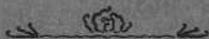


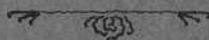
EDUARDO VILLEGAS

FÍSICA

NOCIONES ELEMENTALES



ILUSTRADA CON 371 FOTOGRAFADOS



VALLADOLID

TIPOGRAFÍA Y CASA EDITORIAL CUESTA,

MACÍAS PICAVEA, NÚMS. 38 Y 40

1830

1830

h.d. 124316

DEP. 1030

CB. 342843

DEPOSITO



10000342843

1000

FÍSICA

NOCIONES ELEMENTALES



b.109.757

FÍSICA

NOCIONES ELEMENTALES

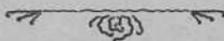
POR

D. EDUARDO VILLEGAS

Catedrático de la Escuela Superior de Comercio de Valladolid.



ILUSTRADA CON 371 FOTOGRAFADOS



VALLADOLID
TIPOGRAFÍA Y CASA EDITORIAL CUESTA,
MACÍAS PICAVEA, NÚMS. 38 Y 40



ELEMENTOS DE FÍSICA

I

PRELIMINARES

Física.—La *Física estudia los fenómenos que presentan los cuerpos sin que se altere su composición íntima*, las causas que producen dichos fenómenos, las leyes que los rigen y las teorías é hipótesis que los relacionan y explican.

Fenómenos; físico y químico.—Cualquier manifestación de las propiedades de los cuerpos, es un *fenómeno*. En el *fenómeno físico* no se altera la composición íntima del cuerpo, cesando tan pronto cesa la causa que lo produjo. El *fenómeno químico* se caracteriza por la modificación profunda de la composición íntima del cuerpo y de sus propiedades, persistiendo aquél aun cuando cese la causa productora.

La caída de una piedra, la formación de hielo por congelación del agua, la vibración de una cuerda de violín, el calor desarrollado en el yunque por el golpeteo del martillo, la imantación del hierro, etc., etc., son fenómenos físicos, pues en ninguno de ellos varía la composición del cuerpo y, merced á la causa que los produce, dejan sólo de estar como estaban, para volver á su primitivo estado al cesar la acción de aquella causa. En cambio, la combustión del carbón en el hogar, la oxidación del hierro en un

ambiente húmedo, la acción de un ácido sobre el mármol, etcétera, son fenómenos químicos; en ellos hay alteración profunda en la composición del cuerpo, sin que este pueda volver á ser lo que fué al cesar la causa originaria del fenómeno.

Materia.—Es todo aquello que impresiona nuestros sentidos especialmente al del tacto; es la sustancia que constituye los cuerpos. La *materia es extensa, impenetrable é inerte*.

Cuerpos. Átomos. Moléculas.—Toda porción determinada de materia forma un *cuerpo*.

Se admite que la materia no es continua, sino que está formada por *átomos*, masas de materia sumamente pequeñas, indivisibles, de forma y volumen determinados, pero invisibles, aun con los más poderosos medios de ampliación. Varios átomos, agrupados en virtud de una *fuerza* denominada *de afinidad*, constituyen una *molécula* la cual es «la más pequeña parte de una sustancia químicamente definida que puede existir aislada é individualmente». Las moléculas, agregadas en virtud de la *fuerza* llamada de *cohesión*, pero sin tocarse por estar sujetas también á otra *fuerza de repulsión*, opuesta á aquella, constituyen los cuerpos.

Los *cuerpos* son *simples* cuando todos sus átomos son de una misma sustancia; y *compuestos* cuando sus moléculas contienen átomos de materia distinta.

Estados de los cuerpos.—La materia puede presentarse á nuestros sentidos bajo tres formas diferentes, que se denominan *estados físicos de los cuerpos*, á saber: *estado sólido*, *estado líquido* y *estado gaseoso*.

En el *estado sólido* (*piedra, hierro, azúcar, etc.*) los cuerpos tienen forma y volumen constantes y determinados y presentan oposición á la rotura,

porque la acción atractiva (*cohesión*) que reúne sus moléculas, es más considerable que la repulsión.

Los cuerpos, al *estado líquido* (*agua, aceite, alcohol, petróleo*) tienen volumen constante, pero forma variable, adoptando la de las vasijas que los contienen, debido á que sus moléculas resbalan fácilmente unas sobre otras. No presentan oposición á su separación en partes, pues están dotados de una débil cohesión próximamente equilibrada por las repulsiones que las moléculas sufren.

Al *estado gaseoso* (*Aire, Oxígeno, Amoniaco, etc.*), los cuerpos tienen volumen y forma variables, pues sus moléculas, dotadas de una gran repulsión, tienden constantemente á ocupar un espacio mayor. A esta propiedad de los gases se la denomina *expansibilidad*.

Los líquidos y los gases reciben el nombre común de *fluidos*.

Se puede demostrar la expansibilidad de los gases introduciendo una vejiga llena de aire bajo la campana de una máquina neumática; al hacer el vacío, la vejiga aumenta de volumen por la expansión del aire contenido en ella, no equilibrado ya por la presión atmosférica exterior.

Todos los cuerpos pasan ó pueden pasar (1) por todos y cada uno de los estados sólido, líquido y gaseoso siempre que se hallen en condiciones de temperatura y presión convenientes.

Así vemos el agua, convertida en hielo, por una baja temperatura, deshelsearse cuando ésta se eleva pasando al estado líquido y después al de vapor (*gaseoso*) si el calor aumenta. El mercurio, líquido normalmente, se solidifica á 39,4° bajo cero y pasa al estado de vapor á 350°.

Estos tres *estados físicos* de los cuerpos no pueden considerarse como absolutos, pues entre ellos existen otros estados intermediarios, menos definidos, que constituyen

(1) En la práctica se ha conseguido ya hacer pasar por los tres estados á la mayor parte de los cuerpos conocidos.

como el tránsito de los unos á los otros. El hierro se ablanda por una elevación de temperatura, pudiendo ser forjado, tanto más cuanto mayor es aquella, hasta los 1500° en que se funde. La fluidez de los líquidos es tanto mayor cuanto más elevada es la temperatura.

