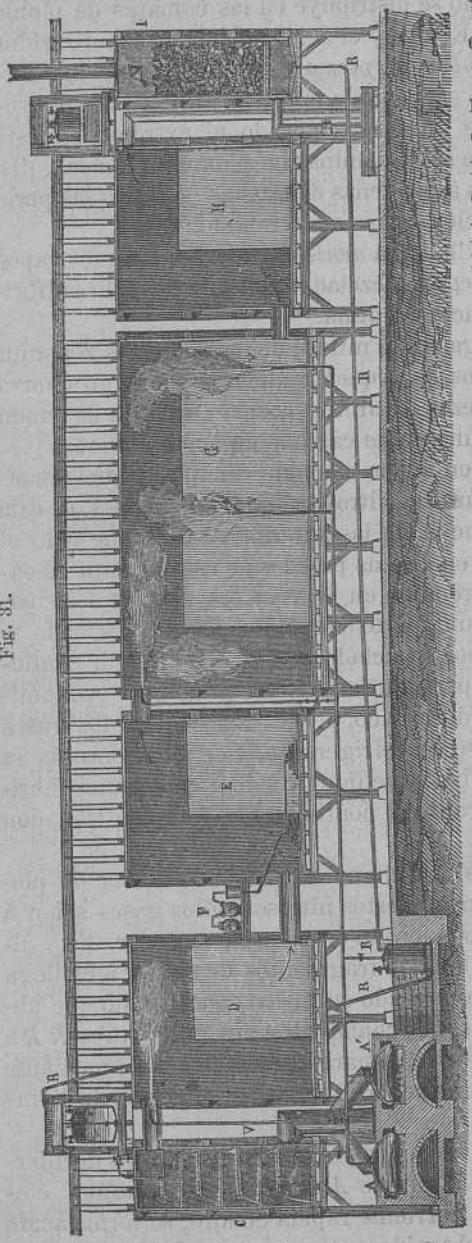


Fig. 31.

Si el oxígeno del aire no estuviera mezclado con el nitrógeno, una misma cantidad de ácido nítrico podria servir para la trasformacion indefinida del ácido sulfuroso en ácido sulfúrico; pero no sucede así en la fabricacion contínua de este ácido, porque es necesario que se establezca una corriente constante de aire para expulsar de las cámaras los resíduos de nitrógeno. Este gas, al salir, arrastra consigo los vapores nitrosos que se deben reemplazar con el ácido nítrico, para lo cual se hace caer un chorro contínuo de este ácido en unas cápsulas de porcelana dispuestas en forma de cascada y colocadas delante del tubo que conduce la mezcla de los vapores del agua, ácido sulfuroso y aire.

La *figura* 31 representa un corte general del aparato empleado en las artes para la fabricacion del ácido sulfúrico. *A A'* son dos hornos donde se quema el azufre sobre planchas de palastro. El calor desprendido en esta

combustion se utiliza para calentar el agua contenida en dos calderas, y el vapor formado se distribuye en las cámaras de plomo por los tubos *v v v*, etc. El aire y el ácido sulfuroso son dirigidos por tubos anchos al *tambor de plomo C*, al cual llega una corriente de ácido sulfúrico cargado de productos nitrosos, que proviene de otro tambor de plomo *I*, colocado al extremo opuesto del aparato. El ácido cae sobre láminas de plomo inclinadas, dispuestas unas sobre otras á pequeñas distancias, y fijas á las paredes del tambor en direccion opuesta alternando.

D, cámara de plomo llamada *denitrificador*, porque los vapores nitrosos que á ella llegan mezclados con aire y ácido sulfúrico, reaccionan en presencia del agua.

E, cámara donde llega ácido nítrico de los depósitos *F* por un tubo que se divide en dos de pequeña salida, cayendo en chorro continuado sobre dos piezas de arcilla cocida en forma de grada circular, para producir una doble cascada de ácido nítrico.

G, cámara espaciosa en la que efectúa principalmente la reaccion entre los gases sulfuroso, nitroso y oxígeno. El suelo de esta cámara está mas bajo que el de las anteriores, para que todo él ácido formado se recoja en él. Las paredes de esta cámara se calientan por el calor desprendido en la viva reaccion de los cuerpos que á ella llegan, y una parte del ácido sulfúrico formado se halla en el estado de vapor mezclado con gases que aun contienen productos nitrosos: para quitarle estos productos economizando así el gasto de ácido nítrico, desde esta cámara los gases pasan á otra *H*, que sirve de refrigerante, y en ella continúa la reaccion, condensándose bastante líquido ácido; en algunas fábricas colocan otro refrigerante á continuacion y los enfrian con agua.

Finalmente, los gases marchan á una caja ó tambor de plomo *I*, donde quedan los compuestos nitrosos, y los gases salen á la atmósfera por un tubo colocado en la parte superior. Este último departamento está lleno de fragmentos de cok, y á él llega una corriente continuada de ácido sulfúrico concentrado que absorbe los vapores nitrosos, marchando despues por el tubo *R R* á un vaso colocado debajo de la cámara *D*, desde el cual, mediante la tension del vapor, es trasladado á la parte superior del tambor *C*.

En algunos puntos se reemplaza el azufre por piritas de hierro, que calentadas en los hornillos *A A'* á una temperatura elevada, en presencia de una corriente rápida de aire, se forma ácido sulfuroso. Pero el ácido obtenido suele contener ácido arsénico,

porque las piritas casi siempre contienen arsénico que al tostarlas pasa á ácido arsenioso, y despues el ácido nítrico le trasforma en ácido arsénico.

La disolucion del ácido sulfúrico tal como sale de las cámaras de plomo, marca de 40° á 50° del areómetro de Beaumé (89 *Fís.*); contiene sales de plomo y estaño, ácido nítrico, bióxido de nitrógeno y ácido sulfuroso. Para dar á este ácido la *concentracion* de 66° del areómetro indicado, que es como se usa en las artes, se calienta en calderas de plomo hasta que marque 55°; al llegar á este grado de concentracion, se pasa á una retorta ó alambique de platino, y se procede á la destilacion, obteniéndose de este modo el ácido sulfúrico monohidratado. Por una nueva destilacion verificada en retortas de vidrio, dentro de las cuales se colocan unos hilos de platino enroscados en espiral para impedir los saltos repentinos del ácido, se le separa de las sales metálicas que contiene. El bióxido de nitrógeno y el ácido sulfuroso se desprenden, y el ácido nítrico se separa, echando una corta cantidad de sulfato de amoniaco en el ácido que se somete á la segunda destilacion, y el arsénico se le puede quitar destilando el ácido con el sulfuro de bario, que forma sulfato de barita y sulfuro de arsénico insolubles.

Acido sulfúrico de Nordhausen.—Este ácido, conocido tambien con los nombres de *ácido sulfúrico glacial* ó *fumante*, recibe el nombre que lleva del de una pequeña ciudad de Alemania, donde se hace de él un gran comercio.

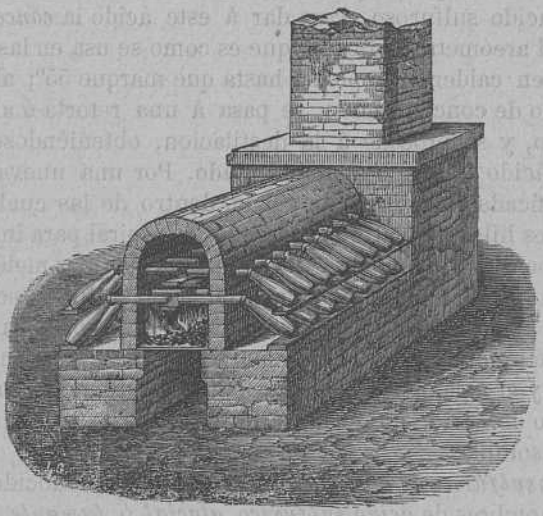
El ácido sulfúrico de Nordhausen es una disolucion del ácido sulfúrico anhidro en el ácido monohidratado; así es, que destilando este ácido á un temperatura poco elevada, se obtiene el ácido anhidro.

En Hartz, donde se fabrica principalmente el ácido sulfúrico fumante, se prepara por medio del sulfato de protóxido de hierro, *vitriolo verde* (FeO,SO^3+7HO), bien desecado, para lo cual se calienta el vitriolo sobre planchas de hierro en contacto del aire. Se le introduce despues en retortas de barro colocadas en un horno de galera (*fig.* 32), y en comunicacion con unos recipientes tambien de barro que se hallan en la parte interior del horno. El sulfato de hierro pierde 6 equivalentes de agua en la desecacion, y al principio de la calcinacion el protóxido de hierro se convierte en peróxido por la descomposicion de la mitad del ácido sulfúrico que contiene el sulfato ($2(FeO,SO^3)=Fe^2O^3,SO^3+SO^2$). Aumentando la temperatura, el subsulfato de peróxido de hierro se descompone, desprendiéndose el ácido sulfúrico con la corta canti-

dad de agua que aun conserva el sulfato, y queda en las retortas el peróxido de hierro (*colcotar*, Fe^2O^3).

Este ácido tiene la propiedad de disolver el índigo.

Fig. 32.



42. **Ácido sulfhídrico.**—Este cuerpo fué descubierto por Scheele el año 1777, y le dió el nombre de *aire fétido* por el mal olor que tiene.

Propiedades.—El ácido sulfhídrico es un gas incoloro: su olor y sabor son insoportables, análogos á los de los huevos podridos: su densidad es de 1,19: su facultad refringente es de 2,187. Si se comprime y enfria al mismo tiempo, se liquida.

Este gas apaga los cuerpos en combustion, y arde en contacto del aire con una llama azulada: es uno de los gases mas deletéreos, y su accion sobre la economía es muy violenta. El aire que contiene $\frac{1}{1500}$ de su volúmen, mata á un pájaro que le respire; un perro muere en un aire que contenga $\frac{1}{1000}$ de este gas, y un caballo muere en menos de un minuto en una atmósfera que contenga $\frac{1}{250}$. La asfixia que sufren los poceros que limpian las cloacas, es producida por este gas.

El aire y el oxígeno no tienen accion á la temperatura ordinaria sobre el ácido sufhídrico; pero el calor le descompone, formándose agua, y los ácidos sulfuroso y sulfúrico. El gas cloro descompone el ácido sulfhídrico instantáneamente á la temperatura ordinaria, y forma ácido clorhídrico, y el azufre se precipita ($HS+Cl=HCl+S$). Esta reaccion hace comprender fácilmente, que viciado el aire por el hidrógeno sulfurado, puede purificarse por el cloro. La mayor parte de los metales descomponen este gas, apoderándose de su azufre para formar sulfuros.

El agua disuelve 2, 3 á 5 veces su volúmen de hidrógeno sulfurado á la temperatura de 13°, y constituye entonces el llamado por la generalidad *ácido sulfhídrico líquido*, cuya disolucion es incolora y tiene las mismas propiedades que el ácido gaseoso. Este líquido se enturbia por el contacto del aire, porque el oxígeno quema al hidrógeno formando agua, y se precipita el azufre. El alcohol disuelve 5 ó 6 volúmenes de este gas.

Estado natural.—El ácido sulfhídrico se encuentra en algunas aguas minerales, las cuales se utilizan en medicina, y se las conoce con el nombre de *aguas sulfurosas*; se forma frecuentemente en la descomposicion de las materias que contienen azufre.

Preparacion.—Se obtiene en los laboratorios el ácido sulfhídrico por la reaccion del agua sobre los sulfuros metálicos bajo la influencia de un ácido. El sulfuro que ordinariamente se emplea es el sulfuro de hierro, haciendo uso del mismo aparato que para la extraccion del hidrógeno. La reaccion que tiene lugar es la siguiente:

$$FeS+HO+SO^3=FeO,SO^3+HS.$$

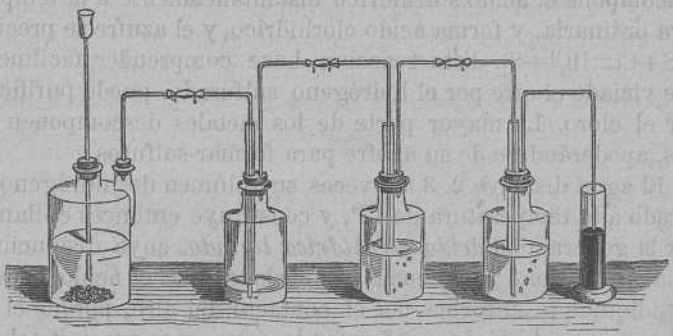
El sulfuro de hierro contiene frecuentemente pequeñas cantidades de hierro metálico, que en contacto del ácido sulfúrico diluido, descompone agua, desprendiéndose hidrógeno. Para obtener muy puro este gas, se emplea el sulfuro de bario, tratándole en frio por el ácido clorhídrico dilatado, ó por el sulfuro de antimonio en caliente, con el ácido clorhídrico concentrado.

La disolucion del gas en el agua se prepara con el aparato de Woolf (*fig.* 33), cuidando de poner en los frascos agua recientemente hervida y fria.

La disolucion del ácido sulfhídrico en el agua, ó el *agua hidrosulfurada*, nombre que tambien recibe esta disolucion, se emplea en los laboratorios para precipitar los metales de varias

disoluciones de sales metálicas en el estado de sulfuros. Estos sulfuros son en general insolubles y presentan colores característicos, por los que se conocen los metales á que pertenecen.

Fig. 33.



FÓSFORO.

ÁCIDO FOSFÓRICO.—FOSFUROS DE HIDRÓGENO.

43. **Fósforo.**—Los antiguos daban el nombre de *fósforo* á todos los cuerpos capaces de ser luminosos espontáneamente á la temperatura ordinaria; este nombre solo se da hoy á una sustancia que posee las propiedades de los cuerpos simples. El fósforo fué descubierto el año 1669 por Brand, alquimista de Hamburgo, que la extrajo casualmente de la orina. Kunkel, químico muy distinguido de Wittemberg, obtuvo el fósforo por el método de Brand dos años despues; pero la preparacion de este cuerpo permaneció en secreto hasta que, en 1737, un extranjero le preparó ante Hellot, Dufay, Geoffroy y Duhamel, comisarios nombrados por la Academia de Paris para estudiar su preparacion. En 1769, Gan descubrió el fósforo en los huesos, y publicó con Scheele el procedimiento que hoy se emplea en los laboratorios para obtenerle en grandes cantidades.

Propiedades.—El fósforo es sólido á la temperatura ordinaria, insípido, de un olor aliáceo: la uña le raya fácilmente, y cuando está puro es tan flexible como la cera á la temperatura ordinaria del verano, y quebradizo á la temperatura del hielo fundente. Basta que tenga una milésima parte de azufre para que se presente quebradizo, aun cuando la temperatura sea mayor de 20°.

Cuando está puro y recien preparado, es incoloro y trasluciente: expuesto á la accion de la luz cambia su color en amarillo claro, rojo amarillento, y aun en rojo subido, sucediendo lo mismo en el vacío. Este cambio de colores es debido á modificaciones moleculares, y no á una combinacion química (8). Calentado en una atmósfera á propósito hasta la temperatura de 70°, y enfriándole repentinamente, toma una tinta negra que desaparece por la fusion, produciéndose dichos cambios con gran rapidez hácia los 240°. Los caractéres que distinguen el fósforo rojo del fósforo ordinario, son los siguientes:

El fósforo ordinario es insoluble en el agua, poco soluble en el alcohol, mas soluble en el éter, en los aceites grasos y en los volátiles, siendo su mejor disolvente el sulfuro de carbono; y evaporando lentamente esta última disolucion en medio de una corriente de ácido carbónico, se obtiene el fósforo cristalizado en hermosos dodecaedros romboidales.

En contacto del aire y á la temperatura ordinaria, el fósforo esparce vapores blancos que son luminosos en la oscuridad, formados por la mezcla de ácido fosforoso y fosfórico, no sucediendo esto en el oxígeno puro si la temperatura es inferior á 20°. A la temperatura de 60° se combina rápidamente con el oxígeno, dando una llama muy viva, y se forma el ácido fosfórico.

El fósforo forma tres combinaciones con el oxígeno, y todas son ácidas. Estos compuestos son el *ácido fosfórico* (PhO^5), el *ácido fosforoso* (PhO^3) y el *ácido hipofosforoso* (PhO). El mas interesante de estos tres compuestos es el ácido fosfórico.

Estado natural.—El fósforo no existe puro en la naturaleza, pero se le encuentra en el estado de combinacion en los huesos de los animales, en la orina, en la leche y en un gran número de productos orgánicos animales y vegetales: en ciertos terrenos se le halla en estado de fosfato de cal, constituyendo el mineral conocido con el nombre de *fosforita*, el cual es muy abundante en España, en el pueblo de Logrosan (Extremadura).

Preparacion.—El fósforo se extrae de los huesos de los animales desprovistos de la materia orgánica por su combustion al aire libre. Los *huesos blancos* que quedan despues de la calcinacion, solo contienen la materia mineral (fosfato y carbonato de cal). Se pulverizan y bien tamizados se trata el polvo blanco que resulta, llamado *ceniza de huesos*, por el ácido sulfúrico y el agua, tomando 3 partes de ceniza, 2 de ácido sulfúrico y 17 de agua; removiendo toda la mezcla en una cápsula, se deja en tal estado durante veinticuatro horas.

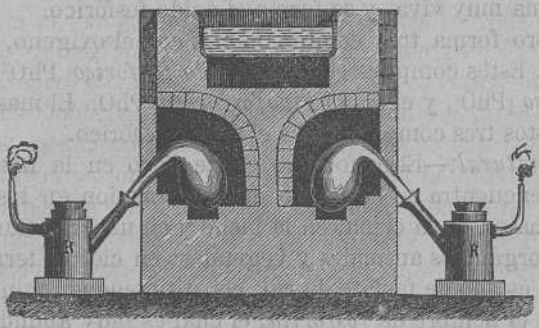
El ácido sulfúrico, actuando sobre el carbonato de cal, le descompone completamente, apoderándose de la cal, con la cual forma el sulfato de cal, desprendiéndose el ácido carbónico: al propio tiempo actúa sobre el fosfato básico de cal, le quita una parte de la cal y le hace pasar al estado de fosfato ácido de cal.

Composicion de los huesos.

$$(CaO,CO^2 + 8CaO,3PhO^5) + 7SO^3 = CO^2 + 7CaO,SO^3 + (2CaO,3PhO^5).$$

El fosfato de ácido de cal queda disuelto en el agua, y se le separa del sulfato de cal, que es muy poco soluble, filtrando la masa flúida que resulta por una tela de lienzo bien tupida. Se evapora el líquido filtrado en una caldera de cobre hasta que adquiera la consistencia de jarabe, añadiendo despues carbon finamente pulverizado, y cuando se halle seca la masa, se introduce en retortas de barro cubiertas exteriormente con un lodo arcilloso, las cuales se calientan en un horno de reverbero hasta el calor blanco. El cuello de cada retorta se hace comunicar con el de

Fig. 34.



un recipiente de cobre *R* (*fig.* 34), lleno de agua hasta la mitad y provisto de un tubo destinado á dar salida á los gases. Este recipiente debe hallarse constantemente á un temperatura poco mayor de 45°, para que el fósforo no pueda solidificarse obstruyendo el cuello de dicho recipiente.

Los productos de la combustion pasan por la bóveda del horno donde calientan el fosfato ácido, que despues se ha de mezclar con el carbon.

En esta operacion se desprenden los gases óxido de carbono,

ácido carbónico, hidrógeno carbonado y el hidrógeno fosforado, espontáneamente inflamable al aire:

$$2CaO,3PhO^5 + 7HO + 16C = (CaO)^2,PhO^5 + 5CO^2 + 7CO + C^4H^4 + PhH^3 + Ph.$$

El fósforo obtenido contiene carbon y óxido de fósforo: para purificarle se coloca en un pedazo de gamuza mojada, y se le envuelve formando una pequeña bolsa que se sumerge en agua caliente, donde se funde el fósforo; comprimiendo la gamuza debajo del agua por medio de unas pinzas, el fósforo pasa al través de los poros de la piel, quedando en la parte interior de la gamuza las materias que le impurifican.

Para dar al fósforo la forma cilíndrica bajo la cual se encuentra en el comercio, se introduce en el fósforo fundido debajo del agua la extremidad de un tubo de vidrio, y se hace una succion con la boca por la extremidad opuesta. El fósforo asciende por el tubo, precedido de una columnita de agua para precaver todo riesgo. Cuando el líquido que asciende por el tubo llega cerca de la boca, se tapa rápidamente con el dedo su extremo superior para impedir que la columna líquida vuelva á caer, y en seguida se le sumerge en agua fria, donde se solidifica el fósforo.

*El fósforo se usa en la química para analizar el aire atmosférico. Se emplea para la fabricacion de las cerillas fosfóricas, que no son otra cosa que pedacitos de cerilla, de madera ó de carton preparado, que llevan en una de sus extremidades una pasta combustible que se inflama por la frotacion contra un cuerpo duro. Esta pasta se forma fundiendo el fósforo en cantidad conveniente de agua á 50°, se le incorpora un peso determinado de clorato y nitrato de potasa, y despues se añade un poco de *minio* (óxido de plomo), que además de darla un color rojizo, favorece la combustion por ceder fácilmente su oxígeno, ó se emplea el *azul de Prusia* si la pasta se quiere de color azul; y por último, un mucílago de goma. Se bate todo bien hasta obtener una pasta homogénea, en la cual se mojan las cerillas, secándolas despues al aire libre.

44. **Ácido fosfórico.**—El ácido fosfórico fué descubierto por Margraff; existe bajo dos estados diferentes: 1.°, puro ó *anhidro*; 2.°, combinado con el agua ó *hidratado*.

El *ácido fosfórico anhidro* es sólido, blanco, inodoro, de un sabor muy ácido: se presenta generalmente en copos filamentosos de una densidad mayor que la del agua: se funde y vaporiza á una temperatura muy elevada: echándole en el agua, produce

un ruido semejante al que forma un clavo enrojecido que se sumergiera en este líquido: su afinidad con el agua es tan grande, que calentado con el ácido sulfúrico ordinario, deshidrata este cuerpo, produciendo el ácido sulfúrico anhidro. El carbon descompone este ácido; bajo la influencia del calor se forma óxido de carbono y ácido carbónico, y el fósforo queda libre.

Preparacion.—Anteriormente se ha dicho que el fósforo, ardiendo en el aire ó en el oxígeno, produce el ácido fosfórico, que se desprende bajo la forma de un humo blanco muy espeso: si la combustion del fósforo se verifica bajo una campana grande de vidrio bien seca y colocada sobre una fuente de porcelana, aquel humo se condensa y precipita en forma de copos blancos sobre las paredes de las campanas y la fuente que la sostiene. Este cuerpo blanco es el ácido fosfórico anhidro, que se recoge con una espátula de platino y se guarda en un frasco bien seco que tenga la boca y el tapon esmerilados.

El *ácido fosfórico hidratado* no contiene siempre la misma cantidad de agua. Se distinguen tres hidratos diferentes, que se les denomina por la cantidad de agua que contienen:

Acido fosfórico monohidratado	PhO^5HO.
Acido fosfórico bihidratado	$PhO^5 2HO$.
Acido fosfórico trihidratado	$PhO^5 3HO$.

El ácido fosfórico monohidratado es sólido, incristalizable y de aspecto vítreo: precipita en blanco el nitrato de plata y coagula la albúmina.

El ácido fosfórico bihidratado es de aspecto vítreo y cristalizable: precipita en blanco el nitrato de plata, pero no coagula la albúmina.

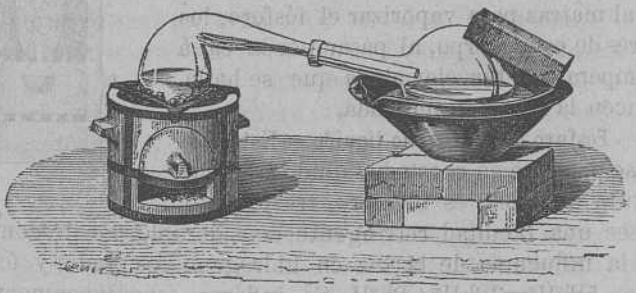
El ácido fosfórico trihidratado es el ácido fosfórico ordinario: se diferencia de los dos anteriores en que no precipita el nitrato de plata ni la albúmina. Este ácido cristaliza fácilmente en prismas romboidales, incoloros, inodoros, de un sabor muy ácido, y enrojece la tintura de tornasol. Sometido á la accion de un fuerte calor, pierde 2 equivalentes de agua, y se trasforma en una materia trasparente, semi-flúida, que por el enfriamiento adquiere el aspecto de una masa vítrea. El ácido fosfórico trihidratado es muy soluble en el agua: este líquido puede absorber de 4 á 5 veces su peso del ácido, y á esta disolucion se le da el nombre de *ácido fosfórico líquido*. Este ácido es descompuesto por el carbon bajo la accion del calor como el ácido anhidro, formándose óxido

de carbono, ácido carbónico, hidrógeno fosforado é hidrógeno carbonado, quedando fósforo libre.

Las tres variedades de ácido fosfórico descritas, se combinan con tantos equivalentes de base como equivalentes de agua contiene cada uno de ellos, para formar las sales denominadas fosfatos monobásicos, bibásicos y tribásicos.

Preparacion.—Se prepara el ácido fosfórico ordinario ó trihidratado calentando una mezcla de fósforo y de ácido nítrico. Se introduce en una retorta de vidrio 1 parte de fósforo y 13 de ácido nítrico dilatado en agua que marque 20° en el areómetro de Beaumé. La retorta (*fig.* 35) se coloca sobre un hornillo, y el

Fig. 35.



cuello se hace entrar en un recipiente que se mantiene á baja temperatura por un chorro contínuo de agua fria, ó sumergido en el agua como se ve en el dibujo. El fósforo desaparece muy pronto, desprendiéndose abundantes vapores rojos que se condensan en el recipiente. Cuando la mayor parte del líquido ha pasado al recipiente, se suspende la operacion y se vuelve á la retorta el líquido destilado: á esta operacion se llama *cohobar el líquido destilado.* Se principia nuevamente la destilacion, y se continúa hasta que el líquido de la retorta adquiera una consistencia como de jarabe, en cuyo estado se pasa á un crisol de platino y se termina en él la concentracion.

45. **Fosfuros de hidrógeno.**—Combinándose el fósforo con el hidrógeno, forma tres fosfuros.

El fosfuro sólido..... Ph^2H.
El fosfuro líquido..... PhH^2.
El fosfuro gaseoso ó *hidrógeno fosforado*..... PhH^3.

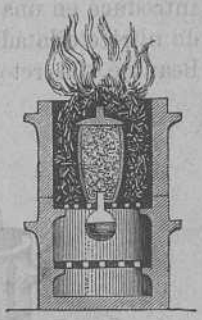
Estos tres fosfuros pueden obtenerse tratando por el agua el *fosfuro de calcio*, cuyo cuerpo se prepara haciendo pasar los va-

pores del fósforo por la cal calentada hasta el rojo. En la reaccion se forma fosfato de cal y fosfuro de calcio, segun se indica en la fórmula siguiente:

$$7Ph + 14CaO = 2(2CaO,PhO^5) + 5(Ca^2Ph).$$

La preparacion del fosfuro de calcio se hace en el aparato representado en la *figura* 36. El fondo del crisol está taladrado, por cuyo taladro entra el cuello de un pequeño matraz que contiene fósforo. El crisol se llena de bolitas de hidrato de cal, y se coloca sobre la rejilla de un hornillo, donde se le calienta hasta el rojo vivo; aproximando despues algunas ascuas al matraz para vaporizar el fósforo, los vapores de este cuerpo, al pasar por la cal á la temperatura tan elevada á que se halla, producen la reaccion indicada.

Fig. 36.



46. **Fosfuro de hidrógeno líquido.**—Este fosfuro se presenta en el estado líquido á la temperatura de —10°: es incoloro, trasparente, y posee una facultad refringente considerable. Se descompone bajo la influencia de la luz en hidrógeno fosforado y fosfuro sólido, $5PhH^2 = 3PhH^3 + Ph^2H$. Se inflama espontáneamente en contacto del aire, y arde con una llama blanca muy intensa, esparciendo espesos humos. Un gramo de este cuerpo comunica la inflamabilidad espontánea á 500 gramos de hidrógeno fosforado no espontáneamente inflamable. Mezclando una pequeña cantidad del vapor de este cuerpo con gases combustibles, como el hidrógeno, carburos de hidrógeno, óxido de carbono, los hace espontáneamente inflamables en contacto del oxígeno del aire.

El fosfuro de hidrógeno líquido se produce cuando reacciona el agua sobre el fosfuro de calcio:

$$Ca^2Ph + 2HO = 2CaO + PhH^3.$$

Se debe operar en la oscuridad.

47. **Hidrógeno fosforado.**—El fosfuro de hidrógeno gaseoso es incoloro, de un sabor amargo y de un olor característico, algo parecido al de los ajos: su densidad es 1,214. Este gas, cuando está puro, no es espontáneamente inflamable al aire á la temperatura ordinaria; pero si se le aproxima un cuerpo en combustion ó se eleva su temperatura hasta 100°, se inflama inmediatamente, formándose en esta combustion agua y ácido fosfórico

($PhH^3+O^8=PhO^5+3HO$). Mezclado con cuerpos oxidantes, como el bióxido de nitrógeno, adquiere la inflamabilidad espontánea, siendo esto debido á que el oxígeno del bióxido de nitrógeno descompone una pequeña cantidad del gas, apoderándose de una porcion de hidrógeno, haciéndole pasar al estado de fosfuro líquido, que queda bajo la forma de vapor en el hidrógeno fosforado no descompuesto.

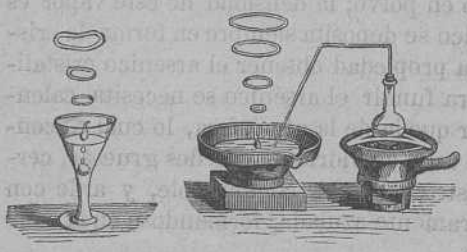
Del gas hidrógeno fosforado espontáneamente inflamable al aire, cuya propiedad hemos visto es debida á la presencia de una pequeña cantidad de vapores del fosfuro líquido, se puede obtener este fosfuro, haciendo pasar el gas por un tubo en forma de *U* sumergido en una mezcla frigorífica: en el tubo se condensan á la vez el agua que se solidifica, y el fosfuro de hidrógeno líquido, que se le hace pasar á la parte del tubo donde no se ha congelado el agua, para obtenerle separado de este líquido, y en seguida se cierra el tubo á la lámpara. El gas hidrógeno fosforado que sale del tubo no posee ya la propiedad de inflamarse al ponerse en contacto del aire.

Estado natural.—El hidrógeno fosforado se forma en los sitios donde se hallan enterradas materias animales fosforadas, y atravesando este gas las hendiduras del terreno, se pone en contacto del aire y se inflama, por acompañarle una pequeña cantidad de vapor del fosfuro líquido: á las llamas que produce se les ha dado el nombre de *fuegos fátuos*.

Preparacion.—El fosfuro de hidrógeno gaseoso se obtiene en su mayor grado de pureza tratando el fosfuro de calcio por el ácido clorhídrico concentrado, lavando el gas por dicho ácido y por una disolucion de potasa. En este estado es completamente absorbido por la disolucion del sulfato de cobre.

El hidrógeno espontáneamente inflamable al aire se produce echando en el agua el fosfuro de calcio. En cuanto este cuerpo se pone en contacto del agua, principia la reaccion y se desprenden burbujas de gas que se inflaman en el aire, produciendo una corona de vapores blancos que se ensancha á medida que se eleva en la atmósfera (*fig.* 37). Ordinariamente se prepara este gas introduciendo en un matracito (*fig.* 38) pe-

Fig. 37. Fig. 38.



queños pedazos de fósforo, que se cubren con cal recien hidratada, exponiendo despues el matraz á la accion del calor. La cal debe llenar casi todo el matraz, para evitar la explosion que en él pudiera tener lugar si el gas inflamable se pusiera en contacto con el aire; y por lo mismo conviene que se sumerja la extremidad del tubo abductor en el agua hasta que principie á salir el gas por dicho tubo.

El hidrógeno fosforado se forma en este experimento por la accion del fósforo sobre el agua bajo la influencia de la cal. El agua se descompone, su oxígeno se une á una parte del fósforo y forma ácido hipofosforoso, que se combina con la cal, dando orígen al hipofosfito de cal, y una parte del hidrógeno del agua descompuesta se une á cierta cantidad de fósforo y forma hidrógeno fosforado espontáneamente inflamable, y otra parte de hidrógeno queda libre.

ARSÉNICO.

ÁCIDOS ARSENIOSO Y ARSÉNICO.—HIDRÓGENO ARSENICAL.

48. **Arsénico.**—Algunos compuestos de arsénico son conocidos desde muy antiguo. Teofrasto, que vivió 300 años antes de la Era Cristiana, es el primero que hace mencion en sus escritos de los compuestos naturales de este cuerpo. Dioscórides usó ya de la palabra *arsenicum* para designar el ácido arsenioso, llamado comunmente *arsénico blanco*, y Paracelso sabia que se podia extraer un cuerpo de aspecto metálico del arsénico blanco.

Propiedades.—El arsénico es de un color gris de hierro, muy quebradizo; tiene brillo metálico, y su densidad es 5,8 próximamente: calentándole hasta el rojo sombra, se sublima inmediatamente sin fundirse, esparciendo un vapor incoloro, de un olor parecido al de los ajos, el cual se produce echando sobre las ascuas un poco de arsénico en polvo; la densidad de este vapor es 10,37. El vapor del arsénico se deposita siempre en forma de cristales, siendo fácil por esta propiedad obtener el arsénico cristalizado por sublimacion. Para fundir el arsénico se necesita calentarle á una presion mayor que la de la atmósfera, lo cual se consigue calentándole en un tubo de vidrio de paredes gruesas, cerrado herméticamente. Este cuerpo es combustible, y arde con una débil luz blanca ligeramente azulada, formándose en la combustion el *ácido arsenioso*.

El arsénico en contacto del aire se oxida aun á la temperatura

ordinaria, y la superficie pierde su brillo metálico, cubriéndose de un polvo negro: si en este estado se le sumerge en el agua clorurada y se le deja por algunas horas, se le devuelve el brillo perdido. Se combina con el oxígeno en dos proporciones, formándose el *ácido arsenioso* (AsO^3) y el *ácido arsénico* (AsO^5): con el hidrógeno forma otros dos compuestos, el primero gaseoso, *gas hidrógeno arsenical* (AsH^3), y el otro sólido, *arseniuro de hidrógeno*, cuya composicion no es aun conocida: uniéndose al azufre forma tres sulfuros perfectamente definidos.

Las propiedades físicas del arsénico nos demuestran que este cuerpo es muy parecido á los metales, pero sus combinaciones tienen gran analogía con las de los metalóides y especialmente con las correspondientes del fósforo.

Estado natural y extraccion.—En ciertos terrenos se encuentra el arsénico en el estado nativo, unido al azufre y al hierro, formando el arsenio-sulfuro de hierro, llamado por los mineralogistas *mispickel*, de cuyo mineral se le obtiene sometiéndole, mezclado con pedazos de hierro, á una temperatura elevada en cilindros de hierro.

Los sulfuros de arsénico (el *rejalgar*, de color amarillo, y el *oropimente*, de color rojo) y algunos otros compuestos se usan en la pintura. El arsénico y todos sus compuestos son venenosos.

49. **Acido arsenioso.**—El ácido arsenioso generalmente se presenta en masas de color blanco, opacas y de un aspecto parecido al de la porcelana. Calentado al rojo oscuro, se ablanda y se volatiliza en forma de vapor blanco, sin olor determinado: la densidad de este vapor es 13,85.

Destilando lentamente el ácido arsenioso, se sublima en forma de octaedros regulares, y despues de la sublimacion el ácido arsenioso aparece en pedazos vítreos y trasparentes, los cuales á poco tiempo se vuelven opacos y blancos, cuya alteracion se efectúa sucesivamente desde la superficie al centro de los fragmentos. El ácido arsenioso tambien se puede obtener cristalizado en prismas romboidales, y por lo tanto es un cuerpo dimorfo.

El ácido opaco, conocido con el nombre de *ácido porcelánico*, y el ácido *vítreo*, son dos estados isoméricos de la misma sustancia: la densidad del ácido vítreo es 3,738, y la del opaco es 3,699; el ácido vítreo es mas soluble en el agua que el ácido opaco, y este se trasforma en ácido vítreo por una ebullicion prolongada.

Preparacion.—El ácido arsenioso se forma siempre que se calienta el arsénico en medio de una corriente de aire atmosférico ó de oxígeno. Se obtiene cuando se tuestan ciertos arsenio-sul-

furos metálicos naturales, como los de hierro, níquel y cobalto con el objeto de obtener estos metales.

50. **Acido arsénico.**—Este ácido le descubrió Scheele el año 1755; es blanco, inodoro y soluble en el agua; su sabor es muy ácido, y enrojece fuertemente el tornasol. Calentado hasta el rojo sombra, se descompone en ácido arsenioso que se sublima, y en oxígeno que se desprende.

El ácido arsénico se obtiene haciendo hervir el ácido arsenioso en un exceso de agua régia, evaporando despues hasta la sequedad para que se desprendan los ácidos clorhídrico y nítrico. El resíduo desecado se disuelve en agua, y evaporando la disolucion, se depositan gruesos cristales de ácido arsénico bastante delicuescente. Combinándose el ácido arsénico con las bases, forma sales cristalizadas del mismo modo que las formadas por el ácido fosfórico con las mismas bases. Mitscherlid fué el primero que observó que los ácidos fosfórico y arsénico, saturados con las mismas bases, forman sales isomorfas, sirviéndose de estos dos ácidos para las importantes observaciones que sobre el isomorfismo hizo este célebre químico.

En efecto, los fosfatos y arseniatos, así como los fosfitos y arsenitos, pueden reemplazarse mútuamente en todas proporciones en ciertos compuestos, sin alterar las formas ni las propiedades.

51. **Hidrógeno arsenical.** — Este cuerpo fué descubierto por Scheele, y estudiado por Proust, Tromsdorf y otros químicos: es un gas incoloro, de un olor nauseabundo particular: su densidad es 2,69; á —30° se liquida bajo la presion ordinaria: es poco soluble en el agua, y abandonado en un frasco sobre la cuba de agua por espacio de algunos dias, se descompone y se forma sobre las paredes del frasco un depósito pardo, que es el arseniuro de hidrógeno sólido. Poniendo el hidrógeno arsenical en contacto de un cuerpo en combustion, se inflama al aire y arde con una llama blanquecina característica, formándose agua y ácido arsénico, y se precipita al propio tiempo sobre las paredes de la campana donde aquella se verifica un polvo pardo de arseniuro de hidrógeno sólido, debido á la combustion incompleta de una parte del hidrógeno arsenical. Basta el calor de una lámpara de alcohol para descomponer este gas: así, cuando se le hace pasar por un tubo calentado hasta el rojo, el hidrógeno queda libre y el arsénico se deposita cerca de la parte caliente del tubo, formando un anillo brillante. El cloro descompone instantáneamente el gas hidrógeno arsenical con desprendimiento de calor y luz, produciéndo-

dose ácido clorhídrico y cloruro de arsénico. El iodo, el azufre y el fósforo tambien le descomponen.