Leyes y teorías físicas.—Ley física es la enunciación de la relación existente entre un fenómeno y las causas que lo determinan.

El conjunto de *leyes físicas* correspondientes á una misma clase de fenómenos constituye la *teoría física*. Así se dice *teoría del calor, de la luz, de la electricidad, etc.*

Cuando las causas originarias de los fenómenos son desconocidas, se admite la *hipótesis*, que, ideando los principios de los hechos, los explica, así como los que nuevamente se descubran, sin que se opongan aquellos principios á los demás establecidos anteriormente para las demás ciencias.

Energía. Antiguos agentes físicos.—No pudiendo producirse un efecto sin una causa determinante, los físicos antiguos trataron de explicar mediante ciertos fluidos imponderables, *agentes físicos*, la causa de las diversas categorías de fenómenos, (*fluidos calorífico, lumínico, etc.*)

Hoy se admite como causa única, origen de todos los fenómenos, la *energía*, debida á los movimientos á que según parece están sometidas las moléculas de todos los cuerpos; movimientos perceptibles por nuestros sentidos, sinó individualmente, en conjunto, por su número extraordinario ó por su acumulación.

Éter.—Estos movimientos transmitidos por el *éter*, medio sutilísimo, perfectamente elástico, extraordinariamente ténue, invisible, impalpable é imponderable, que llena todos los espacios, lo mismo los interplanetarios que los intermoleculares, nos hacen experimentar los diversos cambios que acaecen constantemente en el mundo físico.

Cuando la energía se muestra en estado de actividad, se denomina *actual*; cuando se halla como acumulada, sin manifestarse de un modo ostensible, se la denomina *energía potencial*.

Transformaciones de la energía.—La energía como la materia, ni se crea ni se pierde, solamente se transforma.

Siendo una la energía se nos presenta, sin embargo, con manifestaciones distintas, *formas de la energía*, productoras de fenómenos diferentes. Estas diversas manifestaciones no son sino transformaciones de una forma de energía en otra y recíprocamente, como veremos más adelante.

Las principales *formas de la energía*, antiguos agentes físicos, son: la *Atracción Universal*, *Sonido*, *Calor*, *Luz*, *Electricidad* y *Magnetismo*.

II

PROPIEDADES DE LOS CUERPOS

Propiedades de los cuerpos.—Son las distintas maneras que tienen estos de impresionar nuestros sentidos. Divídense en *generales*, ó comunes á todos los cuerpos en todos sus estados, y *particulares*, ó propias de ciertos cuerpos ó de alguno de sus estados.

Las propiedades generales de los cuerpos, son: la *extensión*, *impenetrabilidad*, *divisibilidad*, *porosidad*, *compresibilidad*, *elasticidad*, *movilidad*, é *inercia*.

Extensión.—Es la propiedad que tienen los cuerpos de ocupar un lugar limitado en el espacio. Este espacio es el *volumen* del cuerpo.

La determinación de medidas pequeñas, décimas de milímetro, por ejemplo, es de gran dificultad é inexactitud por los procedimientos corrientes, por lo que en Física se utilizan varios aparatos, entre los cuales son importantes el *Nonius* ó *Vernier*, el *Tornillo micrométrico* y otros.

NONIUS ó **VERNIER.** Consta de una regla $A B$ (fig. 1.^a), dividida en partes iguales, sean milímetros, por ejemplo, á la que está unida, pudiendo resbalar á lo largo de ella, otra reglita menor $a b$ que mide exactamente 9 de aquellas divisiones, 9 milímetros en el caso presente. Esta reglita móvil, que es el verdadero *nonius*, está dividida á su vez en 10 partes, por lo que cada una de estas será una décima

parte menor, una décima de milímetro, que cada división de la regla mayor A B.

Si tratamos de medir el objeto *M N* lo colocamos á lo largo de la regla fija A B; como se ve en la figura 1.^a, dicho objeto mide 4 milímetros, más una fracción; corremos ahora la reglita móvil hasta que toque al objeto y observamos en qué punto coinciden las divisiones de la regla fija y las del *nonius*, en este caso es en la 9.^a, luego la longitud en que el objeto excede de los 4 milímetros es 9 décimas de milímetro. El objeto, pues, tiene 4,9 milímetros de longitud.

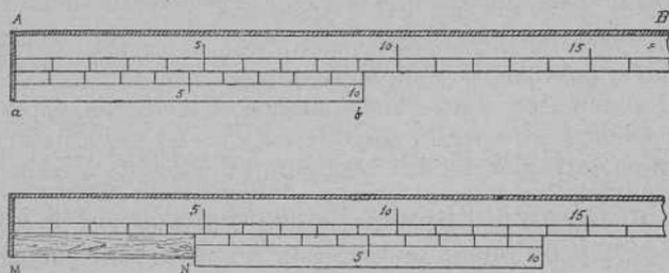


FIGURA 1.—Nonius ó Vernier.

En efecto, siendo cada división del *nonius* una décima parte menor que las de la regla fija, si la coincidencia se verificase en la primera división, el exceso en longitud del objeto, sobre los 4 milímetros, sería de 0,1 mm., si correspondiesen en la segunda división sería de 0,2 mm., si en la tercera de 0,3 mm. y así sucesivamente; luego en este caso es de 0,9 mm.

Por un procedimiento semejante al descrito, se pueden construir *nonius*, aún más exactos, al vigésimo, quincuagésimo, etc., de milímetro.

Existen *nonius* rectilíneos, como el descrito, y circulares para medición de arcos de círculo, en grados y fracciones de grado. Estos aparatos son de gran utilidad en gran número de instrumentos como barómetros, sacarímetros, etc.

Tornillo micrométrico — Sirve para apreciar muy pequeños espesores con gran exactitud. Consta de un tornillo cuidadosamente fabricado, de modo que su *paso de rosca* es igual en todas sus partes. La cabeza del tornillo está formada por un círculo de gran tamaño, dividido en gran número de partes iguales, 500 por ejemplo. Si el paso de rosca fuese de 1 milímetro, al dar una vuelta completa a aquel círculo y con él el tornillo, sobre la tuerca que le sirve de soporte, dicho tornillo avanzaría 1 milímetro, es decir, el espesor de su paso de rosca; si fuese solamente media vuelta (250 divisiones), el avance sería únicamente de 0,5 mm. $\left(\frac{250}{500}\right)$, si el avance del círculo fuese sólo de 125 divisiones, el tornillo avanzaría no más que 0,25 mm. $\left(\frac{125}{500}\right)$ y así sucesivamente.

El *tornillo micrométrico* adaptado á ciertos aparatos como el *esferómetro* y otros, es de gran utilidad.

Existen otros varios instrumentos de medición, como la *máquina de dividir*, el *catetómetro*, etc., en cuya descripción no entramos dada la elementalidad de este tratado.

Impenetrabilidad.—Es la propiedad por la cual un átomo no puede ocupar á la vez el espacio ocupado por otro.

Los cuerpos, como agregados de moléculas, que lo son á su vez de átomos, son también impenetrables en todos sus estados.

En algunas ocasiones parece desmentirse la impenetrabilidad. Si mezclamos agua y ácido sulfúrico ó agua y alcohol en determinadas proporciones, el volumen de ambos líquidos no es igual, como debería corresponder, á la suma de los volúmenes de cada uno de ellos, sino que resulta menor.

De este hecho parece deducirse una penetración, que realmente no existe; lo que sucede es que estando unidas, pero *sin tocarse*, las moléculas que constituyen los cuerpos, quedan entre ellas espacios vacíos de materia (*espacios intermoleculares*) que ó pueden disminuir ó ser ocupados en parte por moléculas de alguno de los cuerpos mezclados: de aquí la disminución de volumen sin que

haya penetración. Del mismo modo podemos explicarnos por qué en un neumático de una bicicleta podemos introducir considerables cantidades de aire, dentro del mismo recipiente ocupado por el que existía al comenzar la operación.

Como ejemplos de impenetrabilidad, entre otros muchos, se puede citar alguna de sus aplicaciones, como son las *cubas hidroneumática* é *hidrargironeumática* empleadas para recoger gases, que desalojan en la campana al agua ó mercurio de que están llenas, los *gasómetros*, la *campana de buzos*, usada para ejecutar trabajos bajo el agua, etc., etc.

Divisibilidad.—Por esta propiedad los cuerpos pueden ser reducidos á partes cada vez más pequeñas.

La Naturaleza nos presenta multitud de ejemplos notables de divisibilidad: Los seres microscópicos, para cuya observación son precisos muchas veces aumentos muy considerables, están formados por órganos varios de admirable perfección. En un milímetro cúbico de sangre humana existen unos 5.000.000 de glóbulos rojos. Cincocentigramos de almizcle pueden difundir durante mucho tiempo partículas olorosas, sin pérdida apreciable de peso.

Por procedimientos varios y delicados, el hombre ha llegado á ejemplos prodigiosos de divisibilidad. Se han obtenido alambres de platino de $0,8 \mu$ (micra) de diámetro; láminas de oro de $0,04$ micras de grueso; un decígramo de carmín tiñe de rojo á 20 litros de agua; júzguese del grado de división tan extraordinario en que se hallará en el seno del líquido. Pero, aun así, los procedimientos mecánicos no pueden llegar nunca más que á la *partícula*, que, por muy pequeña que sea, estará formada por muchas moléculas. La divisibilidad física muestra su límite en la molécula; la química llega hasta el átomo. La divisibilidad geométrica es infinita, pues siempre podríamos dividir en dos mitades, teóricamente, la más pequeña parte que se considere.

Una de las más importantes aplicaciones de esta propiedad en los sólidos, es la pulverización, por la cual son reducidos á polvo, más ó menos impalpable, para favorecer sus reacciones físicas y químicas.

Porosidad.—Es la propiedad que tienen los cuerpos de poseer entre sus partículas, moléculas y átomos espacios vacíos de su propia materia. A estos espacios se les denomina *poros*.

La porosidad es más bien una consecuencia de la hipótesis sobre la constitución de la materia, pues si recordamos que esta no es continua, y que los cuerpos son agregados de moléculas, unidas, sin tocarse, en virtud de atracciones y repulsiones recíprocas, se comprende la existencia de estos *espacios intermoleculares*.

Los *poros* se dividen en *físicos ó insensibles*, y en *sensibles*. Los primeros son los espacios intermoleculares, no visibles, sólo demostrables por la dilatación y contracción de los cuerpos; los segundos, ó *poros sensibles*, son visibles muy á menudo á simple vista, son independientes de la constitución molecular de los cuerpos, pues su origen está en faltas de sustancia, en lagunas, dependientes del modo de agregación particular en ellos de la materia.

De lo anteriormente expuesto se deduce que los cuerpos tienen un *volumen aparente*, que es el que se aprecia comunmente, y un *volumen real*, que es el volumen correspondiente á la materia propia del cuerpo, si se pudiese hacer caso omiso de la existencia de los poros.

Los poros sensibles, dan nombre á los *cuerpos* llamados *porosos ó esponjosos*, como el *corcho*, la *piedra pomez*, las *esponjas*, el *bizcocho de porcelana*, *carbón*, etc., muchos de los cuales por dejarse atravesar por los líquidos y los gases (*permeabilidad*) son de gran utilidad y aplicación.

La existencia de los poros sensibles puede demostrarse á simple vista y al microscopio en muchos cuerpos inorgánicos y orgánicos.

Lluvia de Diana.—Esta experiencia, demostrativa de la permeabilidad de ciertos cuerpos, se lleva á cabo con un tubo de vidrio terminado por dos piezas de metal, una en cada uno de sus extremos. La inferior sirve para ajustarlo verticalmente á la máquina neumática; en la superior se adapta un redondel de cuero, una piel de gamuza, un disco de madera cortada perpendicularmente á las fibras, ú otro cuerpo poroso, echando sobre éste y contenida por el receptáculo de que está provista aquella pieza, una pequeña cantidad de mercurio. Así dispuesto el aparato, hácese el vacío, la presión atmosférica, actuando sobre el mercurio le obliga á pasar á través de los poros del cuerpo, cayendo en el tubo como finísima y brillante lluvia.