Se prepara el hidrógeno arsenical introduciendo en un matraz pequeño arseniuro de estaño pulverizado, vertiendo sobre el arseniuro ácido clorhídrico por un tubo en forma de *S*, que se coloca al lado del tubo abductor (*fig.* 8, pág. 28): el desprendimiento principia á la temperatura ordinaria, pero se activa por medio de la llama de una lámpara de alcohol ó por algunas ascuas.

El hidrógeno arsenical es muy venenoso, y algunos químicos han experimentado graves accidentes al prepararle.

CLORO.

ÁCIDO CLORHÍDRICO.

52. **Cloro.**—Scheele descubrió este cuerpo el año 1774, y le llamó *ácido muriático deflogisticado*. En el cambio de nomenclatura, Lavoisier le dió el nombre de *ácido muriático oxigenado*, y Kirvan le denominó *gas oximuriático*, porque le consideró como el resultado de la combinacion del ácido muriático con el oxígeno. El año 1811, Gay-Lussac, Thenard y Davy probaron que este cuerpo es un elemento, al cual dió Davy el nombre de *clorina*, que en griego significa *verde claro*, para recordar una de las propiedades físicas que mas le distinguen. Ampere le dió despues el nombre de *cloro*, que es el definitivamente adoptado.

Propiedades.—El cloro á la temperatura y presion ordinarias se presenta en el estado gaseoso de un color amarillo verdoso: su olor es fuerte y desagradable, y su sabor astringente picante. La densidad de este gas es de 2,44, y su facultad refringente 2,62. Sometiendo el gas cloro á una presion de 5 atmósferas, se liquida, formando un líquido amarillo verdoso de una densidad de 1,33: no se le ha podido solidificar, ni aun por los mayores enfriamientos que se han producido.

Para preparar el cloro líquido se emplean los cristales laminares de hidrato de cloro, que se forman cuando se expone la disolucion acuosa de cloro á la temperatura de 2 á 3°, cuyos cristales están compuestos próximamente de 72 partes de agua y 28 de cloro. Se colocan estos cristales bien secos en el tubo de Faraday (*fig.* 39), y sumergiendo en el baño de agua á la temperatura de 35° la extremidad del tubo en la cual se hallan contenidos los cristales, se consigue liquidar el cloro en el otro extremo, que debe hallarse en una mezcla frigorífica.

El cloro apaga los cuerpos en combustion; una bujía encendida, sumergida en este gas, se apaga, pero la llama se pone rojiza antes de desaparecer. Este cuerpo tiene poca afinidad con el oxígeno; solo se combinan estos dos gases cuando uno de ellos se halla en el estado naciente y forman muchos compuestos, de los cuales dos de ellos son bien definidos, todos ácidos y poco estables, y son: el *ácido hipocloroso* (ClO), el *ácido cloroso* (ClO^2), el *ácido hipoclórico* (ClO^4), el *ácido clórico* (ClO^5) y el *ácido perclórico* (ClO^7).

Fig. 39.

El cloro se une al azufre y al nitrógeno, no siendo de grande interés los compuestos que resultan. Se une tambien al hidrógeno y da lugar á los fenómenos siguientes:

1.° Si se llena un frasco de una mezcla hecha con volúmenes iguales de dichos dos gases, y se coloca en la oscuridad, los gases permanecen mezclados sin experimentar la menor alteracion. Si, por el contrario, se expone la mezcla á la luz difusa á la temperatura ordinaria, los gases se combinan poco á poco, y se produce el *gas ácido clorhídrico* (HCl), permaneciendo el mismo volúmen.

2.° Cuando se sumerge un cuerpo en combustion en la mezcla, la combinacion es instantánea. La combinacion tambien se verifica á 100°.

3.° En fin, si se expone la mezcla á los rayos directos del sol, la combinacion es instantánea y con explosion; la luz obra como el calor, actuando del mismo modo la electricidad: en todos los casos se forma ácido clorhídrico.

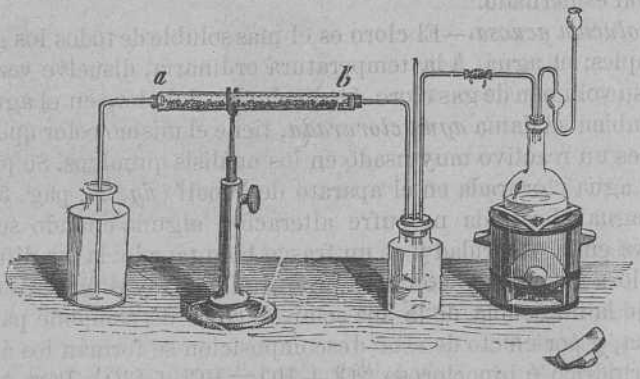
El cloro se combina directamente con la mayor parte de los metales y con algunos metalóides: el arsenio, antimonio, potasio, etc., se encienden cuando, reducidos á polvo, se les echa en un frasco de gas cloro. Un hilo de cobre calentado por una de sus extremidades, se inflama al sumergirle en un frasco lleno de cloro.

Estado natural. — El cloro no existe puro en la naturaleza, pero se halla muy abundante en el estado de combinacion con el sodio, formando el *cloruro de sodio* ó *sal comun*, que se en-

cuentra en grandes masas en ciertos terrenos, y en cantidades considerables disuelta en las aguas del mar.

Preparacion.—Se obtiene el cloro poniendo en un matraz de vidrio (*fig.* 40) una mezcla formada de 1 parte de peróxido de manganeso pulverizado y 4 de cloruro de sodio: se echan despues por el tubo en *S*, 2 partes de ácido sulfúrico del comercio diluido en

Fig. 40.



su peso de agua, y se coloca el matraz sobre un hornillo á fuego lento. En cuanto el ácido sulfúrico hidratado se halla en contacto del cloruro de sodio, reacciona sobre este cuerpo, originándose sulfato de sosa y ácido clorhídrico; este ácido obra sobre el peróxido de manganeso y produce agua, cloruro de manganeso, y cloro libre. El ácido sulfúrico en exceso, con la intervencion del agua, obra sobre el cloruro de manganeso como antes lo hizo sobre el cloruro de sodio, y se forma sulfato de protóxido de manganeso, ácido clorhídrico y cloro, que se desprende: el ácido clorhídrico nuevamente formado reacciona sobre otra cantidad de peróxido de manganeso, y así continúa hasta que se termina la operacion: de suerte que los productos definitivos de la reaccion son sulfatos de sosa y de manganeso que quedan en el matraz, y todo el cloro del cloruro de sodio que se desprende bajo la forma gaseosa.

La reaccion final estará representada por la ecuacion siguiente:

$$NaCl + MnO^2 + 2SO^3 = NaO,SO^3 + MnO,SO^3 + Cl.$$

El cloro no puede recogerse sobre el mercurio, porque se combina inmediatamente con este metal á la temperatura ordinaria. Se le recoge sobre el agua saturada de sal comun, que disuelve una cantidad menor de este cuerpo que el agua pura.

Se puede obtener el cloro seco haciendo pasar este gas despues

de bien lavado por un tubo *a b* lleno de cloruro de calcio, ó por un tubo en forma de *U* lleno de piedra pomez impregnado de ácido sulfúrico concentrado, y se le recoge en un frasco bien desecado. El cloro, siendo mas denso que el aire, ocupa la parte inferior del frasco y le va llenando poco á poco: lleno el frasco de gas, se saca con lentitud el tubo y se tapa inmediatamente el frasco con un tapon esmerilado.

Disolucion acuosa.—El cloro es el mas soluble de todos los gases simples: el agua, á la temperatura ordinaria, disuelve vez y media su volúmen de gas cloro. La disolucion del cloro en el agua, que tambien se llama *agua clorurada*, tiene el mismo color que el gas, y es un reactivo muy usado en los análisis químicos. Se prepara el agua clorurada en el aparato de Woolf (*fig.* 25, pág. 54).

El agua clorurada no sufre alteracion alguna cuando se la conserva en la oscuridad y en un frasco bien tapado: la luz difusa la decolora un poco, y con mas prontitud los rayos directos del sol: bajo la influencia de la luz solar, el cloro descompone parte del agua, y por efecto de esta descomposicion se forman los ácidos clorhídrico é hipocloroso ($2Cl + HO = HCl + ClO$). Para evitar esta descomposicion, se recomienda conservar la disolucion acuosa de cloro en frascos de color violado, ó cubiertos con papel negro.

El agua clorurada en muchos casos obra como un oxidante enérgico; por ejemplo, trasforma inmediatamente el ácido sulfuroso en ácido sulfúrico ($SO^2 + Cl + HO = HCl + SO^3$).

Propiedad decolorante.—El cloro destruye los colores de orígen vegetal, y por esta propiedad se emplea para blanquear las telas de hilo y algodon. Las materias colorantes de orígen orgánico vegetal y animal están compuestas de oxígeno, hidrógeno, carbono, y algunas veces de nitrógeno: el cloro las descompone, apoderándose de su hidrógeno para formar ácido clorhídrico; la materia colorante se presenta blanca en virtud de esta descomposicion. Por una reaccion semejante, el agua clorurada decolora la tinta comun de escribir, que no es mas que un galato de sesquióxido de hierro; el ácido agálico es de orígen vegetal, y es destruido, pues que pierde su hidrógeno. Para quitar una mancha de tinta comun, ó dejar enteramente blanco un papel escrito, se lava con el agua clorurada, ó se expone directamente á la accion del gas cloro, y despues de desaparecer la mancha ó todo lo escrito, se debe lavar repetidas veces la parte mojada con ácido clorhídrico dilatado en agua, que disuelve todo el sesquióxido de hierro. El cloro no ataca la tinta de imprenta ni á la de china, porque el

principio colorante de ellas, que es el carbono, no se combina directamente con el cloro.

El cloro se emplea tambien para la desinfeccion de los hospitales, salas de diseccion, y de todos los sitios donde se desprenden miasmas pútridos de las materias orgánicas en descomposicion: estos miasmas se hallan en el aire en cantidades tan pequeñas, que el análisis químico no ha podido descubrir. Este gas sirve igualmente para combatir las asfixias causadas por el ácido sulfhídrico.

El cloro obra como un veneno sobre la economía animal; respirado en corta cantidad, excita la tos y ocasiona una opresion de pecho que dificulta la respiracion, y cuando se está mucho tiempo expuesto á su accion, produce esputos sanguinolentos, y aun á veces la muerte.

53. **Acido clorhídrico.**—A este ácido se llama en el comercio *ácido muriático*, nombre que le dió Priestley, primer químico que le recogió sobre el mercurio en el estado gaseoso.

El ácido clorhídrico se desprende en los volcanes y se le encuentra en algunas aguas termales de la América meridional.

Propiedades.—El gas ácido clorhídrico es incoloro, de un olor muy fuerte y excesivamente picante: se liquida á la temperatura de 10° bajo una presion de 40 atmósferas: esparce vapores blancos en el aire, por combinarse con la cantidad de agua en vapor que siempre contiene la atmósfera: su peso específico es 1,24, y su facultad refringente 1,527. El ácido clorhídrico es muy soluble en el agua: este líquido disuelve mas de 500 veces su volúmen á la temperatura de 0°: la solubilidad del gas ácido se disminuye si se aumenta la temperatura; así es que á 20° el agua disuelve solamente 460 veces su volúmen. A la disolucion de este gas en el agua se llama *ácido clorhídrico líquido*, y se prepara en el aparato de Woolf. Esta disolucion concentrada en frio tiene una densidad de 1,21, y da humos abundantes en el aire.

El ácido clorhídrico gaseoso apaga los cuerpos en combustion, enrojece la tintura de tornasol, destruye las materias orgánicas y las ennegrece: se descompone por una série de chispas eléctricas. La mayor parte de los metales le descomponen en frio: no ejerce accion sobre el oxígeno ni sobre la mayor parte de los cuerpos simples metalóides: reacciona sobre los óxidos, produciendo agua y cloruros. Se emplea frecuentemente este ácido en los análisis químicos y para la preparacion del *agua régia* (1).

(1) Los alquimistas dieron el nombre de *agua régia* á una mezcla de ácido clorhídrico

Preparacion.—El ácido clorhídrico se prepara tratando la sal marina ó cloruro de sodio por el ácido sulfúrico concentrado. El agua combinada con el ácido sulfúrico se descompone; su hidrógeno se une al cloro, y su oxígeno forma con el metal un óxido que se une al ácido sulfúrico:

$$NaCl + SO^3 + HO,NaO,SO^3 + HCl.$$

El ácido clorhídrico formado es gaseoso, y se le recoje sobre el mercurio en una campana bien seca.

En las artes se obtiene la disolucion del ácido clorhídrico haciendo reaccionar el ácido sulfúrico del comercio sobre la sal marina en grandes cilindros de hierro colado dispuestos horizontalmente en un horno (*fig.* 22, pág. 50), en los cuales se produce el gas, que pasa á unos bombones de barro llenos de agua hasta la mitad.

El ácido clorhídrico del comercio no se encuentra puro; se halla ordinariamente teñido de amarillo por el cloruro de hierro, y contiene además un poco de ácido sulfúrico, ligeras porciones de ácido sulfuroso y de cloruro de arsénico, si el ácido sulfúrico tenia ácido arsénico. Se le purifica fácilmente haciendo pasar por la disolucion algunas burbujas de cloro, que bajo la influencia del agua trasforman el ácido sulfuroso en sulfúrico, añadiendo despues cloruro de bario, que forma el sulfato de barita, y se destila en seguida el ácido hasta recoger las nueve décimas partes del producto. De este modo se obtiene el ácido clorhídrico incoloro y perfectamente puro.

BROMO.—IODO.—FLUOR.

ÁCIDO FLUORHÍDRICO.

54. **Bromo.**—Este cuerpo fué descubierto en 1826 por Balar en las aguas madres de las salinas de las costas del Mediterráneo, en donde existe en gran cantidad en el estado de bromuro de magnesio, y le dió el nombre de *bromo*, que en griego significa *fetidez*, á causa del olor fuerte y desagradable que despide.

Propiedades.—El bromo es líquido á la temperatura ordinaria: de color rojo oscuro cuando se mira por reflexion, y de un amarillo rojizo visto por refraccion, si la capa líquida es muy delgada: su peso específico es 2,97: se solidifica á —20°, formando una masa cristalina y de un color agrisado. Entra en ebullicion á 47°, y la densidad de su vapor es de 5,39. Si se echa una gota de bro-

y de ácido nítrico, por la propiedad que tienen de disolver el oro, que aquellos consideraban como el *rey de los metales*.

mo en un frasco, se volatiliza en el instante de caer y llena el frasco de vapores de un rojo pardo.

El bromo se combina con el agua á la temperatura de 0°, y forma un hidrato cristalizado de color rojo pardo, mas estable que el hidrato correspondiente de cloro, pues el calor no le destruye hasta los 15 ó 20°. Este cuerpo presenta en todas sus combinaciones una analogía grande con el cloro, si bien sus afinidades son menos enérgicas, pues el bromo es desalojado de sus combinaciones por el cloro; así, combinándose con el oxígeno, forma el *ácido brómico* (BrO^5) y el *ácido perbrómico* (BrO^7); con el hidrógeno forma el *ácido bromhídrico* (HBr).

Preparacion.—El bromo se extrae del bromuro de potasio ó de sodio por el mismo procedimiento de que nos hemos servido para obtener el cloro del cloruro de sodio, calentando en una retorta una mezcla de bromuro de potasio, peróxido de manganeso y ácido sulfúrico diluido en su peso de agua:

$$KBr + MnO^2 + 2SO^3,HO = MnO,SO^3 + KO,SO^3 + 2HO + Br.$$

55. **Iodo.**—El *iodo* fué descubierto en 1811 por Curtois, fabricante de sosa en Paris, y estudiado cuidadosamente por Gay-Lussac, que le dió el nombre que lleva, que en griego significa *violeta*, á causa del color de su vapor.

Propiedades.—El iodo es sólido á la temperatura ordinaria: se presenta en pequeñas láminas ó cristalizado en octaedros prolongados de un color gris azulado intenso y con brillo metálico. Se funde á 107°, produciendo vapores de color violado; á la temperatura ordinaria tambien da vapores casi invisibles, siendo mas abundante á los 55°; estos vapores presentan un hermoso color de púrpura. El vapor de iodo tiene un olor particular que se parece al del cloro. La densidad del iodo sólido es 4,95, y la de su vapor 8,716. Su solubilidad en el agua es $\frac{1}{7000}$, y se tiñe el líquido de color amarillo; es mas soluble en el alcohol y en el éter, y particularmente en el sulfuro de carbono.

Las combinaciones del iodo ofrecen grande analogía con las del cloro y bromo. El iodo mancha la piel de amarillo, y este color desaparece muy pronto por la volatilizacion del iodo; se combina con muchas materias orgánicas sin destruirlas sensiblemente, y las comunica colores particulares; algunas son destruidas, y se forma el ácido iodhídrico. El fenómeno de coloracion mas notable es el que produce con el almidon; una gota de la disolucion del iodo en el alcohol, da un color azul muy intenso á una masa bastante

grande de la disolucion del almidon. Sirve este carácter para manifestar la presencia del iodo en los líquidos donde se sospeche que exista.

El iodo se emplea en la preparacion de las placas daguerrianas, y sin embargo de ser un veneno muy activo, se usa en medicina para el tratamiento de las enfermedades escrofulosas y otras.

Estado natural.—El iodo existe en el estado de ioduro de sodio ó de potasio en las aguas del mar; en el estado de ioduro de sodio en las aguas madres de la sosa de muchas especies de *fucus*; y en el estado de ioduro de plata se encuentra en ciertos minerales de plata recogidos en las inmediaciones de Méjico.

Preparacion.—Se extrae el iodo tratando el ioduro de potasio y el peróxido de manganeso mezclados por el ácido sulfúrico dilatado en un peso de agua igual al suyo:

$$KI + MnO^2 + 2SO^3, HO = KO, SO^3 + MnO, SO^3 HO + I.$$

El aparato en el cual se obtiene este cuerpo, se compone de una retorta á cuyo cuello se ajusta por medio de un tapon una alargadera que se comunica con un recipiente. Se calienta la retorta colocándola sobre un hornillo, y el iodo se condensa en forma de pequeñas láminas ó escamas cristalinas en la alargadera y recipiente.

En el comercio se extrae de las aguas madres de la sosa obtenida de la lexiviacion de las cenizas de los *varechs*, calcinando el resíduo que queda despues de la evaporacion de dichas aguas con el peróxido de manganeso, con el objeto de trasformar en sulfatos los sulfuros y los hiposulfitos. Se separan estas sales tratando el producto de la calcinacion por el agua, en donde se precipitan, y se separa despues el iodo de los ioduros haciendo pasar una corriente de cloro por la disolucion.

56. **Fluor.**—El fluor es un gas incoloro cuyas propiedades no se han podido estudiar, porque se combina en el momento de hallarse libre con las sustancias que forman las vasijas que se usan en la química: este cuerpo ataca á todos los metales, incluso al platino. No se conocen compuestos de fluor y oxígeno. El fluor se combina inmediatamente con el hidrógeno y forma el ácido fluorhídrico (HFl), cuerpo de gran importancia por sus aplicaciones.

Los químicos se fundan para admitir la existencia de este radical, en la reaccion que el ácido sulfúrico produce cuando obra sobre el fluoruro de calcio; en ella se desprende un ácido que da humos al aire, como los ácidos clorhídrico, bromhídrico y iod-

hídrico, y forma con los metales compuestos en un todo semejantes á los cloruros, bromuros y ioduros.

Estado natural.—El fluor se halla abundantemente repartido en la naturaleza en el estado de combinacion con el calcio, constituyendo un mineral conocido con el nombre de *espato fluor*.

La gran afinidad que tiene el fluor con todas las sustancias, y especialmente con el hidrógeno, para formar el ácido fluorhídrico, que se produce en todos los experimentos practicados para aislar este cuerpo, dificulta su preparacion. Sin embargo, Fremy, sirviéndose del fluoruro de potasio anhidro sometido á un fuego de forja en una retorta de platino, introduciendo en el fluoruro fundido un alambre de platino que forma el reóforo positivo de la pila, ha conseguido hacer que se desprenda un gas incoloro, de un olor bastante perceptible, que no se le puede contener en ninguna vasija porque las ataca en cuanto queda libre.

57. **Acido fluorhídrico.**—El ácido fluorhídrico tiene la notable propiedad de disolver la sílice en frio, formando agua y fluoruro de silicio, corroyendo por consecuencia el vidrio, la porcelana y todas las sustancias en donde entra la sílice; cuyos efectos disolventes fueron observados por Schwenkhardt en 1670; pero este cuerpo no se ha obtenido en el estado de pureza hasta 1808 por Gay-Lussac y Thenard.

Propiedades.—El ácido fluorhídrico anhidro se presenta en el estado líquido, incoloro, de una densidad igual á 1,06: no se solidifica á ninguna temperatura, y hierve hácia los 30°: da al aire espesos vapores blancos, debidos á su combinacion con el vapor de agua que contiene aquel flúido. Es tan grande la afinidad que el ácido fluorhídrico tiene con el agua, que cuando se vierte en este líquido una gota del ácido, produce un ruido semejante al que se originaria si se sumergiera un hierro hecho ascua. Este ácido forma fluoruros con los metales oxidables, desprendiéndose el hidrógeno. El plomo, el oro, la plata y el platino son los metales menos atacados por el ácido fluorhídrico.

Preparacion.—Se obtiene el ácido fluorhídrico descomponiendo el fluoruro de calcio natural por el ácido sulfúrico concentrado:

$$CaFl+SO^3HO=CaO,SO^3+HFL.$$

La operacion se hace en una retorta de plomo (*fig.* 41) formada de dos piezas *A B*, y el líquido se recoge en un recipiente *R* del mismo metal en forma de tubo encorvado en *U* y sumergido en una mezcla frigorífica.

* Por la propiedad que tiene el ácido fluorhídrico de atacar á

la sílice, se emplea para grabar sobre el vidrio ó cristal, y principalmente para trazar las divisiones en los tubos de los termómetros y en las campanas graduadas que se usan en la química. Se graba igualmente con el ácido gaseoso, y de este modo las di-

Fig. 41.

visiones son mas finas y perceptibles, porque resultan opacas. Cuando se quiere grabar con el ácido gaseoso, se cubre la superficie del vidrio con un barniz formado de 2 partes de trementina, 2 de cera amarilla y 3 de betun de Judea. Se descubre depues la parte que ha de ser atacada por el ácido, separando el barniz con un punzon, y se coloca el objeto de vidrio en una caja de madera dispuesta para que el objeto reciba los vapores del ácido.

* BORO.—SILICIO.

ÁCIDO BÓRICO.—ÁCIDO SILÍCICO.

58. **Boro.**—Este cuerpo fué descubierto simultáneamente, en Inglaterra por Davy, y en Francia por Gay-Lussac y Thenard, el año 1808.

Propiedades.—El boro tiene gran analogía por sus propiedades físicas con el carbono y el silicio: estos cuerpos se conocen bajo tres estados: 1.°, *cristalizado*; 2.°, *grafitóide*; 3.°, *amorfo*. El boro cristalizado y el grafitóide han sido descubiertos en estos últimos años por Deville y Wœhler.

El boro cristalizado ó adamantino, es trasparente, rara vez incoloro; su color varía del amarillo claro al rojo de granate; su facultad refringente es casi igual á la del diamante; es menos duro que este cuerpo y mas que el rubí; cristaliza en octaedros regulares, modificados como los del diamante; su densidad es 2,68. El oxígeno se combina con este cuerpo á una temperatura eleva-

da, pero la accion es solo superficial, porque el ácido bórico que se forma se adhiere á la superficie é impide que continúe la oxidacion: arde al calor rojo en el gas cloro; los ácidos y el agua régia no ejercen accion sensible sobre este cuerpo; los álcalis, potasa ó sosa, y el bisulfato de potasa ó de sosa, le atacan al rojo vivo.

El boro grafitóide se presenta cristalizado en láminas exaédricas semejantes á las del grafito de carbono, pero se distingue de este cuerpo por su color rojizo. El oxígeno se combina con el boro grafitóide á una temperatura muy elevada, y la oxidacion se verifica con gran lentitud: arde en el cloro al calor rojo, no le atacan los ácidos, y los álcalis fundidos le trasforman en borato.

El boro amorfo es un polvo verdoso, infusible á las temperaturas mas elevadas que se pueden producir, pero arde con llama viva en el oxígeno á una temperatura poco elevada; descompone el vapor de agua al calor rojo, desprendiéndose hidrógeno; se trasforma en ácido bórico; con el azufre produce las mismas reacciones que con el oxígeno, y forma un sulfuro de boro correspondiente al ácido bórico; el mismo cuerpo se forma cuando se hace pasar el ácido sulfhídrico por el boro amorfo calentado, desprendiéndose hidrógeno; el cloro, bromo y iodo tambien le atacan, formándose un cloruro, bromuro ó ioduro, correspondientes al ácido bórico; los ácidos clorhídrico y bromhídrico forman los mismos productos, con desprendimiento de hidrógeno; á la descomposicion de estos ácidos acompaña un gran desprendimiento de calor y de luz. El boro es, como el carbono, un agente de reduccion muy enérgico; ataca á los cloruros de mercurio, plomo, plata, y hasta el sulfuro de plomo (galena), formando cloruros con los tres primeros y un sulfuro con el cuarto, quedando libre el metal. Pero la propiedad que mas distingue al boro amorfo es la facultad que posee de absorber el nitrógeno libre con despendimiento de calor y luz, originándose un cuerpo blanco infusible, que es el nitruro de boro (BoN). Expuesto al calor rojo sombra, absorbe el nitrógeno y el oxígeno del aire, formándose una mezcla de ácido bórico y de nitruro de boro. El boro amorfo es el único cuerpo de los conocidos hasta el dia que posee la propiedad de absorber á la vez los dos elementos del aire.

Preparacion.—El boro cristalizado se obtiene introduciendo en un crisol de carbon 100 gramos de ácido bórico fundido y 80 gramos de aluminio: el crisol se coloca dentro de otro de plombagina y se expone por espacio de cinco horas á una elevada temperatura. El aluminio reduce el ácido bórico y forma la alúmina, que se disuel-

ve en el ácido; pero á medida que el aluminio va disminuyendo, la cantidad de boro se aumenta y llega á ser tan considerable, que no puede mantenerle disuelto el aluminio y se deposita en cristales trasparentes. El crisol despues de frio se rompe, y se halla debajo de una capa vítrea de borato de alúmina una masa formada por el aluminio, llena de cavidades, en las cuales se ven adheridos al metal cristales de boro. Esta masa se trata por una disolucion de sosa, por el ácido clorhídrico, el ácido nítrico y el ácido fluorhídrico, para separar el aluminio, el ácido bórico, la alúmina, el hierro y el silicio. El boro queda libre é inalterable, porque resiste á la accion de aquellos ácidos.

El boro grafitóide se prepara fundiendo el fluoborato de potasa con aluminio, añadiendo á la mezcla una pequeña cantidad de cloruros de potasio y de sodio para facilitar la fusion. Una parte de aluminio reduce el fluoruro de boro y se forma fluoruro de aluminio, y el boro que resulta libre se disuelve en el exceso del aluminio. Se rompe el crisol despues de frio y se obtiene una masa metálica formada por el boro y el aluminio, la cual se trata por el ácido clorhídrico que disuelve el aluminio, y se depositan unas láminas exagonales de boro.

Para preparar el boro amorfo se calienta un crisol de hierro, y cuando está enrojecido, se echa una mezcla formada por 100 gramos de ácido bórico fundido, reducido á polvo, y 60 gramos de sodio cortado en pequeños pedazos, cubriendo la mezcla con 50 gramos de cloruro de sodio fundido. En cuanto la masa se presenta fundida, se agita con una varilla de hierro y se vierte en una cápsula ó lebrillo que contenga agua acidulada con el ácido clorhídrico: el borato de sosa formado y el cloruro de sodio no descompuesto, se disuelven, y el boro queda libre bajo la forma de un polvo verdoso, que se recoge sobre un filtro, el cual, despues de bien lavado, se deseca á un calor suave. La desecacion se debe terminar á la temperatura ordinaria, porque siendo el boro muy combustible, podria inflamarse espontáneamente.

59. **Acido bórico.**—Este ácido fué descubierto por Homberg en 1702, y le dió el nombre de *sal sedativa*: es sólido, blanco, inodoro: enrojece débilmente la tintura de tornasol: su densidad es 1.80: se funde á una temperatura elevada, y produce un vidrio incoloro y trasparente, perdiendo al propio tiempo su agua de combinacion. No le altera el aire ni el oxígeno: el agua á 20° disuelve un 4 por 100 de su peso, y á 100° un 34 por 100: es poco soluble en el alcohol, y comunica á la llama de este líquido un color verde. Se le encuentra libre en la naturaleza en algunos lagos de Tosca-

na, ó combinado con la sosa, formando el borato de sosa, en ciertos lagos de las Indias.

Preparacion.—Se obtiene el ácido bórico descomponiendo el borato de sosa disuelto en agua caliente por el ácido clorhídrico, y se forma cloruro de sodio soluble, y el ácido bórico que cristaliza en escamitas al enfriarse el líquido:

$$NaO,2(BoO^3)nHO+HCl=NaCl,nHO+2(BoO^3,3HO).$$

60. **Silicio.**—Berzelius fué el primer químico que en 1808 obtuvo este cuerpo puro en el estado amorfo; pero en estos últimos años, Sainte-Clare-Deville le ha llegado á obtener en el estado grafitóide y cristalizado ó adamantino.

Propiedades.—El silicio amorfo es un polvo oscuro que por mucho tiempo se le ha tenido por infusible; pero colocándole entre los dos polos de una pila de cien elementos, se funde fácilmente. Calentado con la sal marina á una temperatura elevada, se trasforma en silicio grafitóide, y en silicio cristalizado si la temperatura se eleva hasta el rojo vivo. El silicio amorfo es muy combustible é inatacable por todos los ácidos, excepto el fluorhídrico, que le disuelve con desprendimiento de hidrógeno.

El silicio grafitóide posee las propiedades del grafito ordinario; cristaliza en láminas de color gris plomizo; se distingue del grafito en que raya el vidrio. Sus propiedades químicas son las mismas que las del silicio cristalizado ó adamantino.

El silicio cristalizado se presenta bajo las mismas formas regulares que el diamante; es opaco, con brillo metálico y de color rojizo: su densidad es 2,49; es menos duro que el carbono y el boro cristalizados. Se le puede calentar en el oxígeno hasta el calor rojo sin que se oxide sensiblemente, pero mezclándole con un carbonato alcalino se produce á dicha temperatura enérgica reaccion, formándose un silicato alcalino, ácido carbónico que se desprende y un depósito de silicio. El silicio descompone las disoluciones alcalinas concentradas; se forma un silicato alcalino con desprendimiento de hidrógeno.

Preparacion.—El silicio amorfo se prepara descomponiendo por el sodio el fluosilicato de potasa, empleando el mismo procedimiento que para la obtencion del boro amorfo.

Se prepara el silicio grafitóide fundiendo en un crisol ordinario aluminio con 20 á 30 veces su peso de fluosilicato de potasa; se forma fluoruro doble de aluminio y potasio, y el silicio que queda libre se disuelve en una parte de aluminio. El boton metálico que se encuentra en el fondo del crisol se trata por el ácido

clorhídrico; este ácido disuelve el aluminio, y el silicio se presenta libre en forma de pequeñas láminas exagonales.

El silicio cristalizado se obtiene echando en un crisol de barro enrojecido al fuego una mezcla formada de 3 partes de fluosilicato de potasa, 1 de zinc en granalla y 1 de sodio dividido en pequeños fragmentos, tapando despues el crisol con tapadera del mismo barro. La masa fundida se agita con una varilla de hierro, y se calienta hasta que el zinc comience á volatilizarse. En cuanto se presentan los vapores del zinc, se retira el crisol del fuego, y despues de frio se rompe para extraer el boton de zinc formado, en el cual se hallan adheridos los cristales de silicio. Tratando el boton de zinc por el ácido clorhídrico, se forma cloruro de zinc, y los cristales de silicio quedan libres.

61. **Acido silícico, ó sílice.**—Este ácido es sólido, blando, inodoro, insípido: su densidad es 2,66: infusible á las temperaturas elevadas, pero se funde á la llama de una mezcla de oxígeno é hidrógeno. Es insoluble en el estado anhidro, y soluble en el estado de hidrato: no enrojece la tintura de tornasol, pero se combina con las bases y forma silicatos, que son vítreos ó vitrificables: el ácido fluorhídrico le disuelve: se combina con los ácidos bórico y fosfórico á una temperatura elevada, y forma unas masas vítreas.

Estado natural.—La sílice es una sustancia que se encuentra repartida con profusion en el globo, y cristalizada constituye el cristal de roca, el cuarzo incoloro, y algunas veces coloreado: es la base de las ágatas, cornerinas y jaspes: en combinacion con la alúmina, potasa, cal y óxido de hierro, forma gran número de minerales muy abundantes.

Preparacion.—Para obtener el ácido silícico puro, se echa arena lavada con el ácido clorhídrico en la potasa fundida en un crisol de plata, hasta que este óxido no disuelva mas sílice. Se trata la materia por el agua, y vertiendo en este líquido, conocido con el nombre de *licor de pedernales*, ácido clorhídrico, se separa el ácido silícico.

Los usos de la sílice son numerosos: en el estado de cristal de roca sirve para hacer objetos de lujo; en el de pedernal para las piedras de chispa, y la arena forma parte de la composicion de los morteros. La sílice se emplea en la fabricacion de los vidrios, fundiéndola con la potasa, la sosa, la cal y diversos óxidos metálicos cuando se quieren obtener vidrios de diferentes colores. El cristal es un silicato de potasa y de plomo, y se diferencia del vidrio ordinario en que este no tiene plomo; es un silicato doble

de potasa y cal. Por último, la sílice entra en la composicion de las lozas.

CARBONO.

ÓXIDO DE CARBONO.—ÁCIDO CARBÓNICO.—HIDRÓGENO PROTOCARBONADO.—HIDRÓGENO BICARBONADO.—GAS DEL ALUMBRADO.

62. **Carbono.**—Los químicos modernos dan el nombre de *carbono* á un cuerpo simple que existe puro en el *diamante* y constituye casi la totalidad del *carbon* que se usa en la economía doméstica.

Las principales variedades del carbono, son: el *diamante*, el *grafito*, la *antracita*, la *hulla*, el *carbon vegetal* y el *carbon animal*.

Diamante.—El diamante es el carbono puro y cristalizado: frecuentemente es incoloro: algunas veces se encuentra teñido de azul, amarillo, verde ó rosa. Se le encuentra principalmente en la India, en la isla de Borneo, en el Brasil y en los montes Urales, envuelto ordinariamente en una capa térrea que le hace poco trasluciente y escabrosa la superficie. Sus principales formas cristalinas son el octaedro, el cubo y el dodecaedro romboidal, presentando las mas veces las superficies convexas, y por consiguiente las aristas curvilíneas.

El diamante es el mas duro de todos los cuerpos conocidos, y de esta propiedad se saca partido en las artes para rayar y cortar el vidrio: su densidad varía entre 3,50 y 3,55: las facultades refringente y dispersiva de este cuerpo son muy considerables, y contribuyen, favoreciendo las reflexiones interiores, á darle una brillantez superior á todos los cuerpos empleados en la joyería; sin embargo, para que el diamante adquiera toda su facultad reflectante, es necesario tallarle bajo formas convenientes.

El diamante no puede ser tallado sino por su propio polvo (1).

---

(1) El arte de tallar los diamantes data del año 1476, y es debido á Luis Berguem, quien observó que frotando fuertemente un diamante con otro se desgastaban mútuamente y se reducian á polvo.

Para tallar el diamante se principia separando las partes defectuosas por medio de la esfoliacion, y se termina fijándole á una masa de estaño reblandecido por el calor, fuertemente adherido á una cavidad estriada de cobre, que se termina en un mango del mismo metal. La extremidad de este mango se fija á una pinza de acero, de modo que el diamante toque á un disco ó muela de acero colocada horizontalmente, impregnada de aceite y cubierta de polvo de diamante, la cual gira con gran velocidad.

El diamante, segun la labor bajo la cual se talla, recibe los nombres de *brillante*, *rosa* y *tabla*: el brillante es el mas apreciado. El valor de los diamantes que se pueden tallar, es de 45 pesetas el *quilate* (0 gr., 212); si pesan mas de un quilate, se valúa el precio, elevando al cuadrado el número de quilates que pese, y se multiplica por 45; por ejemplo:

El polvo de diamante que se emplea en esta operacion proviene de los diamantes en bruto y de deshecho, los cuales se pulverizan en un mortero de acero, prefiriendo los diamantes negros porque son los mas duros.

El diamante es infusible, y arde en el oxígeno á una temperatura elevada, sin dejar resíduo. Lavoisier fué el primer químico que consiguió la combustion del diamante en el oxígeno, demostrando de este modo hallarse este cuerpo formado por el carbono puro: despues de los experimentos de Lavoisier y de Davy, muchos han intentado realizar la cristalizacion artificial del carbono, sin que hasta el presente lo hayan podido conseguir. Los experimentos hechos en estos últimos años por Despretz, demuestran que una temperatura muy elevada no es favorable á la existencia del carbono en el estado de diamante, deduciéndose tambien que este mineral no ha podido formarse á una temperatura muy elevada, pues que colocando un diamante entre dos conos de carbon fijos á las extremidades de los polos de una pila muy enérgica, se observa que el diamante se hincha considerablemente y se trasforma en una materia quebradiza, de un color gris metálico semejante al cok de las hullas grasas.

Grafito.—El hierro fundido á una temperatura muy elevada disuelve una cantidad de carbono mayor de la que puede retener á una temperatura mas baja, y le abandona por el enfriamiento, presentándose cristalizado en su superficie bajo la forma de pequeñas láminas unidas y brillantes. A este carbono se le ha dado el nombre de *grafito*.

La naturaleza nos presenta una variedad de grafito conocida con el nombre de *plombagina* ó *lápiz-plomo*, en un estado cristalino particular, diferente del diamante y menos duro que el grafito, bajo la forma de laminitas exagonales muy delgadas y de un color

---

un diamante que pese 2 quilates, valdrá $4 \times 15 = 180$ pesetas. Pero como en la talla el diamante pierde mas de la mitad de su peso, el precio de los diamantes tallados se deduce del precio de un quilate, que en este caso es de 238 pesetas; así, un diamante que pese 3 quilates, valdrá $9 \times 238 = 2.142$ pesetas. En esta regla no se comprenden los diamantes cuyo peso es mayor de 100 quilates; estos se aprecian en mas valor que da el cálculo anterior.

Los mayores diamantes conocidos hasta el dia, son el del Redjha de Mattan, en Borneó, que pesa 300 quilates. El del emperador del Mogol, tallado en rosa, que pesa 292 qs. El Orlow de la corona de Rusia, que pesa 194 qs. El gran duque de Toscana del emperador de Austria, que pesa 139 qs. El regente que poseia la corona de Francia, que pesa 136 qs., y su peso, antes de tallarle, era de 410 qs. El Kohincor (Montaña de Luz), de la reina de Inglaterra, que pesa 103 qs., y antes de tallarle pesaba 186 qs.

Todos estos diamantes proceden de la India. El año 1853 se halló en el Brasil un diamante del peso de 254 quilates, que en la talla perdió 129 qs.: á este diamante se le conoce con el nombre de Estrella del Sur.

gris metálico; estas laminitas, sumamente ténues, forman por su agregacion masas brillantes que se dejan cortar fácilmente con un cuchillo, y se forman pequeñas barras para hacer lapiceros. La densidad de este cuerpo varía entre 2,08 y 3,20: generalmente contiene de 95 á 96 por 100 de carbono puro, y se le encuentra en los terrenos de transicion.

Antracita.—Esta variedad de carbono casi puro, es mas negro que el grafito, muy compacto, deleznable y áspero al tacto: su estructura generalmente es hojosa, y algunas veces compacta ó granuda. La antracita se encuentra en terrenos de formacion antigua.

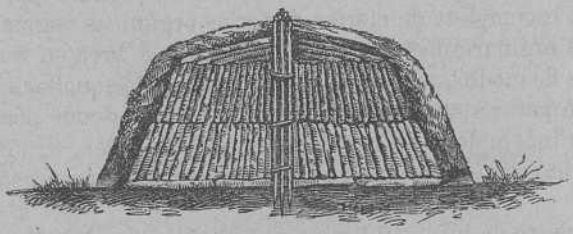
Hulla.—La hulla ó carbon de piedra forma parte de la série inferior de los terrenos secundarios: es negra, opaca, y arde con llama amarillenta. Contiene mezcladas materias bituminosas y salinas. Calcinada fuera del contacto del aire, da el gas del alumbrado, y deja un resíduo que se llama *cok*.

El *cok* es ligero y poroso, de un color gris metálico: atrae la humedad del aire: se quema sin llama y no da humo, produciendo un calor muy intenso: su densidad varía de 1,00 á 2,00: 100 partes de hulla calcinada dan 50 á 60 de cok.

Carbon vegetal.—Este carbon proviene de la destilacion ó calcinacion de la leña. Es sólido, de forma irregular, negro, inodoro, insípido, frágil, muy poroso, mal conductor del calor y de la electricidad (despues de calcinado conduce muy bien estos dos flúidos): absorbe los gases, las materias colorantes y la humedad del aire. Su densidad es muy variable á causa de su porosidad.

Se prepara calcinando la leña en vasos cerrados. El método

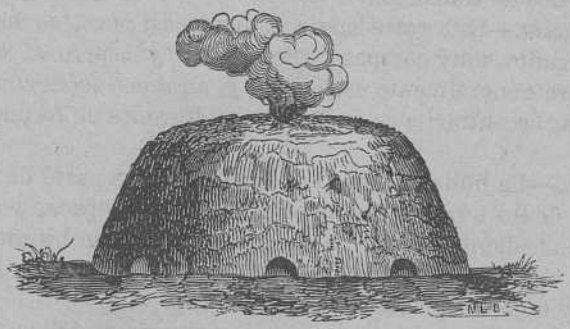
Fig. 42.



que generalmente se emplea en los montes para obtener el carbon, consiste en apilar la leña formando un cono truncado alrededor de tres ó cuatro troncos clavados verticalmente en la tierra

(*fig.* 42) y como á un metro de distancia unos de otros: formada la pila con los pedazos de leña gruesa, se cubre con ramaje, y sobre este se aplica una capa de tierra para interceptar su contacto con el aire, como se ve en la *figura* 43, dejando en la parte

Fig. 43.



inferior unas aberturas para que se establezca la corriente del aire que ha de alimentar la combustion en el centro de la pila, cuando por ellas y por la parte superior del hueco que resulta entre los troncos clavados en el suelo (que sirve de chimenea del horno formado) se echan pedazos de leña encendidos. Pasado cierto tiempo despues de comenzada la combustion de la leña, se sofoca aquella tapando las aberturas con tierra, y cuando se haya enfriado toda la parte exterior del horno, se abre y deja expuesto el carbon al aire, observándose que á poco tiempo de hallarse el carbon en contacto del aire, se aumenta su peso por la absorcion de los gases. La composicion del carbon obtenido es, con corta diferencia, la siguiente: carbono, 38,5; agua combinada, 35,5; cenizas, 1,0; agua libre, 25,00.

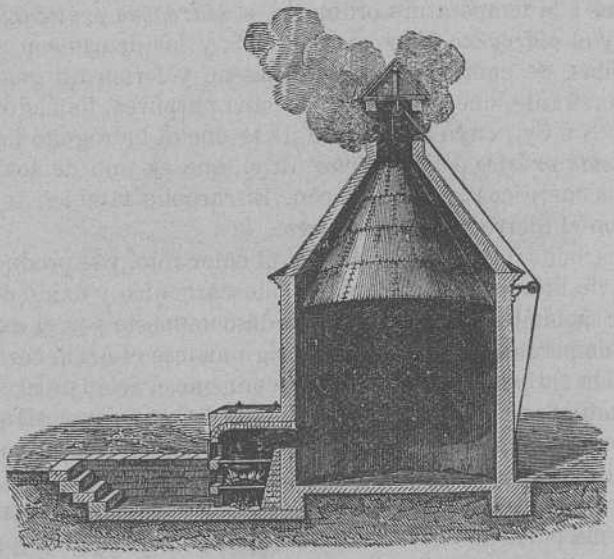
Negro de humo.—El negro de humo se produce por la combustion incompleta de ciertas materias orgánicas vegetales. Se le prepara ordinariamente quemando resinas ó brea en vasijas dispuestas de modo que los vapores inflamados de aquellas sustancias vayan á parar á una cámara cerrada (*fig.* 44), donde por la combustion incompleta de los vapores combustibles, se deposita el negro de humo sobre unas telas que cubren las paredes de la cámara.

El negro de humo obtenido por este medio, se halla mezclado con materias bituminosas.

Se emplea en la pintura, entra en la composicion de la tinta de imprenta y en la de china.

Carbon animal.—El carbon animal, conocido tambien con los nombres de *negro animal*, *negro de marfil*, proviene de la combustion de los huesos en vasos cerrados; contiene siempre nitrógeno. Se prepara sometiendo á la destilacion en cilindros de hierro los huesos desengrasados reducidos á pequeños pedazos: el

Fig. 44.



carbon obtenido tiene 12 por 100 de carbono, mezclado con 88 por 100 de fosfato y carbonato de cal. Posee la facultad decolorante en mas alto grado que el carbon vegetal; por esta propiedad se emplea, bien lavado, en la fabricacion del azúcar, de los jarabes, de los álcalis vegetales, etc.

Todas estas variedades del carbono pueden dividirse en dos grupos, comprendiendo en el primero los carbones de una densidad grande, que presentan una forma regular y que conduce bien el calor y la electricidad, y en el segundo grupo los carbones que son muy combustibles, ligeros, porosos y amorfos, poco conductores del calor y de la electricidad, siendo la propiedad principal de estos carbones la de absorber los gases. Segun esta division, al primer grupo pertenecen el diamante, el grafito, la plombagina y el carbon metálico que se forma en las retortas donde se prepara el gas del alumbrado, y al segundo grupo el carbon animal, el vegetal, el negro de humo y el cok.

Propiedades químicas del carbono.—De todos los cuerpos simples no metálicos, el oxígeno y el azufre son los únicos que se unen directamente al carbono. Combinándose el oxígeno con el carbono, forma muchos compuestos, siendo los mas importantes el *óxido de carbono* (CO) y el *ácido carbónico* (CO^2). El carbono no se combina directamente con el hidrógeno, pero por medios indirectos forma muchos carburos: dos de estas combinaciones son gaseosas á la temperatura ordinaria, el *hidrógeno protocarbonado* (C^2H^4) y el *hidrógeno bicarbonado* (C^4H^4); y las demás son sólidas ó líquidas. Se combina con el nitrógeno y forma un gas de un olor penetrante, que arde con una llama purpúrea, llamado *cianógeno* (C^2N ó Cy), cuyo compuesto (1) se une al hidrógeno formando el *ácido prúsico* ó *cianhídrico* (HCy), que es uno de los venenos mas enérgicos que se conocen. El carbono tambien se combina con el hierro y forma el *acero*.

El carbono descompone el agua al calor rojo, y se produce una mezcla de hidrógeno carbonado, ácido carbónico y óxido de carbono. El ácido sulfúrico es tambien descompuesto por el carbono á una temperatura de 100 á 200°, originándose el ácido carbónico y el ácido sulfuroso. El carbono descompone el ácido nítrico á una temperatura poco elevada: los productos de la descomposicion varían con la temperatura y la concentracion del ácido, pasando siempre el carbono al estado de ácido carbónico.

El carbono se usa en química para reducir los óxidos metálicos: forma parte de la composicion de la pólvora: por la propiedad que posee de absorber los gases, se usa como desinfectante, y como decolorante por la de absorber las materias colorantes vegetales.

63. **Óxido de carbono.**—El óxido de carbono es un gas incoloro, insípido é inodoro, y poco soluble en el agua, liquidable á presiones muy altas combinadas con grandes descensos de temperatura en los aparatos últimamente ideados por Cailletet y Pictet: su peso específico es 0,967. Apaga los cuerpos en combustion, y arde en contacto del aire con una llama característica: obra como un verdadero veneno en los animales que le respiran, y á la presencia de este gas en el aire deben atribuirse los dolores de cabeza que se sienten cuando se está en una habitacion poco ventilada, cerca de un brasero donde se halle el carbon á medio encender. Si la

(1) El cianógeno le descubrió Gay-Lussac en 1815: es el primer cuerpo compuesto que en sus combinaciones presenta todas las propiedades de un cuerpo simple; combinándose con los metalóides y metales, forma los *cianuros*, como el cloro, iodo y bromo forman cloruros, ioduros y bromuros.

cantidad de gas óxido de carbono llega á ser considerable en un aposento, la asfixia producida causará la muerte. No altera la tintura de tornasol: no tiene accion sobre el oxígeno á la temperatura ordinaria, pero al calor rojo se combina con la mitad del volúmen de este gas, y da orígen á un volúmen de ácido carbónico igual al suyo: es un desoxidante muy enérgico, sobre todo á una temperatura elevada.

Si se expone una mezcla de volúmenes iguales de cloro y óxido de carbono bien secos á los rayos directos del sol, se reduce esta mezcla á la mitad de su volúmen primitivo y se trasforma en otro gas, que se conoce con los nombres de *ácido cloroxicarbónico*, *cloruro de carbono* y *fosgeno* (que significa engendrado por la luz): á la luz difusa tambien se verifica esta combinacion, pero con gran lentitud. Este gas ácido cloroxicarbónico no tiene color: su olor es sofocante: enrojece la tintura de tornasol y apaga los cuerpos en combustion: su peso específico es 3,43.

Preparacion.—Se obtiene este gas haciendo pasar con lentitud una corriente de ácido carbónico por el calor calentado al rojo, ó calcinando en una retorta de barro dispuesta en un hornillo de reverbero, una mezcla de carbonato de cal pulverizado y de limaduras de hierro ó carbon muy dividido:

$$CaO,CO^2 + Fe = FeO + CaO + CO.$$

El gas recogido se debe lavar con la potasa para absorber el ácido carbónico que pudiera contener.

En los laboratorios, generalmente se obtiene este gas tratando la *sal de acederas* ó el *ácido oxálico* cristalizado (C^2O^3,3HO) por 5 ó 6 veces su peso de ácido sulfúrico monohidratado á un calor lento:

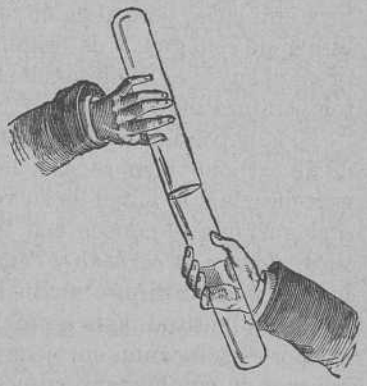
$$C^2O^3,3HO + SO^3,HO = SO^3,4HO + CO^2 + CO.$$

Los dos gases que se desprenden se les hace pasar por una disolucion de potasa, la cual absorbe el ácido carbónico, quedando puro el óxido de carbono.

64. **Acido carbónico.**—El ácido carbónico es un gas incoloro, de olor picante y sabor ligeramente ágrio: es mas pesado que el aire, y su densidad es de 1,529; así se puede trasvasar como los líquidos: para comprobarlo se toman dos campanas iguales (*fig.* 45), una llena de ácido carbónico y la otra de aire; introduciendo en la primera una cerilla encendida, se apaga, lo cual no pasa en la que contiene el aire; colocando boca abajo la que contiene el gas ácido sobre la boca de la que está llena de aire, se verá des-

pues de algun tiempo que la cerilla encendida sigue ardiendo en la campana que antes se apagó, sucediendo lo contrario en la otra, lo cual prueba que el gas ácido descendió por su mayor peso á la campana que contenia el aire, pasando este gas á ocupar el espacio que llenaba el ácido carbónico. El agua á la temperatura y presion ordinaria disuelve un volúmen igual al suyo de ácido carbónico; la solubilidad se aumenta con la presion; se liquida á 0° bajo la presion de 36 atmósferas. El ácido carbónico líquido es muy volátil y produce un frio muy intenso al evaporarse; si se evapora rápidamente, pasa al estado sólido y forma una masa blanca y esponjosa parecida á copos de nieve. Mezclando con el ácido carbónico en el estado sólido un líquido que no se combine con él, y cuyo punto de congelacion se halle á una temperatura muy baja, tal como el éter, el ácido carbónico se evapora rápidamente y produce una temperatura muy baja: si esta mezcla se coloca bajo el recipiente de la máquina neumática y se hace el vacío, desciende la temperatura hasta —100°. Por medio de esta mezcla frigorífica se consigue solidificar el mercurio en muy poco tiempo y congelar el mismo ácido carbónico líquido en forma de una masa vítrea y trasparente. Enrojece débilmente la tintura de tornasol: no sirve para la combustion: asfixia á los animales que la respiran: el carbono y el hidrógeno á una temperatura elevada le hacen pasar al estado de óxido de carbono: tiene gran afinidad con los óxidos alcalinos: con la cal forma un carbonato blanco insoluble, que sirve para reconocer este gas donde quiera que exista.

Fig. 45.



Se emplea este ácido para la preparacion del agua de Seltz, y en la fabricacion de las limonadas y vinos espumosos. Se sabe que 1 litro de agua disuelve á 15°, bajo la presion de la atmósfera, 1 litro de ácido carbónico; si esta disolucion se efectúa bajo la presion de 2, 3 ó 4 atmósferas, la cantidad de gas disuelto será 2, 3, ó 4 veces mayor, y en cuanto cesa aquella presion, el ácido se desprende con efervescencia.

Estado natural.—El ácido carbónico es muy abundante en la naturaleza: existe en el aire atmosférico: se desprende en muchos

pozos y galerías de las minas de carbon de piedra y en muchas grutas; entre estas, la mas notable es la llamada *gruta del Perro*, cerca de Puzzoles, en Italia. Existe combinado con algunos óxidos metálicos, formando carbonatos, siendo el mas abundante de estos el carbonato de cal (creta y mármol): se halla disuelto en las aguas expuestas al aire y en algunos minerales; se desprende en la fermentacion, en la descomposicion espontánea de las materias orgánicas, en la combustion y en la respiracion de los animales (1).

Preparacion.—Se obtiene este cuerpo tratando el carbonato de cal, mármol ó creta por el ácido clorhídrico. Este gas se desprende, y queda disuelto en el agua el cloruro de calcio:

$$CaO,CO^2 + HCl = HO + CaCl + CO^2.$$

Se suele reemplazar el ácido clorhídrico por el ácido sulfúrico:

$$CaO,CO^2 + SO^3 = CaO,SO^3 + CO^2.$$

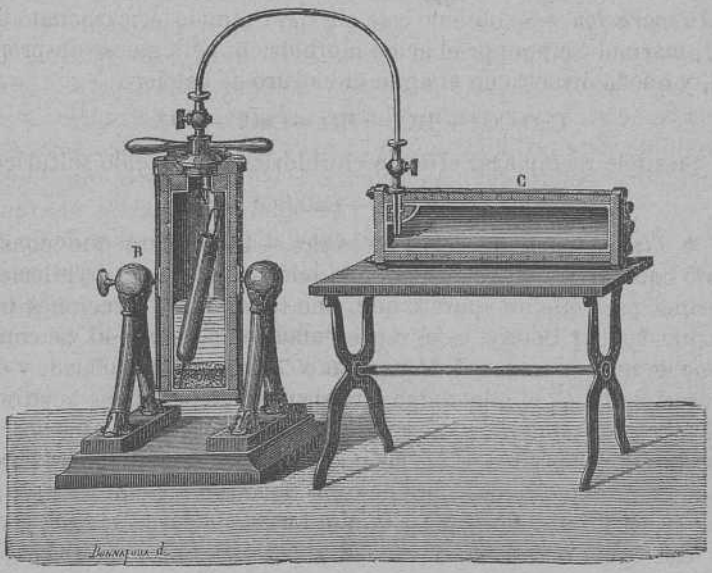
* *Liquefaccion del ácido carbónico.*—El primero que consiguió liquidar grandes cantidades de ácido carbónico, fué Thilorier, ideando para ello un aparato que, con ligeras modificaciones introducidas por Donny, es el representado en la *figura* 46. Se compone de un generador *A* de unos 6 ó 7 litros de capacidad, y de un recipiente *C*; el generador está suspendido por un eje horizontal sobre dos montantes de fundicion *B*, para poderle hacer oscilar. Los dos depósitos están formados por un vaso de plomo colocado dentro de otro de cobre de unos 3 centímetros de grueso, al que se ajusta exactamente; y con el objeto de dar al aparato toda la resistencia necesaria, el vaso de cobre está rodeado de aros de hierro forjado, dispuestos unos sobre otros. Los dos fondos se hallan sostenidos por placas de hierro fuertemente unidas por medio de barras del mismo metal.

En el generador *A* se introducen 1800 gramos de bicarbonato de sosa, 4 litros de agua á la temperatura de unos 40°, y un tubo de cobre, cerrado por un extremo, que contenga 1 kilógramo de ácido sulfúrico concentrado. Se cierra el aparato con un tapon que entra á rosca y tiene una llave: inclinando lentamente el ge-

(1) Considerando la combustion y la respiracion como focos inmensos y permanentes del ácido carbónico que se encuentra en la atmósfera, se comprende que si no tuviera la naturaleza, medios proporcionalmente enérgicos para hacer desaparecer aquel ácido gaseoso, llegaria el aire atmosférico, por el trascurso de los siglos, á ser impropio para la vida; pero en la naturaleza el órden y las compensaciones se hallan en todas partes, y por esta razon los vegetales, durante su vida, absorben el ácido carbónico (25), asimilándose el carbono y desprendiendo el oxígeno, conservándose este gas en la atmósfera en las proporciones convenientes y necesarias para la vida de los séres.

nerador hasta colocarle en la posicion horizontal, el ácido sulfúrico sale del tubo y se derrama sobre el bicarbonato, y para que la mezcla de las tres sustancias se verifique del modo mas completo, se hace girar despues el aparato dos ó tres veces; á los diez minutos la reaccion química ha terminado. Poniendo en comunicacion el generador con el recipiente *C* por medio de un tubo de cobre muy resistente, y abriendo las llaves al generador y reci-

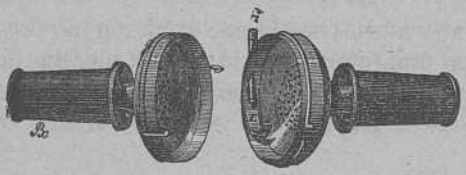
Fig. 46.



piente, el ácido carbónico, por efecto de su misma presion, se liquida en el recipiente, que se halla á una temperatura mas baja que el generador. La presion que se produce en el recipiente es muy considerable. Thilorier la calculó en 50 atmósferas cuando la temperatura de este es de 15° y la del generador de 30°. Una vez liquidado el gas ácido carbónico en el recipiente, es fácil obtenerle en el estado sólido; para ello la llave del recipiente tiene en su parte inferior un tubo que se introduce en el ácido líquido; abriendo esta llave despues de separado el tubo de comunicacion, salta con fuerza el ácido carbónico líquido por la presion que sufre, y dirigiendo el chorro al interior de una caja de laton de paredes muy delgadas, por un tubo *i* (*fig.* 47), cuya tapa y fondo están taladrados por pequeños orificios, se solidifica una parte del líquido, porque al gasificarse el ácido carbónico líquido, hace

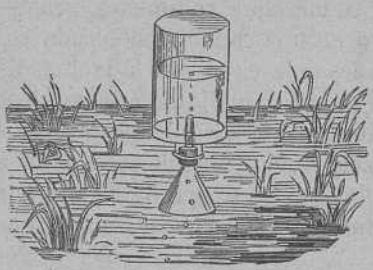
latente una cantidad tan considerable de calor, que torna parte del líquido, solidificándose en forma de copos blancos.

Fig. 47.



65. **Hidrógeno protocarbonado.**—El hidrógeno protocarbonado es un gas incoloro, insípido é inodoro, poco soluble en el agua; liquidable á presiones muy altas, que se aproximan á las empleadas para la liquefaccion del oxígeno, hidrógeno y nitrógeno: su densidad es 0,559. No sirve para la respiracion ni para la combustion; arde en presencia del aire con una llama azulada, y los productos de su combustion son agua y ácido carbónico: puesto en contacto del cloro, detona en cuanto se expone á los rayos directos del sol ó se aproxima una bujía encendida, formándose ácido clorhídrico, y se deposita el carbono ($C^2H^4 + 4Cl = 4HCl + 2C$).

Fig. 48.



Estado natural.—El gas hidrógeno protocarbonado se encuentra en el fondo de los pantanos y en todas las aguas estancadas, de las cuales se hace desprender este gas agitando el cieno con un palo. Las burbujas de gas que se elevan á la superficie del agua, se recogen fácilmente colocando boca abajo un frasco lleno de agua, provisto de un embudo ancho (*fig.* 48). El gas recogido se halla mezclado con ácido carbónico, nitrógeno y oxígeno. Para purificarle se le trata por el hidrato de potasa ó por el agua de cal, que absorben el ácido carbónico, y por el fósforo, que se apodera del oxígeno; el nitrógeno, que varía de 2 á 8 por 100, no es posible separarle. La presencia del gas nitrógeno no altera las propiedades del hidrógeno protocarbonado; lo único que hace es debilitarlas.

La formacion del hidrógeno protocarbonado en las aguas estancadas, es sin duda debida á la descomposicion que las sustancias orgánicas experimentan dentro del agua.

El hidrógeno protocarbonado tambien se forma en ciertas minas de carbon de piedra, y á la mezcla de este cuerpo con el aire, cuando se verifica en presencia de un cuerpo en combustion,

eran debidas las explosiones tan frecuentes que Davy supo evitar con la invencion de su lámpara (25). Algunas veces este gas se desprende espontáneamente de la tierra, y forma parte del gas del alumbrado.

Preparacion.—En los laboratorios se obtiene el hidrógeno protocarbonado calentando en una retorta de vidrio una mezcla de acetato de sosa y cal ó potasa cáustica: generalmente se emplea una mezcla de estas dos bases. La fórmula siguiente indica la reaccion:

$$NaO,C^4H^3O^3,HO+KO=NaO,CO^2+KO,CO^2+C^2H^4.$$

66. **Hidrógeno bicarbonado.**—El gas hidrógeno bicarbonado, llamado tambien *gas oleificante*, es incoloro, insípido, de olor empireumático y etéreo, muy poco soluble en el agua, y su densidad es de 0,978. No sirve para la combustion ni para la respiracion; arde en el aire con una llama muy clara y brillante; arde tambien en una atmósfera de cloro, formándose ácido clorhídrico, y carbono que se deposita: si se mezclan volúmenes iguales de hidrógeno bicarbonado y cloro en una campana colocada sobre la cuba hidroneumática, y se les deja expuestos á la luz difusa, entra en combinacion y se forma un líquido oleaginoso etéreo, que se conoce con el nombre de *hidrobicarburo de cloro* ó *licor de los holandeses*. Esta mezcla detona cuando se expone á los rayos directos del sol; mezclado con el oxígeno, forma una mezcla detonante. El gas del alumbrado está formado en su mayor parte por este gas.

Preparacion.—Se obtiene el hidrógeno bicarbonado calentando en una retorta de vidrio bastante grande 1 parte en peso de alcohol con 5 ó 6 de ácido sulfúrico concentrado. La fórmula del alcohol es $C^4H^6O^2$, y puede considerarse este cuerpo como un hidrato de hidrógeno bicarbonado (C^4H^4+2HO): bajo la influencia del ácido sulfúrico y del calor, el alcohol es descompuesto, el ácido sulfúrico se combina con el agua, y el hidrógeno bicarbonado se desprende. A esta reaccion principal la acompañan reacciones secundarias, de las cuales resultan productos que, actuando sobre el ácido sulfúrico, originan al ácido sulfuroso y el ácido carbónico, que se desprenden, al mismo tiempo que el hidrógeno carbonado, cuyo gas se obtiene libre de los dos anteriores haciendo pasar la mezcla gaseosa por una disolucion de potasa cáustica.

67. **Gas del alumbrado.**—El gas del alumbrado proviene de la destilacion de la hulla, de la descomposicion de la resina, ó de la

descomposicion del aceite por una elevada temperatura. En la preparacion de este gas se emplean aparatos destilatorios formados por cilindros ó retortas de hierro, donde se colocan los pedazos de hulla, ó se hace caer lentamente el aceite para que por la accion del calor se descomponga.

El gas obtenido en la destilacion de la hulla está formado de los compuestos siguientes: hidrógenos carbonados, hidrógeno, óxido de carbono, nitrógeno, ácido carbónico, hidrógeno sulfurado, sulfuro de carbono, sales amoniacales, aceites empireumáticos, un poco de brea y diversos carburos de hidrógeno volátiles: todos estos compuestos pasan por tubos convenientemente dispuestos, que se comunican con un depósito cilíndrico que recibe el nombre de *condensador*. En los tubos y en el condensador se enfria el gas y se depositan las sales amoniacales, brea y parte de los aceites empireumáticos: desde el condensador pasa el gas á otro depósito que se llama *depurador*, en el cual hay una lechada de cal, con cuyo óxido se combina el ácido carbónico, hidrógeno sulfurado y otros; del depurador va el gas á almacenarse en grandes gasómetros, desde donde se dirige por cañerías de hierro á los puntos donde ha de arder.

RESÚMEN DEL ESTUDIO DE LOS METALOIDES.

68. **Clasificacion de los metalóides.**—El distinguido químico Dumas, en 1838, clasificó los metalóides, presentando la historia de estos cuerpos de una manera filosófica, facilitando por este medio el estudio de sus propiedades y las reacciones que en circunstancias dadas pueden producir, dividiéndolos en cuatro grupos ó familias naturales.

La primera comprende el *cloro*, *bromo*, *iodo* y *fluor*.

La segunda el *oxígeno*, *azufre*, *selenio* y *teluro*.

La tercera el *nitrógeno*, *fósforo*, *arsénico* y *antimonio*.

La cuarta el *carbono*, *boro* y *silicio*.

Esta clasificacion, como se deja dicho, se funda en la composicion y propiedades de los compuestos que forman los metalóides uniéndose al hidrógeno, reuniendo por este medio con suma facilidad los cuerpos que poseen marcadas analogías; así que basta conocer las propiedades de un cuerpo en determinadas condiciones, para preveer la reacciones que producirán los demás de la misma familia cuando se hallan en idénticas circunstancias.

69. **Excepcion del hidrógeno.**—El *hidrógeno* no se incluye en la clasificacion anterior, porque las propiedades características de

este gas, mas pertenecen á un metal que á un metalóide. En efecto, el hidrógeno es buen conductor del calor, como los metales, lo cual es fácil comprobar colocando un alambre de platino dentro de un tubo de vidrio, y manteniéndole enrojecido por una corriente eléctrica, se hace pasar por el tubo un gas cualquiera que no sea el hidrógeno; el alambre permanece enrojecido durante el paso de los gases, pero en cuanto atraviesa el hidrógeno se enfria y cesa de ser luminoso, porque conduce el calor como si fuera un vapor metálico. Además, combinándose el hidrógeno con el oxígeno, forma el agua ó protóxido de hidrógeno, que sabemos desempeña el papel de base con los ácidos enérgicos (29), y ningun óxido metalóide posee esta propiedad: pueden servir de ejemplo los fosfatos ordinarios, y de aquí el considerar á los ácidos hidratados como sales de protóxido de hidrógeno, por ejemplo, el ácido sulfúrico hidratado, SO^3,HO. Ultimamente, cuando el hidrógeno del ácido sulfúrico es desalojado por el zinc, se conduce del mismo modo que el cobre del sulfato de cobre, si este metal es desalojado por el zinc en las mismas condiciones que lo ha sido el hidrógeno:

$$Zn + SO^3,HO = ZnO,SO^3 + H$$
$$Zn + CuO,SO^3 = ZnO,SO^3 + Cu.$$

El agua combinada con las bases enérgicas, se ha dicho, hace las veces de ácido, y esto mismo sucede al zinc y otros óxidos metálicos.

Las propiedades del hidrógeno (28) dan una gran fuerza á la concepcion de Dumas y á la expresion de *vapor metálico* que atribuyó al gas hidrógeno.

70. **Primera familia.**—Los cuatro cuerpos que forman esta familia, que se puede decir es la mas natural de todas, combinándose con el hidrógeno, forman hidrácidos muy enérgicos: 2 volúmenes de hidrógeno se unen á 2 volúmenes de dichos metalóides, sin condensacion, para formar 4 volúmenes de gas ácido.

A este carácter esencial se pueden agregar otros menos importantes. El cloro, bromo y iodo poseen un olor fuerte y característico que excita los órganos de la respiracion. Los ácidos clorhídrico, bromhídrico y iodhídrico son gaseosos á la temperatura ordinaria, dan humos espesos al aire, son muy solubles en el agua, y forman con este líquido compuestos definidos. Sus disoluciones constituyen ácidos enérgicos que atacan la mayor parte de los metales con desprendimiento de hidrógeno. Los compuestos que forman, uniéndose indirectamente con el oxígeno, son ácidos poco

estables. El cloro forma cinco de estos compuestos, y todos se descomponen fácilmente; el bromo tres, pero mas estables, y el iodo otros tres, mas estables que los compuestos correspondientes de cloro y de bromo.

Los cloruros, bromuros y ioduros formados por un mismo metal, generalmente son isomorfos; pueden servir de ejemplo el cloruro, bromuro y ioduro de potasio que cristalizan en el sistema cúbico; el cloruro, bromuro y ioduro de plata, que son insolubles en el agua, pero solubles en el hiposulfito de sosa; la luz altera igualmente estos tres compuestos, y por esto se emplean en la fotografía.

Se ha incluido en esta familia el radical hipotético de los fluoruros, porque el ácido fluorhídrico es un gas que esparce vapores espesos al aire, como el ácido clorhídrico; es muy soluble en el agua, y su disolucion constituye un ácido muy enérgico; como todos los ácidos hidrácidos, está formado por la combinacion de 2 volúmenes de radical y 2 volúmenes de hidrógeno, sin disminucion de volúmen; el ácido fluorhídrico se considera formado como el ácido clorhídrico, colocando por esta razon el fluor en la familia del cloro.

Estos cuatro cuerpos, combinándose con los metalóides ó los metales acidificables, forman compuestos binarios electro-negativos, y con los metales alcalinos compuestos binarios electro-positivos, que pueden unirse los primeros con los segundos y dar orígen á sales comparables con las oxisales.

Si se considera que la afinidad de estos cuerpos con el oxígeno y la estabilidad de los compuestos resultantes decae á medida que la afinidad con el hidrógeno aumenta, se concluirá que el fluor es, de todos los cuerpos de esta familia, el que posee la mayor afinidad con el hidrógeno. Colocados los cuatro cuerpos en el órden que decrece su afinidad con el hidrógeno, figura en primer término el *fluor*, le sigue el *cloro*, y despues el *bromo* y *iodo*, creciendo la afinidad de estos cuerpos con el oxígeno en órden inverso.

Si el fluor pertenece á la familia del cloro, debe ser un gas ligeramente coloreado, difícil de liquidar; su afinidad con el hidrógeno muy grande; probablemente descompondrá el agua á la temperatura ordinaria para formar el ácido fluorhídrico: dará humos blancos al aire, y será muy peligroso el respirarle.

El cuadro siguiente manifiesta ser el órden indicado el que corresponde á estos cuerpos por las propiedades que les distinguen, observándose tambien que el equivalente aumenta tanto

mas cuanto mayor es la densidad, la temperatura de fusion, el punto de ebullicion y la tendencia á tomar brillo metálico.

	FLUOR. Fl.	CLORO. Cl.	BROMO. Br.	IODO. I.
Estado á la temperatura ordinaria.....	Desconocido.	Gas amarillo verdoso.	Líquido, rojo.	Sólido, gris de hierro.
Densidad en el estado sólido ó líquido...	»	1,33	2,97	4,83
Densidad del vapor.....	»	2,44	5,39	8,7
Punto de ebullicion.....	»	—50°	63°	175°
Equivalente en peso.....	19	35,5	80	127
Equivalente en volúmen...	2 vol.	2 vol.	2 vol.	2 vol.

71. **Segunda familia.**—Los cuatro cuerpos que la forman, combinándose con el hidrógeno, producen ácidos débiles, formados por 1 volúmen de vapor de cada uno de estos metalóides, unido á 2 volúmenes de hidrógeno, condensados en 2 volúmenes. Esta familia se ha subdividido en dos grupos: el uno comprende el *azufre*, *selenio* y *teluro*, el otro le forma el *oxígeno*.

Entre el oxígeno y el azufre existen tan grandes analogías, que pueden en muchos casos reemplazarse mútuamente, habiendo dado esto motivo para que Dumas haya dicho que el azufre es un oxígeno sólido. En efecto, el carbono y los metales arden en el vapor del azufre como en el oxígeno, formando compuestos análogos; el carbono forma con el azufre el ácido sulfo-carbónico, análogo al ácido carbónico; los metales con el mismo metalóide forman sulfuros, que por sus propiedades químicas se asemejan á los respectivos óxidos.

Las analogías del azufre, selenio y teluro se manifiestan de un modo mas evidente: los ácidos sulfhídrico, selenhídrico y telurhídrico son gases combustibles, de un olor característico y repugnante, muy venenosos, poco solubles en el agua, y su disolucion es descompuesta por este líquido, formándose agua, y el metalóide queda en libertad. Los sulfuros, seleniuros y telururos se encuentran frecuentemente reunidos en la naturaleza, porque son isomorfos. Por último, cuando estos metalóides arden directamente en el oxígeno ó en el aire, dan orígen á productos gaseosos ó volátiles de un olor sofocante, los cuales son formados por la union de 1 volúmen de vapor del metalóide con 2 volúmenes de

oxígeno condensados en 2 volúmenes; estos son los ácidos sulfuroso, selenioso y teluroso. Estos tres ácidos, en presencia de cuerpos oxidantes, se combinan con 1 equivalente mas de oxígeno, y se trasforman en otros ácidos mas enérgicos; tales son el ácido sulfúrico, SO^3, el ácido selénico, SeO^3, y el ácido telúrico, TeO^3; y combinándose estos ácidos con las bases, forman sales isomorfas entre sí.

En el siguiente cuadro se indican las propiedades físicas mas importantes de esta familia, y en el mismo se demuestra cómo el equivalente aumenta á medida que va siendo mayor la densidad, la temperatura de fusion, el punto de ebullicion y la tendencia á adquirir brillo metálico.

	OXÍGENO. O.	AZUFRE. S.	SELENIO. Se.	TELURO. Te.
Estado á la temperatura ordinaria	Gas incoloro.	Sólido, amarillo.	Sólido, rojo oscuro.	Sólido, gris metálico.
Densidad en el estado sólido	»	2,03	4,80	6,26
Densidad del vapor	1,1057	2,22	5,6	8,93
Temperatura de fusion	»	111°	217°	350°
Punto de ebullicion	»	440°	700°	Al rojo.
Equivalente en peso	8	16	39,75	64,5
Idem en volúmen	1 vol.	1 vol.	1 vol.	1 vol.

72. **Tercera familia.**—Los cuatro cuerpos que forman esta familia tienen por carácter esencial formar con el hidrógeno compuestos gaseosos, que hacen las veces de bases ó son neutros. Dos volúmenes de nitrógeno y 6 volúmenes de hidrógeno condensados en 4 volúmenes, forman el amoniaco, NH^3; y 1 volúmen de vapor de fósforo, arsénico ó de antimonio (1), y 6 volúmenes de hidrógeno condensados en 4 volúmenes, forman el fosfuro, el arseniuro ó el antimoniuro de hidrógeno, PhH^3, AsH^3 y SbH^3.

El amoniaco es una base enérgica; el fosfuro de hidrógeno lo es débil, y el arseniuro de hidrógeno es cuerpo neutro. El isomorfismo de los fosfatos y arseniatos, que constantemente se hallan unidos en la naturaleza, demuestra la analogía del fósforo y arsénico. En cuanto al nitrógeno, se separa de los otros dos cuerpos

(1) En una clasificacion natural no se puede separar el antimonio del arsénico, y por esto le hemos incluido entre los metaloides, aun cuando por sus propiedades físicas se le estudie en la seccion de los metales.

del mismo grupo, porque su densidad corresponde á 2 volúmenes, y la del fósforo y arsénico á 1 solo volúmen. Esta anomalía la explica Deville admitiendo que el nitrógeno combinado no está representado por el mismo volúmen que el nitrógeno libre, correspondiendo á 1 volúmen cuando está combinado, y 2 volúmenes en cuanto queda libre. Por esta hipótesis se explican fácilmente las propiedades explosivas de un gran número de compuestos nitrogenados, y se explica tambien la dificultad con que el nitrógeno se combina directamente con el oxígeno, hidrógeno y otros cuerpos simples.

Entre el fósforo, arsénico y antimonio, existe grande analogía: los fosfatos y arseniatos son isomorfos, y se hallan asociados en la naturaleza; los fosfatos, arseniatos y antimoniatos son polibásicos, y las fórmulas de sus compuestos se corresponden. Los ácidos antimonioso y antimoniaco se combinan en todas proporciones como los ácidos fosforoso y fosfórico. Las afinidades de estos cuerpos decrecen desde el primero al último.

El siguiente cuadro demuestra que el equivalente de los cuerpos de esta familia se eleva á medida que aumenta la densidad, la temperatura de fusion, el punto de ebullicion y la tendencia á adquirir el aspecto metálico.