Una filtración cualquiera puede servir de sencillísimo ejemplo.

Muchas aplicaciones se obtienen de la permeabilidad de ciertos cuerpos, pero la más importante, por la extensión de sus usos, es la de la *filtración*. Filtrar un líquido es hacerle pasar á través de un cuerpo poroso reteniendo al mismo tiempo las partículas que pueda llevar en suspensión.

La filtración puede hacerse á través de *papel sin cola* (*filtros Berzelius*), *telas* ó *fieltros* (como en las mangas de las cafeteras antiguas) *carbón vegetal*, (que obra además como desinfectante), *carbón animal*, (que actúa también como descolorante) *arena* (grandes filtros de los canales de conducción de aguas potables), *bizcocho de porcelana*, etc.

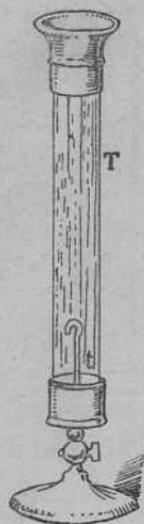


FIGURA 2
Lluvia de Diana.

En los filtros de bizcocho de porcelana (*filtros Chamberland* y otros) se hace pasar el agua mediante presión á través de las paredes de uno ó varios tubos de porcelana fina, recocida á una temperatura muy elevada, la cual destruye además toda materia orgánica. La filtración es perfecta, por lo que el uso de estos filtros se ha extendido considerablemente y se extiende cada vez más.

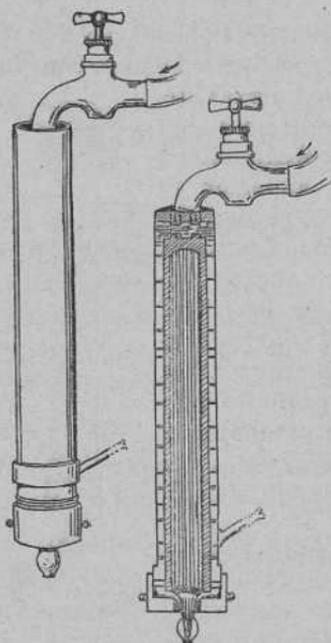


FIGURA 3
Filtro Chamberland.

la porosidad, pues solamente haciéndose más pequeños los espacios vacíos de los cuerpos pueden disminuir éstos en su volumen.

Los cuerpos más compresibles son los gases, como puede demostrarse con el *eslabón neumático*, pudiendo reducirse á veces á volúmenes 400 veces menores. La compresibilidad de los líquidos es muy escasa; la de los sólidos, muy variable. Las monedas y medallas son ejemplo preciso de compresibilidad de los metales.

Elasticidad.—Es la propiedad por la cual los cuerpos recobran su forma y volumen primitivos al

Compresibilidad.—Es la propiedad por la cual los cuerpos pueden reducirse de tamaño mediante la acción de una presión.

La compresibilidad es consecuencia y prueba de

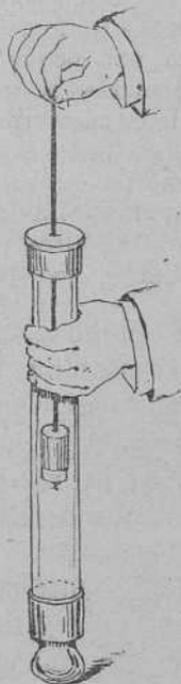


FIGURA 4
Eslabón neumático

cesar la causa que produjo en ellos una deformación.

La *elasticidad* se desarrolla por *presión* en todos los cuerpos: sólidos, líquidos y gases, y además en los sólidos, por *tracción*, *flexión* y *torsión*.

Los gases son cuerpos muy elásticos, como puede demostrarse también con el *eslabón neumático*, y en esta propiedad suya y en su compresibilidad se fundan los aparatos neumáticos para repartición de cartas, las escopetas de viento, etc. Los líquidos son poco pero perfectamente elásticos; la elasticidad en los sólidos es muy variable, pues hay cuerpos muy poco elásticos como el plomo, estaño, arcillas, etcétera, y otros que lo son mucho, tales como el caucho, el marfil, el mármol, el vidrio, etc.

La compresibilidad tiene su límite, traspasado el cual los cuerpos sólidos se deforman ó desintegran, y los gases pasan al estado líquido, sin que puedan reaccionar sus moléculas en virtud de la elasticidad, para recobrar su forma y volumen primitivos.

Puede demostrarse la elasticidad de los sólidos arrojando una esferita de marfil sobre un plano de mármol, en el que previamente se ha echado una ténue capa de aceite. Al sufrir el choque, la esferita rebota, quedando marcado un circulito en la capa de aceite, que nos indica la compresión que la bola y el plano sufrieron al chocar; pero, inmediatamente, reaccionando las moléculas de la esfera de marfil y las del mármol para ocupar su primitiva posición, en virtud de su elasticidad, despiden á aquella hácia arriba, puesto que entre ambos no puede haber más que un punto de contacto por ser aquella una esfera.

La elasticidad por tracción, flexión y torsión es una propiedad particular de los sólidos; su estudio está, pues, fuera de este lugar.

Movilidad.—Es la propiedad que tienen los cuerpos de poder pasar de un punto del espacio á otro. Se llama *movimiento* al acto de cambiar un cuerpo de

posición en el espacio. Todo cuerpo en movimiento es un *móvil*. Un cuerpo está en *reposo* cuando permanece en el mismo sitio.

El movimiento se divide en *absoluto* y *relativo*.

El primero no puede existir porque sería necesario que los cambios de posición del cuerpo en movimiento se verificasen con relación y referencia á otros cuerpos en reposo absoluto también, el cual tampoco existe, pues todos los cuerpos de la Naturaleza se mueven.

El *movimiento relativo* es el de un cuerpo que cambia de lugar con relación á otros aparentemente inmóviles. La marcha de un tren con relación á los postes del telégrafo, estando en tierra el observador, nos da idea del movimiento relativo, pues si los postes parecen fijos, participan de los movimientos del Globo.