	NITRÓGENO. N.	FÓSFORO. Ph.	ARSÉNICO. As.	ANTIMONIO. Sb.
Estado á la temperatura ordinaria.....	Gas incoloro.	Sólido incoloro.	Sólido, gris metálico.	Sólido, blanco argentino.
Densidad en estado sólido..	»	1,84	5,65	6,71
Id. en el gaseoso.....	0,9715	4,32	10,4	»
Temperatura de fusion....	»	44°2	Rojo oscuro.	»
Punto de ebullicion.....	»	290°	Id., id.	»
Equivalente en peso.....	14	31	73	122
Id. en volúmen.....	2 vol.	1 vol.	1 vol.	»

73. **Cuarta familia.**—Los tres cuerpos que constituyen esta familia, son sólidos, poco fusibles, y fijos á las temperaturas mas altas de nuestros hornos. Presentan las mismas modificaciones moleculares; á los tres se les conoce en el estado amorfo y cristalizado. En el primer estado son atacados por los reactivos, no ejerciendo estos accion sensible cuando están cristalizados. La dureza es variable en ellos; el mas duro es el diamante, sigue el boro adamantino, y por último, el silicio cristalizado; este se

funde al rojo vivo, y los otros dos aun no se han podido fundir.

Despret consiguió reblandecer el carbono con una pila de 600 elementos de Bunsen (397 *Fís.*). Los tres cuerpos solo son solubles en los metales fundidos; el carbono se disuelve en el hierro, el boro en el aluminio, y el silicio en el aluminio y zinc.

Entre el carbono y el silicio existe una analogía química de suma importancia para establecer, segun esta, la fórmula de la sílice, SiO^2. Marignac ha llegado á demostrar que el fluoruro de silicio forma con los fluoruros de potasio y sodio fluoruros dobles, amorfos, cuyos fluoruros dobles los forman tambien los de estaño y titano con los de potasio y sodio; deduciendo de aquí que la fórmula de la sílice debe ser SiO^2, análoga á la del ácido estánnico SnO^2, y ácido titánico TiO^2; y por consiguiente, análoga á la del ácido carbónico CO^2. Por último, se sabe que el silicio hace las veces del carbono en muchos compuestos orgánicos.

Entre el boro y silicio tambien existen grandes analogías; los ácidos bórico y silícico son fijos, se funden á temperaturas elevadas, y forman con los álcalis materias *vitrificables*. Los sulfuros y cloruros de boro y silicio tienen propiedades semejantes. Finalmente, el fluor, combinándose con el boro y el silicio, forma compuestos que desprenden humos abundantes al aire, cuyos fluoruros se descomponen por el agua y forman fluoruros dobles con los fluoruros alcalinos.

La densidad de los tres cuerpos que forman esta familia va disminuyendo á medida que aumenta el equivalente y la tendencia á tomar el brillo metálico; lo contrario de lo que sucede en las familias anteriores, segun se manifiesta en el siguiente cuadro:

	CARBONO. C.	BORO. Bo.	SILICIO. Si.
Estado	Cristalizado, grafitóide y amorfo.	Cristalizado y amorfo.	Cristalizado, grafitóide y amorfo.
Densidad en el estado cristalino	3,55	2,69	2,49
Equivalente	6	11	14

CAPÍTULO III.

De los metales y sus combinaciones mas principales.

GENERALIDADES DE LOS METALES.

DE LAS ALEACIONES Y DE LOS ÓXIDOS METÁLICOS.

74. **Metales.**—Todos los metales son buenos conductores del calor y de la electricidad: se funden á diferentes temperaturas; se presentan en el estado sólido á la temperatura ordinaria, excepto el mercurio, que se solidifica á —40°: la mayor parte no tienen olor ni sabor: el estaño, cobre, plomo y hierro, cuando se les frota, desprenden olor, y su sabor es desagradable: todos, excepto el potasio y el sodio, son mas pesados que el agua destilada, cuyo peso se aumenta generalmente por el forjado: su color en general es blanco; el oro, el cobre y el tántalo son amarillo-rojizos: casi todos poseen un brillo que les es característico, y que se llama *brillo* ó *lustre metálico*, el cual pierden reduciéndolos á polvo fino, y le vuelven á adquirir por la frotacion sobre un cuerpo duro: todos son opacos. La dureza varía; los hay blandos como la cera, tales son el potasio y el sodio; otros se dejan rayar por la uña, como el plomo y el estaño, y otros presentan una dureza bastante grande, como el antimonio y el hierro. Los hay dúctiles, como el hierro y el cobre, y maleables, como el oro y el estaño; la tenacidad varía, siendo el hierro el mas tenaz de todos.

Ciertos metales se combinan con el oxígeno á la temperatura ordinaria; otros no se combinan con este gas sino á las temperaturas mas altas; y otros, en fin, no se oxidan á ninguna temperatura, pero por medios indirectos se consigue combinar con el oxígeno á estos metales. Cuando el aire está seco, su oxígeno obra sobre los metales del mismo modo que si este gas se hallara puro, aunque con menos energía: si está húmedo, se combina con mas rapidez, y en este caso los óxidos se presentan hidratados. Algunos metales descomponen el agua á la temperatura ordinaria; otros necesitan hallarse á una temperatura elevada para descomponerla, y hay un corto número de ellos que no la descomponen á ninguna temperatura. El azufre, cloro, iodo, bromo y fósforo se combinan con todos los metales y dan orígen á los sulfuros, cloruros, etc.: el hidrógeno, nitrógeno, carbono, boro y

silicio, solo se combinan con algunos, y forman los hidruros, nitruros, carburos, etc.

Estado natural.—Los metales se encuentran en la naturaleza, unas veces aislados ó en estado *nativo*, otras veces en combinacion con el oxígeno, azufre ó arsénico, y otras en el estado de sales insolubles, y á veces se hallan en el estado de sales solubles, disueltos en las aguas del mar ó en las de algunas fuentes saladas.

75. **Clasificacion de los metales.**—Se han propuesto varias clasificaciones para estudiar metódicamente los metales, pero la mas generalmente admitida es la de Thenard, con las modificaciones introducidas en ella por Regnault: esta clasificacion está fundada en los grados de afinidad de los metales para con el exígeno, y su accion sobre el agua sola fria ó caliente, ó en presencia de los ácidos. Segun esta clasificacion, los metales se dividen en las siete secciones que se indican en el siguiente cuadro:

METALES CUYOS ÓXIDOS POR SOLO LA ACCION DEL CALOR

Se reducen al estado metálico.

No descomponen el agua á ninguna temperatura.

2 secciones.

Metales que *absorben el oxígeno á una temperatura dada, y los óxidos se reducen á otra mas elevada.* **6.ª seccion.** * Mercurio, Paladio, Rodio y Rutenio.

no se combinan directamente con el oxígeno, y cuyos óxidos se reducen con suma facilidad. **7.ª seccion.** * Plata, * Oro, * Platino é Iridio.

No se reducen al estado metálico.

Descomponen el agua para apoderarse de su oxígeno.

5 secciones.

Metales que descomponen el agua *en frio.* **1.ª seccion.** * Potasio, * Sodio, Litio, * Bario, * Estroncio y * Calcio (1). Los tres primeros forman *óxidos alcalinos*, y *alcalinos térreos* los tres restantes.

á 100° ó á temperaturas inferiores al rojo. **2.ª seccion.** Galio, * Magnesio, Cerio, Lantano, Didimio, Glucinio, Itrio, Erbio, Terbio, Zirconio, Torinio, Ilmenio y * Aluminio.

al calor rojo ó en frio bajo la influencia de los ácidos. **3.ª seccion.** * Manganeso, * Hierro, Indio, * Zinc, * Níquel, * Cobalto, Vanadio, * Cadmio y * Cromo.

al calor rojo, y no la descomponen en frio bajo la influencia de los ácidos. **4.ª seccion.** * Estaño, * Antimonio, Urano, Titano, Molibdeno, Tungsteno, Tántalo, Niobio, Pelopio? Osmio, Donario?

al calor rojo blanco, y no la descomponen en presencia de los ácidos. **5.ª seccion.** * Cobre, * Plomo y * Bismuto.

(1) Los metales rubidio, cesio y talio, son muy electro-positivos, y por sus caractéres generales se les ha colocado entre el litio y bario.

Atendiendo al carácter elemental de estas nociones de química, solo estudiaremos los metales cuyos nombres van marcados con el asterisco (*).

76. **Aleaciones.**—Las *aleaciones* son combinaciones metálicas dotadas de propiedades físicas comunes á los metales que las forman. En la naturaleza se encuentran muchas aleaciones ya formadas; las constituidas por el antimonio con el hierro, la plata, el níquel y el cobalto, son las mas comunes.

Propiedades.—Todas las aleaciones son sólidas, excepto la de potasio y sodio, y las amalgamas con exceso de mercurio conducen bien el calor y la electricidad: son brillantes, á no ser que se hallen en polvo muy fino: tienen una densidad unas veces mayor y otras menor que la de los metales que constituyen la aleacion; algunas son muy sonoras, y otras tienen un olor particular: son mas duras, mas quebradizas y menos dúctiles que los metales que las componen. Sometidas á la accion del calor, se eleva su temperatura rápidamente y se funden, notándose que la aleacion es siempre mas fusible que el metal menos fusible que entra en su composicion. Si las aleaciones que contienen metales volátiles se exponen á una temperatura elevada, se descomponen en todo ó en parte: así se observa que las amalgamas pierden todo el mercurio que contienen, mientras que las aleaciones de potasio, sodio, etc., solo se descomponen en parte. Cuando la aleacion está formada de metales que se funden á temperaturas diferentes, se pueden estos separar por *licuacion*; así se separa el estaño del cobre.

El oxígeno y el aire actúan sobre las aleaciones del mismo modo que sobre los metales separados, solo que en algunas la oxidacion se verifica de un modo mas rápido, cuyo fenómeno se atribuye á la tendencia que manifiesta uno de los óxidos á combinarse con el otro. Si uno de los metales es oxidable y el otro no, como sucede en la aleacion de plata y plomo, se puede emplear la oxidacion para separarlos. Las aleaciones tienen aplicaciones muy importantes en las artes.

Preparacion.—En los laboratorios se obtienen fundiendo los metales en retortas ó crisoles de barro, vertiendo la mezcla despues de fundida en moldes dispuestos para recibir la aleacion en el estado líquido.

El cobre es el metal que entra á formar parte del mayor número de aleaciones, utilizándose todas ellas. Combinándose este metal con el oro y la plata, los da dureza, y con el aluminio forma un bronce muy duro y maleable, de color amarillo parecido al del oro.

Despues del cobre son el plomo y el estaño los metales que forman parte del mayor número de aleaciones.

En el siguiente cuadro se indican las aleaciones de mayor uso:

Monedas de oro	Oro	900
	Cobre	100
Vajilla y medallas de oro	Oro	916
	Cobre	84
Joyas de oro	Oro	750
	Cobre	250
Monedas de plata (pieza de 5 pesetas)	Plata	900
	Cobre	100
Idem de id. (pieza de 2, 1 y 1/2 peseta)	Plata	835
	Cobre	165
Vajilla y medallas	Plata	950
	Cobre	50
Joyería de plata	Plata	800
	Cobre	200
Bronce de monedas y medallas	Cobre	95
	Estaño	4
	Zinc	1
Idem de aluminio	Cobre	90
	Aluminio	10
Idem de cañones	Cobre	90
	Estaño	10
Idem de tantanes y platillos	Cobre	80
	Estaño	20
Idem de campanas	Cobre	75
	Estaño	25
Idem de espejos telescópicos	Cobre	66
	Estaño	34
Laton	Cobre	78
	Zinc	16
	Estaño	4
	Plomo	2
Similor	Cobre	91
	Zinc	3
	Estaño	6
Caractéres de imprenta	Plomo	80
	Antimonio	20
Metal inglés	Estaño	100
	Antimonio	8
	Bismuto	1
	Cobre	4
Maillechort ó argentan	Cobre	50
	Zinc	25
	Níquel	25
Soldadura de plomeros	Plomo	66
	Estaño	34

77. **Oxidos metálicos.**—Los óxidos metálicos son compuestos binarios que resultan de la combinacion del oxígeno con los metales. Los antiguos los llamaban *cales metálicas*, y los consideraban como metales desprovistos de flogisto, que les devolvia el carbon por la calcinacion. Lavoisier fué el primero que estudió estos cuerpos, y la historia que de ellos comenzó este célebre químico ha sido ampliada por otros, y en particular por Davy y Berzelius.

Propiedades.—Todos los óxidos metálicos son sólidos, quebradizos, sin brillo y de colores variados; son inodoros é insípidos, excepto los de los metales de la primera seccion y todos los solubles: son mas pesados que el agua y menos que el metal que los forma, excepto los de potasio y sodio, cuyos metales son menos pesados que el agua. El calor hemos visto que actúa sobre los óxidos, reduciendo á unos, haciendo pasar á un grado inferior de oxidacion á otros, y no alterando á los de la segunda seccion: solo son volátiles el óxido de osmio y el protóxido de antimonio.

La corriente eléctrica de la pila de Volta descompone los óxidos: el oxígeno marcha al polo electro-positivo, y el metal al polo electro-negativo. Algunos protóxidos anhidros pueden combinarse directamente con mayor cantidad de oxígeno á la temperatura ordinaria; otros, como el protóxido de plomo, necesitan una temperatura elevada, y ciertos óxidos absorben con mas facilidad el oxígeno cuando están hidratados. El hidrógeno á temperaturas diferentes y siempre superiores á la ordinaria, descompone muchos óxidos, apoderándose de su oxígeno para formar agua: el carbono reduce á todos los óxidos metálicos que son descompuestos por el hidrógeno, y á altas temperaturas descompone algunos óxidos que se resisten á la accion del hidrógeno: el azufre actúa sobre el mayor número de los óxidos á temperaturas elevadas, formándose un sulfato y un sulfuro, y añadiendo carbon, se forma solo un sulfuro: el cloro seco trasforma casi todos los óxidos en cloruros, bien se hallen á la temperatura ordinaria ó á una temperatura elevada. Si los óxidos están disueltos ó en suspension en el agua, la accion del cloro es diferente de la que se acaba de indicar; segun la cantidad del óxido que exista en disolucion en el agua y la temperatura de la disolucion, se formará un cloruro y un hipoclorito si la disolucion es débil y baja la temperatura, y se formará un cloruro y un clorato cuando la disolucion está concentrada y la temperatura es de 60 á 80°. Los metales actúan sobre los óxidos segun sea su afinidad para con el

oxígeno; así, unas veces se reduce el óxido y se oxida el metal, otras se oxida parte del metal empleado, y la parte del metal no oxidada se une al metal reducido y se forma una aleacion. Sucede con frecuencia que se trasforma el óxido en otro inferior que queda libre, ó se combina con el óxido formado, ó se reduce una parte del óxido y se combina la otra con el nuevo óxido.

Estado natural.—En la naturaleza se encuentra un pequeño número de óxidos metálicos en el estado de libertad; pero existen en bastante abundancia combinados con algunos ácidos formando sales y combinados con otros óxidos.

Preparacion.—Varios son los métodos que se emplean para obtener los óxidos:

1.° Calentando los metales en contacto del aire ó del oxígeno puro ($Hg+O=HgO$).

2.° Calcinando los nitratos y carbonatos ($PbO,NO^5=NO^4+O+PbO$).

3.° Descomponiendo sales disueltas en el agua por la potasa, la sosa ó el amoniaco ($AgO,NO^5+KO=KO,NO^5+AgO$).

4.° Tratando los metales por cuerpos que puedan prestarles oxígeno, tales como el ácido nítrico, clorato de potasa, etc. ($3Sn+2NO^5=2NO^2+3SnO^2$).

5.° Haciendo hervir una disolucion de un carbonato soluble con un óxido que forme un carbonato insoluble ($KO,CO^2+CaO=CaO,CO^2+KO$).

6.° Descomponiendo una sal soluble por el agua oxigenada.

78. **Clasificacion de los óxidos metálicos.**—Los *óxidos metálicos* se dividen en las cinco clases siguientes:

1.ª Clase. *Óxidos básicos.*—Estos óxidos enverdecen el jarabe de violetas y devuelven el color azul á la tintura de tornasol enrojecida por un ácido; se combinan fácilmente con los ácidos, y forman sales definidas y cristalizables (KO,NO^5).

2.ª Clase. *Óxidos ácidos.*—Reciben este nombre los óxidos que tienen la propiedad de enrojecer la tintura de tornasol y no se combinan con los ácidos, ó si lo hacen es muy rara vez; forman sales bien definidas con las bases enérgicas (CrO^3).

3.ª Clase. *Oxidos indiferentes.*—Se les da este nombre porque pueden hacer á la vez el papel de ácidos con la bases enérgicas y el de bases con los ácidos enérgicos (Al^2O^3).

4.ª Clase. *Oxidos singulares.*—Estos óxidos no se unen á los ácidos ni á las bases; bajo la influencia de los ácidos pierden una porcion de su oxígeno y se trasforman en protóxidos, que se combinan con el ácido (MnO^2).

5.ª Clase. *Oxidos salinos.*—Son los óxidos que resultan de la combinacion de un óxido metálico básico con un óxido superior del mismo metal (FeO,Fe^2O^3).

GENERALIDADES DE LAS SALES.

79. **Definicion de las sales.**—Se da el nombre de *sales* á los compuestos formados por la union de los ácidos con los óxidos salificables; en efecto, para que se forme una *sal* es necesario que un compuesto electro-negativo (el ácido) se una á otro compuesto electro-positivo (la base). Esta definicion no se puede considerar como exacta desde que Berzelius demostró que poniendo un hidrácido en contacto de un óxido metálico, se forma siempre un cuerpo binario de propiedades físicas análogas á las de las sales: además, en muchas reacciones químicas producidas en el agua, se ha observado se portan lo mismo que las combinaciones de los óxidos con los hidrácidos; por esta razon, y fundándose en los hechos experimentales, Berzelius ha dado una extension mas general á la definicion de sal, y las ha dividido, para diferenciarlas, por los principios que las constituyen, en *sales binarias* y en *sales ternarias*. La mayor parte de los químicos han convenido en esta clasificacion, y admiten como sales los cloruros, bromuros, ioduros y fluoruros solubles.

Las sales que forman la primera clase reciben el nombre de *sales haloideas*, y el de *cuerpos halógenos* los simples que forman hidrácidos con el hidrógeno, y por tanto sales haloideas con los metales. A las sales que resultan de la combinacion de los compuestos binarios que constituyen la segunda clase, se las llama *sales ánfidas*: cuando estas sales son formadas por la combinacion de un oxácido metalóideo ó metálico con un óxido metálico, se las denomina *oxisales*: si la combinacion tiene lugar entre una *sulfobase* ó sulfuro metálico y un *sulfácido* ó sulfuro metalóideo ó metálico, las sales formadas reciben el nombre de *sulfosales*; y se llama *selenisales* y *telurisales* á las sales formadas por una seselenibase y un seleniácido, ó por una teluribase y un teluriácido. Ultimamente se han hallado algunos cloruros dobles formados por la combinacion de un cloruro metálico electro-positivo ó *clorobase* y un cloruro metalóideo ó metálico ó *clorácido:* siguiendo la nomenclatura establecida para las sales anteriores, se las llama *clorosales*.

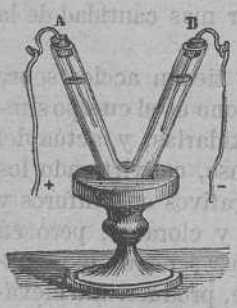
El estudio que vamos á hacer de las sales en general, se refiere

principalmente á las oxisales, por ser las mas importantes y las mejor conocidas hasta el dia.

80. **Propiedades de las sales.**—La mayor parte de las sales son sólidas á la temperatura ordinaria, y susceptibles de cristalizarse cuando pasan del estado gaseoso ó líquido al estado sólido. Siempre que una sal está formada por la combinacion de un ácido incoloro ó blanco, la sal será incolora: cuando los óxidos ó los ácidos tienen color, las sales participan de él, como se observa en las sales de protóxido de hierro, que son verdes, en las sales de deutóxido de cobre, que son azules ó verdes, y en los cromatos, que si son neutros presentan un color amarillo, y si son ácidos su color es rojo. Las sales que se volatilizan á la temperatura ordinaria, tales como el carbonato de amoniaco y los sulfhidratos, tienen olor; otras le desprenden al descomponerse, como sucede á los cloritos. Las sales insolubles en el agua son insípidas, y el sabor de las solubles es con frecuencia característico, observándose que todas las sales que están formadas por el mismo óxido, tienen un sabor análogo, el cual es mas marcado en las mas solubles.

Expuestas las sales á la accion del calor, se volatilizan algunas de ellas sin descomponerse; otras se descomponen á una temperatura mas ó menos elevada, y solo las de potasa y sosa se funden al calor rojo sin descomponerse. Si las sales contienen agua de cristalizacion, experimentan la *fusion acuosa*, pasando despues á la *fusion ígnea*; y cuando el agua está solo interpuesta al evaporarse, se rompen las partes salinas con cierto ruido que se llama *decrepitacion*. La luz altera y descompone ciertas sales, como las de oro, mercurio, etc. La electricidad voltáica descompone todas las sales (*fig.* 49); el ácido se dirige al polo positivo, y la base al negativo. Si la corriente de la pila es muy fuerte, sucede algunas veces que el ácido y la base se descomponen, en cuyo caso el oxígeno se dirige al polo positivo, y los cuerpos simples unidos al oxígeno se presentan en el negativo.

Fig. 49.



Las sales son todas mas pesadas que el agua destilada, y son tanto mas pesadas cuanto mayor es la cantidad y densidad del óxido metálico que contienen: así, las sales de platino, mercurio, plomo, etc., son mas pesadas que las de cal, magnesia, sosa, etc.

El oxígeno del aire actúa sobre ciertas sales, oxigenando el áci-

do; los hiposulfitos y fosfitos se hallan en este caso: otras veces oxida la base, como sucede á las sales de protóxido de estaño, de protóxido de hierro, etc. Algunas sales atraen la humedad del aire y pasan al estado líquido; en este caso se llaman *sales delicuescentes*; tales son el cloruro de calcio, el nitrato de amoniaco, etc.: otras, por el contrario, pierden en el aire su agua de cristalizacion y la trasparencia, reduciéndose á polvo; estas se denominan *sales eflorescentes*, como, por ejemplo, el sulfato y el carbonato de sosa. Entre las sales hay unas que son solubles en un peso de agua menor que el suyo; otras no se disuelven sino en una, dos, tres ó cuatro veces el peso de este líquido; algunas necesitan gran cantidad de agua para disolverse; y por último, las hay que son sensiblemente insolubles. Una sal puede tener menos afinidad que otra con el agua y ser mas soluble en ella, si su estado de agregacion molecular ó fuerza de cohesion es menor. La ebullicion del agua saturada de una sal se verifica á una temperatura tanto mas elevada cuanto mayor es la afinidad que con ella tenga la sal. Todas las sales que resultan de la combinacion de la potasa, sosa y amoniaco con un ácido cualquiera, son solubles, á no ser que tengan un exceso de ácido insoluble; son solubles tambien todas las sales en que predomine un ácido soluble, y son insolubles ó poco solubles las que contienen un exceso de base, á no ser que esta sea soluble. Las sales son generalmente mas solubles en caliente que en frio; por el enfriamiento, la disolucion abandona una porcion de sal, y las partículas salinas se agrupan afectando la forma de cristal; el agua que queda despues de formados los cristales se llama *agua madre*. Se dice que el agua está *saturada* cuando no puede disolver mas sal, observándose que á veces puede disolver otra sal, y suele suceder que esta nueva sal comunique al agua la propiedad de disolver mas cantidad de la primera.

El hidrógeno, azufre, fósforo y carbono tienen accion sobre las sales á una temperatura elevada. El carbono es el cuerpo simple que generalmente se emplea para desoxidarlas, y actúa del mismo modo sobre el ácido que sobre la base, convirtiendo los sulfatos y fosfatos de los metales electro-negativos en sulfuros y fosfuros. Tambien obra sobre los nitratos y cloratos, pero en estas sales la accion se limita solo al ácido, por ser muy oxigenado: en este caso el carbon arde rápidamente, produciendo elevacion de temperatura y una luz bastante viva; cuando se verifica este último fenómeno, se dice que la sal *deflagra*.

Los metales muy electro-positivos, como el potasio, sodio,

bario, calcio, etc., descomponen una porcion del agua de las disoluciones salinas con que se ponen en contacto; los metales se oxidan, y el óxido formado actúa sobre la sal, separando una parte del ácido de la sal disuelta y precipitando la base.

Si en la disolucion de una sal metálica se sumerge un metal electro-positivo con relacion al de la sal, el metal sumergido sustituye al de esta y se precipita en el estado metálico. Algunas veces el metal precipitado se deposita en el fondo del vaso en donde se opera, y otras se adhiere á la superficie del metal precipitante, presentando en algunas ocasiones una forma regular. De este modo se obtiene el *árbol de Saturno*, introduciendo pequeños fragmentos de zinc, fijos á un alambre de laton, en una disolucion de acetato de plomo (403, *Fís.*), y el *árbol de Diana* echando mercurio en una disolucion de nitrato de plata.

81. **Preparacion de las sales.**—Para preparar las sales se siguen varios procedimientos: 1.° Combinando directamente los ácidos con los óxidos. 2.° Sustituyendo á los óxidos sus carbonatos. 3.° Por medio de las dobles descomposiciones. 4.° Haciendo obrar los metales sobre los ácidos á diferentes temperaturas. 5.° Se preparan las subsales echando potasa, sosa ó amoniaco disueltos en una disolucion salina. 6.° En fin, las sales dobles se obtienen añadiendo á una de las simples que entran en la composicion de la sal doble, la base que la falta.

82. **Neutralidad de las sales.**—Cuando un ácido se combina con una base y pierden el ácido y la base las propiedades que los distinguen, se dice que está *saturado* ó *neutralizado* el ácido por la base, y la sal formada recibe el nombre de *sal neutra*: si el compuesto enrojece las tinturas azules de los vegetales, se llama *sal ácida*, y si enverdece dichas tinturas, se denomina *sal básica*.

Este modo de establecer la neutralidad de las sales no es el mas exacto, pues sucede algunas veces que las sales neutras enrojecen las tinturas azules, lo cual se verifica siempre que el ácido es enérgico y la base débil, ó la enverdecen en el caso contrario. No siendo el mejor medio de determinar la neutralidad de las sales el cambio de color en rojo ó verde de las tinturas azules de los vegetales, se ha convenido en llamar sales neutras á todas las sales que contengan una composicion análoga á las sales de potasa que no alteran el color azul de las tinturas vegetales. Ejemplo: combinando el ácido nítrico y la potasa, se obtiene una sal neutra cuya composicion se expresa por KO,NO^5, pues todas las sales formadas por el ácido nítrico en que el oxígeno del ácido sea 5 veces mayor que el de la base, serán neutras, bien que enrojezcan

ó que enverdezcan las tinturas azules. Lo dicho respecto de los nitratos se aplica del mismo modo á los demás géneros de sales; así en el carbonato de potasa neutro, la cantidad de oxígeno de la base será á la cantidad de oxígeno del ácido como 1 : 2; en el sulfato neutro de potasa, como 1 : 3; en el clorato de potasa neutro, como 1 : 5, etc. Se llaman sales ácidas las sales en que existe una cantidad de ácido mayor de la contenida en la sal neutra; y por el contrario, se llaman sales básicas las que tienen una cantidad de base mayor de la necesaria para formar la sal neutra.

83. **Clasificacion de las sales.**—Se llaman sales de un mismo *género* las formadas por el mismo ácido ó elemento electro-negativo; las *especies* de que se compone cada género se distinguen por la naturaleza de su base; de la reunion de géneros que tienen entre sí mucha analogía, se forman las *familias*, y las diferencias en las formas cristalinas constituyen las *variedades*.

Todas las sales de un mismo género en igual estado de saturacion, están formadas de tal manera, que la cantidad de oxígeno del ácido es un múltiplo del oxígeno que contiene la base. En efecto, el análisis prueba que:

El carbonato neutro de cal está formado de. .	100 ácido carbónico, que contiene	72,35	oxígeno y	27,65	carbono.
	128,78 cal —	36,17	id.	92,61	calcio.
El carbonato neutro de sosa está formado de. .	100 ácido carbónico, que contiene	72,35	oxígeno y	27,65	carbono.
	141,387 sosa —	36,15	id.	105,23	sodio.

El sulfato neutro de sosa está formado de. . .	100 ácido sulfúrico, que contiene	59,85	oxígeno y	40,14	azufre.
	117,69 potasa —	19,95	id.	97,74	potasio.
El sulfato neutro de plomo está formado de. .	100 ácido sulfúrico, que contiene	59,86	oxígeno y	40,14	azufre.
	279 óxido de plomo —	20,00	id.	259	plomo.

Donde vemos que la relacion entre la cantidad del oxígeno, del óxido y la del ácido en los carbonatos es la de 36,16 : 73,32 ó la de 1 : 2; y en los sulfatos la de 19,95 : 59,86 ó la de 1 : 3.

Para otros géneros de sales, la relacion es diferente; pero para las sales de un mismo género y en un mismo estado de saturacion, esta relacion es constante.

Leyes de Berthollet.

Las reacciones que ejercen los ácidos, las bases y los compuestos salinos sobre las sales, se preveen con el auxilio de cier-

tas leyes dadas á conocer por Berthollet, las cuales pueden formularse del modo siguiente:

84. **Accion de los ácidos sobre las sales.**—Cuando el ácido que obra sobre las sales es diferente del de estas, habrá descomposicion en las siguientes circunstancias:

1.ª *Siempre que el ácido sea menos volátil que el de la sal*; ejemplos: la descomposicion de los carbonatos por los ácidos sulfúrico y clorhídrico en la preparacion del ácido carbónico (61): la descomposicion del nitrato de potasa por el ácido sulfúrico en la preparacion del ácido nítrico (32).

2.ª *Si el ácido que obra sobre la sal puede formar con la base un compuesto insoluble;* ejemplo: echando ácido sulfúrico en una disolucion de nitrato de barita, se forma inmediatamente un precipitado blanco de sulfato de barita, y el ácido que estaba unido á la base queda libre en el líquido.

3.ª *Si el ácido de la sal es menos soluble que el que produce la reaccion*; ejemplo: vertiendo ácido sulfúrico ó clorhídrico en una disolucion concentrada y caliente de borato de sosa, el ácido bórico se precipita en pequeñas láminas cristalinas (56). Este ácido es poco soluble en el agua á la temperatura ordinaria, y se deposita por el enfriamiento.

85. **Accion de las bases sobre las sales.**—Poniendo las sales en presencia de bases diferentes de las que contienen, la descomposicion se verifica por circunstancias análogas á las que producen las reacciones de los ácidos sobre las sales, y son las siguientes:

1.ª *Si la base es fija, descompone las sales cuyas bases son volátiles*; ejemplo: la descomposicion de una sal amoniacal por un óxido fijo, como la cal, potasa, óxido de plomo, etc. Esta ley tiene una aplicacion importante en la química orgánica, porque todas las bases orgánicas se preparan del mismo modo que el amoniaco.

2.ª *Si la base es soluble, descompone las sales formadas por bases insolubles*; ejemplo: la preparacion del protóxido de plomo hidratado por el nitrato de plomo y la potasa ó el amoniaco. La preparacion de un gran número de óxidos hidratados insolubles, se fundan en esta ley.

3.ª *La base descompondrá completamente las sales con cuyo ácido pueda formar una sal insoluble*; ejemplo: echando agua de cal en una disolucion de carbonato de potasa ó sosa, se precipita carbonato de cal, y los álcalis quedan disueltos.

86. **Accion de las sales unas sobre otras.**—En la accion descom-

ponente que ejercen las sales entre sí, se debe distinguir el caso en que las sales mezcladas se calientan sin el contacto del agua, ó por *via seca*, ó bien aquel en que las sales están disueltas en el agua, ó se las trate por *via húmeda*; las reacciones en los supuestos anteriores se verifican bajo las dos leyes siguientes:

1.ª *Si se pone á la accion del fuego una mezcla de dos sales de bases y óxidos diferentes, que por el cambio reciproco de los óxidos y los ácidos se pueda originar una nueva sal mas volátil, se verifica la doble descomposicion*; ejemplo: calentando una mezcla de cal y sulfato de amoniaco, se forma carbonato de amoniaco muy volátil, y sulfato de cal, que es fijo. Por la misma razon se prepara el clorhidrato de amoniaco sometiendo á la accion del calor una mezcla de cloruro de sodio y sulfato de amoniaco, y los cloruros de mercurio, calentando los sulfatos de mercurio mezclados con el mismo cloruro de sodio.

2.ª *Cuando se mezclan dos disoluciones salinas, que por el cambio reciproco de sus bases y ácidos puedan formar una sal insoluble, la descomposicion se efectúa, precipitándose la sal insoluble*; ejemplo: si se vierte una disolucion de sulfato de sosa en otra de nitrato de barita, se precipita sulfato de barita, y queda disuelto el nitrato de sosa. La preparacion del mayor número de carbonatos, fosfatos, cromatos, etc., insolubles, se funda en esta doble descomposicion de las sales disueltas en el agua.

CUADRO para la determinacion de los géneros á que corresponden las sales de mayor uso.

NOMBRES de LOS GÉNEROS.	CARACTÉRES DISTINTIVOS.	REACTIVOS.	REACCION PRODUCIDA. FENÓMENOS CARACTERÍSTICOS.
Nitratos.....	Todos los nitratos son solubles en el agua y se descomponen á una temperatura elevada; deflagran cuando se echan sobre los carbones encendidos; la relacion del oxígeno del óxido es á la del ácido como 1 : 5.....	1.º Mezclados con limaduras de hierro y ácido sulfúrico..... 2.º Tratando la disolucion de un nitrato por el proto-sulfato de hierro disuelto en el ácido sulfúrico.....	Desprenden vapores rojos de *ácido hiponítrico*. La disolucion adquiere un color violado.
Sulfatos.....	Solubles en el agua, excepto el de barita y plomo; todos se descomponen por el calor, excepto los alcalinos y los de magnesia y plomo; el carbono tambien lo descompone; la relacion del oxígeno del óxido es al del ácido como 1 : 3.....	El agua de barita forma instantáneamente un precipitado blanco.....	El precipitado no es soluble en el ácido nítrico puro.
Carbonatos...	Los carbonatos neutros son insolubles en el agua, excepto los alcalinos; todos son descompuestos por el calor, excepto los de potasa, sosa y litina. Todos los carbonatos se descomponen cuando mezclados con carbon se les somete á altas temperaturas; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 : 2.	El agua de cal y el nitrato de barita forman un precipitado blanco.....	El precipitado se disuelve con efervescencia, desprendiendo ácido carbónico cuando se le trata por el ácido nítrico.
Cloratos.....	Solubles en el agua, excepto el de protóxido de mercurio, todos se descomponen por el fuego; puestos sobre los carbones encendidos, deflagran; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 : 5.....	Las disoluciones no se enturbian por el nitrato de plata.....	Mezclados con la tercera parte de su peso de flor de azufre, resulta una mezcla que detona cuando se comprime entre dos cuerpos duros.
Hipocloritos.	Todos tienen olor y sabor; son poco estables; la ebullicion en el agua y la accion de la luz los trasforma en cloruros y cloratos; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 : 1.	Su disolucion decolora las soluciones de índigo y de tornasol; la adicion del ácido nítrico, clorhídrico ó sulfúrico diluidos.....	Produce una efervescencia, desprendiéndose el gas cloro.

Fosfatos.....	Son solamente solubles en el agua los fosfatos de sosa, potasa y amoniaco; los demás necesitan un exceso de ácido para disolverse; el calor no los descompone; los fosfatos neutros se trasforman en pirofosfatos; el carbono á una temperatura elevada descompone todos los fosfatos; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 : 3.....	1.º El nitrato de plata da un precipitado amarillo..... 2.º El sulfato de magnesia en disolucion concentrada produce con los fosfatos, en presencia de las sales amoniacales, un precipitado blanco cristalino.....	Que se disuelve fácilmente en los ácidos y en el amoniaco. Fosfato amoniaco-magnesiano. En las disoluciones débiles se obtiene el precipitado por una agitacion prolongada.
Boratos.....	Solo son solubles en el agua los boratos alcalinos; en general no se descomponen á temperaturas elevadas y producen por fusion un vidrio trasparente; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 :	Tratada la disolucion de un borato por el ácido sulfúrico, precipita despues de algun tiempo el ácido bórico en pequeñas láminas cristalinas; con las sales barítica y cálcicas forma un precipitado blanco soluble en gran cantidad de agua; estos precipitados son igualmente insolubles en los ácidos y en el clorhidrato de amoniaco.	Si se mezclan con el alcohol las láminas cristalinas que se precipitan al tratar el borato por el ácido sulfúrico, el alcohol adquiere la propiedad de arder con una llama verde.
Silicatos.....	Son solubles en el agua los silicatos alcalinos con exceso de base; los silicatos insolubles se descomponen cuando se funden con tres ó cuatro veces su peso de potasa ó sosa cáustica; resisten á una temperatura muy elevada todos los silicatos cuyas bases son irreductibles por el calor; el oxígeno del óxido es al oxígeno del ácido como 1 : 3.....	Las disoluciones de los silicatos de potasa y sosa con exceso de álcalis se descomponen por la sal amoniaco, que precipita la sílice en forma gelatinosa, insoluble en los ácidos; con el nitrato de cobalto se obtiene un precipitado azul, y amarillo con el nitrato de plata.....	Sobresaturados por el ácido clorhídrico, y evaporados hasta sequedad, dan un residuo pulverulento de sílice pura, completamente insoluble en el agua.
Cloruros.....	Todos los cloruros son solubles, excepto el cloruro de plata y el protocloruro de mercurio. Todos resisten á la accion del fuego excepto los formados por los metales comprendidos en la sétima seccion; estos se descomponen desprendiendo el cloro y dejando aislado el metal, como sucede á los cloruros de oro, de platino, etc. Los alcalinos, unos se funden y otros se volatilizan.....	1.º Los cloruros solubles forman con el nitrato de plata un precipitado blanco como la leche cortada..... 2.º Con el protonitrato de mercurio se obtiene un precipitado blanco..... 3.º Tratando los cloruros por el ácido sulfúrico..... 4.º Si se tratan por el ácido sulfúrico y peróxido de manganeso.....	Insoluble en el ácido nítrico y soluble en el amoniaco; bajo la influencia de los rayos de la luz, cambia su color blanco en violado. De protocloruro de mercurio. Hacen efervescencia y esparcen en el aire vapores blancos y picantes. Se desprende gas cloro.

POTASIO.

HIDRATO DE PROTÓXIDO DE POTASIO.—CARBONATO DE POTASA.—NITRATO DE POTASA.

87. **Potasio.**—Este metal fué descubierto por Davy en 1807: es sólido á la temperatura ordinaria, y tiene un brillo metálico parecido al de la plata mate, que le pierde al aire y adquiere un color gris azulado: se funde á los 62,5° de calor, y en este estado se parece al mercurio: al calor rojo se volatiliza, produciendo un gas de color verde esmeralda: á la temperatura de 15° es tan blando como la cera, y á la de 0° es algo quebradizo: su densidad es 0,865.