El *reposo relativo* es, pues, el de un cuerpo aparentemente inmóvil con relación á los que le rodean; los postes telegráficos con relación al tren que vemos marchar están en reposo relativo.

Inercia.—Es la propiedad por la cual la materia no puede por sí misma ponerse en movimiento si se halla en reposo, ni pasar al estado de reposo si está en movimiento.

Ejemplo claro de inercia ofrécenlo los astros en su movimiento infinito en el espacio. Si un caballo lanzado en vertiginosa carrera se para en seco, puede tirar hacia adelante á su jinete, en virtud de la inercia.

Muchos hechos parecen contradecir esta propiedad, pero es sólo de un modo aparente. Una bala de cañón lanzada en el espacio, debería continuar caminando indefinidamente; no sucede así por la oposición que la ofrecen el roce con el aire y la fuerza de gravedad.

Los volantes de las máquinas, reguladores de sus movimientos, los martillos, martinetes, manos

de mortero, etc., son aplicaciones de la inercia; debiendo tenerse en cuenta que ésta depende de la masa del cuerpo y de la manera que en él está repartida.

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS CUERPOS

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS SÓLIDOS.—Son innumerables y sirven para la identificación de cada cuerpo ó grupo de cuerpos.

Citaremos sólo las más importantes: *Elasticidad*, por tracción, flexión y torsión, *tenacidad*, *ductilidad*, *malleabilidad*, *dureza*, *fragilidad*, etc.

Elasticidad por tracción.—Se ensaya en los hilos metálicos, fibras textiles, etc., sujetándolos por un extremo y poniendo en el otro un platillo en el que se van colocando, pesas. Si con dos señales se ha marcado un espacio en el hilo, se verá, midiéndolo antes y después de la tracción que la elasticidad es perfecta siempre que no se hayan traspasado los límites propios de ella.

Elasticidad por flexión.—Una varilla ó lámina metálica se fija sólidamente por un extremo, se la obliga después á encorvarse obrando sobre el otro extremo. Al cesar instantáneamente la acción ejercida, ejecuta una serie de oscilaciones *isócronas* (1), recobrando por último su posición primitiva.

La elasticidad por flexión se utiliza en los muelles de los relojes, de los dinamómetros, en las ballestas de los coches, en los arcos de tornero, etc., etc.

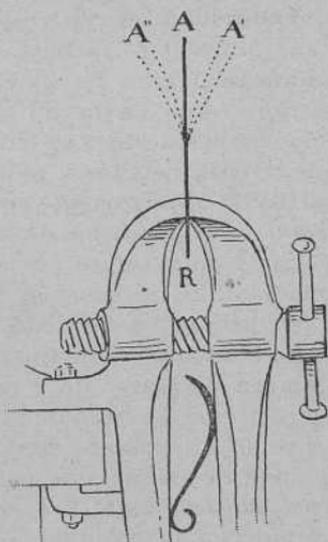


FIGURA 5.—Elasticidad por flexión.

(1) Isócrono: Que se hace en igual tiempo.

Elasticidad por torsión.—Se ensaya en los cuerpos en forma de hilos; en un alambre, por ejemplo, se sujeta por un extremo, en el otro se coloca una esfera pesada, con una aguja, bajo la cual se coloca un círculo graduado. Retorciendo el alambre y dejándolo repentinamente se ve que la aguja, después de varias oscilaciones, vuelve al punto de partida.

La elasticidad, en general, puede aumentar por muchas causas; la forma esférica de las bolas de billar las hace más elásticas, así como la anular en los metales; una gran masa de plomo es muy escasamente elástica, la poca masa de un perdigón y su forma esférica aumentan considerablemente la elasticidad de dicho metal; el temple, en el acero, que se consigue calentándole al rojo y enfriándole rápidamente por inmersión en un líquido, hace más elástico á este cuerpo; igual sucede con el vidrio, etc., etc.

Tenacidad.—Es la resistencia que los cuerpos oponen á su rotura por tracción. Esta se ensaya sobre varillas, alambres ó hilos de diámetro conocido, sujetos por un extremo, que llevan un platillo en el otro, en el cual se colocan pesos hasta su ruptura. La experiencia nos dice que el peso necesario para vencer la tenacidad de una varilla *es directamente proporcional á su sección transversal é independiente de su longitud.*

Las formas, entre otras causas, influyen mucho en la tenacidad de los cuerpos, siendo las más resistentes las barras, varillas y sobre todo los cilindros huecos.

La tenacidad es distinta en los diversos cuerpos, así un alambre de hierro de 2 milímetros de diámetro soporta sin romperse un peso de 249 kilogramos; otro idéntico de cobre 137 kilogramos, uno de plomo 9 kilogramos. La tenacidad de los metales más usuales, es como sigue: *hierro, cobre, platino, plata, oro, zinc, estaño y plomo.*

Influyen en la tenacidad, entre otras causas, la estructura, así son tan resistentes las maderas en el sentido de sus fibras, la temperatura que la hace disminuir generalmente, las fuertes vibraciones, que modifican á veces la estructura del hierro; como ha sucedido en ocasiones en los puentes, debilitando su necesaria resistencia hasta el punto de producir grandes catástrofes.

Se aprovecha la tenacidad de los cuerpos en tantos usos que sería imposible enumerarlos. Por ella se emplea

el hierro, la madera, etc., en la construcción para piezas de máquinas, etc., etc.

Ductilidad.—Es la propiedad que tienen algunos metales de dejarse estirar en alambres, mediante un aparato denominado *hilera*, siendo condición indispensable que posean cierta tenacidad. Son dúctiles: el *oro, plata, platino, aluminio, hierro, níquel, cobre, zinc, estaño, plomo*.

Son de gran aplicación los alambres de hierro, (con usos muy varios y conocidos); cobre (cables, hilos eléctricos), plomo (jardinería), oro y plata (bordados, adornos), platino (laboratorios, aparatos), etcétera, etc.