Es uno de los cuerpos mas electro-positivos, y por consiguiente tiene gran afinidad con el oxígeno; así, se oxida al aire con mucha rapidez, aun á la temperatura ordinaria, cubriéndose su superficie de hidrato de óxido de potasio ó *potasa*: por esta propiedad, y la de descomponer el agua á la temperatura ordinaria, se conserva debajo del aceite de nafta, que es un compuesto de hidrógeno y carbono, inalterable en contacto del potasio. Echando el potasio sobre el agua, este líquido se descompone inmediatamente, desprendiéndose gran cantidad de calor, y el potasio se funde, corriendo sobre la superficie del líquido en forma de una esferita brillante que va acompañada de una llama purpúrea con un tinte violado, debida á la combustion del hidrógeno que se desprende mezclado con vapores de potasio; y en cuanto cesa la llama, el globulillo estalla, despidiendo con fuerza sus pequeños fragmentos. El potasio forma en el oxígeno dos óxidos, un protóxido, KO, y un peróxido que contiene tres veces mas oxígeno, KO^3.

Preparacion.—Davy obtuvo este cuerpo la primera vez colocando sobre una lámina metálica un fragmento de hidrato de potasa con una cavidad llena de mercurio, y puso en contacto del mercurio el polo negativo de una pila voltáica muy enérgica. El óxido de potasio y el agua se descompusieron á un mismo tiempo, dirigiéndose el oxígeno de la potasa y el del agua al polo positivo, y el potasio y el hidrógeno al polo negativo, donde se formó una amalgama de potasio, la cual introdujo rápidamente en una retorta de vidrio, y por destilacion consiguió separar el potasio del mercurio.

Gay-Lussac y Thenard obtuvieron el potasio en mayor cantidad y mas fácilmente, haciendo llegar la potasa fundida sobre torneaduras de hierro colocadas en un cañon de fusil y expuestas al calor rojo: el potasio se desprende en vapores que se condensan en un recipiente que contiene aceite de nafta:

$$2\,(KO,HO) + 3Fe = Fe^3O^4 + 2H + 2K.$$

Brunner ha conseguido obtener este metal en cantidad mas considerable que por los métodos anteriores, siguiendo el procedimiento recomendado por Curaudeau, que consiste en descomponer el carbonato de potasa por el carbon á una temperatura elevada:

$$KO,CO^2 + 2C = 3CO + K.$$

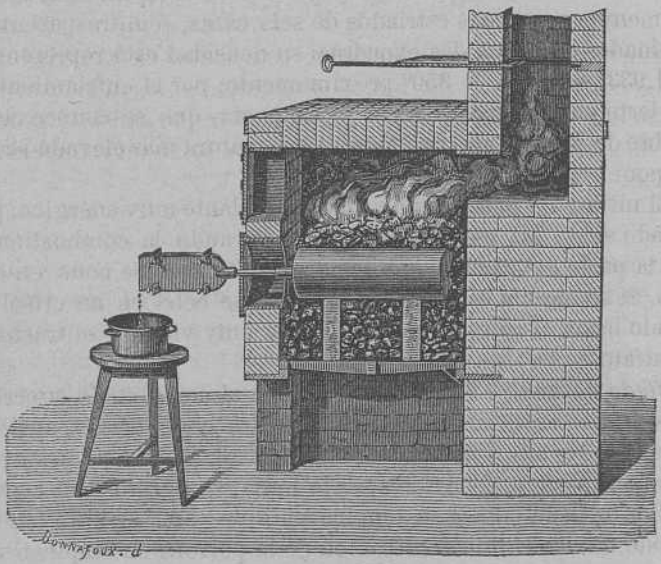
Se mezcla el carbonato de potasa con el carbon y se echa la masa en frascos de hierro forjado, de los que sirven para trasportar el mercurio; á la boca de los frascos se atornilla un tubo de hierro corto, y se les coloca horizontalmente en un horno (*fig.* 50): el tubo se comunica con un recipiente de cobre que contiene nafta. Los frascos se suelen reemplazar por tubos de palastro cubiertos de un lodo arcilloso, cerrados por sus dos extremos con tapas de hierro fijas con tornillos. Al recipiente llegan mezclados el óxido de carbono y los vapores de potasio, lo cual es causa de que se pierdan algunas cantidades de metal. Ultimamente, Donny y Mareska han ideado un recipiente muy sencillo, cuya disposicion impide el contacto continuado del óxido de carbono y el metal. Este recipiente es de palastro; tiene la forma de una caja rectangular bastante ancha y de poca altura; por uno de los lados menores está fija al tubo del frasco, y el opuesto se halla abierto en toda su longitud, como se representa en el grabado; el óxido de carbono sale por la parte superior de esta abertura, donde se le inflama, y el potasio destila ó cae fundido á un vaso de hierro que contiene aceite mineral.

88. **Hidrato de protóxido de potasio.**—Este cuerpo es sólido, blanco, fusible al calor rojo oscuro, volátil al rojo blanco, delicuescente, muy soluble en el agua, de un sabor picante insoportable y de un olor característico de lejía: es muy cáustico, y enverdece la tintura azul de violetas: su densidad es de 2,1. El *hidrato de potasa* se emplea en los laboratorios para la preparacion de varios óxidos, y como reactivo: entra en la composicion del jabon blando, del vidrio, del nitro y del alumbre.

Preparacion.—Para preparar el hidrato de potasa, se disuelve

en agua el carbonato de potasa puro y se hace hervir esta disolucion con cal hidratada: este óxido se apodera del ácido carbónico del carbonato de potasa, formándose carbonato de cal, que es insoluble, cuyo carbonato se separa por decantacion: evaporando

Fig. 50.



el líquido rápidamente hasta sequedad, se obtiene el hidrato de potasa ó *piedra de cauterio*.

89. **Carbonato de potasa.**—La potasa, uniéndose al ácido carbónico, forma tres combinaciones: un carbonato neutro, KO,CO^2; un sesquicarbonato, $2KO,3CO^2$, y un bicarbonato, $KO,2CO^2$: de estos tres compuestos, el mas importante es el KO,CO^2.

El carbonato de potasa, conocido tambien con los nombres de *sal de tártaro*, *potasa perlasa*, etc., es blanco, de sabor acre y cáustico, delicuescente, muy soluble en el agua y fusible á una temperatura próxima al rojo.

Preparacion.—Se obtiene el carbonato de potasa puro mezclando dos partes de tartrato ácido de potasa con una parte de nitrato de potasa, y haciendo deflagar la mezcla en un perol de hierro enrojecido al fuego, queda una materia negra que se llama *flujo negro*, la cual se trata por el agua, que disuelve el carbonato de potasa, quedando libre el carbon: se filtra el líquido y despues se evapora hasta sequedad.

Este carbonato se emplea para la preparacion del nitrato de potasa, para la fabricacion del jabon blanco, el vidrio y el azul de Prusia.

90. **Nitrato de potasa.**—Esta sal (KO,NO^5) se vende en el comercio con los nombres de *nitro*, *salitre* y *sal de nitro*; es incolora, inodora, de sabor fresco, picante y soluble en el agua: se cristaliza fácilmente en prismas estriados de seis caras, semitrasparentes y terminados en pirámides exaedras: su densidad está representada por 1,933: se funde á 350° próximamente; por el enfriamiento se convierte en una masa blanca y compacta, que se conoce con el nombre de *cristal mineral*: á una temperatura mas elevada se descompone.

El nitrato de potasa es un cuerpo oxidante muy enérgico: proyectado sobre las ascuas, deflagra, activando la combustion de toda la parte del carbon enrojecido con la cual se pone en contacto. Si se mezcla esta sal con azufre y se echa en un crisol calentado hasta el rojo, arde con una luz muy viva, y se trasforma en sulfato de potasa.

Estado natural.—Se encuentra generalmente en la superficie de los muros antiguos y húmedos, en las caballerizas, apriscos, y en todos los sitios habitados por animales; existe en varios puntos de la superficie de la tierra, en la India, en Egipto y en España.

El nitrato de potasa se emplea para preparar el flujo negro y el ácido nítrico. En la fabricacion de la pólvora se emplean cantidades considerables de esta sal.

La pólvora es una mezcla formada de proporciones determinadas de nitrato de potasa, azufre y carbon. El nitro y el azufre deben ser puros, y el mejor carbon es el obtenido de maderas ligeras, y de estas el que contenga la mayor cantidad posible de hidrógeno.

91. **Caractéres de las sales de potasa.**—Las disoluciones concentradas de estas sales, tratadas por el ácido perclórico y el ácido tártrico, forman precipitados cristalinos de perclorato y bitartrato de potasa. El sulfato de alumina forma tambien un precipitado cristalino de alumbre. El cloruro platínico da un precipitado amarillo de cloruro de platino y de potasio.

SODIO.

HIDRATO DE PROTÓXIDO DE SODIO.—CARBONATO DE SOSA. BORATO DE SOSA.—CLORURO DE SODIO.

92. **Sodio.**—Davy fué el primero que obtuvo este cuerpo por

el mismo procedimiento que el potasio; se obtiene tambien por la reaccion del hierro enrojecido sobre la sosa, ó del carbon sobre el carbonato de sosa.

Propiedades.—El sodio es sólido, inodoro: recien cortado, presenta un brillo metálico parecido al de la plata, cuyo brillo le pierde al aire, porque el metal se combina rápidamente con el oxígeno; por esta propiedad se le conserva con el aceite de nafta: á bajas temperaturas es quebradizo, con fractura cristalina; á la temperatura de 15° es bastante blando; se funde á 95°; hierve al calor rojo, y pasa al estado de vapor á temperaturas inferiores que el potasio: su densidad á la temperatura de 15° es 0,97. Descompone el agua á bajas temperaturas, y cuando se echa en este líquido se funde por el calor que se desprende al oxidarse, formando un glóbulo brillante. El sodio no se inflama como el potasio cuando recorre la superficie del líquido; pero fijándole en un punto de la superficie del agua, lo cual se consigue espesándola con goma ó almidon, el gas hidrógeno se inflama, porque en este segundo caso no se pierde tanto calor como cuando se mueve en la superficie del líquido. El sodio, lo mismo que el potasio, forma con el oxígeno dos combinaciones, NaO y NaO^2.

Estado natural.—Existe el sodio combinado con el oxígeno y silicio, formando silicato de sosa, en ciertos minerales que entran en la composicion de las rocas primitivas. Combinado con el cloro, constituye el cloruro de sodio, ó sal marina, que se halla en disolucion en las aguas del mar y en muchos terrenos formando grandes masas.

Preparacion.—Sainte-Claire-Deville, adoptando para la obtencion del sodio el método de Brunner para la preparacion del potasio, con la modificacion hecha en el recipiente por Donny y Mareska, ha introducido en él tales mejoras, que hoy constituye un verdadero procedimiento metalúrgico del sodio, que tambien se aplica al potasio. Este químico obtiene el sodio formando una mezcla de veinte partes de carbonato de sosa seco, nueve de hulla muy dividida, y tres de creta pulverizada: la mezcla se coloca en los frascos ó cilindros de hierro, y se expone á la accion del calor rojo sombra. El óxido de carbono y los vapores de sodio pasan al recipiente; el gas marcha al aire por la parte superior, destilando el sodio á la vasija dispuesta para recibirle en el aceite mineral:

$$NaO,CO^2 + CaO,CO^2 + 3C = CaO + 5CO + Na.$$

La cal resultante de la calcinacion de la creta, sirve para im-

pedir que se funda el carbonato de sosa, conservándose de este modo la mezcla del carbonato de sosa con el carbonato que debe reaccionar sobre él.

De un kilógramo de mezcla se obtienen 285 gramos de metal impuro. Para purificarle se funde debajo del aceite mineral, que es menos volátil que el aceite de nafta, y se echa en moldes de hierro. Las barritas de sodio que se sacan de los moldes se impregnan de petróleo y se conservan en frascos bien secos y cerrados.

93. **Hidrato de protóxido de sodio.**—El hidrato de protóxido de sodio es blanco, y sus propiedades físico-químicas son en un todo semejantes á las del hidrato de potasa. Se encuentra en varias plantas marinas, como las *algas* y los *fucos*.

En los laboratorios se prepara descomponiendo el carbonato de sosa disuelto en el agua por el hidrato de cal, procediendo exactamente y con las mismas precauciones que para obtener el hidrato de potasa.

94. **Carbonato de sosa.**—La sosa, combinándose con el ácido carbónico, forma, lo mismo que la potasa, tres compuestos, que son NaO,CO^2, $2NaO,3CO^2$, y $NaO,2CO^2$; de cuyos tres carbonatos solo estudiaremos el primero.

Propiedades.—El carbonato de sosa es una sal blanca, inodora, ligeramente cáustica, soluble en el agua, mas soluble en caliente que en frio: se cristaliza en prismas romboidales que tienen 62,9 por 100 de agua (NaO,CO^2; 10HO), y son muy eflorescentes al aire. Expuesta esta sal á la accion del calor, experimenta la fusion acuosa y la fusion ígnea; pero es indescomponible por el calor mas fuerte que hasta el dia se ha producido.

El carbonato de sosa es muy importante por los muchos usos que tiene en las artes; se emplea para fabricar el jabon duro, el vidrio, las lejías, y en muchas operaciones de tintorería.

Preparacion.—El carbonato de sosa existe formado en las aguas de ciertos lagos del Bajo Egipto y de la Hungría: evaporándose el agua de estos lagos por el calor del estío, se efloresce y seca el carbonato de sosa en los bordes, y algunas veces en el fondo de ellos, de donde se recoje. En el comercio se conoce esta sal con el nombre de *natron*.

95. **Borato de sosa.**—Esta sal es conocida en el comercio con el nombre de *bórax*: es trasparente, incolora, inodora, de sabor alcalino: se cristaliza en octaedros y en prismas exaedros; los cristales octaédricos contienen 38,8 por 100 de agua, y su fórmula es $NaO,2BoO^3+5HO$, y los cristales contienen 47,2 por 100 de agua,

y su fórmula es $NaO,2BoO^3+10HO$: se efloresce al aire y es soluble en el agua:

100 partes de agua á 15° disuelven 8 partes de esta sal.
100 id. id. á 100° id. 50 id. id.

Expuesta á una temperatura progresivamente elevada, se funde en su agua de cristalizacion; despues se hincha, y á una temperatura mas elevada experimenta la fusion ígnea y se forma un líquido viscoso, el cual, despues de frio, presenta el aspecto de una masa vítrea, y conserva su trasparencia cuando no está en contacto del aire. Esta sal se emplea para la reduccion de un gran número de óxidos y para soldar los metales oxidables.

El vidrio de bórax disuelve en caliente la mayor parte de los óxidos metálicos; estos le dan colores diferentes, por cuyo medio se pueden distinguir los óxidos metálicos que originan las tintas del vidrio: el peróxido de manganeso le da un color violeta; el protóxido de hierro, verde botella; el óxido de cromo, verde esmeralda; el deutóxido de cobre, verde claro; el óxido de cobalto, azul, etc.

Preparacion.—Se recoge esta sal, algo impura, en algunos lagos de las Indias y del Tibet, y entra en Europa con el nombre de *tinkal* ó *bórax en bruto*; se purifica por medio de la cal, con cuyo óxido forma un compuesto insoluble, que es la materia grasa que contiene el tinkal.

96. **Cloruro de sodio.**—El cloruro de sodio, NaCl, es conocido en el comercio con los nombres de *sal comun* ó *de cocina* y *sal marina*, porque se obtiene de las aguas del mar: cuando el cloruro de sodio está puro, es incoloro, inodoro y de un sabor salado agradable: se cristaliza en cubos anhidros que tienen la propiedad de atraer la humedad del aire: su densidad relativa es 2,13: es soluble en el agua, y se puede separar de este líquido por cristalizacion: 100 partes de agua á 15°, disuelven 38,81 partes de sal, y 100 partes á 109° centígrados, solo disuelven 40,4 de sal; de donde se deduce que por el enfriamiento se depositaria una cantidad muy pequeña de sal en el estado sólido.

Estado natural.—Se encuentra en masas considerables en el seno de la tierra, y recibe el nombre de *sal gemma*. Existe en gran cantidad disuelta en las aguas del mar y en algunos manantiales salados, de donde se extrae por evaporacion.

Se emplea esta sal en la economía doméstica y en la agricultura; se la emplea tambien para la extraccion del ácido clorhídrico, para la preparacion del cloro y la obtencion de la sal amo-

niaco; en las inmediaciones del mar, para obtener la sosa impura ó el carbonato de sosa, que sirve para la fabricacion del vidrio, jabon, etc.

97. **Caractéres de las sales de sosa.**—Las sales de sosa se parecen mucho á las de potasa, pero se diferencian de ellas por no dar precipitado con los reactivos que sirven para distinguir estas últimas sales, y formarle cristalino con el meta-antimoniato de potasa, de meta-antimoniato de sosa.

BARIO.—ESTRONCIO.

PROTÓXIDO DE BARIO.—NITRATO DE BARITA.

98. **Bario.**—Davy obtuvo, en 1807, este cuerpo del mismo modo que el potasio y el sodio. Se consigue tambien aislar el bario descomponiendo al calor rojo la barita anhidra por medio del vapor de potasio.

Propiedades.—Este metal es de color y brillo semejante al de la plata: es maleable y fusible al calor rojo, pero no se volatiliza. Se combina rápidamente con el oxígeno, y descompone instantáneamente el agua en frio para producir la barita. Con el oxígeno se combina en dos proporciones y forma un protóxido (BaO) y un bióxido de bario (BaO^2).

99. **Protóxido de bario ó de barita.**—La barita es un álcali de color blanco ligeramente agrisado, cáustico y cuatro veces mas pesado que el agua: atrae la humedad del aire, se esponja y absorbe el acido carbónico, pasando al estado de carbonato.

Es infusible, mas soluble en el agua caliente que en el agua fria: este líquido hirviendo, disuelve la décima parte de su peso de barita, y retiene la vigésima parte al enfriarse, depositándose la restante en cristales trasparentes incoloros, que son el hidrato de barita; estos cristales contienen 10 equivalentes de agua, y su fórmula es BaO+10HO.

Preparacion.—Se extrae del sulfato de barita natural: reducido á polvo fino este sulfato, se mezcla con una décima parte de su peso de carbon, y se echa aceite hasta formar una pasta bastante compacta; se la coloca en un crisol de arcilla y se somete á la accion del calor rojo:

$$BaO,SO^3 + 4C = 4CO + BaS.$$

Calcinada la mezcla, se la trata por el agua hirviendo, que disuelve el sulfuro de bario formado; despues de filtrado el líqui-

do, se vierte ácido nítrico en pequeñas porciones, y se forma nitrato de barita:

$$BaS + HO + NO^5 = BaO,NO^5 + HS.$$

Se evapora el líquido y se calcina la sal para obtener la barita:

$$BaO,NO^5 = BaO + NO^4 + O.$$

El nitrato de barita se cristaliza en octaedros regulares: es soluble en 8 partes de agua fria y en 3 de agua hirviendo: se usa en los laboratorios como reactivo para descubrir el ácido sulfúrico.

100. **Estroncio.**—El estroncio fué descubierto por Seebeck en 1898. Este metal es blanco, ligeramente agrisado y brillante, su densidad es 2,5; presenta en todas sus combinaciones una completa analogía con el bario: existe en la naturaleza formando un sulfato (*celestina*), y un carbonato, llamado por los mineralogistas *estroncianita*, porque este mineral fué descubierto en Strontia (Escocia), y de aquí el nombre de *estroncio* que se ha dado al metal: combinado con el oxígeno, forma, como el bario, dos óxidos: SrO y SrO^2. El estroncio se extrae de la estronciana, del mismo modo que el bario de la barita.

El estroncio no tiene aplicaciones, pero las tienen muy importantes sus sales, especialmente el nitrato, porque dan un hermoso color purpúreo á la llama de los cuerpos en combustion, como se ve en los fuegos rojos llamados de *bengala*.

101. **Caractéres de las sales de barita y de estronciana.**—Las sales de la barita forman con el ácido sulfúrico un precipitado blanco insoluble. Las sales de estronciana son tambien precipitadas por el mismo ácido, pero el sulfato de estronciana formado es un poco soluble; 3,500 partes de agua disuelven 1 parte de esta sal. Las sales de barita son precipitadas por el ácido hidrofluosilícico, y las de estronciana no dan precipitado con este reactivo. Las sales de barita comunican á la llama del alcohol un color verde, y rojo de púrpura las de estronciana.

CALCIO.

PROTÓXIDO DE CALCIO.—CARBONATO DE CAL.—CLORURO DE CAL.

102. **Calcio.**—Davy fué el primero que logró aislar el calcio por la pila. Este metal es blanco, con brillo metálico parecido al

del plomo: se combina inmediatamente con el oxígeno del aire, cubriéndose de una capa de protóxido de calcio, que impide el que continúe la oxidacion hácia el interior de dicho metal. Si la oxidacion se verifica á una temperatura elevada, arde y se convierte todo en protóxido. Descompone rápidamente el agua á la temperatura ordinaria, y se forma cal hidratada. Solo se conocen dos combinaciones de calcio con el oxígeno, un protóxido, CaO, y un bióxido, CaO^2.

103. **Protóxido de calcio, ó cal.**—La cal es sólida, blanca, cáustica, sin olor; su sabor es alcalino; su densidad es 2,30: enverdece el jarabe de violetas y enrojece la cúrcuma: es poco soluble en el agua: es infusible, y resiste sin descomponerse á la temperatura mas elevada de nuestros hornos. Expuesta al aire, absorbe la humedad, su volúmen se aumenta, se desmorona, y concluye por convertirse en carbonato, perdiendo su propiedad cáustica. Cuando se vierte agua sobre el óxido de calcio, se combina rápidamente con este líquido y desarrolla una temperatura de 300° próximamente. Si la cantidad de agua no es grande, se reduce á polvo y convierte en un hidrato.

Estado natural.—La cal no existe pura en la naturaleza; se la encuentra en abundancia unida al ácido carbónico y al ácido sulfúrico, constituyendo con el primer ácido todas las variedades de cal carbonatada, y con el segundo el sulfato de cal ó *yeso*; se encuentra tambien unida al ácido fosfórico, formando el fosfato de cal ó *fosforita de Logrosan*. Las mismas sales de cal se hallan en pequeñas proporciones en los vegetales y en los animales.

Preparacion.—Se obtiene calcinando el carbonato de cal neutro en hornos construidos al efecto, y recibe el nombre de *cal viva*; en los laboratorios se prepara pura calcinando en crisoles de barro el mármol blanco.

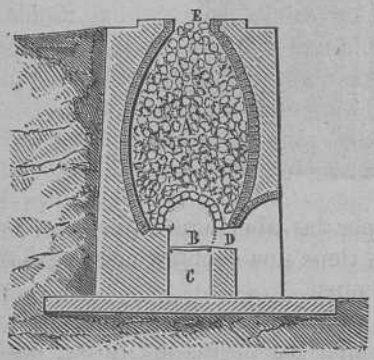
Los carbonatos de cal puro dan la cal llamada *grasa*; los que contienen mucha magnesia, óxido de hierro y arena, producen la cal *magra*; y los carbonatos que contienen 25 por 100 de arcilla y alguna cantidad de sílice, producen la cal *hidráulica*.

Los hornos empleados para la obtencion de la cal viva se les conoce con el nombre de *hornos de cal*, y vulgarmente caleras. Estos pueden ser intermitentes y contínuos: el representado en la *figura* 51 corresponde á los primeros; tiene la forma de una cuba ovóidea, de 3 metros de altura, cuyas paredes interiores están revestidas de ladrillos refractarios. En su parte inferior *D* hay una ó varias aberturas para sacar la cal cuando ha terminado su coccion. Para cargar el horno encima del emparrillado *B*,

donde ha de arder el combustible, se hace una bóveda con las piedras calizas mas gruesas, y despues se acaba de llenar la cuba con piedras menores, dejando entre ellas intersticios para que puedan salir los gases por *E*. El combustible puede ser haces de leña, ramaje ó turba, que se enciende debajo del embovedado, de modo que en un principio la accion del fuego sea lenta y gradual, para que se distribuya y penetre por toda la masa; pasadas doce horas, se activa el fuego, y se continúa así hasta que la piedra caliza superior esté bien calcinada; despues de frio se deshorna para comenzar otra operacion.

El horno anterior ha sido reemplazado con otro de calcinacion contínua, el cual ofrece la gran ventaja de aprovechar mejor el calor del combustible. Está formado por dos conos unidos por sus bases, formando la cuba de 8 á 10 metros de altura, y se halla, como la anterior, revestida de ladrillos refractarios. Se construye generalmente contra un escarpado (*fig.* 52), para llegar á su boca con facilidad por medio de una rampa suave. El combustible se quema en hogares laterales, pasando la llama y productos de la combustion por tres aberturas practicadas en la parte inferior del horno, equidistantes unas de otras y situadas en un mismo plano horizontal; además hay otra abertura central que sirve para sacar la cal despues de cocida.

Fig. 51.



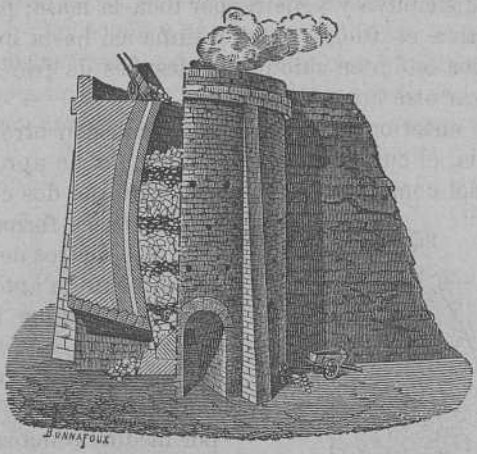
La entrada del aire se verifica por respiraderos y se regula mediante registros exteriores. En el macizo del horno se dejan huecos abovedados para facilitar el paso de los operarios cuando hay que deshornar, y hacer esta operacion menos molesta por el calor que desprende la cal.

Para fabricar la cal con este horno, se principia por llenar de haces de leña la parte inferior de la cuba hasta la altura de los emparrillados, echando la piedra caliza por encima, y cuando está llena la cuba, se enciende la leña; la piedra caliza que está en contacto de esta llama, se cuece á poco tiempo y baja conforme se va consumiendo el combustible. Se enciende la hulla ó turba colocada sobre los emparrillados, cociéndose así toda la piedra de cal que llena el horno. Cada doce horas se saca la cal

que ocupa la parte inferior del horno, y se carga por la superior, y así se continúa mientras el horno no se deteriore.

Otras veces se introduce por la parte superior de la cuba el combustible y la piedra caliza, formando capas alternadas, como se representa en el grabado, consiguiéndose por este medio reti-

Fig. 52.



rar contínuamente la cal viva por las aberturas inferiores. La obtenida en los hornos contínuos tiene una cochura mas regular que la preparada en los intermitentes.

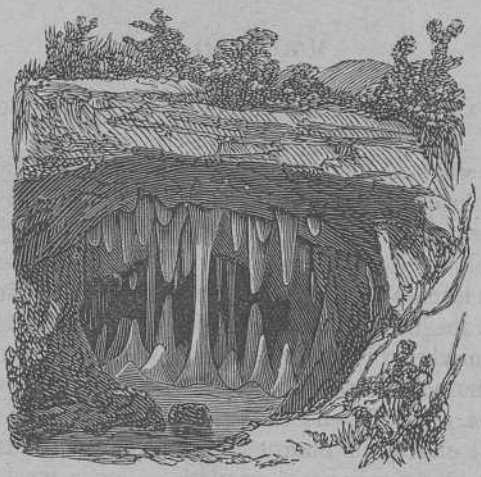
La cal tiene multitud de usos en las artes: sirve para preparar los morteros, curtir las pieles, abonar las tierras arcillosas, descarbonatar los álcalis potasa y sosa, y se emplea en la fabricacion de las velas esteáricas.

104. **Carbonato de cal.**—El carbonato de cal, CaO,CO^2, es sólido, blanco cuando es puro, insoluble, ó por lo menos se necesita de 4 á 5,000 veces su peso de agua para disolverle; un exceso de ácido carbónico le hace mas soluble, formándose un bicarbonato que pierde con facilidad la mitad de su ácido carbónico, y pasa nuevamente á carbonato neutro que se precipita. Sometido este carbonato á la accion de un fuerte calor, se desprende su ácido carbónico, y el resíduo que se obtiene es óxido de calcio, ó cal viva.

Estado natural.—El carbonato de cal es un cuerpo muy abundante en la naturaleza; solo y mezclado con algunas materias extrañas, constituye las piedras *calcáreas* propiamente dichas, como los *mármoles*, la *creta*, las *margas*, etc. Se le encuentra cris-

talizado bajo formas muy diferentes, siendo una de las variedades mas notables el espato de Islandia, el cual está constituido por el carbonato de cal químicamente puro. Tambien se le encuentra disuelto, á favor de un exceso de ácido carbónico, en las aguas de la mayor parte de los manantiales, y en gran cantidad en las de algunos arroyos y rios. El agua de lluvia toma aquel ácido en la atmósfera, y disuelve el carbonato de cal cuando atraviesa las capas calcáreas: esta sal es arrastrada y depositada por las aguas en diversos sitios, presentando formas muy variadas é incrustaciones que con el tiempo adquieren grandes proporciones. Del mismo modo estas aguas forman las *estalactitas* y *estalagmitas*

Fig. 53.



(*fig.* 53) que tapizan las paredes de ciertas cuevas, de donde se obtiene el alabastro calizo, que es insoluble, y recibe el nombre de *alabastro oriental* cuando posee cierta trasparencia y brillo en su superficie.

105. **Cloruro de cal.**—En el comercio se da el nombre de cloruro de cal á una mezcla formada por el hipoclorito de cal, el cloruro de calcio y la cal hidratada. Este cuerpo es blanco, amorfo y de un color parecido al del cloro. Tratado por el agua, se disuelve el hipoclorito de cal y cloruro de calcio.

Se obtiene haciendo pasar una corriente de cloro por la cal hidratada, cuidando que la temperatura no exceda de 45° á 50°, porque á esta temperatura se trasforma el hipoclorito de cal en clorato de cal y en cloruro de calcio. Este cuerpo es el que

generalmente se emplea para el blanqueo de las telas de lino y la pasta de papel; se usa tambien como desinfectante.

106. **Caractéres de las sales de cal.**—Estas sales, tratadas por los álcalis ó por los carbonatos alcalinos, dan precipitados blancos de cal ó carbonato de cal. El ácido sulfúrico y los sulfatos solubles no las precipitan si están muy diluidas, sirviendo este carácter para distinguir la cal de la estronciana, y especialmente de la barita: si la disolucion está concentrada, se forma un precipitado cristalino. El oxalato de amoniaco forma un precipitado blanco, soluble en los ácidos minerales, pero insoluble en el ácido acético; los oxalatos de barita y de estronciana se disuelven en este último ácido. Por último, las sales de cal comunican un color rojo amarillento á la llama del alcohol.

MAGNESIO.

PROTÓXIDO DE MAGNESIO.—SULFATO DE MAGNESIA.

107. **Magnesio.**—El magnesio puro es blanco como la plata, maleable: no descompone el agua fria; pero si la temperatura de este líquido se aproxima á los 100°, la descompone rápidamente: se funde al calor rojo, y su densidad es de 1,87. Se oxida lentamente al aire húmedo, y se forma el protóxido de magnesio, MgO. Calentado el magnesio en contacto del aire ó del oxígeno puro, arde con llama viva, presentándose la misma reaccion cuando se calienta en una atmósfera de cloro.

Preparacion.—Se obtiene calentando en un crisol de platino una mezcla de cloruro de magnesio anhidro y de potasio.

108. **Protóxido de magnesio, ó magnesia.**—La magnesia es un polvo blanco, suave al tacto, sin olor, de sabor ligeramente alcalino: su densidad es 2,30: es poco soluble en el agua; este líquido disuelve mas óxido á la temperatura de 15° que á 100°, y esta disolucion enverdece ligeramente las tinturas azules de los vegetales. Es infusible á las temperaturas mayores de nuestros hornos: no se descompone por el calor ni por el carbon á las temperaturas mas elevadas; dejando este óxido expuesto al aire, absorbe poco á poco el ácido carbónico.

Estado natural.—La magnesia se encuentra en el estado de hidrato en la naturaleza: en el estado de carbonato, mezclada con el hidrato, constituye un mineral blanco y ligero, denominado *magnesita* ó *espuma de mar*. Se encuentra unida con el ácido sulfúrico (sal de Epsom) en las aguas de algunos manantiales; en el

estado de carbonato y silicato en ciertas rocas, como la dolomía, el talco, etc., y por consiguiente, la contienen algunas tierras vegetales que provienen del desmoronamiento de estas rocas. Se halla en algunas plantas unida á los ácidos clorhídrico y fosfórico; unida solo al ácido fosfórico, se encuentra tambien en ciertas sustancias animales.

Preparacion.—Para obtener la magnesia pura, se vierte una disolucion de carbonato de sosa en una disolucion de sulfato de magnesia, y se forma un carbonato de magnesia insoluble que se precipita:

$$NaO,CO^2 + MgO,SO^3 = NaO,SO^3 + MgO,CO^2.$$

Se lava el precipitado, y despues de seco se calcina; el ácido carbónico se desprende y la magnesia queda pura.

En medicina se usa la magnesia contra los acedos del estómago y como contraveneno de los ácidos.

109. **Sulfato de magnesia.**—El sulfato de magnesia, MgO,SO^3, es una sal incolora, inodora, muy amarga, un poco eflorescente al aire, insoluble en el alcohol y soluble en el agua. Cristaliza á la temperatura ordinaria en prismas rectangulares, largos y delgados, y su fórmula es $MgO,SO^3 + 7HO$: si la cristalizacion se verifica á temperaturas superiores, la sal formada tiene por fórmula $MgO,SO^3 + 6HO$: finalmente, si la sal cristaliza á la temperatura de 0°, contiene mas agua, y su fórmula es $MgO,SO^3 + 12HO$. Calentando el sulfato de magnesia hasta 240°, retiene 1 equivalente de agua, pero le pierde á temperaturas mas elevadas, quedando en estado de sal anhidra, la cual se funde al calor rojo.

Estado natural.—El sulfato de magnesia (*epsomita*) existe disuelto en muchas aguas minerales, principalmente en las de Epsom (Inglaterra) y Sedlitz. En España se le encuentra en Vacia-Madrid, en Higuera (Mancha), y por hallarse en este último punto se le da en España el nombre de *sal de la Higuera.* En Calatayud (Aragon) se presenta esta sal en el estado de hidrato cristalizado, en forma de hilos muy finos con lustre sedoso, suspendidos del techo de las cuevas abiertas en terrenos de yeso y arcilla.

Preparacion.—Se obtiene evaporando las aguas que contienen esta sal en disolucion, y tambien tratando por el ácido sulfúrico el carbonato natural de magnesia.

En medicina se administra como purgante, y en los laboratorios se emplea para preparar la magnesia.

110. **Caractéres de las sales de magnesia.**—El sabor de estas sales es amargo, desagradable. La potasa, la sosa y los carbonatos neu-

tros precipitan las sales magnésicas; el amoniaco tambien las precipita, diferenciándose en esto de las sales de barita, estroncíana y cal, que no dan precipitado en las mismas circunstancias; pero este álcali solo precipita la mitad de la magnesia, porque las sales magnésicas, con una cantidad equivalente de sal amoniacal, forman sales dobles que el amoniaco en exceso no descompone. El carbonato de amoniaco no precipita las sales de magnesia que contienen sales amoniacales, pero el fosfato de sosa forma un precipitado cristalino de fosfato amoniaco-magnesiano.

ALUMINIO.

ÓXIDO DE ALUMINIO.—SULFATO DE ALÚMINA Y POTASA.

111. **Aluminio.**—Este metal fué descubierto por Wœhler en 1827, pero sus propiedades mas principales no han sido conocidas de un modo exacto hasta que Deville le obtuvo puro el año 1854.

Propiedades.—El metal aluminio es de color blanco, parecido al de la plata: es muy sonoro: su densidad es 2,52: es dúctil, maleable y muy tenaz. No se oxida al aire á la temperatura ordinaria ni á temperaturas elevadas: los ácidos nítrico y sulfúrico, bien estén concentrados ó bien diluidos, no actúan sobre este metal á la temperatura ordinaria, pero le disuelven á una temperatura elevada. El mejor disolvente del aluminio es el ácido clorhídrico. Se extrae del cloruro del aluminio anhidro por la accion del sodio á una temperatura elevada:

$$Al^2Cl^3 + 3Na = 3NaCl + 2Al.$$

112. **Oxido de aluminio.**—La *alúmina* pura, Al^2O^3, es blanca, suave al tacto, sin olor ni sabor, inalterable al aire, y se adhiere á la lengua. Su densidad relativa está representada por 2,00: es insoluble en el agua, y soluble en los ácidos si no se ha calcinado; cuando se la somete á una alta temperatura, su volúmen se disminuye considerablemente. La alúmina obtenida en estado de hidrato se presenta bajo la forma de una masa gelatinosa trasluciente, cuyo volúmen se disminuye al desecarla.

Se obtiene la alúmina pura precipitando una disolucion de alumbre por el amoniaco en exceso; se lava el precipitado blanco formado, y despues de seco se calcina.

La alúmina se presenta en la naturaleza cristalizada en el sistema romboédrico, formando minerales de hermosos colores, debidos á la presencia de pequeñas cantidades de óxidos metálicos, los cuales reciben diferentes nombres segun el color que presen-

tan. Se encuentra unida á la sílice, á la cal y otros óxidos, formando los *feldespatos* y la *mica*, é íntimamente mezclada con la sílice, constituye la *arcilla*.

La alúmina natural es bastante pesada; su densidad está representada por 3,9; despues del diamante es la sustancia mas dura; por esto se emplea para pulir las piedras finas y las lunas de los espejos: para este uso se sirven los lapidarios del corindon opaco (*esmeril*) reducido á polvo fino.

113. **Sulfato de alúmina y potasa.**—Esta sal, denominada vulgarmente *alumbre*, es incolora, inodora, ácida, astringente: enrojece la tintura de tornasol, y es soluble en el agua: 100 partes de este líquido á 15° disuelven 6 á 7 partes de sal, y la misma cantidad de agua á 100° disuelve 75 partes. Su fórmula es $KO,SO^3+Al^2O^5,3SO^5+24HO$.

El alumbre puro se presenta cristalizado en octaedros, que son ligeramente eflorescentes: si la disolucion contiene un exceso de alúmina, se cristaliza en cubos. Sometida esta sal á la accion del calor, principia por fundirse en su agua de cristalizacion, y si en este estado se la deja enfriar, se solidifica en una masa vítrea que recibe el nombre de *alumbre de roca*; continuando la elevacion de la temperatura, pierde toda el agua de cristalizacion, se infla la masa, elevándose por los bordes del crisol (*fig.* 54), y se presenta bajo la forma de una masa esponjosa, blanca, opaca, insípida, soluble en el agua, pero con mucha lentitud, á la cual se la da el nombre de *alumbre calcinado*. Si se eleva la temperatura hasta el rojo vivo, se descompone, y se forma un aluminato de potasa.

Fig. 54.