Maleabilidad.—Es la propiedad que tienen algunos metales de poder ser reducidos á láminas por la acción del martillo ó del laminador. Hay metales que son más maleables por el martillo que por los cilindros laminadores y viceversa. En general los metales más maleables lo son por este orden: *oro, plata, aluminio, cobre, estaño, platino, plomo, zinc, hierro y níquel*.

Los metales templados adquieren su ductilidad y maleabilidad por el *recocido*, operación que consiste en someterlos á una elevada temperatura, enfriándolos después muy lentamente.

En las Artes y la Industria se usan, y son de gran importancia, las láminas de cobre, (calderas, vasijas diversas); zinc, plomo, (para cubrir tejados, mesas, etc., fabricación de vasijas, medidas), hierro, (con usos múltiples); hojas de oro y plata, *panes de oro ó plata*, á veces tan delgadas, que 200.000 forman el espesor de 1 milímetro, (para dorados, plateados y adornos); láminas más gruesas sirven para la fabricación de moneda.

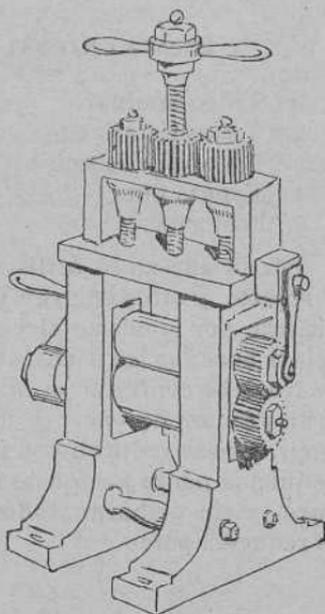


FIGURA 6.—Laminador.



Dureza.—Es la resistencia que oponen unos cuerpos á dejarse rayar por otros.

Se ha establecido una escala sucesiva de durezas tipo, formada por diez cuerpos, comenzando por el más blando y terminando por el más duro. La dureza de un cuerpo está, pues, comprendida en uno de estos grados, ó entre dos consecutivos.

ESCALA GRADUAL DE DUREZAS DE MOHR.

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1.º Talco laminar. | 6.º Feldespato. |
| 2.º Yeso cristalizado. | 7.º Cristal de roca. |
| 3.º Espato de Islandia. | 8.º Topacio. |
| 4.º Espato flúor. | 9.º Corindon. |
| 5.º Fosforita. | 10. Diamante. |

Por su dureza es utilísimo el acero en los instrumentos cortantes y otros en gran número en que lo emplea la Industria; por lo mismo sirve el diamante para cortar el vidrio ó horadar las rocas, etc., etc.

No debe confundirse la dureza con la tenacidad, pues gran número de cuerpos muy duros, son muy *frágiles*, es decir, que se reducen con gran facilidad á partículas muy pequeñas por la acción de un choque; así, el vidrio es muy duro, y sin embargo, todos sabemos con cuánta facilidad se reduce á polvo.

MEDICIONES

El valor de una magnitud se determina por su comparación con otra, de igual clase, que se toma por unidad.

Unidades fundamentales.—Para determinar cuantitativamente las magnitudes físicas de *longitud*, de *masa* y de *tiempo* se ha establecido un sistema denominado *cegesimal* (C. G. S.) cuyas unidades fundamentales, que le dan nombre, son el *centímetro* (longitud), el *gramo* (masa) y el *segundo* (tiempo).

El *centímetro* es la centésima parte de la longitud del *metro tipo*, barra de platino que se guarda en los Archivos de París.

El *gramo* es el peso de la milésima parte de la masa del *kilogramo tipo*, cilindro de platino custodiado en los mismos archivos. Equivale á lo que pesa en el vacío un centímetro cúbico de agua destilada á la temperatura de 4°.

El *segundo* es la $\frac{1}{86400}$ del día solar medio.

Unidades derivadas: Los múltiplos se expresan anteponiendo á las unidades (*metro* para las de longitud) los prefijos *deca* (10), *hecto* (100), *kilo* (1.000), *miria* (10.000), *mega* (1.000.000). Así se dice un *hectómetro* (100 metros), un *kilogramo* (1.000 gramos).

Los submúltiplos ó divisores se forman con *deci* $\left(\frac{1}{10}\right)$ *centi* $\left(\frac{1}{100}\right)$ *mili* $\left(\frac{1}{1.000}\right)$. La *micra* equivale á $\frac{1}{1.000}$ de milímetro. Ejemplos. *Decigramo* $\left(\frac{1}{10}$ de gramo), *milímetro* $\left(\frac{1}{1.000}$ de metro).

Los múltiplos de la unidad *segundo*, son: el *minuto* que vale 60 segundos y la *hora*, 60 minutos ó sean 3.600 segundos.

UNIDADES DERIVADAS; GEOMÉTRICAS.—*De superficie.*—El *centímetro cuadrado* ó el *metro cuadrado* y sus múltiplos

y divisores. *De volumen.* El *centímetro cúbico* ó el *metro cúbico* y sus múltiplos y divisores.

UNIDADES DERIVADAS; MECÁNICAS.—*De velocidad.*—Velocidad de un móvil, con movimiento uniforme, que recorre 1 centímetro por segundo. *De aceleración* = Aceleración de un movimiento uniformemente variado en el cual la velocidad varía 1 centímetro por segundo.—*De fuerza* = *Dina* = Fuerza que imprime al gramo masa una velocidad de 1 centímetro en un segundo.—*De energía* = *Erg.* = Trabajo de una dina sobre el espacio de 1 centímetro. Más comúnmente se usa el *kilográmetro* ó sea el trabajo necesario para elevar á 1 metro de altura, en 1 segundo, un kilogramo de peso. Otras unidades de medida existen en Física, que estudiaremos en su lugar correspondiente.

III

MECÁNICA DE SÓLIDOS

ESTÁTICA

FUERZAS

Mecánica.—La Mecánica estudia los movimientos y sus causas productoras, que son las *fuerzas*.

Siendo la inercia una propiedad general de la materia, *ningún cuerpo puede variar por sí mismo sus condiciones de movimiento ó de reposo*, necesita una causa que lo determine: una fuerza.