Estado natural.—El alumbre se presenta formado en las grietas de ciertos esquistos, llamados *esquistos aluminosos*. Se le encuentra en las inmediaciones de Tolfa, cerca de Roma, en una roca llamada *alunita* ó *piedra de alumbre*, y al alumbre procedente de este punto se le da el nombre de *alumbre de roca*; se halla tambien en el estado natural en la solfatara de Puzzole, cerca de Nápoles, y en algunas rocas de Puy-de-Dome: este alumbre tiene un exceso de alúmina.

Preparacion.—Varios son los métodos que se emplean para obtener este cuerpo; pero el mas sencillo de todos consiste en re-

coger las eflorescencias que se presentan en la superficie del suelo, por ejemplo, en la solfatara de Puzzole, y despues de bien lavadas, se evaporan los líquidos para que se cristalice el alumbre disuelto.

Se obtiene tambien con bastante facilidad tratando la arcilla, exenta de cal y óxido de hierro, por el ácido sulfúrico; el sulfato de alúmina formado se precipita por el sulfato de potasa, y resulta un alumbre impuro que se purifica, disolviéndole y haciéndole cristalizar repetidas veces.

114. **Caractéres de las sales de alúmina.**—El sabor de estas sales es dulce astringente. La potasa y la sosa dan un precipitado blanco de alúmina, soluble en un exceso de reactivo. El amoniaco forma el mismo precipitado, pero insoluble en este álcali. El precipitado gelatinoso obtenido por los reactivos anteriores, calcinado con el nitrato de cobalto, forma un aluminato *azul* de cobalto.

* MANGANESO.

ÓXIDOS DE MANGANESO.

115. **Manganeso.**—El manganeso es de un color blanco agrisado, quebradizo y muy duro: su fractura es muy parecida á la de la fundicion blanca de hierro: su densidad específica es 7,86: se funde á 160° del pirómetro de Wedgwood, y no es volátil: cuando se frota con los dedos húmedos, desprende un olor fétido particular.

El manganeso se obtiene reduciendo el protóxido de manganeso: en el estado de pureza no se usa en la química, pero sus óxidos y algunos otros compuestos son muy importantes. El mas interesante de los óxidos es el peróxido, que se emplea en química para extraer el oxígeno (25) y para preparar el cloro (49); en física, para la formacion de las pilas secas (385 *Fís.*), y en la fabricacion del vidrio blanco, para quitarle el color verdoso que le da el protóxido de hierro, y por esta propiedad se ha dado á este óxido el nombre de *jabon de vidrieros*. Si se incorpora un exceso de este óxido á la mezcla de las sustancias que forman el vidrio, este adquiere un ligero color violado.

116. **Oxidos de manganeso.**—El manganeso se combina con el oxígeno en seis proporciones, y forma: 1.°, el protóxido de manganeso, MnO, que es una base enérgica; 2.°, el sequióxido de manganeso, Mn^2O^3, base muy débil; este óxido existe en la naturaleza cristalizado en octaedros de base cuadrada, y se le conoce en mi-

neralogía con el nombre de *braunita*; tambien existe un hidrato natural de este óxido, Mn^2O^3+HO, llamado *acerdosa*, el cual cristaliza en prismas romboidales; 3.°, el deutóxido de manganeso, MnO^2, llamado generalmente *peróxido de manganeso*, el cual es conocido desde muy antiguo, pero hasta el año 1774 no se supo que era un óxido particular; este compuesto no es ácido ni base; se encuentra en la naturaleza, y los mineralogistas le dan, además del nombre indicado, el de *pirolusita*; 4.°, el trióxido de manganeso, Mn^3O^4, ú *óxido rojo de manganeso*: este óxido, tratado por los ácidos, presenta las mismas propiedades que una mezcla de protóxido y sesquióxido, disolviéndose el protóxido y quedando un precipitado de sesquióxido; por esto le han considerado algunos químicos como una combinacion de protóxido, MnO,Mn^2O^3: este óxido rojo se encuentra en la naturaleza cristalizado en octaedros, y se le conoce con el nombre de *husmanita*; por último, la 5.ª y 6.ª combinacion, MnO^3 y Mn^2O^7, son ácidos bien caracterizados; el primero recibe el nombre de *ácido mangánico*, y el segundo el de *ácido hipermangánico*; el primero no existe libre; se le obtiene combinado con la potasa (camaleon mineral); el segundo ejerce una accion instantánea sobre las sustancias reductoras, produciendo una explosion. El manganeso se combina tambien con el cloro y con el azufre; con el primero forma dos cloruros, y con el segundo un sulfuro.

De todos los óxidos de manganeso, solamente el protóxido y sesquióxido se combinan con los ácidos para formar sales. Las formadas por el primero son de un color blanco rosáceo ó amatista, y las formadas por el sesquióxido son rojizas y poco estables.

117. **Caractéres de las sales de manganeso.**—La mayor parte de estas sales tienen un color de rosa pálido cuando son hidratadas. Las disoluciones dan con la potasa un precipitado blanco que al aire se vuelve pardo. El amoniaco forma el mismo precipitado, pero se disuelve en un exceso de álcali, y abandonada al aire la disolucion, poco á poco se deposita sesquióxido de manganeso. Los carbonatos producen un precipitado blanco de carbonato neutro de manganeso. Los hipocloritos precipitan el bióxido de manganeso hidratado. El sulfhidrato de amoniaco forma un precipitado de sulfuro de manganeso de color de carne. El ácido sulfhídrico no precipita estas sales. Expuestas con el bórax á la llama de oxidacion del soplete, dan á esta sal un color azul de amatista, producido por el sesquióxido de manganeso, que desaparece en la llama de reduccion. Calentadas con un fragmento de potasa cáustica sobre una lámina de plata, forman una

masa verde (camaleon mineral), soluble en el agua; la disolucion pasa á roja en contacto del aire ó de los ácidos.

HIERRO.

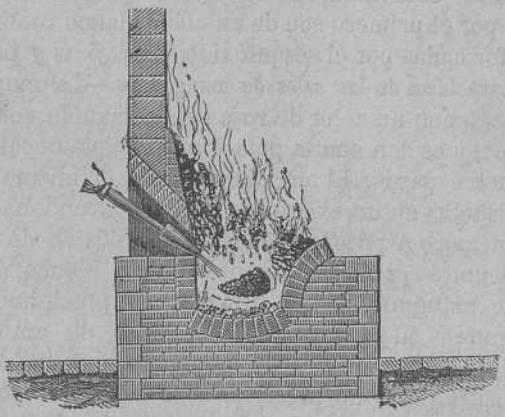
PROTÓXIDO Y SESQUIÓXIDO DE HIERRO.—ÓXIDO DE HIERRO MAGNÉTICO. ÁCIDO FÉRRICO.—SULFATO DE PROTÓXIDO DE HIERRO.

118. **Hierro.**—El *hierro* es conocido desde la mas remota antigüedad: es el mas importante de todos los metales, y puede juzgarse del estado industrial de una nacion por el hierro que consume: antiguamente se le conocia con el nombre de *Marte*.

Propiedades.—El hierro, en su mayor grado de pureza, es de un color gris azulado brillante, maleable, dúctil, el mas tenaz y el mas duro de todos los metales: su fractura es fibrosa: se funde á la temperatura de 1600° cuando está forjado: su peso específico varía entre 7,7 y 7,9. Se oxida cubriéndose de *orin* su superficie, cuando se halla en contacto del aire y del oxígeno húmedos: si están secos estos cuerpos, la accion es insensible á la temperatura ordinaria, y muy rápida si se eleva su temperatura hasta el rojo, esparciendo chispas brillantes cuando arde en el oxígeno puro (25).

Estado natural.—El hierro en estado nativo se presenta en

Fig. 55.



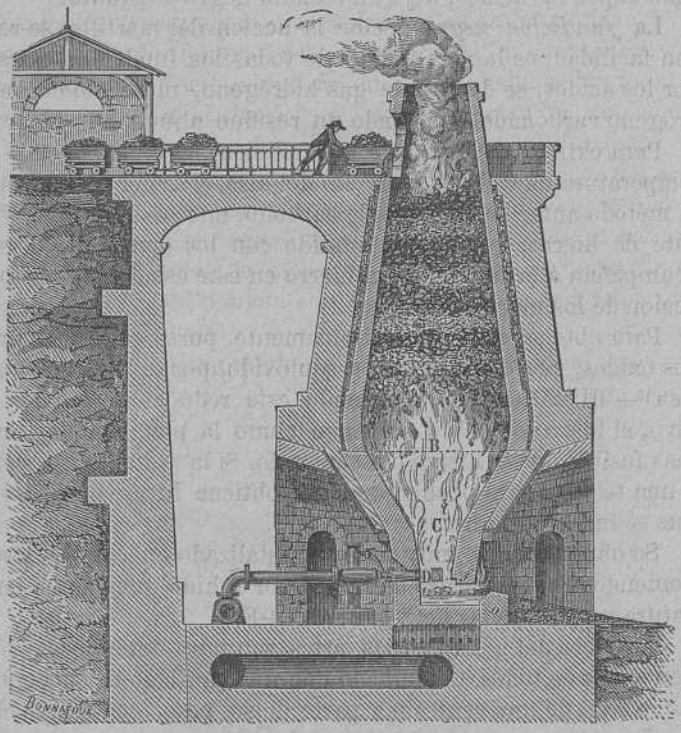
pequeñas cantidades; pero en el estado de combinacion se halla muy esparcido en la naturaleza. Los principales compuestos naturales son los *óxidos*, que existen en masas considerables; la *li-*

monita (hidrato de sesquióxido de hierro); los *sulfuros*, muy comunes, pero menos abundantes que los óxidos, y el *carbonato*.

Extraccion.—Dos métodos son los mas generalmente empleados para la extraccion del hierro: 1.° El método *catalan*, que consiste en descomponer los minerales ferruginosos por la accion del carbon (*fig.* 55) á una temperatura elevada en forjas dispuestas para soportar un fuego fuerte.

El 2.° método consiste en fundir el mineral mezclado con carbon y un *fundente* en *altos hornos* formados por dos conos

Fig. 56.



truncados unidos por sus bases (*fig.* 56). El fundente varía segun sea la naturaleza de la ganga del mineral: si es silícea, se emplea un fundente calizo que se denomina *castina*, y si es caliza se añade un fundente arcilloso que se llama *erbue*. El hierro reducido se une al carbon y constituye la *fundicion*: esta contiene, además del carbono, algunos cuerpos extraños, tales como el *si-*

licio, azufre, arsénico, fósforo, manganeso y *titano*, cuyos cuerpos no existen simplemente mezclados, sino combinados con el hierro.

La fundicion puede ser *blanca, gris* y *negra*. La *fundicion blanca* proviene de la reduccion de los minerales manganesíferos, ó del empleo de una gran cantidad de mineral con relacion á la del carbon. Es de color blanco de plata, muy dura; no se deja impresionar por la lima; tratada por los ácidos, no deja resíduo de grafito.

La *fundicion gris* presenta una fractura granosa muy porosa, y no adquiere pulimento; se deja limar y cortar con facilidad; tratada por los ácidos, deja un resíduo negro de grafito.

La *fundicion negra* recibe la accion del martillo; se rompe con facilidad; es la mas fusible de todas las fundiciones; tratada por los ácidos, se desprende gas hidrógeno, mezclado con el hidrógeno carbonado, quedando un resíduo abundante de grafito.

Para extraer el hierro de la fundicion, se expone esta á una temperatura elevada en contacto del aire, y se forman, como en el método anterior, el óxido de carbono, que se desprende, y silicato de hierro, que queda fundido con los demás cuerpos que acompañan á la fundicion: el hierro en este estado se forja por la accion de los martillos.

Para obtener el hierro químicamente puro, se reduce uno de sus óxidos, por ejemplo, el sesquióxido, por el hidrógeno seco, $Fe^2O^3+3H=3HO+2Fe$. Haciendo esta reduccion al calor rojo vivo, el hierro obtenido es blanco como la plata, menos duro y mas fusible que el hierro del comercio. Si la reduccion se verifica á una temperatura poco elevada, se obtiene hierro muy dividido que se inflama al aire.

Se obtiene hierro muy puro y cristalizado en cubos, descomponiendo el protocloruro de hierro por el hidrógeno á una temperatura muy elevada, $FeCl+H=HCl+Fe$.

Los usos del hierro en las artes son muy numerosos y bien conocidos de todos. Combinado con una cantidad de carbono que no exceda de una centésima parte de su peso, constituye el *acero* (1); entra en un gran número de compuestos que se emplean

---

(1) El acero, además del carbono, contiene como el hierro y la fundicion, indicios de nitrógeno, silicio, fósforo y azufre. Se funde á menor temperatura que el hierro, y es tanto mas fusible cuanto mayor cantidad de carbono contiene. Es muy sonoro, maleable, mas tenaz y elástico que el hierro; su fractura es granosa, y su densidad es 7,7, la cual se disminuye por la *templadura* ó por el *recocido*.

Se *templa* el acero calentándole hasta el rojo y enfriándole repentinamente en agua

en la industria, y finalmente, si reducido á planchas estas se sumergen en el estaño fundido, se cubren las dos superficies de una capa delgada de estaño, y resulta una aleacion conocida con el nombre de *hoja de lata*.

119. **Protóxido de hierro.**—El protóxido de hierro (FeO) no se ha podido obtener todavía anhidro: en el estado de hidrato es blanco, absorbe el oxígeno á la temperatura ordinaria, y pasa muy pronto del color blanco al verde y de este al amarillo oscuro: es una base muy enérgica, y es atraido por el iman.

Se encuentra este óxido en la naturaleza unido al sesquióxido en la *piedra iman* (FeO,Fe^2O^3), y á los ácidos carbónico, sulfúrico, silícico, etc., formando sales.

Preparacion.—Se obtiene el protóxido de hierro en el estado de hidrato descomponiendo el protosulfato de hierro por la potasa cáustica:

$$FeO,SO^3+KO=KO,SO^3+FeO;$$

se lava el precipitado con agua privada de aire en frascos cerrados, y se seca en el vacío.

120. **Sesquióxido de hierro.**—El sesquióxido de hierro, Fe^2O^3, se presenta bajo la forma de un polvo rojo violado, insoluble en el agua; sin accion sobre el iman: es mas fusible que el hierro, y se descompone calentándole hasta el rojo, trasformándose en oxígeno y en óxido de hierro magnético. En el estado de hidrato es amarillo ó amarillo rojizo; este hidrato pierde fácilmente el agua por la accion del calor, y adquiere un aspecto negro brillante y mayor cohesion.

Estado natural.—Este óxido es uno de los cuerpos mas esparcidos en la naturaleza, tanto en el estado de óxido anhidro, como en el estado de hidrato. En el primer estado se presenta cristalizado y en masas considerables, y constituye: 1.°, el *hierro oligisto*

---

fria, y mejor en el mercurio. El acero adquiere por esta operacion una gran dureza y una fragilidad comparable á la del vidrio (18 *Fís.*). Se obtiene una templadura menos fuerte enfriando el acero en la resina ó en las grasas derretidas. Generalmente se principia dando al acero un temple muy fuerte, que se rebaja por el recocido, es decir, calentándole á temperatura mas bajas que el rojo, para que no se destruya el efecto de la templadura. En la práctica se ha conseguido fijar el grado de temperatura á que se somete el acero cuando se le calienta por la variacion de color que se nota en la superficie. A 200° presenta un tinte amarillento, á 240° es amarillo de oro, á los 258° es púrpuro, á los 263° violeta, á los 295° azul, y á los 322° azul oscuro. Cuando se quiere que los objetos de acero sean muy duros, se recuecen hasta que tomen el color amarillo de oro; si muy elásticos, como los muelles de reloj, se eleva la temperatura hasta los 295°, y si muy tenaces, hasta los 322°, dejándolos despues enfriar.

de los mineralogistas; 2.°, las *hematites rojas* ó *sanguíneas*; 3.°, todos los minerales que presentan un color rojo violado.

El sesquióxido hidratado es mas abundante, constituye las *hematites pardas* de los mineralogistas, el *hierro oxidado en granos* ú *oolítico*, y generalmente la masa de todos los minerales cuyo polvo es amarillo ó pardo. Este hidrato es el que da color á las arcillas y á todas las tierras arables que le tienen amarillo rojizo.

Preparacion.—Se obtiene artificialmente el peróxido de hierro calcinando el sulfato de protóxido de hierro, y queda el peróxido de hierro en forma de un polvo rojo, conocido en el comercio con los nombres de *colcotar* y *rojo de Inglaterra*.

El *hidrato de peróxido de hierro* se obtiene tratando por la potasa ó por el amoniaco la disolucion de una sal de peróxido de hierro, por ejemplo, el sesquióxido de hierro:

$$Fe^2O^3 3SO^3 + 3KO = 3KO,SO^3 + Fe^2O^3.$$

Si se emplea la potasa, el precipitado retiene un poco de álcali, que se separa por la ebullicion prolongada en el agua destilada.

121. **Oxido de hierro magnético.**—El óxido de hierro magnético, Fe^3O^4, es negro, insoluble en el agua, fusible, y posee en alto grado las propiedades magnéticas. Se le considera formado por la combinacion del protóxido y sesquióxido de hierro (FeO,Fe^2O^3), porque se puede preparar este óxido vertiendo en una disolucion de potasa, gota á gota, otra disolucion formada por la mezcla de las sales de protóxido y sesquióxido de hierro, que contengan los mismos equivalentes de los dos óxidos. Si el álcali se vierte en la mezcla salina, se precipita primero el sesquióxido y luego el protóxido.

Estado natural.—Se presenta en la naturaleza cristalizado en octaedros regulares; se encuentra en los terrenos antiguos formando masas considerables muy compactas, y los mineralogistas le dan el nombre de *oxídulo de hierro*, *óxido de hierro magnético*, ó su nombre vulgar de *piedra iman*.

Preparacion.—Se obtiene este cuerpo en el estado anhidro: 1.°, haciendo arder el hierro á una temperatura elevada en el aire ó en el oxígeno puro; 2.°, calentando hilos de hierro en un tubo de porcelana en medio de una corriente de vapor de agua ($3Fe + 4HO = Fe^3O^4 + 4H$); la superficie de los hilos se cubre de una infinidad de cristalitos de óxido de hierro magnético; 3.°, haciendo

que se sobreoxide parte del protóxido de hierro de las *batiduras de hierro* (1).

122. **Acido férrico** (FeO^3).—Esta tercera combinacion del hierro con el oxígeno posee propiedades ácidas y no se ha podido obtener libre. Se forma echando en un crisol de hierro enrojecido al fuego una mezcla de limaduras de hierro y nitrato de potasa: tratando despues la materia por el agua, se obtiene una disolucion de ferrato de potasa de un hermoso color rojo.

123. **Sulfato de protóxido de hierro.**—El sulfato de protóxido de hierro, $FeO,SO^3 + 7HO$, llamado vulgarmente *caparrosa verde* y *vitriolo verde*, es de un color verde claro trasparente: el sabor de esta sal es estíptico: no es venenosa, y es soluble en dos veces su peso de agua fria, y en las tres cuartas partes de su peso si el agua se halla á la temperatura de 100°. Cristaliza fácilmente en prismas romboidales: estos cristales retienen 42,08 por 100 de agua; se eflorescen al aire y adquieren un color rojo, debido á la absorcion del oxígeno del aire, el cual hace pasar una parte del protóxido de hierro al estado de peróxido: la misma reaccion se verifica en sus disoluciones. Cuando se exponen los cristales de sulfato de hierro á una temperatura poco elevada, pierden 6 equivalentes de agua, su trasparencia, color, etc.; y elevando la temperatura hasta el calor rojo, pierden el equivalente de agua que les queda.

Estado natural.—Se encuentra el sulfato ferroso en todos los sitios donde existen los bisulfuros de hierro (*pirita amarilla* ó *cúbica* y la *pirita blanca* ó *esperquisa*) en contacto del aire húmedo.

Preparacion.—En el comercio se obtiene esta sal exponiendo al aire húmedo las piritas blancas de hierro; pero como se forma mayor cantidad de ácido sulfúrico que la necesaria para saturar el protóxido de hierro, el exceso de ácido se combina con la alúmina contenida en la arcilla que acompaña á las piritas, formándose sulfato de alúmina. En los laboratorios se obtiene tratando el hierro por el ácido sulfúrico diluido.

124. **Caractéres de las sales de hierro.**—Los dos primeros óxidos de hierro son bases salificables. Las sales de protóxido son verdes azuladas cuando tienen agua de cristalizacion, y blancas si son anhidras. El sabor de estas sales es astringente y metálico como

(1) Cuando se forja el hierro enrojecido al fuego, se separan de su superficie partículas muy brillantes, á las cuales se les ha dado el nombre de *batiduras*; estas partículas no son mas que un óxido de hierro formado por 1 equivalente de sesquióxido de hierro y 6 equivalentes de protóxido de hierro ($Fe^2O^3 + 6FeO$). Este óxido es negro, con lustre metálico, de estructura granosa ó cristalina y es magnético.

el de la tinta. Abandonadas al aire, se cubren de una capa de un color amarillo rojizo, debida á la formacion de una sal de peróxido de hierro.

Las sales del sesquióxido (peróxido) de hierro son pardas ó amarillo-rojizas. Sus disoluciones tienen un sabor áspero muy pronunciado.

Las disoluciones de las sales formadas por estos dos óxidos se distinguen por los reactivos siguientes:

Sales de protóxido de hierro.	Sales de peróxido de hierro.
Potasa ó sosa.—Precipitado blanco que se enverdece, pasando á pardo y despues á amarillo rojizo.	Se forma inmediatamente un precitado amarillo rojizo de peróxido de hierro.
Amoniaco.—Precipitado blanco, soluble de un exceso de reactivo. La disolucion se enturbia poco á poco, depositándose hidrato de peróxido.	Precipitado amarillo rojizo de peróxido de hierro hidratado, insoluble en un exceso de reactivo.
Carbonatos alcalinos. — Precipitado blanco de carbonato de protóxido de hierro, que se trasforma en peróxido, desprendiéndose ácido carbónico.	Precipitado amarillo rojizo de peróxido de hierro hidratado con desprendimiento de ácido carbónico.
Ácido sulfhídrico.—No las precipita, pero si se echan unas gotas de acetato de potasa, se forma un precipitado negro de sulfuro de hierro.	Precipitado blanco amarillento de azufre.
Sulfhidrato de amoniaco.—Precipitado negro de protosulfuro.	Precipitado negro de sesquisulfuro.
Cloruro de oro.—Precipitado pardo de oro reducido.	No da precipitado.
Ferricianuro de potasio.—Precipitado blanco que se vuelve azul.	Precipitado azul de Prusia.
Ferricianuro de potasio.—Precipitado azul claro.	Ligera coloracion parda.
Tanino ó tintura de nuez de agallas. —No las colora.	Coloracion y precipitado negro.
Sulfocianuro de potasio.—No las colora.	Coloracion roja.

*CROMO.—COBALTO.—NÍQUEL.

SESQUIÓXIDO DE CROMO.—ÁCIDO CRÓMICO.—CROMATO Y BICROMATO DE POTASA.—PROTÓXIDO DE COBALTO.

125. **Cromo.**—Este metal fué descubierto en 1797 por Vauquelin, analizando el mineral conocido con el nombre de *plomo rojo de Siberia.*

Propiedades.—El cromo es de un color blanco agrisado: es frágil y muy infusible, mas aun que el manganeso: es susceptible

de pulimento y de adquirir hermoso brillo metálico: es muy duro, y raya fácilmente al vidrio: su densidad es 5,90. Expuesto este metal al aire seco, no se oxida á la temperatura ordinaria; pero calentándole hasta el rojo sombra, se combina fácilmente con el oxígeno: este gas forma con el cromo numerosas combinaciones: 1.°, el protóxido de cromo (CrO), isomorfo con el protóxido de hierro (FeO); 2.°, el sesquióxido (Cr^2O^3), isomorfo con la alúmina y el sesquióxido de hierro (Fe^2O^3); 3.°, un óxido (Cr^3O^4) comprendido entre los dos primeros y correspondiente al óxido de hierro magnético (FeO,Fe^2O^3), y cuya fórmula deberá escribirse CrO,Cr^2O^3; 4.°, el ácido crómico (CrO^3), correspondiente al ácido férrico (FeO^3) y al mangánico (MnO^3); 5.°, un óxido intermedio (CrO^2) que puede considerarse como una combinacion de ácido crómico y de protóxido de cromo (CrO,CrO^3); 6.° y último, un ácido (Cr^2O^7) correspondiente al ácido permangánico (Mn^2O^7). De estas combinaciones, las mas importantes son la segunda y la cuarta.

El cromo se disuelve en el ácido clorhídrico, y en el ácido sulfúrico diluido con desprendimiento de hidrógeno:

$$2Cr + 3SO^3 + 3HO = Cr^2O^3,3SO^3 + 3H.$$

Se obtiene el cromo calentando al fuego de forja una mezcla de sesquióxido de cromo y carbon, colocada en un crisol de barro muy refractario. De todos los productos que forma el cromo, los mas importantes son las combinaciones del ácido crómico con la potasa, por el gran uso que de ella se hace en la tintorería y en la pintura de las telas.

126. **Sesquióxido de cromo.**—El sesquióxido de cromo anhidro (Cr^2O^3) es de color verde, con una tinta tanto mas clara cuanto mas fuerte haya sido la calcinacion: este óxido no se descompone por la accion del calor ni se reduce por el hidrógeno: el carbono le descompone al fuego de forja.

El hidrato de este óxido se presenta de un color gris azulado: se disuelve fácilmente en los ácidos: expuesto á un calor moderado, desprende su agua, sin perder la propiedad de disolverse en los ácidos, y pierde esta propiedad cuando se aumenta la temperatura hasta cerca del rojo, y el óxido se encandece. El sesquióxido de cromo puede combinarse con las bases fuertes.

En la naturaleza existe una combinacion de sesquióxido de cromo y protóxido de hierro (FeO,Cr^2O^3), á la cual llaman los mineralogistas *hierro cromado*.

Preparacion.—Se obtiene el sesquióxido de cromo calentando

el cromato de protóxido de mercurio, $2(HgO,Cr^2O^3) = Cr^2O^3 + 4Hg + 5O$.

El hidrato de sesquióxido de cromo se prepara precipitando una disolucion de sesquicloruro de cromo por el amoniaco.

El sesquióxido de cromo se emplea para teñir de verde el vidrio y para pintar del mismo color la porcelana. Tambien se prepara con el cromo un color rojo, el *pink-color* de los ingleses, el cual fué empleado primeramente en Inglaterra para pintar la loza.

127. **Acido crómico.**—Este ácido es de un hermoso color rojo á la temperatura ordinaria, volviéndose casi negro cuando se le calienta; á un calor próximo al rojo se descompone en sesquióxido de cromo y en oxígeno: es muy soluble y delicuescente, produciendo una disolucion amarilla anaranjada: es un oxidante muy enérgico. El ácido sulfúrico concentrado le descompone en caliente con desprendimiento de oxígeno, formándose sulfato de sesquióxido de cromo. En los laboratorios á veces se obtiene el oxígeno calentando una mezcla de bicromato de potasa y ácido sulfúrico (25); el ácido clorhídrico le trasforma un sesquicloruro de cromo con desprendimiento de cloro.

Se prepara el ácido crómico haciendo una disolucion concentrada de bicromato de potasa á la temperatura de 50° ó 60°, y añadiendo en pequeñas porciones un volúmen de ácido sulfúrico vez y media mayor que el de la disolucion; se forma bisulfato de potasa soluble, y se depositan largas agujas rojas de ácido crómico, que se separan por decantacion.

128. **Cromato y bicromato de potasa.**—El cromato de potasa neutro es una sal cristalizable, de color amarillo claro, muy soluble en el agua, y esta disolucion restablece el color azul de tornasol enrojecido: el agua caliente disuelve mas sal que la fria. El bicromato de potasa es tambien una sal cristalizable en hermosos cristales de color rojo: se funde sin alteracion antes del calor rojo, pero á una temperatura mas elevada se descompone en cromato neutro, sesquióxido de cromo y oxígeno, que se desprende: es mas soluble en el agua fria que en la caliente.

Los cromatos de potasa se preparan directamente con el hierro cromatado natural, calentando en un horno de reverbero una mezcla de dicho mineral reducido á polvo, carbonato de potasa y nitro, y se forma cromato de potasa y alguna cantidad de silicato y aluminato de la misma base. Se lava despues de tostada la materia, y se añade al líquido ácido acético en exceso, consiguiéndose así que se deposite la sílice y la alúmina, y que el cromato de potasa se trasforme en bicromato, que se separa por cristali-

zacion. Se obtiene cromato neutro de potasa agregando á la disolucion de bicromato de potasa carbonato de la misma base hasta que adquiera color amarillo, y evaporando el líquido, se obtienen cristales amarillos de la misma forma que los del sulfato de potasa.

129. **Caractéres de las sales de cromo.**—Las sales de sesquióxido de cromo tratadas por un álcali, forman un precipitado verde de sesquióxido hidratado, soluble en un exceso de potasa, pero por ebullicion se precipita. El sesquióxido de cromo es susceptible de existir bajo dos modificaciones isoméricas, y forma con los ácidos que se combina dos sales, una de color violeta y otra verde: las sales de color violeta se obtienen á una temperatura baja, y la ebullicion las trasforma en sales de color verde. El hidrato precipitado por los álcalis en una y otra série, es verdoso perfectamente idéntico; pero si las sales de color violeta se tratan con el amoniaco, el precipitado se disuelve en un exceso y toman un color rojo de rubí, lo cual no pasa al hidrato precipitado de las sales verdes.

130. **Cobalto.**—Este metal fué obtenido la primera vez por Brandt, en 1733; es de un color gris acerado, muy duro, dúctil, maleable, mas tenaz y menos fusible que el hierro: cuando está puro, su densidad es 8,7; es magnético, pero menos que el hierro (313 *Fis.*): arde en el oxígeno con una llama roja. Se combina con el oxígeno y forma los cuatro óxidos siguientes: CoO, Co^2O^3, Co^3O^4 y CoO^3; el primero es el mas interesante.

El cobalto no tiene aplicacion, pero se emplea el protóxido (CoO) y el arseniato para dar color azul á las porcelanas y para dar el *azul esmalte* ó *de cobalto*.

Existe en la naturaleza ordinariamente combinado con el oxígeno, arsénico y azufre.

La obtencion del cobalto es bastante complicada y algun tanto difícil: se calientan los minerales de cobalto con partes iguales de azufre y carbonato de sosa, y se forma un arsenio-sulfuro de sosa soluble, que se separa lavando la masa, y queda una mezcla de sulfuro de hierro y sulfuro de cobalto. Se trata por el ácido clorhídrico, que ataca al sulfuro de hierro, y se forma cloruro de hierro soluble: se filtra el líquido y se lava, tratando despues el sulfato de cobalto por el ácido nítrico, que le trasforma en sulfato de cobalto, cuyo sulfato se descompone por el carbonato de potasa, resultando el carbonato de cobalto, que fácilmente se descompone por el carbon:

$$CoO,CO^2 + 2C = 3CO + Co.$$

131. **Protóxido de cobalto.**—El protóxido de cobalto en el estado anhidro es gris verdoso: calentado al aire absorbe oxígeno y se forma el óxido mas oxigenado, COO^3, de color negro, y posee propiedades ácidas. El carbon y el hidrógeno le reducen, y es insoluble en los álcalis á la temperatura ordinaria.

* Las sales de cobalto son de color rojo de grosella ó azul violeta, y sus disoluciones le tienen parecido al de la flor del albérchigo ó rosáceo; sin embargo, la del protocloruro solo presenta este color cuando está muy diluida, pues concentrada su color es azul, lo cual es debido á la *deshidratacion* de la sal ó á una modificacion isomérica (9), cuyo cambio de color se observa tambien cuando se la calienta: por esta propiedad se emplea como *tinta simpática*, pues los caractéres trazados en un papel blanco con una pluma mojada en una disolucion de dicha sal, no aparecen despues de evaporada el agua; pero si se aproxima al fuego, el cloruro se trasforma por el calor en su modificacion azul. A medida que el papel se enfria, el cloruro absorbe la humedad y los caractéres van desapareciendo, hasta quedarse el papel completamente blanco si no se calienta demasiado.

132. **Caractéres de las sales de cobalto.**—Las disoluciones de estas sales se distinguen por su color rosáceo, que se cambia en azul violeta cuando se las calienta. Tratadas con la potasa, dan un precipitado azul. Con el amoniaco tambien le forman azul, que se vuelve verde al aire, disolviéndose poco á poco. Los carbonatos alcalinos producen un precipitado de color igual al de la flor del albérchigo, que se vuelve rojo por la ebullicion. Los fosfatos alcalinos dan un precipitado azul claro. El sulfhidrato de amoniaco no precipita estas sales, pero los sulfuros le producen negro.

133. **Níquel.**—Este metal es blanco, ligeramente agrisado, mas maleable que el cobalto: se le puede reducir á láminas delgadas y á hilos bastante finos: su densidad es 8,3 á 8,8: es tan magnético como el hierro, y pierde esta propiedad calentándole hasta 400°. El níquel se conserva sin alteracion sensible al aire húmedo, pero calentándole pasa al estado de óxido (NiO). Se disuelve en el ácido clorhídrico y el sulfúrico diluido. Las sales solubles de níquel son de un hermoso color verde en estado de hidrato, pero el mayor número se ponen amarillas al perder su agua de cristalizacion.

El níquel se prepara del mismo modo que el cobalto.

Se emplea el níquel en las artes para preparar una aleacion capaz de recibir el pulimento y brillo de la plata: esta aleacion se compone de 100 partes de cobre, 60 de zinc y 40 de níquel, la

cual se conoce en el comercio con los nombres de *maillechort*, *pacfong*, *argentan*, *plata alemana*, etc. Se fabrican con esta aleacion los objetos de adornos, especialmente para carruajes y arneses; pero no se puede emplear para utensilios de cocina, porque la aleacion se oxida fácilmente, formando sales venenosas.

134. **Caractéres de las sales de níquel.**—Las disoluciones de estas sales son verdes; calentándolas se vuelven amarillas. La potasa produce un precipitado verde, insoluble en un exceso. El carbonato de potasa le forma verde manzana. El amoniaco produce un precipitado verde, soluble en un exceso, tomando el líquido un color azul; este precipitado no se manifiesta si las disoluciones contienen sales amoniacales. Los sulfuros alcalinos dan un precipitado negro.

ZINC.—CADMIO.

PROTÓXIDO DE ZINC.—SULFATO DE ZINC.—SULFURO DE CADMIO.

135. **Zinc.**—Paracelso fué el primero que obtuvo este metal en el año de 1540. El zinc puro es de un color blanco azulado: su fractura presenta láminas anchas muy brillantes: es quebradizo á la temperatura ordinaria, pero adquiere maleabilidad y ductilidad á una temperatura de 130° á 150°. Calentado á 205°, se presenta quebradizo y se pulveriza fácilmente en un mortero; se funde á la temperatura de 412° centígrados, y entra en ebullicion al calor rojo blanco, de manera que se le puede purificar por destilacion. Si estando fundido se le deja enfriar lentamente, se cristaliza en prismas de base exágona. La densidad de este cuerpo varía entre 6,86 y 7,71, segun esté fundido ó forjado.

El aire seco no ejerce accion sobre el zinc, pero si está húmedo se empaña muy pronto la superficie del metal. Calentado al aire, se inflama á los 500° próximamente, y arde con una llama blanca muy brillante, cuyo brillo es debido al vapor del zinc, que ardiendo en el aire forma óxido de zinc, ZnO. El zinc descompone fácilmente el vapor del agua á una temperatura elevada; si el metal está muy dividido, la reaccion principia á una temperatura poco superior á 100°.

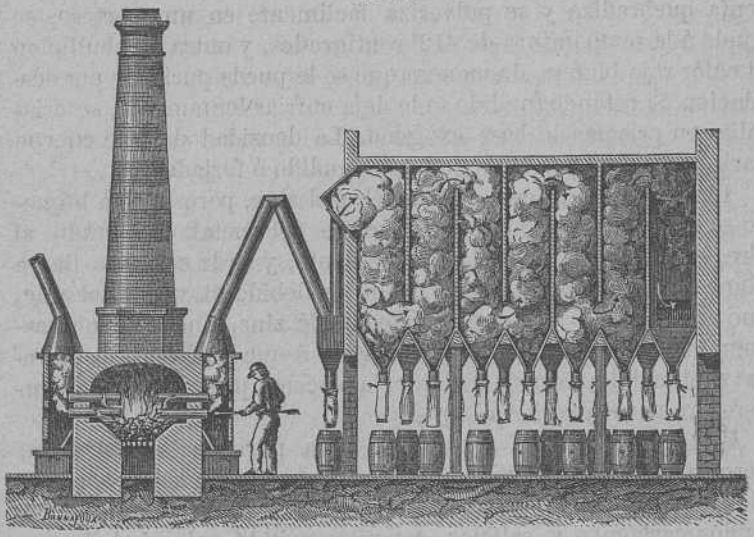
Estado natural.—El zinc no se halla puro en la naturaleza, pero se le encuentra unido al azufre formando un sulfuro, conocido con el nombre de *blenda*, y en el estado de óxido unido á los ácidos carbónico y salícico, constituyendo la *calamina*; de este mineral se extrae la mayor parte del zinc que se emplea en las artes.

Preparacion.—Para obtener este metal se calcina la calamina, y despues se reduce el óxido que resulta, mezclándole con carbon. Calentando fuertemente la mezcla en hornos convenientemente dispuestos, se destila el zinc. La destilacion se puede hacer *per ascensum* y *per descensum*.

136. **Protóxido de zinc.**—Este óxido, cuando se obtiene anhidro, recibe los nombres de *flores de zinc*, *pompholis*, *lana filosófica* y *nihil album*: es sólido, blanco, inodoro é insípido, insoluble en el agua: no se descompone por solo la accion del calor, pero se reduce con facilidad por el hidrógeno y el carbono: tiene grande afinidad con la alúmina. En el estado de hidrato es blanco y se disuelve fácilmente en los álcalis: expuesto al aire absorbe el ácido carbónico, trasformándose en carbonato.

Preparacion.—Se puede obtener precipitando el sulfato de zinc por un álcali, lavando y secando el precipitado. Para obtenerle anhidro se hace arder el metal en el aire, y los ligeros copos blancos (nihil album) de óxido de zinc que se producen, se condensan en unas cámaras dispuestas al efecto, constituyendo el *blanco de zinc* que se emplea en la pintura, reemplazando el hidrobicarbonato de plomo (*albayalde*), porque no es venenoso ni se ennegrece.

Fig. 57.



La *figura* 57 representa el aparato que se emplea en la industria para la obtencion del blanco de zinc; este metal se echa en re-

tortas de barro semejantes á las empleadas en la fabricacion del gas del alumbrado, cerradas por un extremo, y se colocan en número de 6 á 10 en un horno, tendidas horizontalmente para calentarlas con la llama de la hulla. El metal fundido entra en ebullicion, y el vapor metálico, al salir de la retorta, encuentra una corriente de aire que se dirige á una chimenea bastante alta, y arde con luz brillante. El óxido es arrastrado por la corriente de aire y conducido por largos tubos á cámaras de madera, dispuestas unas á continuacion de otras, comunicándose entre sí, como indica el grabado, donde se deposita el óxido en una materia pulverulenta.