División de la Mecánica.—Puede dividirse esta en: *Estática* que trata del equilibrio y *Dinámica* que estudia el movimiento en relación á las fuerzas que lo producen.

Equilibrio.—Un cuerpo está en *equilibrio* cuando solicitado por dos ó más fuerzas, estas contrarrestan entre sí sus efectos, no modificándose, por tanto, el estado de reposo ó movimiento en que aquel se encuentra.

Fuerza.—Es toda causa capaz de modificar ó de producir un movimiento.

El esfuerzo muscular del brazo al lanzar una piedra, la atracción (*gravedad*) que determina la caída de esta hacia la tierra, etc., son ejemplos de fuerzas.

Una fuerza es *instantánea*, si su acción se verifica en un espacio cortísimo de tiempo, la explosión de la

pólvora por ejemplo; es *continua* si obra durante un tiempo más considerable. También puede ser *constante*, cuando actúa siempre con la misma intensidad, *variable* si ésta aumenta ó disminuye con el tiempo.

En toda fuerza se debe conocer sus elementos característicos, que son: su *dirección* que es la línea recta á lo largo de la que el cuerpo es solicitado; su *magnitud* ó *intensidad* ó sea la energía con que obra, comparada con la unidad de fuerza; y su *punto de aplicación*, que es aquel en que la fuerza actúa sobre el cuerpo.

Las fuerzas son representadas por líneas rectas en las que la longitud indica la intensidad, su dirección la de la fuerza, con una flechita en uno de sus extremos que manifiesta el sentido de ésta, y por último el extremo opuesto es el punto de aplicación.

Medida de las fuerzas.—Dos fuerzas que producen el mismo efecto, son, evidentemente, iguales; así la presión ó tracción ejercida por una fuerza puede ser reemplazada por la de otra fuerza de valor conocido, que nos indica el valor de la primera. Esta fuerza conocida es la atracción que la tierra ejerce sobre los cuerpos, y la unidad es el kilogramo, pudiendo una fuerza valer 20, 30 unidades de intensidad, cuando puede ser sustituida, para verificar el mismo efecto, por 20, 30 kilogramos.

La *Dina* es la unidad adoptada para las fuerzas en el *sistema cegesimal* y equivale á la fuerza que comunica una velocidad de un centímetro por segundo al gramo masa.

Dinamómetros.—Son los aparatos destinados á medir las fuerzas.

Esencialmente constan de un resorte que se deforma en parte por la *acción* de una fuerza, pero que en virtud

de su elasticidad puede *reaccionar*, con una fuerza igual para mantener el equilibrio. Si en el aparato se marca el grado de las flexiones obtenidas con pesos conocidos, 1, 2... 10 kilogramos, una fuerza podrá ser medida observando el efecto producido sobre el resorte, indicado por la graduación del dinamómetro.

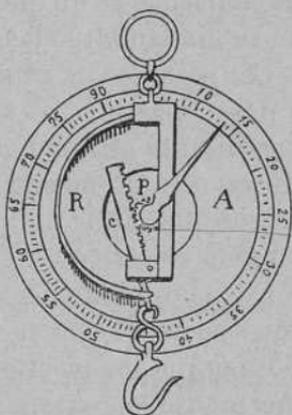
Existen varios modelos entre los que los más conocidos son los dinamómetros de Poncelet, Leroy, la balanza de cuadrante, etc., en los cuales la medida de la fuerza se indica ya por índices, ya por agujas, ú otro medio, accionados por sencillos mecanismos.

Los dinamómetros tienen infinidad de usos, para determinar pesos, para medir la fuerza de un caballo, de una locomotora, etc.

Composición y descomposición de fuerzas.

—El conjunto de dos ó más fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo, recibe el nombre de *sistema de fuerzas*, y cada una de las que lo constituyen se llama *componente*. El efecto de las componentes puede ser sustituido por una fuerza única, equivalente á ellas, denominada *resultante*.

Un ejemplo muy corriente puede aclarar estos conceptos: Dos hombres, colocados uno en cada orilla de un río, tiran mediante dos cuerdas sujetas á la proa, de una barca (*sistema de fuerzas*); ambos tiran con la misma intensidad, en dirección distinta, formando ángulo (*componentes*), la barca no sigue la dirección del uno ni la del otro, camina por el centro del río á igual distancia de ambos, como sucedería con una sola fuerza, equivalente á las otras dos, que solicitase á aquella por el centro del río (*resultante*).



escala de diente

FIGURA 7. —Dinamómetro de cuadrante.

Los problemas de composición de fuerzas están reducidos á determinar el valor y condiciones de la resultante de un sistema, y los de descomposición á encontrar el sistema equivalente á una fuerza conocida.

Para su estudio supondremos que las fuerzas están aplicadas á un punto rígido é indeformable, y que se hallan situadas en el mismo plano.

COMPOSICIÓN DE FUERZAS EN LÍNEA RECTA.—Cuando dos ó más fuerzas actúan en la misma dirección, la resultante es igual á la suma de todas ellas y la dirección es la misma. Ejemplo: El esfuerzo de los obreros que tiran de un cable de los de conducción de fluido eléctrico.

Dos fuerzas iguales obran en dirección contraria; el cuerpo sobre que se aplican permanece en equilibrio, porque los efectos de ambas se destruyen recíprocamente.

Dos fuerzas desiguales y contrarias, actúan sobre un punto de un cuerpo; la intensidad de la resultante es la diferencia entre las de ambas componentes, y aquella sigue la dirección de la mayor.

Si son varias las fuerzas que actúan en ambos sentidos se halla en cada dirección, primero la resultante de dos fuerzas, después la de esta resultante y otra fuerza, y así sucesivamente, hasta obtener dos resultantes definitivas, una en cada sentido, con lo que el problema queda reducido al anterior.

COMPOSICIÓN DE FUERZAS CONCURRENTES.—Se llaman *concurrentes* á las fuerzas cuyas direcciones se unen en un punto, que es el de su aplicación.

Las dos cuerdas del ejemplo de la barca, indican las direcciones de dos fuerzas que se unen en la proa de aquella; son, pues, dos fuerzas concurrentes.