137. **Sulfato de zinc.**—Esta sal se la conoce con los nombres de *caparrosa blanca* y *vitriolo blanco*: es incolora, de un sabor acre y estíptico, y mas soluble en caliente que en frio: cristaliza en prismas rectangulares, que se eflorescen al aire, y estos cristales contienen 7 equivalentes de agua (ZnO,SO^3+7HO), de los cuales 6 se desprenden cuando se somete la sal á una temperatura poco superior á 100°, y experimenta la fusion acuosa. Se encuentra en pequeñas cantidades en las aguas de las minas, en donde existe el sulfuro de zinc en descomposicion.

Preparacion.—En los laboratorios se prepara el sulfato de zinc disolviendo el zinc en el ácido sulfúrico diluido (28). Se obtiene esta sal en gran cantidad tostando al aire libre el sulfuro de zinc (blenda) y tratando por el agua la materia tostada. El sulfato de zinc formado se disuelve en el agua, cuya disolucion se evapora hasta que se cristaliza la sal.

138. **Caractéres de las sales de zinc.**—Las sales de zinc son incoloras y su sabor es metálico desagradable. Tratadas con la potasa, la sosa y el amoniaco, dan un precipitado blanco de hidrato de protóxido, soluble en un exceso de álcali. Si contienen un ácido enérgico, no son precipitadas por el ácido sulfhídrico, pero los sulfuros alcalinos precipitan un sulfuro de zinc hidratado blanco. El ferrocianuro de potasio produce un precipitado blanco, que cambia en azul cuando contiene pequeñísimas cantidades de hierro.

* 139. **Cadmio.**—Este metal fué descubierto en 1818 por Hermann y Stromeyer en las sublimaciones del zinc de las fábricas de la Silesia; su color es blanco, algo mas agrisado que el del estaño: es bastante maleable y dúctil: su densidad es 8,7. Se funde mucho antes del calor rojo, y es mas volátil que el zinc: su vapor se inflama y arde con una llama muy brillante: no se oxida sensiblemente á la temperatura ordinaria.

El cadmio no se usa en estado metálico, pero sus compuestos se emplean en la pintura y en la fotografía.

Se obtiene el cadmio puro calentando en una retorta una mezcla de óxido ó de carbonato de cadmio y de carbon; el metal se sublima y condensa en el cuello de la retorta.

El cadmio forma con el oxígeno un solo compuesto, CdO, sólido, pardo, que resiste las temperaturas mas elevadas sin volatilizarse ni fundirse: se disuelve en el amoniaco, y se combina con los ácidos, formando sales incoloras cuando los ácidos no tienen color.

140. **Sulfuro de cadmio.**—Este sulfuro, CdS, es de un bello color amarillo de limon, inalterable á las emanaciones sulfurosas; los ácidos débiles no le atacan. Se obtiene tratando la disolucion del sulfato de cadmio por el hidrógeno sulfurado. Este sulfuro se emplea en la pintura.

141. **Caractéres de las sales de cadmio.**—Las sales de cadmio son generalmente incoloras. Los álcalis precipitan el óxido hidratado blanco, insoluble en la potasa, pero soluble en el amoniaco. El ácido sulfhídrico produce un precipitado amarillo característico, insoluble en el sulfhidrato de amoniaco. Una lámina de zinc sumergida en las disoluciones de estas sales, precipita el cadmio en el estado metálico.

ESTAÑO.

PROTÓXIDO Y BIÓXIDO DE ESTAÑO.—BISULFURO DE ESTAÑO.

142. **Estaño.**—Este metal es conocido desde la mas remota antigüedad. Los antiguos químicos le dieron el nombre de *Júpiter*.

Propiedades.—El estaño es de un color blanco y de un brillo parecido al de la plata: su densidad está representada por 7,29: cuando se frota, desprende un olor desagradable; doblándole en diferentes direcciones, produce un ruido particular, conocido con el nombre de *crujido del estaño*: es muy maleable, y no se le puede reducir á polvo por la percusion: para obtenerle muy dividido se funde el metal en una cápsula y se le agita rápidamente con una brocha hasta que se enfrie. Se funde á la temperatura de 228°, y al calor rojo da vapores sensibles: enfriando el metal fundido, puede obtenerse cristalizado.

Expuesto al aire á la temperatura ordinaria, no experimenta alteracion sensible; pero á una temperatura elevada se oxida rápidamente, y al rojo blanco el metal arde con una llama blanca.

El estaño descompone el vapor de agua al calor rojo y se trasforma en ácido estánnico. El ácido clorhídrico le disuelve con desprendimiento de hidrógeno. El ácido sulfúrico diluido hirviendo le ataca lentamente, desprendiéndose gas hidrógeno; pero si el ácido está concentrado y caliente, la accion es muy enérgica, desprendiéndose ácido sulfuroso, y el metal se convierte en sulfato de protóxido ($Sn+2SO^3=SO^2+SnO,SO^3$). El ácido nítrico le oxida fácilmente y le trasforma en *ácido metastánnico*, siempre que el ácido no esté en el máximum de concentracion (NO^5HO), pues en este caso no ejerce accion sobre el estaño.

Estado natural.—El estaño no existe puro en la naturaleza; se le encuentra en el estado de óxido (*cassiterita*), ó en el de sulfuro, aunque en este último estado es mas raro.

Extraccion.—Se extrae este metal del óxido de estaño natural, tostando el mineral á un calor suave para convertir en sulfatos los sulfuros que generalmente le acompañan, y echando el mineral caliente en cubas llenas de agua: se disuelven en este líquido los sulfatos formados, se lava repetidas veces el bióxido, y despues de seco, se mezcla con carbon y se coloca en un horno de reverbero, donde se verifica la reduccion.

143. **Protóxido de estaño.**—El protóxido de estaño anhidro, SnO, es generalmente gris negruzco, y blanco en el estado de hidrato: es insoluble en el agua, insípido é inodoro, y su densidad se representa por 6,66: calentado en contacto de aire, arde como la yesca y se trasforma en ácido estánnico.

Preparacion.—Este óxido no existe en la naturaleza. Se obtiene precipitando por el carbonato de amoniaco una disolucion de protocloruro de estaño:

$$NH^3HO,CO^2+SnCl=NH^3,HCl+CO^2+SnO.$$

El ácido carbónico se desprende, y se forma un precipitado blanco de hidrato de protóxido de estaño, que por la desecacion se convierte en un polvo gris negruzco, que es el protóxido anhidro.

144. **Bióxido de estaño, ó ácido estánnico.**—Este óxido, SnO^2, es insípido é inalterable por solo el calor: su densidad es 6,64: es blanco, insoluble en el agua, inodoro: tiene la propiedad de enrojecer el tornasol, y obtenido en el estado de hidrato, es muy blanco y soluble en los álcalis. Existe formado en la naturaleza; se le encuentra en algunas rocas antiguas y en cristales muy brillantes de color pardo oscuro, los cuales producen un polvo blanco amarillento.

Preparacion.—Puede obtenérsele bajo dos modificaciones isoméricas, que se distinguen fácilmente entre sí por sus propiedades químicas. La primera recibe el nombre de *ácido metastánnico*; es un cuerpo blanco que se forma cuando se trata el estaño por el ácido nítrico, y el que se presenta cristalizado en la naturaleza. La segunda conserva el nombre de *ácido estánnico*; se prepara descomponiendo el percloruro de estaño por el agua ($SnCl^2+2HO=2HCl+SnO^2$), ó descomponiendo un estannato soluble por un ácido ($KO,SnO^2+4HO)+NO^5=KO,NO^5+SnO^2+4HO$).

145. **Bisulfuro de estaño.**—El bisulfuro de estaño, SnS^2, es conocido tambien con los nombres de *oro musivo*, *oro mosáico* y *oro de Júpiter*; es de un color amarillo de oro: cristaliza en laminitas exagonales untuosas al tacto: se descompone por el calor, convirtiéndose en una mezcla de proto y sesquisulfuro de estaño, con exceso de protosulfuro. No se encuentra en la naturaleza.

Preparacion.—Para obtener este cuerpo por la via seca, se hace una amalgama de 12 partes de estaño y 6 de mercurio; se pulveriza la amalgama en un mortero, y se incorporan 7 partes de flores de azufre y 6 de sal amoniaco. Se calienta la mezcla en un matraz de vidrio de cuello largo, colocado en un baño de arena hasta que no desprenda vapores.

Se emplea este sulfuro para broncear la madera y para frotar las almohadillas de las máquinas eléctricas (354 *Fis.*), con el objeto de favorecer el desarrollo del flúido eléctrico.

146. **Caractéres de las sales de estaño.**—El estaño forma sales solubles correspondientes al protóxido y al bióxido ó ácido estánnico, tales como el protocloruro y bicloruro de estaño. Las disoluciones de estas sales se distinguen por los reactivos siguientes:

1.°—Protocloruro.	**2.°—Bicloruro.**
Potasa.—Precipitado blanco, soluble en un exceso, que se ennegrece por el calor.	Precipitado blanco, soluble en un exceso, que no se ennegrece por el calor.
Amoniaco.—Precipitado blanco, insoluble en un exceso de reactivo.	Precipitado blanco, soluble en un exceso de amoniaco.
Acido sulfhídrico.—Precipitado pardo oscuro, soluble en el sulfhidrato de amoniaco.	Precipitado amarillo claro, soluble en el sulfhidrato de amoniaco.
Sales de mercurio y de oro.—Son reducidas.	No son reducidas.

Una mezcla de estos dos cloruros forman con las sales de oro un precipitado purpúreo (púrpura de Cassius) que se usa en el

adorno de los objetos de vidrio y porcelana, para darles los colores violeta y rosa.

* BISMUTO.

ÓXIDO DE BISMUTO.—NITRATO DE BISMUTO.

147. **Bismuto.**—Los antiguos tuvieron conocimiento del bismuto, confundiéndole unas veces con el plomo y otras con el estaño. Agrícola, en 1520, hace mencion de este metal en sus escritos; pero á Stalh y Dufay se debe el conocimiento exacto de las propiedades que le distinguen de aquellos dos metales.

Propiedades.—El bismuto es un metal de color blanco agrisado, pero con un viso rojizo bastante perceptible, principalmente cuando se pone al lado de un metal blanco gris, como el zinc ó antimonio; su densidad es 9,8; la fractura es cristalina con láminas anchas y brillantes: es poco maleable, y cristaliza en cubos y octaedros por via de fusion. Se obtienen hermosos cristales de este metal fundiéndole en un crisol ó cazuela de barro, y dejándole enfriar lentamente; se agujerea la costra sólida formada en la superficie con un carbon encendido, y se vierte el metal interior que aun se conserva líquido: separando con cuidado esta costra, se obtiene una geoda de hermosos cristales que presentan los colores del iris, producidos por ligeras capas de óxido que se forman en la superficie del metal cuando, caliente aun, queda expuesto á la accion del aire. Es el tipo de las sustancias diamagnéticas (316 *Fís.*), como el hierro lo es de las magnéticas. El bismuto se funde á 250°, volatilizándose á temperaturas mas elevadas, pero no se destila sino con mucha dificultad. Es inalterable al aire seco, pero expuesto por algun tiempo al aire húmedo, se cubre de una película muy ténue de óxido. Calentado al aire, arde con llama azul, desprendiendo humos amarillos. El ácido clorhídrico concentrado le ataca débilmente: el ácido sulfúrico no actúa sobre él si no está concentrado y caliente: el ácido nítrico obra sobre el bismuto, disolviéndole completamente.

Extraccion.—El bismuto existe en el estado nativo, y como es muy fusible, basta calentarle en crisoles para obtener los régulos.

Se usa el bismuto en estado de aleacion: este metal forma con el plomo y el estaño aleaciones muy fusibles, que sirven para obtener la impresion ó reproduccion de diversos objetos, especialmente de los grabados en madera ó en cobre. La aleacion formada de 1 parte de plomo, 1 de estaño y 2 de bismuto, se funde á 93°,5;

la formada por 5 de plomo, 3 de estaño y 8 de bismuto, se funde á 98°: disminuyendo la proporcion de bismuto, resultarán aleaciones cuyo punto de fusion varía entre 100 y 200°.

148. **Oxidos de bismuto.**—El bismuto forma con el oxígeno dos combinaciones bien definidas, Bi^2O^3 y Bi^2O^5; el óxido segundo entra en combinacion con las bases enérgicas, y de aquí el llamarle ácido bismútico. El estudio de estos óxidos no es de gran interés en unos elementos de química.

149. **Nitrato de bismuto.**—De todas las sales de bismuto, la mas importante es el nitrato neutro: se obtiene disolviendo el metal en el ácido nítrico: evaporando el líquido, se obtienen gruesos cristales incoloros y delicuescentes: este nitrato se disuelve, sin descomponerse, en una pequeña cantidad de agua, y mas fácilmente si se añaden unas gotas de ácido nítrico; pero si la cantidad de agua es grande, la sal se descompone y produce un precipitado blanco que es un subnitrato de bismuto, conocido con el nombre de *blanco de afeite* ó *blanquete*, cuyo precipitado, despues de bien lavado, se emplea para blanquear la piel, pero tiene el gran inconveniente de ennegrecerse por el hidrógeno sulfurado.

150. **Caractéres de las sales de bismuto.**—Estas sales son incoloras: el agua las descompone en una sal básica insoluble y en una sal ácida que queda disuelta. La potasa da un precipitado blanco, insoluble en un exceso de reactivo. El carbonato de potasa tambien le forma blanco. El hidrógeno sulfurado le da negro, insoluble en el sufhidrato de amoniaco. El zinc precipita el bismuto metálico.

* ANTIMONIO.

ÓXIDOS DE ANTIMONIO.—SULFURO DE ANTIMONIO.—CLORURO DE ANTIMONIO.

151. **Antimonio.**—Este metal fué descrito primeramente por Basilio Valentino: es de color blanco de plata, ligeramente azulado y muy brillante: se funde á 450°; da vapores blancos, y se puede destilar á esta temperatura en medio de una corriente de gas hidrógeno, presentándose muy lenta la destilacion por la tension débil del vapor: cristaliza fácilmente por fusion, y presenta en su fractura láminas superpuestas muy brillantes: la tendencia del antimonio á cristalizar, se descubre hasta en la superficie de los régulos ó grandes masas en forma de panes en que se obtiene, cuya superficie superior suele presentar una estrella parecida á

las hojas de los helechos. La densidad del antimonio es 6,8; es muy quebradizo, y fácilmente se reduce á polvo. Expuesto al aire, no se altera sensiblemente á la temperatura ordinaria, pero se oxida muy pronto cuando está fundido en contacto de aquel flúido; y si se eleva bastante la temperatura, arde con llama blanca y se desprenden humos abundantes: si hallándose fundido á la temperatura del rojo se le deja caer desde cierta altura, se observa un fenómeno de combustion muy brillante, acompañado de humos blancos y espesos. Echando antimonio pulverizado en el gas cloro, el metal arde, produciendo el cloruro de antimonio. El ácido nítrico, aun cuando esté diluido, ataca al antimonio y le reduce á un precipitado blanco insoluble; el agua régia tambien le ataca, trasformándole en cloruro.

Extraccion.—Se encuentra el antimonio en el estado nativo y en el de sulfuro (*estibina*). Para extraerle se emplea el sulfuro de antimonio, echando en un crisol enrojecido una mezcla formada de 4 partes de sulfuro, 3 de tártaro crudo y 1,5 de nitro. El régulo metálico obtenido contiene arsénico, hierro, plomo, etc. Se purifica fundiéndole con un 10 por 100 de nitro.

El antimonio se combina con un gran número de metales, pero en las artes solo se usan la aleacion de antimonio y plomo, empleada en los caractéres de imprenta, y las aleaciones de estaño y antimonio, que sirven para fabricar diferentes utensilios.

152. **Óxidos de antimonio.**—El antimonio, uniéndose al oxígeno, forma las tres combinaciones siguientes: Sb^2O^3, Sb^2O^4 y Sb^2O^5: la primera es una base débil, y recibe el nombre de *óxido de antimonio*, y las otras dos son ácidas, *ácido antimonioso*, Sb^2O^4, y *ácido antimónico*, Sb^2O^5.

El óxido de antimonio es blanco agrisado; se funde al calor rojo, y á mayor temperatura se volatiliza: se obtiene calentando el antimonio en contacto del aire. Este óxido forma un hidrato blanco, soluble en el ácido clorhídrico y en una disolucion de tartrato de potasa, con la cual forma el *emético*. Para preparar este óxido en el mayor grado de pureza, se vierten pequeñas porciones de una disolucion de cloruro de antimonio, Sb^2Cl^3, en otra disolucion hirviendo de carbonato de sosa: el óxido de antimonio se separa en pequeños cristales.

El ácido antimonioso es indescomponible por el calor, como el óxido anterior, soluble en el ácido clorhídrico y los álcalis. Se prepara descomponiendo el ácido antimónico por el calor. Se le puede considerar como una mezcla del primer y tercer óxido: $2Sb^2O^4 = Sb^2O^3 + Sb^2O^5$.

El ácido antimónico es un polvo blanco amarillento, que se descompone al calor rojo; se forma cuando se trata el antimonio con el agua régia que contenga un exceso de ácido nítrico; se expone á un calor poco elevado, para que pierda su agua y quede el ácido antimónico anhidro. Se prepara este ácido hidratado descomponiendo por el agua el cloruro de antimonio, Sb^2Cl^5; pero los hidratos obtenidos por estos dos procedimientos no son idénticos, sus capacidades de saturacion son diferentes respecto de las bases, presentando en esto un fenómeno análogo al que se observa en el ácido estánnico y al explicado en el ácido fosfórico (44). Al primer producto se le da el nombre de *ácido antimónico*, el cual satura un equivalente de base, $KO,Sb^2O^5,5HO$, y al obtenido por la descomposicion del percloruro de antimonio por el agua se le ha dado el nombre de *ácido meta-antimónico*; este satura dos equivalentes de base, y forma sales neutras, por ejemplo, el meta-antimoniato de potasa, $2KO,Sb^2O^5$, que es un excelente reactivo para precipitar las sales de sosa de sus disoluciones.

153. **Sulfuro de antimonio.**—El antimonio, combinándose con el azufre, forma dos sulfuros, Sb^2S^3 y Sb^2O^5, cuyas fórmulas corresponden, la del primero al óxido antimónico, Sb^2O^5, y la del segundo al ácido antimónico Sb^2O^5, y se le ha dado el nombre de *ácido sulfo-antimónico*.

El sulfuro de antimonio se ha dicho que se encuentra en la naturaleza y forma filones en los terrenos antiguos: es de color gris oscuro con brillo metálico: se funde á una temperatura inferior á la del rojo; da vapores abundantes, y se puede destilar en medio de una corriente de nitrógeno: su densidad es 4,62: puede prepararse este sulfuro por la combinacion directa del azufre con el antimonio.

Tostando el sulfuro de antimonio á una temperatura elevada, se trasforma una parte en óxido de antimonio, que se combina con el sulfuro no descompuesto, formándose así oxisulfuros, los que liquidados despues, producen por enfriamiento las materias vítreas pardas conocidas en el comercio con los nombres de *vidrio de antimonio*, *hígado de antimonio* ó *crocus*, segun las proporciones de óxido y sulfuro de antimonio que las forman.

El sulfuro de antimonio puede prepararse por via húmeda haciendo pasar una corriente de gas ácido sulfhídrico por una disolucion de cloruro de antimonio, Sb^2Cl^5, en agua cargada de ácido clorhídrico, y se forma un precipitado de color anaranjado, que es el *sulfuro de antimonio hidratado*, soluble en los sulfuros alcalinos, con los cuales desempeña el papel de ácido. Este sulfuro

hidratado se usa en medicina mezclado ó combinado con el óxido de antimonio, y algunas veces con el ácido sulfo-antimónico, dándole entonces los nombres de *kermes*, *azufre dorado de antimonio*, etc.

El kermes se puede preparar por via seca ó por via húmeda. Para obtenerle por el primer método, se funde en un crisol una mezcla formada de 5 partes de sulfuro de antimonio natural y 3 de carbonato de sosa desecado: la materia fundida, despues de pulverizada, se hace hervir con gran cantidad de agua, se filtra el líquido con prontitud, y por el enfriamiento de este se precipita el kermes en forma de copos de color pardo. Por via húmeda se prepara este cuerpo haciendo hervir una parte de sulfuro de antimonio natural reducido á polvo fino, con 20 ó 25 partes de carbonato de sosa desecado y 250 de agua: por enfriamiento se precipita el kermes. Si en las aguas madres, despues de frias, se vierte ácido clorhídrico, se forma un precipitado de color rojo mas intenso que el kermes, al cual se le ha dado el nombre de *azufre dorado de antimonio*; cuyo cuerpo, lo mismo que el kermes, es una mezcla de sulfuro de antimonio, Sb^2S^3, de ácido sulfo-antimónico, Sb^2S^5, de óxido de antimonio, Sb^2O^3, y además contiene una corta cantidad de sulfuro de potasio en combinacion con el óxido de antimonio ó con una parte de sulfuro de antimonio.

154. **Cloruro de antimonio.**—El antimonio forma con el cloro dos combinaciones, Sb^2Cl^3 y Sb^2Cl^5, correspondientes al óxido de antimonio, Sb^2O^3, y al ácido antimónico, Sb^2O^5. Al segundo cloruro se le ha dado el nombre de *percloruro* ó *clórido de antimonio*.

El *cloruro de antimonio*, Sb^2Cl^3, presenta el aspecto de una materia blanca fácilmente fusible, y por su consistencia mantecosa se le dió el nombre de *manteca de antimonio*: se volatiliza antes del rojo; es delicuescente, y se disuelve, sin sufrir alteracion, en pequeña cantidad de agua, pues disolviéndole en una gran cantidad de agua pura, se descompone, formándose un precipitado blanco, conocido por los antiguos químicos con el nombre de *polvo de Algaroth*, el cual no es mas que un oxicloruro de antimonio, $Sb^2Cl^3,3Sb^2O^3 + HO$. Para obtener disuelto el cloruro de antimonio en bastante agua, es necesario agregarla ácido clorhídrico; y si se trata por agua caliente esta disolucion, se depositan al enfriarse cristales de otro oxicloruro, cuya fórmula es $Sb^2Cl^3,5Sb^2O^3$.

Se prepara este cloruro disolviendo el sulfuro de antimonio natural en ácido clorhídrico, y se evapora el líquido con un exceso de ácido.

Los armeros se sirven del cloruro de antimonio para pavonar

los cañones de fusil, cubriéndoles de una ligera capa de antimonio metálico que les preserva de la oxidacion.

155. **Caractéres de las sales de antimonio.**—Los caractéres de estas sales se refieren al protocloruro: son venenosas. La potasa forma un precipitado blanco, soluble en un exceso de reactivo, pero insoluble en el amoniaco. Los carbonatos alcalinos producen un precipitado blanco. El hidrógeno sulfurado las precipita en amarillo rojizo: el mismo precipitado produce el sulfhidrato de amoniaco, pero es soluble en un exceso de reactivo: el color de este precipitado y el no ser descompuestas las sales de antimonio por el agua, las distingue de las sales de bismuto. Una lámina de zinc precipita el antimonio metálico.

PLOMO.

PROTÓXIDO Y BIÓXIDO DE PLOMO.—CARBONATO DE PLOMO.

156. **Plomo.**—No se sabe la época del descubrimiento de este metal: antiguamente se le conocia con el nombre de *Saturno*, y algunas de sus combinaciones conservan aun este nombre.

Propiedades.—El plomo es gris azulado, y su fractura reciente presenta un brillo metálico bastante fuerte: es tan blando que se deja rayar con la uña: es muy maleable en frio y bastante dúctil: su densidad es 11,445. Se funde á la temperatura de 335°, y al calor rojo produce vapores visibles en el aire: puede obtenerse cristalizado en octaedros regulares por via de fusion.

Expuesto al aire á la temperatura ordinaria, se recubre de una capa negra de subóxido, Pb^2O; pero elevando la temperatura hasta el punto de fusion, se oxida con mucha rapidez y se trasforma en protóxido de plomo, PbO. El ácido nítrico ataca á este metal á la temperatura ordinaria: se forma nitrato de plomo soluble y se desprenden vapores rojos.

$$3Pb+4NO^5=3PbO,NO^5+NO^2.$$

Estado natural.—El plomo no se encuentra puro en la naturaleza, pero existe combinado con el azufre, formando el mineral conocido con el nombre de *galena*, y con los ácidos carbónico *(plomo blanco)*, crómico *(plomo rojo de Siberia)*, fosfórico *(plomo verde)*, sulfúrico *(plomo sulfatado)*, etc.

Extraccion.—De todos los minerales de plomo, el sulfuro y carbonato son los mas abundantes, y de estos se extrae el metal. Para extraerle del sulfuro de plomo ó galena se emplean dos mé-

todos distintos: 1.° El método llamado de *reaccion*, que consiste en tostar la galena, despues de pulverizada y lavada, en hornos de reverbero para reducir á sulfato una parte del sulfuro, y en revolver bien el mineral tostado, activando en seguida el fuego. En este segundo período se verifica la reaccion entre el sulfuro y sulfato formado, resultando ácido sulfuroso y plomo metálico. Al finalizar la operacion se incorpora á la masa carbon en polvo, con el objeto de descomponer los oxisulfuros de plomo que se forman.

2.° Si la ganga del mineral es muy silícea, se funde con hierro metálico: este metal se apodera del azufre de la galena, formando un sulfuro de hierro fusible, y la reduce al estado de plomo metálico.

Se emplea para cubrir azoteas, construir vasijas, y en grandes planchas para hacer las cámaras de plomo para la fabricacion del ácido sulfúrico. Combinado con otros metales, forma aleaciones de bastante interés para las artes, siendo las mas principales de estas la *soldadura de plomeros*, la *soldadura de hojalateros*, la cual está formada de partes iguales de plomo y estaño; la aleacion que se emplea para hacer los *caractères de imprenta* (1), y la *aleacion fusible* en el agua hirviendo (aleacion de Newton ó de D'Arcet), compuesta de 5 partes de plomo, 3 de estaño y 8 de bismuto. Se emplea tambien en la fabricacion de balas y perdigones, y en los ensayos de la plata y del oro por copelacion.

157. **Protóxido de plomo.**—Este óxido de plomo es amarillo rojizo ó pardo amarillento, inodoro é insípido: es soluble en los aceites y en los álcalis, insoluble en las aguas salinas, y se disuelve $\frac{1}{7000}$ en el agua destilada, comunicándola una reaccion alcalina. En el estado de hidrato absorbe el ácido carbónico del aire.

Preparacion.—Se obtiene este óxido en el estado de hidrato vertiendo amoniaco en una disolucion de sal de plomo. El precipitado blanco que se forma es soluble en las disoluciones de potasa, sosa ó amoniaco: evaporando este líquido se obtiene el óxido de plomo anhidro, de color pardo amarillento.

Calcinado el nitrato de plomo se obtiene el óxido de plomo anhidro en forma de un polvo de color amarillo ó rojo: á este óxido se le da el nombre de *masicot*. Este óxido se funde al calor rojo,

(1) Véase el cuadro de las aleaciones, pág. 118.

y resulta una masa compacta, formada de pequeñas hojas cristalinas, y al óxido de plomo que ha experimentado la fusion se le llama *litargirio*. Si se calienta el masicot lentamente en contacto del aire, absorbe oxígeno y se convierte en otro polvo de hermoso color rojo llamado *minio*. La composicion de este cuerpo es muy variable, y depende del tiempo que haya durado la calcinacion del masicot.

158. **Bióxido de plomo, ó ácido plúmbico.**—El bióxido de plomo, PbO^2, llamado tambien *óxido color de pulga*, por tener un color parecido al de la pulga, es inodoro, insípido é insoluble en el agua. Se combina con las bases formando muchas sales cristalizables, y por esta propiedad se le ha dado el nombre de *ácido plúmbico*: no se combina con los ácidos, pero cede una porcion de su oxígeno á los ácidos que son susceptibles de sobreoxidarse formando sales de protóxido; así, el ácido sulfuroso forma con este cuerpo sulfato de plomo, y el ácido hiponítrico nitrato de plomo.

Preparacion.—Se obtiene este cuerpo tratando el minio en caliente por el ácido nítrico diluido; el protóxido de plomo se disuelve, y queda ácido plúmbico en forma de un polvo negruzco.

159. **Carbonato de plomo.**—El carbonato de plomo, PbO,CO^2, conocido vulgarmente con los nombres de *blanco de plomo*, *cerusa* y *albayalde*, es una sal blanca, insoluble en el agua, sin sabor ni olor. Se descompone por el calor en ácido carbónico y protóxido de plomo: calentado en contacto del aire sin que se funda el protóxido, se trasforma en un minio de color mas bajo que el ordinario, y se le da el nombre de *mina anaranjada*. El hidrógeno sulfurado ennegrece esta sal, como lo hace con la mayor parte de las sales de plomo. Este carbonato se emplea principalmente en la pintura al óleo.

Estado natural.—El carbonato de plomo se encuentra en la naturaleza cristalizado en prismas de cuatro caras de color blanco ó gris, y son isomorfos del aragonito. El color gris de estos cristales, que generalmente no pasa de la superficie, es debido á una materia bituminosa, y el mayor número de veces á la galena, con la que siempre se halla unido.

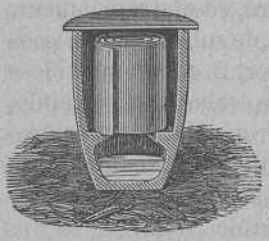
Preparacion.—Se prepara en los laboratorios haciendo atravesar una corriente de ácido carbónico por una disolucion de subacetato de plomo: el ácido carbónico se combina con el exceso de base y deja el acetato neutro en disolucion:

Subacetato de plomo.		Acetato neutro.	

$$(3PbO,C^4H^3O^3 + HO) + 2CO^2 = (PbO,C^4H^3O^3 + HO) + 2PbO,CO^2.$$

En las artes se prepara haciendo hervir 100 partes en peso de litargirio con 112 partes de vinagre, y se añaden á la mezcla 100 partes de agua para que se disuelva el subacetato formado: se hace pasar por esta disolucion una corriente de ácido carbónico que proviene de la combustion del carbon, y el carbonato de plomo se deposita: se lava repetidas veces, y se seca á un calor lento.

Fig. 58.



La mayor parte del albayalde que se consume se prepara por el método llamado *procedimiento holandés*, que consiste en colocar láminas de plomo arrolladas en espiral dentro de vasijas de barro refractario barnizadas interiormente (*fig.* 58), en las que se ha echado un poco de vinagre, cubriéndolas de estiércol despues de tapadas con un disco de plomo. A las 5 ó 6 semanas las láminas de plomo se hallan trasformadas en albayalde: se las golpea con un mazo de madera, y se reduce el albayalde á polvo fino, que se purifica por levigacion.

160. **Caractéres de las sales de plomo.**—La mayor parte son incoloras, y las solubles tienen un sabor dulce astringente. El ácido sulfúrico y los sulfatos dan un precipitado blanco. Los álcalis cáusticos tambien le dan blanco, soluble en un exceso de potasa ó sosa. El cloruro de sodio le forma blanco cristalino, soluble en el agua caliente. El ioduro de potasio produce un precipitado amarillo, soluble en un exceso de agua caliente, y que por enfriamiento se precipita en forma de escamas cristalinas de un hermoso color amarillo de oro. El cromato de potasa da un precipitado amarillo. El ácido sulfúrico le forma negro. El zinc precipita el plomo en pequeñas láminas cristalinas.

COBRE.

SUBÓXIDO, PROTÓXIDO Y BIÓXIDO DE COBRE.—SULFATO DE COBRE.

161. **Cobre.**—El cobre es conocido desde la mas remota antigüedad. Los latinos le dieron el nombre de *cuprum*, probablemente porque se le extraia de la isla de Chipre; y los alquimistas, en su lenguaje figurado y poético, le denominaron *Vénus*, nombre que aun conservan algunas de sus preparaciones, como los *cristales de Vénus*, que son el acetato de cobre.

Propiedades.—El cobre es de un color rojo característico, muy brillante, muy dúctil y de una tenacidad menor que la del hierro: por el frotamiento adquiere un color desagradable: es el mas so-

noro de todos los metales: su densidad varía entre 8,81 y 8,95. Se funde á unos 1150°, y á una temperatura mas elevada es un poco volátil, y los vapores comunican á la llama un color verde.

El oxígeno y el aire secos no ejercen accion sensible sobre el cobre á la temperatura ordinaria, pero se altera con prontitud si están húmedos, recubriéndose de una materia verde formada por el carbonato de cobre que impropiamente se le llama *cardenillo*. Calentado hasta el rojo en presencia del aire, se une rápidamente al oxígeno, y se cubre de una costra rojiza de subóxido, que pasa á protóxido si se prolonga la accion del calor. El cobre, uniéndose al oxígeno, forma cuatro compuestos, un subóxido ú oxídulo, conocido generalmente con el nombre de protóxido, Cu^2O; un protóxido, conocido con el nombre de bióxido, CuO; un bióxido, CuO^2: y un ácido cúprico, CuO^3; los dos primeros son básicos, y el tercero es indiferente; el cuarto es muy poco estable.

Estado natural.—El cobre existe en la naturaleza bajo un gran número de estados diferentes: se presenta en el estado nativo, en el de óxido, de sulfuro y de sulfuros dobles, en el de cloruro, de carbonato, de sulfato, de fosfato, etc.; pero los principales minerales son el subóxido (*cobre rojo*), los carbonatos (verde, *malaquita*, y azul, *azurita*), poco abundantes; y los sulfuros dobles (*cobre gris* ó *panabasa*, *tennantita*, *chalkopirita* y *filipsita*), que son muy comunes.

Extraccion.—Para obtener este metal del subóxido y carbonato naturales se reducen á polvo, y mezclados con carbon y escorias silíceas se funden en un horno de cuba. De este modo se obtiene un cobre impuro, llamado *cobre negro*; por la afinacion resulta cobre de buena calidad. Los minerales sulfurados exigen un tratamiento mas complicado.

Los usos del cobre son muchos y muy variados: sirve para fabricar calderas de todas formas y dimensiones, segun lo exijan las necesidades de las artes; unido al zinc, estaño y plomo, forma las aleaciones que se indican en el cuadro pág. 118.

162. **Subóxido de cobre.**—Este óxido, llamado por algunos *oxídulo* y *protóxido de cobre*, es de un color rojo rosado cuando es anhidro, y amarillo de naranja si está hidratado: es inalterable al aire y muy fusible. Este óxido se disuelve en el amoniaco, y la disolucion es incolora cuando se hace fuera del contacto del aire, y adquiere un color azul por la influencia del oxígeno, cuyo gas sobreoxida al subóxido. Calentándole en contacto del aire, absorbe oxígeno y se trasforma en protóxido. Los ácidos concentrados le descomponen ordinariamente en protóxido de cobre, que

se disuelve, y en cobre metálico, que se separa. Fundido con el vidrio, tiñe á éste de un hermoso color rojo.

Estado natural.—En la naturaleza se presenta este cuerpo en masas de color rojo, y á veces con lustre vítreo y en cristales rojos.

Preparacion.—Se prepara este óxido haciendo hervir una disolucion de acetato de cobre con azúcar. El óxido es reducido por la materia orgánica, y como las sales de oxídulo de cobre son poco estables, se precipita el óxido en forma de un polvo cristalino de color rojo oscuro.

Se obtiene un hidrato de este compuesto tratando una disolucion de subcloruro de cobre (Cu^2Cl) por la potasa, y se precipita el hidrato en forma de un polvo amarillo.

163. **Protóxido de cobre.**—Este óxido de cobre, en el estado anhidro, es de un color rojo, y azul gris en el de hidrato: es inalterable al aire y muy fusible: se reduce fácilmente por los cuerpos combustibles: calentado con materias orgánicas, las descompone, trasformándolas en ácido carbónico y agua; por esta propiedad se emplea para el análisis elemental de estas sustancias. El hidrato de protóxido de cobre es soluble en el amoniaco, al cual tiñe de un hermoso color azul celeste.

Se obtiene fácilmente este cuerpo descomponiendo el nitrato de cobre por el calor, ó tostando el cobre muy dividido que queda despues de la calcinacion del acetato.

164. **Bióxido de cobre.**—Este óxido es de un color pardo amarillento, que se convierte en protóxido á poco que se eleve la temperatura. Se prepara tratando el hidrato de protóxido de cobre por el bióxido de hidrógeno ó agua oxigenada.

165. **Sulfato de cobre.**—Esta sal, conocida tambien con los nombres de *vitriolo de Chipre, vitriolo azul* y *caparrosa azul*, por presentar un hermoso color azul, tiene un sabor muy estíptico: es soluble en 4 partes de agua fria y 2 de agua hirviendo: su densidad es 2,19: cristaliza á la temperatura ordinaria en prismas oblícuos de base oblicuángula, y son un poco eflorescentes: su fórmula es CuO,SO^3+5HO: son isomorfos, con los que forma el sulfato de hierro cuando cristaliza á la temperatura de 40° próximamente y que tambien contienen 5 equivalentes de agua. Calentando esta sal, se trasforma en un polvo blanco azulado: á una temperatura elevada experimenta la fusion acuosa, y aumentando mas el calor se descompone completamente, dejando un residuo de protóxido de cobre.

Estado natural.—El sulfato de cobre se encuentra disuelto en

las aguas que pasan por las minas del sulfuro de este metal, de las cuales se extrae por evaporacion.

Preparacion.—Se obtiene este cuerpo calcinando al aire los sulfuros de cobre, tratándolos despues por el agua para disolver el sulfato de cobre formado.

166. **Caractéres de las sales de cobre.**—Estas sales anhidras son blancas y azules ó verdes si están hidratadas; tienen un sabor metálico desagradable y son muy venenosas. Tratadas las disoluciones de estas sales por el amoniaco en exceso, toma el líquido un hermoso color azul (agua celeste de los farmacéuticos). La potasa y la sosa dan un precipitado azul claro. El ferrocianuro de potasio forma un precipitado pardo castaña. El hidrógeno sulfurado le da negro. Una lámina de hierro precipita el cobre metálico.

MERCURIO.

SUBÓXIDO Y PROTÓXIDO DE MERCURIO.—SUBCLORURO Y PROTOCLORURO DE MERCURIO.

167. **Mercurio.**—El mercurio es uno de los primeros metales que conoció el hombre, y el único que conserva su antiguo nombre de las divinidades del paganismo: tambien se le conoce con el nombre de *azogue*.

Propiedades.—El mercurio, cuando es puro, se presenta tan blanco como la plata: no tiene olor ni sabor, y su densidad es 13,59. Es el único metal que se presenta en el estado líquido á la temperatura ordinaria, y se conserva en el mismo estado hasta —40° y hierve á 360°.

El mercurio puro no se adhiere al vidrio ni á la porcelana, pero se adhiere notablemente á estos cuerpos cuando contiene metales extraños ú óxido de mercurio.

Este metal absorbe el oxígeno del aire con el trascurso del tiempo, y se empaña su superficie: la absorcion es mayor en verano que en invierno: la oxidacion se verifica con mas rapidez calentando este cuerpo en contacto del aire hasta 350°, y se trasforma en óxido, HgO. El ácido nítrico ataca al mercurio aun en frio, con desprendimiento de deutóxido de nitrógeno.

El mercurio, uniéndose al oxígeno, forma un subóxido ú oxídulo, Hg^2O, y un protóxido, OgO.

Estado natural.—Se le encuentra en la naturaleza en el estado nativo en forma de pequeños glóbulos ó gotas diseminadas en las

capas bituminosas, ó llenando las cavidades de ciertos minerales que se encuentran á las inmediaciones de los criaderos de cinabrio: se halla en abundancia en España en las minas de Almaden (Mancha), combinado con el azufre, formando un sulfuro conocido con el nombre de *cinabrio*.

Extraccion.—Se obtiene por destilacion, ó calcinando el cinabrio con la creta ó la cal apagada. El primer método se emplea en Almaden y en Idria, y el segundo en las minas del Palatinado.

El mercurio se emplea para la construccion de los barómetros y termómetros; en química, para recoger los gases solubles en el agua: amalgamado con $\frac{1}{4000}$ de plomo, forma en los tubos una superficie plana que puede servir para graduar las campanas y tubos de vidrio. La amalgama formada con partes iguales de mercurio y estaño se emplea para azogar los espejos.

168. **Subóxido de mercurio.**—Este óxido, conocido con los nombres de *oxídulo de mercurio*, *protóxido de mercurio*, y *óxido negro de mercurio*, se presenta en forma de polvo negro, insoluble en el agua, muy poco estable: el calor y la luz le descomponen, pero forma con los ácidos sales cristalizables bien caracterizadas. Se obtiene este cuerpo tratando el nitrato de protóxido de mercurio por la potasa cáustica; se forma un precipitado negro, que se descompone espontáneamente en óxido rojo y en mercurio metálico.

169. **Protóxido de mercurio.**—Se da generalmente á este óxido el nombre de *bióxido de mercurio*, y el de *óxido rojo de mercurio*: es de color rojo ó anaranjado, segun el procedimiento que se haya empleado para su obtencion, constituyendo dos estados isoméricos, que se distinguen en algunas de sus reacciones químicas: su sabor es muy desagradable: es ligeramente soluble en el agua, y la disolucion enverdece el jarabe de violetas. Calentándole se vuelve negro, y á la temperatura de 400° se descompone. Es un oxidante enérgico: trasforma el cloro y el ácido sulfuroso en los ácidos hipocloroso y sulfúrico.

Preparacion.—Se forma este óxido exponiendo el metal en un matraz de cuello largo á una temperatura próxima á su ebullicion, en cuyo caso se le llama *precipitado per se*. Se prepara mas fácilmente descomponiendo el nitrato de mercurio por la accion del calor, y entonces se le da el nombre de *precipitado rojo*.

170. **Subcloruro de mercurio.**—De todos los productos de la química, el subcloruro de mercurio (Hg^2Cl) es sin duda el cuerpo á que mas nombres se ha dado, conociéndole aun con los siguien-

tes: *protocloruro de mercurio, cloruro mercurioso, mercurio dulce, calomel, calomelanos, precipitado blanco, mercurio dulce al vapor.*

Este cloruro es blanco, insípido é inodoro, brillante cuando está en masa, volátil, indescomponible por el fuego: la luz le descompone lentamente, y adquiere un color gris: es muy poco soluble en el agua: se cristaliza en prismas de base cuadrada, terminados por un apuntamiento octaédrico. Se obtiene por precipitacion y por sublimacion. Para prepararle por sublimacion, se calienta el sulfato de oxídulo de mercurio con una cantidad de mercurio igual á la que contiene el sulfato y sal marina: se forma sulfato de sosa que queda en la sublimatoria y destila el subcloruro de mercurio:

$$HgO,SO^3+Hg+NaCl=NaO,SO^3+Hg^2Cl.$$

* En la preparacion del calomel siempre se forma alguna cantidad de protocloruro de mercurio, que es preciso separar para los usos de la medicina, lo cual se consigue fácilmente reduciendo el subcloruro á polvo impalpable, á fin de que por lociones sucesivas con agua caliente se separe el sublimado corrosivo, por ser soluble en este líquido. Para reducirle inmediatamente á polvo impalpable, se hace llegar el vapor del subcloruro á un gran recipiente á la vez que el vapor de agua. El calomel se condensa en la forma de polvo muy dividido, y el percloruro que se haya formado se disuelve en el agua. Se lava el precipitado hasta que las aguas de locion no formen precipitado con la potasa y el hidrógeno sulfurado. Preparado de este modo el subcloruro de mercurio, constituye el *mercurio dulce al vapor.*

171. **Protocloruro de mercurio.**—Este cloruro, conocido tambien con los nombres de *bicloruro de mercurio, cloruro mercúrico* y *sublimado corrosivo*, es blanco, inalterable al aire: su sabor es estíptico, acre y desagradable: es soluble en el agua, y se cristaliza en grandes agujas nacaradas: es muy soluble en el éter: se volatiliza á una temperatura mas baja de la que necesita el subcloruro para sublimarse. Se emplea para preservar las maderas contra los insectos y para conservar los objetos de historia natural y las piezas anatómicas. Se obtiene este cuerpo calentando en una sublimatoria colocada en baño de arena, una mezcla formada de 5 partes de sal marina y 5 de protosulfato de mercurio:

$$HgO,SO^3+NaCl=NaO,SO^3+HgCl.$$

172. **Caractéres de las sales de mercurio.**—Las sales de mercurio son volátiles ó se descomponen por el calor, y sus disoluciones enro-

jecen la tintura de tornasol. Si se sumerge una lámina de cobre en las disoluciones de estas sales, se precipita el mercurio y se forma una amalgama blanca: calentando la lámina, el mercurio se volatiliza y el color rojo de cobre aparece. El protocloruro de estaño reduce las sales de mercurio. Calcinando un compuesto mercurial con la potasa ó la cal, ó con los carbonatos de estas bases, queda libre el mercurio.

Sales de subóxido:	**Sales de protóxido:**
Potasa.—Precipitado negruzco, que es una mezcla de mercurio dividido y óxido, HgO.	Precipitado amarillo rojizo de óxido, HgO.
Amoniaco.—Precipitado negruzco.	Precipitado blanco, que contiene los elementos del amoniaco y de la sal mercurial.
Ácido sulfhídrico y *sulfuros solubles.*—Precipitado negro de sulfuro, Hg^2S.	Precipitado gris si se echa pequeña cantidad de mercurio que se cambia en amarillo rojizo añadiendo mas reactivo; y abandonada la disolucion con un exceso de reactivo, el precipitado se ennegrece por formarse un sulfuro, HgS.
Ácido clorhídrico y *cloruros.*—Precipitado blanco de subcloruro, que se ennegrece poniéndole en contacto del amoniaco.	No da precipitado.
Ioduro de potasio.—Precipitado verdoso.	Precipitado rojo soluble en un exceso de reactivo ó de sal mercurial.

PLATA.

PROTÓXIDO DE PLATA.—CLORURO DE PLATA.—NITRATO DE PLATA.

173. **Plata.**—La plata es conocida desde la antigüedad mas remota. Su nombre actual se deriva de una palabra griega, que significa *blanco*. Los químicos antiguos, en razon á su blancura y hermoso brillo, la dieron el nombre de *luna* y *diana*.

Propiedades.—Se distingue de los demás metales por su color y brillo; es insípida é inodora; es el metal mas maleable y mas dúctil despues del oro; su densidad es 10,47: se funde á unos 1000°, y es un poco volátil. No se oxida al aire, esté húmedo ó seco; pero cuando está fundida absorbe una cantidad de oxígeno que asciende á 22 veces su volúmen, la cual abandona inmediatamente por

el enfriamiento: con muy ligeras porciones de metales extraños que tenga, pierde esta propiedad. Por medios indirectos se combina con el óxigeno, y forma un subóxido (Ag^2O), un protóxido (Ag^4O), y un bióxido (AgO) de plata: el mas interesante de estos tres óxidos es el protóxido. Puede obtenerse la plata cristalizada por via de fusion: su forma cristalina es el cubo. El ácido nítrico la disuelve á cualquiera temperatura: se desprende el deutóxido de nitrógeno y se forma nitrato de plata: se combina directamente con el azufre y se forma un sulfuro negro: por esto se observa que todos los objetos de plata se ennegrecen cuando se encuentran en sitios donde se desprende el ácido sulfhídrico.

Estado natural.—La plata se presenta en la naturaleza en pequeñas cantidades en el estado nativo, algunas veces cristalizada en cubos modificados por las caras del octaedro: se encuentra en mayor cantidad en el estado de sulfuro (*plata vidriosa* ó *argirosa*), en el de sulfo-antimoniuro (*plata roja* ó *rosicler*), en el de antimoniuro, en el de cloruro (*plata córnea* ó *kerárgira*), en el de arseniuro (*plata arsenical* ó *argiritrosa*), en el de carbonato, etc.; pero la mas abundante de estas especies es el sulfuro.

Extraccion.—La plata generalmente se extrae del sulfuro, del sulfo-antimoniuro y del cloruro. Muchas galenas y minerales de cobre contienen plata diseminada ó incorporada íntimamente. Las galenas argentíferas son los minerales de plata mas comunes en España. Para extraer la plata de estos minerales se tratan primeramente como para obtener el plomo. En este metal queda toda la plata, que se separa por *copelacion*. Este procedimiento está fundado en la propiedad que tiene el plomo de oxidarse cuando se calienta en contacto del aire, y en la de permanecer la plata inalterable en este flúido; por lo tanto, este metal se concentra indefinidamente en el plomo, que conserva el estado metálico, hasta que al fin queda aislada cuando todo el plomo se ha oxidado.

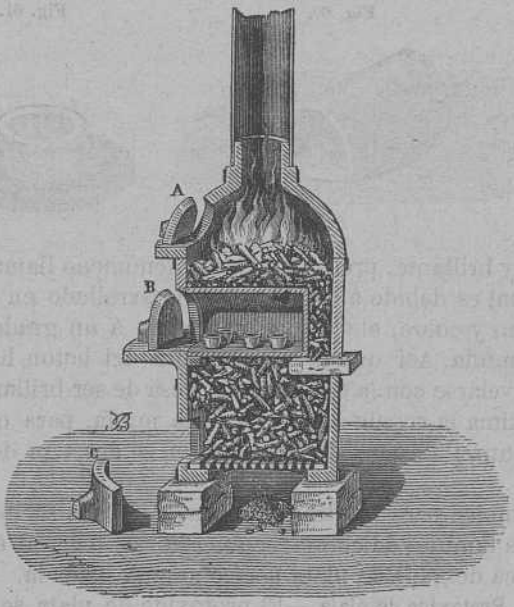
En Sajonia y en América se emplea el método de *amalgamacion*, que consiste en agitar el mineral pulverizado con el mercurio en toneles dispuestos al efecto, ó en eras ó patios, llamados de amalgamacion. La plata se separa del mercurio por destilacion.

Por la inalterabilidad de la plata se hacen con este metal muchos objetos de lujo: para darla dureza se une á diferentes proporciones de cobre, segun sea el objeto á que se destine; y las diferentes cantidades de plata que entran á componer las aleaciones, constituyen su ley, la cual es tanto mayor cuanto mas rica es de plata, variando estas en todas las naciones para la acuñacion

de la moneda y para la fabricacion de los diferentes objetos de platería y joyería. La ley de la moneda de España es la misma que en Francia $\frac{900}{1000}$, ó lo que es lo mismo, 900 de plata y 100 de cobre para las monedas de cinco pesetas. La ley de la unidad monetaria, que en la actualidad es la *peseta*, es de $\frac{835}{1000}$, ó lo que es igual, 835 de plata y 165 de cobre. La ley para las joyas es de 9 dineros (el dineral de plata se divide en 12 dineros, y el dinero en 24 gramos), ó sean 9 partes de plata y 3 de cobre; para la vajilla es de 11 dineros.

Para determinar la cantidad de plata que contiene una galena argentífera, ó la ley de una aleacion de cobre y plata, generalmente se recurre á la *copelacion* cuyo ensayo se verifica en el horno llamado de *copela* (*fig.* 59), el cual consiste en un horno de reverbero dispuesto para colocar en el centro un semicilindro

Fig. 59.

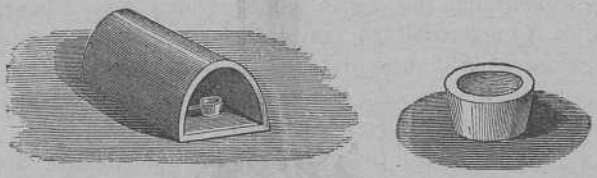


de barro llamado *mufla*, cerrado por uno de sus extremos (*figura* 60), y con ranuras laterales por donde puede pasar el aire del hogar. Para fijar la mufla, el horno tiene una pequeña platafor-

ma *B*, y en la parte superior una abertura *A* por donde se carga; el aire penetra por la rejilla y dos aberturas inferiores que se pueden abrir ó cerrar segun convenga. Cuando la mufla está enrojecida por el fuego, se coloca en ella la *copela* (*fig.* 61), cápsula gruesa y porosa, formada con huesos calcinados molidos, en la cual se echa el régulo ó boton de plomo argentífero que se haya obtenido de un peso dado de galena cuando se quiera hacer el análisis de esta, ó plomo puro, si se quiere analizar una aleacion de plata y cobre, y una vez fundido el plomo, se añade la aleacion envuelta en un pedazo de papel, que al carbonizarse reduce la película de óxido de plomo, formado en su superficie, estableciendo así un contacto mas íntimo entre los metales plata y cobre para su combinacion.

La aleacion ternaria fundida se halla dentro de la corriente de aire que atraviesa la mufla; el plomo y cobre se oxidan, formando en la superficie del boton metálico una película movible que se renueva conforme se va filtrando en la copela, y terminada la oxidacion la película deja descubierto el boton de plata, que apa-

Fig. 60. Fig. 61.



rece muy brillante, presentándose el fenómeno llamado *relámpago*, el cual es debido á que el calor desarrollado en la oxidacion del plomo y cobre, eleva su temperatura á un grado mayor que la de la mufla. Así que la temperatura del boton ha descendido hasta nivelarse con la del hornillo, cesa de ser brillante, entonces se aproxima la copela á la boca de la mufla, para que se enfrie lentamente, y despues de frio el boton se despega de la copela y se pesa.

Se emplea para fabricar el *plaqué de plata*: reciben este nombre unas láminas de cobre recubiertas en toda su extension por una placa delgada de plata perfectamente soldada.

174. **Protóxido de plata.**—El protóxido de plata se presenta de un color pardo claro en el estado de hidrato, y anhidro es de un color verde: es poco soluble en el agua, y la disolucion enverdece el jarabe de violetas: el calor y la luz solar le descomponen. Es

una base muy enérgica, pues se combina hasta con los ácidos mas débiles y neutraliza completamente los ácidos enérgicos: forma con el amoniaco un compuesto muy fulminante.

Preparacion.—Se obtiene tratando por un exceso de potasa la disolucion del nitrato de plata; se precipita el protóxido en estado de hidrato; se seca en el vacío ó calentándole ligeramente, y se trasforma en un polvo verde de protóxido anhidro.

175. **Nitrato de plata.**—El nitrato de plata, AgO,NO^5, es una sal incolora, amarga y muy cáustica: es soluble en un peso de agua fria igual al suyo, y en la mitad solamente á la temperatura de la ebullicion de este líquido: sumergiendo en esta disolucion dos hilos de platino que formen los reóforos de una pila, el conductor positivo se cubre de cristales prismáticos negros y brillantes de *bióxido de plata*. El nitrato de plata critaliza en láminas delgadas, inalterables al aire; la luz solar le descompone lentamente, y la descomposicion es rápida cuando se halla en contacto de materias orgánicas: así una gota de la disolucion de esta sal produce en la piel una mancha negra persistente, la cual desaparece lavando la parte ennegrecida con la disolucion de cianuro de potasio. Exponiéndole á una temperatura inferior al rojo oscuro, se funde y se solidifica por enfriamiento en una masa cristalina: calentándole mas, se trasforma en *nitrato*, y en seguida se descompone, quedando la plata reducida. Se obtiene este nitrato puro, tratando la plata copelada por el ácido nítrico y concentrando la disolucion de la sal formada.

Por la propiedad que tiene esta sal de ennegrecerse con rapidez por la accion de la luz cuando se halla en contacto de las materias orgánicas, se emplea para marcar la ropa blanca. En los laboratorios se emplea como reactivo del ácido clorhídrico y de los cloruros solubles. El nitrato de planta fundido se emplea en cirujía para cauterizar, dándole el nombre de *piedra infernal*: generalmente se usa en forma de barritas delgadas, negras en su superficie, lo cual es debido á la película exterior de nitrato de plata que ha sido descompuesto por las paredes del molde donde se han hecho.

176. **Cloruro de plata.**—El cloruro de plata, AgCl, es blanco que muy pronto pasa á negro cuando se le expone á los rayos de la luz solar: es insoluble en el agua y en los ácidos, y soluble en el amoniaco: se funde á unos 400°, y forma un líquido amarillo, que se solidifica en una materia trasluciente, parecida al cuerno, y se deja rayar con la hoja de un cuchillo; da vapores al calor rojo, pero no es bastante volátil para destilar. Este cuerpo absor-

be en frio gran cantidad de gas amoniaco seco (38), y por esta propiedad se emplea para preparar el amoniaco líquido.

Para obtener este cloruro se trata una disolucion de nitrato de plata por el ácido clorhídrico, ó la disolucion de la sal marina; se forma un precipitado blanco de cloruro de plata.

177. **Caractéres de las sales de plata.**—Las sales de plata son generalmente incoloras, su sabor es metálico, y son venenosas. La potasa y la sosa forman un precipitado pardo claro, insoluble en un exceso. Los fosfatos tribásicos le forman amarillo. El ácido sulfhídrico y los sulfuros le dan negro. El ácido clorhídrico y los cloruros le forman blanco, que se vuelve violeta y ennegrece á la luz; es insoluble en el agua y en el ácido nítrico, pero muy soluble en el amoniaco y en el hiposulfito de sosa. Los metales hierro, zinc, cobre y mercurio precipitan la plata de sus disoluciones.

ORO.

SUBÓXIDO Y SESQUIÓXIDO DE ORO.—SESQUICLORURO DE ORO.

178. **Oro.**—El oro es conocido desde la mas remota antigüedad: fué llamado por los alquimistas *sol* y el *rey de los metales*.

Propiedades.—El oro es de color amarillo característico, insípido, inodoro: es menos duro que la plata, casi tan blando como el plomo, y el mas dúctil y maleable de todos los metales: su densidad es 19,5. Se funde á unos 1250°: á temperaturas mas elevadas da vapores sensibles, y se cristaliza por via de fusion en cubos ó en octaedros. Reducido á láminas delgadas ó hilos muy finos, se volatiliza cuando se expone á la descarga de una batería eléctrica. No absorbe el oxígeno á ninguna temperatura, pero por medios indirectos se consigue combinarle con este cuerpo, y forma dos óxidos. El ácido clorhídrico y el ácido nítrico no le disuelven; pero el agua régia le trasforma en sesquicloruro de oro (Au^2Cl^3). Se obtiene el oro lavando las arenas auríferas y tratándolas por el mercurio: se separa la amalgama que resulta, y se somete á una destilacion igual á la de la plata.

Estado natural.—El oro se encuentra en la naturaleza en el estado nativo, y aleado con ciertas cantidades de alguno de los metales plata, cobre, hierro, paladio, rodio ó teluro. Cuando es puro se encuentra unas veces cristalizado en octaedros ó cubos, otras en laminitas ó arenillas, y algunas, aunque pocas, en pequeñas masas aisladas, que se conocen con el nombre de *pepitas*. Las aguas de muchos rios acarrean entre sus arenas partecillas de oro, y son

en general todas las que nacen en terrenos primitivos ó corren por extensiones considerables de estos mismos terrenos. En España se citan los rios Tajo, Sil y Darro.

El oro puro se emplea para dorar los metales y maderas reducido á polvo fino, para dorar el vidrio y la porcelana, y para soldar el platino.

En el estado de combinacion con el cobre y con la plata, sirve para fabricar vasos y objetos de lujo y para acuñar la moneda. La ley de la moneda de oro en España es hoy la misma que en Francia, esto es, $\frac{900}{1000}$ ó sean 900 de oro y 100 de cobre. La ley de las joyas apreciada por quilates es de 18 quilates, ó lo que es igual, $\frac{18}{24}$ de oro y $\frac{6}{24}$ de cobre; y la de la vajilla es de 22 quilates, ó sean $\frac{22}{24}$ de oro y $\frac{2}{24}$ de cobre.

Como no es fácil obtener por fusion directa de los dos metales aleaciones que presenten rigurosamente la composicion legal, las leyes toleran $\frac{2}{1000}$ por exceso ó por defecto. Lo mismo sucede en la ley de la plata, con la diferencia de que en esta aleacion se permiten $\frac{3}{1000}$ de exceso ó defecto.

179. **Subóxido de oro.**—Este óxido, Au^2O, conocido con los nombres de *oxídulo de oro* y *protóxido de oro*, es de un color violeta oscuro, inalterable al aire: á los 250° de calor se descompone, desprendiéndose oxígeno. Los oxácidos no tienen accion sobre este cuerpo: el ácido clorhídrico le descompone, formando agua, sesquicloruro de oro y precipitado de oro metálico:

$$3Au^2O + 3HCl = 3HO + Au^2Cl^3 + 4Au.$$

Se obtiene descomponiendo el protocloruro de oro por una disolucion dilatada de potasa:

$$Au^2Cl + KO = KCl + Au^2O.$$

180. **Sesquióxido de oro.**—El sesquióxido de oro, Au^2O^3, que tambien suele llamarse *ácido áurico*, por poseer la propiedad de combinarse con algunas bases, en el estado de hidrato es un polvo amarillo rojizo, que pierde el agua á temperaturas poco elevadas y se convierte en ácido anhidro de color pardo oscuro: se descompone á los 245° de calor en oro y oxígeno: la luz solar pro-

duce en poco tiempo la misma descomposicion: los cuerpos oxidantes le reducen al estado metálico: el ácido clorhídrico le disuelve, y produce sesquicloruro de oro: se disuelve fácilmente en frio en las disoluciones alcalinas, formando *auratos* alcalinos que pueden cristalizar por la evaporacion. Vertiendo un exceso de amoniaco en una disolucion de sesquicloruro de oro, se precipita un polvo gris que detona fácilmente, y es un aurato de amoniaco.

181. **Sesquicloruro de oro.**—El sesquicloruro de oro, Au^2Cl^3, es de un color rojizo oscuro, delicuescente, muy soluble en el agua y en el alcohol: difícilmente se cristaliza: la luz y el calor le descomponen: evaporado lentamente al aire seco, deposita cristales amarillos de una combinacion de sesquicloruro de oro y ácido clorhídrico ($Au^2Cl^3 + HCl$). La potasa y la sosa forman un aurato y un cloruro alcalino. El amoniaco precipita el oro fulminante; se combina con un gran número de otros cloruros metálicos y forma cloruros dobles cristalizables. Se obtiene disolviendo oro en agua régia. Calentando este cuerpo hasta unos 200°, se desprende cloro y queda un polvo verdoso de cloruro de oro, Au^2Cl, que es insoluble en el agua.

Si en una disolucion de sesquicloruro de oro se echa una mezcla de protocloruro y bicloruro de estaño, se forma un precipitado de un hermoso color de púrpura, conocido con el nombre de *púrpura de Cassius* que se emplea para obtener los colores de rosa y púrpura en la pintura sobre la porcelana.

182. **Caractéres de las sales de oro.**—La disolucion de sesquicloruro de oro es la única que tiene uso. La potasa y la sosa forman un precipitado pardo claro haciendo hervir el líquido. El amoniaco le forma amarillo, de amoniuro de oro, que es fulminante. El ácido sulfhídrico le produce negro, soluble en un exceso de sulfuro alcalino. El protocloruro de estaño que contenga una pequeña cantidad de bicloruro, da un precipitado purpúreo (púrpura de Cassius). El fósforo, los ácidos fosforoso, sulfuroso, los vapores nitrosos, las sales de protóxido de hierro, el zinc, el cobre, etc., precipitan el oro en el estado de polvo con matices diferentes.

PLATINO.

PROTÓXIDO Y BIÓXIDO DE PLATINO.—PROTOCLORURO Y BICLORURO DE PLATINO.

183. **Platino.**—El primero que habló de este metal fué D. Antonio Ulloa, el año 1748, en la relacion del viaje que hizo al Perú

en 1735, aunque Wood dice le descubrió en 1744 y no publicó sus observaciones hasta 1749 á 1750. En un principio se le consideró como una aleacion de plata con otro metal, y se le dió el nombre español *platina*, diminutivo de plata.

Propiedades.—El metal platino tiene un color blanco gris y es susceptible de mucho pulimento: es muy dúctil y muy maleable; su densidad de 21,53: resiste sin fundirse á las temperaturas mas elevadas que pueden producirse en los hornos de fundicion, pero se funde fácilmente á la temperatura elevada que produce el soplete de gas hidrógeno y oxígeno y á la que se origina entre dos carbones cuando se produce la luz eléctrica: expuesto á la temperatura del rojo blanco, se ablanda lo suficiente para poderle forjar y soldar como el hierro.

Es el metal menos alterable al aire: no se une á ninguna temperatura con el oxígeno gaseoso; pero á la temperatura del rojo, y bajo la influencia de los álcalis cáusticos, se combina en dos proporciones con este gas, y forma el protóxido PtO, y el bióxido PtO^2, que son bases salificables. El ácido nítrico no le ataca cuando está puro: el agua régia es su mejor disolvente: al calor rojo le atacan el fósforo, el arsénico, la potasa, sosa y litina, pero no le alteran los carbonatos.

Echando en la disolucion de cloruro de platino sal amoniaco, se forma un precipitado cristalino de color amarillo, que es el cloruro doble de platino y amoniaco, $PtCl^2+NH^3,HCl$, el cual, calcinado á la temperatura del rojo, da una masa esponjosa de platino, que se conoce con el nombre de *esponja* ó *musgo de platino*. M. Dœbereiner descubrió en 1823 que el platino poseia la singular propiedad de favorecer la combinacion de los gases oxígeno é hidrógeno cuando está muy dividido ó esponjoso, y tambien observó que dirigiendo una corriente de gas hidrógeno sobre el platino esponjoso, se inflama el gas (1).

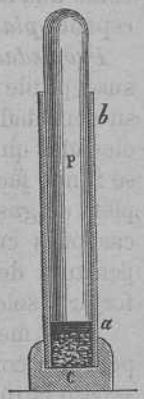
Estado natural.—El platino se presenta nativo en pequeños granos de color gris, entre las arenas de acarreo, aunque se han encontrado pepitas de 19 y 20 libras de peso: constantemente le acompañan los metales iridio, osmio, paladio, rodio, cobre, hierro, plata, plomo y oro. Sus principales criaderos existen en Colombia, en el Brasil y en la Siberia.

Preparacion.—Cuando las arenas platiníferas contienen bastante oro, se separa primeramente este metal por amalgamacion,

(1) La esponja de platino pierde la propiedad de inflamar el hidrógeno pasado cierto tiempo; pero la recobra calentándola por unos instantes con ácido nítrico y calcinándola despues hasta el rojo oscuro.

y despues de bien lavado el mineral restante, se trata por agua régia que contenga un exceso de ácido clorhídrico; y despues de clarificado el líquido por decantacion, se le añade una disolucion concentrada de sal amoniaco, que segun se ha dicho, precipita casi todo el platino en el estado de cloruro doble de platino y amoniaco: esta sal se calcina hasta el rojo, y se tiene el platino muy dividido, ó esponja de platino, que se reduce á metal maleable comprimiéndole por medio de un cilindro de acero *P* (*fig.* 62), colocado á modo de piston dentro de otro cilindro de laton *a b*, cuya base *C* está formada por una cápsula de acero dispuesta para esta operacion: el volúmen de la esponja de platino se va disminuyendo, y despues de algun tiempo se saca del cilindro un disco de platino bastante coherente, cuyo disco se calienta hasta el calor blanco en un crisol de barro, y se forja sobre un yunque de acero.

Fig. 62.



En la actualidad se consigue fundir grandes cantidades de platino por un sencillo procedimiento debido á Sainte-Claire Deville y Debray, que consiste en echar poco á poco el musgo de platino en una copela de cal viva cerrada con una tapa de la misma sustancia (*fig.* 63), por la cual penetra en esta especie de horno, un soplete semejante al de gas hidrógeno y oxígeno, para mantener todo el tiempo que dure la operacion un surtidor de gas del alumbrado, cuya llama es alimentada por el oxígeno. Se compone este soplete de un cilindro de cobre *A*, terminado por una pieza de platino ligeramente cónica; por el

---

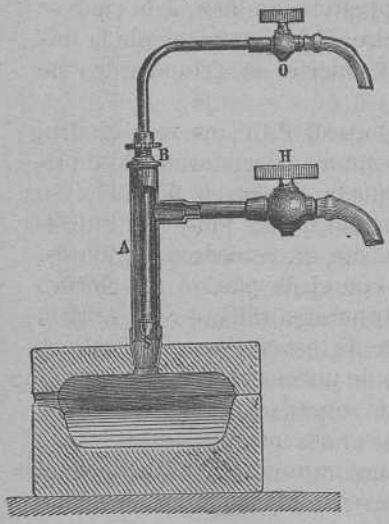
Se puede obtener tambien el platino en un estado de division grande en forma de precipitado, reduciendo el platino en disolucion por una materia orgánica fácilmente combustible, á cuyo precipitado se le ha dado el nombre de *negro de platino*. El platino en este estado tiene la propiedad de absorber los gases en mayor grado que la esponja ó musgo de platino.

Fig. 64.

El platino forjado no posee la propiedad de inflamar el hidrógeno á la temperatura ordinaria, pero la puede adquirir bajo la influencia del calor. Si se coloca dentro de la llama de una lámpara de alcohol un hilo de platino arrollado en espiral (*fig.* 64), y se la mantiene en ella hasta que se ponga roja la espiral, apagando despues la lámpara, se verá el hilo continuar incandescente. El vapor del alcohol que se desprende de la mecha, tocando al platino caliente, se combina bajo la influencia de este metal con el oxígeno del aire, y esta combustion lenta y sin llama desenvuelve suficiente calor para mantener incandescente el metal. Este experimento, llamado de *la lámpara sin llama de Davy* ó de *la lámpara vestal*, sale mejor incorporando al alcohol una pequeña cantidad de éter.

interior de este cilindro pasa otro cilindro de cobre *B S*, cuya extremidad *S* es tambien de platino; este tubo se halla fijo por medio de una tuerca *B* á la extremidad superior del tubo *A*, y dispuesto para poderle elevar ó descender segun convenga. El gas del alumbrado entra por la llave *H*, y el oxígeno llega por el tubo interior, abriendo la llave *O* de un gasómetro comprimido por una presion de 1 á 3 centímetros de mercurio. El metal fundido se echa en un molde de hierro, en cuyo fondo se ha puesto una lámina de platino para impedir la fusion del molde al verter el metal.

Fig. 63.



La cal en estos hornos sirve para obtener el platino en su mayor grado de afinacion, porque actúa sobre las impurezas que contiene. Por este procedimiento se pueden fundir 100 kilógramos de platino cada vez.

Por ser el platino el metal que mas resiste al fuego é inalterable por los ácidos sulfúrico, nítrico, etc., se emplea para la construccion de los alambiques que se usan para la concentracion del ácido sulfúrico, para la construccion de hilos, láminas, crisoles, cápsulas, etc., aparatos necesarios en ciertas operaciones químicas. En el estado de musgo ó esponja, por la propiedad que tiene de inflamar el hidrógeno, se emplea en las lámparas conocidas con el nombre de *lámparas de gas hidrógeno*.

184. **Combinaciones del platino con el oxígeno.**—El platino forma con el oxígeno dos combinaciones: un protóxido, PtO, y un bióxido, PtO^2. Estos dos óxidos son bases muy débiles; el calor los reduce fácilmente en oxígeno y platino metálico. Se obtienen estos óxidos descomponiendo por una disolucion de potasa cáustica el protocloruro ó el bicloruro de platino. Los dos óxidos se presentan bajo la forma de un polvo negro. Al bióxido se le puede considerar como un ácido metálico, por formar con la potasa combinaciones definidas.

185. **Protocloruro de platino.**—Este cuerpo es de color verde oscuro, insoluble en el agua, en el ácido nítrico y en el sulfúrico:

se trasforma por el ácido clorhídrico en bicloruro y en platino: los álcalis no le precipitan; pero si se evapora el liquido, se obtienen hermosos cristales de cloruros dobles. Se prepara este cuerpo calentando el bicloruro de platino desecado, $PtCl^2$, lentamente en un baño de aceite, hasta la temperatura de 200°, á la cual se mantiene mientras se desprenda cloro: el bicloruro pierde la mitad del cloro que contiene y se convierte en protocloruro de platino.

186. **Bicloruro de platino.**—Este cloruro, $PtCl^2$, es rojo oscuro, soluble, incristalizable: se descompone al calor, formándose primero el protocloruro, y despues queda el platino metálico: se combina con otros cloruros, formando dobles cloruros ($PtCl^2+KCl$ y $PtCl+NH^3,HCl$) que se cristalizan en octaedros regulares. El cloruro de sodio forma tambien con el de platino un cloruro doble cristalizable, análogo á los anteriores ($PtCl^2+NaCl+6HO$). Mezclando íntimamente cualquiera de estos cloruros alcalinos dobles con dos ó tres veces su peso de un cloruro alcalino y calentando la mezcla de un crisol, se separa el platino en estado metálico, bajo la forma de laminitas cristalinas brillantes.

Se obtiene el bicloruro de platino tratando el platino por el agua régia formada de una parte de ácido nítrico y dos de ácido clorhídrico.

187. **Caractéres de las sales de platino.**—Las sales de protóxido de platino son poco conocidas, por no tener hasta el dia aplicaciones en las artes ni en la química. Las sales de bióxido son de color amarillo anaranjado; el calor las descompone presentándose platino metálico. La disolucion de bicloruro de platino es el único compuesto salino de este metal que se usa en los laboratorios, y se distingue por las reacciones siguientes: La potasa, el amoniaco y las disoluciones concentradas de sus carbonatos, precipitan el platino en el estado de cloruro doble. La sosa y el carbonato de esta base no forman precipitado si la disolucion está fria; pero haciendo hervir el líquido se produce un precipitado pardo amarillento de hidrato de bióxido de platino. El ácido sulfhídrico precipita, pasado algun tiempo, un sulfuro negro, soluble en el sulfhidrato de amoniaco. El zinc precipita el platino metálico.

ÍNDICE

DE LOS

ELEMENTOS DE QUÍMICA.

		Págs.
Cap. I.	INTRODUCCION.	
	Nociones preliminares.....	1
	Nomenclatura química.....	7
	Leyes que presiden á la composicion de los cuerpos..	15
	Signos y fórmulas químicas.....	18
Cap. II.	DE LOS METALÓIDES Y SUS PRINCIPALES COMBINACIONES.	
	Oxígeno.—Combustion y llama.....	23
	Hidrógeno.—Protóxido de hidrógeno (*Agua*).....	33
	Nitrógeno.—Aire atmosférico.—Combinaciones del nitrógeno con el oxígeno y con el hidrógeno....	41
	Azufre.—Acidos sulfuroso, sulfúrico y sulfhídrico...	58
	Fósforo.—Acido fosfórico y fosfuros de hidrógeno ..	71
	Arsénico.—Acidos arsenioso y arsénico.—Hidrógeno arsenical.....	79
	Cloro.—Acido clorhídrico.....	82
	Bromo.—Iodo.—Fluor.—Acido fluorhídrico.....	87
	Boro.—Silicio.—Acidos bórico y silícico.....	91
	Carbono.—Principales combinaciones del carbono con el oxígeno y con el hidrógeno.....	96
	Clasificacion de los metalóides en cuatro familias. .	108
Cap. III.	DE LOS METALES Y SUS COMBINACIONES MAS PRINCIPALES.	
	Generalidades de los metales, de las aleaciones y de los óxidos metálicos.....	115
	Generalidades de las sales, sus propiedades, preparacion, neutralidad y clasificacion.....	121
	Leyes de Berthollet.....	125
	Potasio.—Hidrato de potasa.—Carbonato y nitrato de potasa.....	130
	Sodio.—Hidrato de sosa.—Carbonato y borato de sosa.—Cloruro de sodio.....	133
	Bario.—Estroncio.—Protóxido de bario.—Nitrato de barita.....	137
	Calcio.—Protóxido de calcio.—Carbonato de cal.—Cloruro de cal.....	138
	Magnesio.—Protóxido de magnesio.—Sulfato de magnesia.....	143
	Aluminio.—Oxido de aluminio.—Sulfato de alúmina y potasa.....	145
	Manganeso.—Oxidos de manganeso.....	147

Hierro.—Oxidos de hierro.—Sulfato de protóxido de hierro 149
Cromo. — Cobalto. — Níquel. — Sexquióxido de cromo.—Acido crómico.—Cromato de potasa.—Oxido de níquel 135
Zinc.—Cadmio. — Protóxido de zinc. — Sulfato de zinc.—Sulfuro de cadmio 160
Estaño.—Protóxido de estaño.—Bisulfuro de estaño. 163
Bismuto.—Oxido de bismuto.—Nitrato de bismuto.. 166
Antimonio.—Oxidos de antimonio.—Sulfuro y cloruro de antimonio 167
Plomo.—Oxidos de plomo.—Carbonato de plomo.... 171
Cobre.—Oxidos de cobre.—Sulfato de cobre 174
Mercurio.—Oxidos de mercurio.—Cloruros de mercurio 177
Plata.—Protóxido de plata.—Nitrato de plata.—Cloruro de plata 180
Oro.—Oxidos de oro.—Sesquicloruro de oro 185
Platino.—Oxidos de platino.—Cloruros de platino... 187

ERRATAS Y CORRECCIONES.

FÍSICA.

Página	Línea	Dice	Léase
45	4	para	por
113	12	mayor	menor
158	33	coloca	colocan
166	13	*athermocroicos*	*thermocroicos*
166	14	*thermocroicos*	*athermocroicos*
226	28	cantidad	densidad

QUÍMICA.

19	28	primer	segundo
36	37	cantidad	lentitud
36	40	concluian	combinan
64	37	con	en
80	8	AsH	AsH^3
84	4	claro	cloro
102	19	calor	carbon
127	12	cal	carbonato de cal
135	13	cristales	prismáticos
138	38	sulfato	sulfuro
138	11	1898	1798
153	16	sesquióxido de hierro	sulfato de sesquióxido de hierro
157	2	$2(HgO,Cr^2O^3)$	$2(Hg^2O,CrO^3)$
174	41	color	olor
177	38	OgO	HgO
181	5	AgO	AgO^2
184	23	*nitrato*	*nitrito*

ESTANTE 13
Tabla 5.ª
N.º 5

RICO

FISICA

Y QUIMICA

15.341