La resultante de dos fuerzas concurrentes ($O B$ y $O C$) está representada en intensidad y dirección por la diagonal ($O D$) del paralelogramo ($O B D C$) que sobre ellas se puede construir.

Pueden servir de ejemplos que demuestren prácticamente lo expuesto, el mismo ejemplo de la barca, el de una lancha que se mueve impulsada por los dos remos, el vuelo de un ave ó de un insecto, etc.

Si las fuerzas concurrentes fuesen varias, siempre situadas en el mismo plano, se reduce el problema á hallar primero la resultante de dos de ellas, después la de esta resultante y otra fuerza, y así sucesivamente.

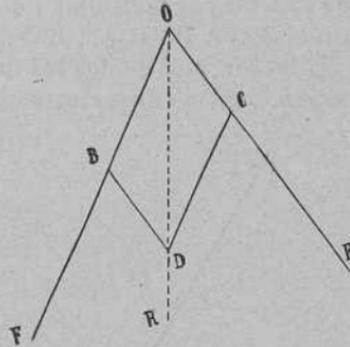


FIGURA 8.—Fuerzas concurrentes.

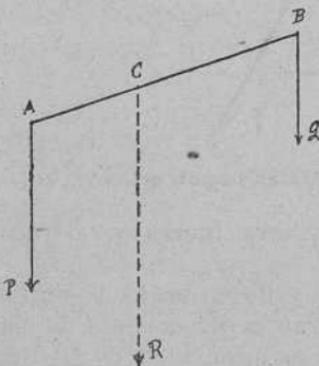


FIGURA 9.—Fuerzas paralelas.

En el mismo sentido.

En el caso de necesitar descomponer una fuerza en dos concurrentes bastará construir sobre ella, considerándola como diagonal, un paralelogramo, en que dos de los lados representarán las fuerzas buscadas.

FUERZAS PARALELAS.—

Dos fuerzas paralelas ($A P$ y $B Q$) aplicadas á una línea recta ($A B$), rígida é inflexible, cuando obran en la misma dirección, tienen por resultante ($C R$)

otra, paralela á ellas, de idéntica dirección, de intensidad equivalente á la suma de las componentes y cuyo punto de aplicación (C) sobre la recta ($A B$)

divide á ésta en dos partes (A C y B C) inversamente proporcionales á la magnitud de cada una de las fuerzas.

Para mayor facilidad puede establecerse la siguiente proporción $A P : B Q :: B C : A C$.

Si fuesen más de dos las fuerzas paralelas, en el mismo sentido, se obtiene primero la resultante de dos de estas,

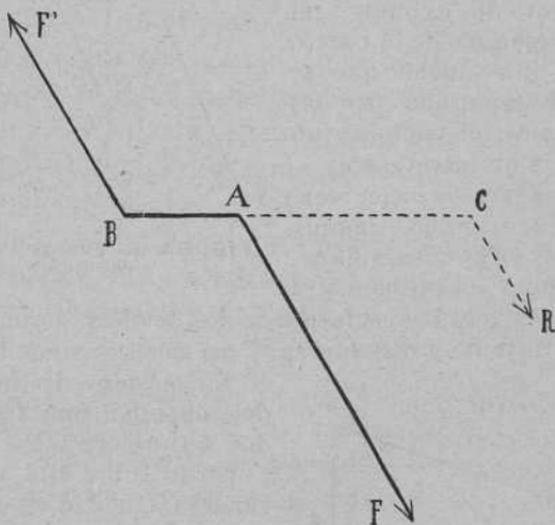


FIGURA 10.—Fuerzas paralelas y contrarias.

después la de esta resultante y otra fuerza y así sucesivamente.

Si dos fuerzas paralelas (A F y B F') obran en sentido contrario, su resultante (C R) sigue la dirección de la mayor, siendo paralela á ambas, su intensidad es la diferencia entre las dos fuerzas ($F - F'$) y está aplicada en un punto exterior cuyas distancias de A y B son inversamente proporcionales á las fuerzas. $F : F' :: B C : A C$.

Si las fuerzas fuesen varias, en cada sentido se buscan las resultantes de las de cada uno y el problema queda reducido al anterior.

Par de fuerzas. — Está constituido por dos fuerzas paralelas, iguales y contrarias, aplicadas á una recta inflexible;

no tienen resultante ni originan movimiento de traslación, pero sí de rotación al rededor del punto medio de la recta.

MÁQUINAS

Máquinas.—Son los aparatos destinados á transmitir la acción de las fuerzas, modificando la dirección, la velocidad ó el género de estas.

La fuerza de que se dispone, se llama *potencia* y tiende á equilibrar ó vencer otra fuerza denominada *resistencia*. El *punto de apoyo* es el sostén sobre el cual descansa la máquina.

Trabajo motor es el producido por la potencia; *trabajo resistente útil*, es el desarrollado por la resistencia, pero á éste hay que añadir siempre el *trabajo resistente inútil*, originado por las *resistencias pasivas*, que son todos los obstáculos que se oponen al movimiento de las máquinas, como los rozamientos, choques, rigidez de las cuerdas, resistencia del aire, etc. De esto se desprende que el *trabajo motor* es siempre mayor que el *útil*, puesto que una parte tiene que vencer además las resistencias pasivas inevitables.

Por el momento prescindiremos de estas en el estudio de las máquinas.

División de las máquinas.—Se dividen en *simples* y *compuestas*. Las primeras están reducidas á un único cuerpo sólido con un solo punto de apoyo; las *compuestas* están formadas por varias máquinas simples combinadas.

Máquinas simples.—Las principales son: la *palanca*, *polea* y *torno*, (tipo palanca) y el *plano inclinado*, *tornillo* y *cuña* (tipo plano inclinado).

Estudiaremos además algunas de las compuestas, por aquellas constituidas.

Palanca.—Es una barra, de cualquier forma, rígida é inflexible que puede moverse sobre un sostén fijo ó punto de apoyo. (*Fulcro*).

Brazos de palanca son las distancias entre la potencia y el punto de apoyo (*brazo de la potencia*) y entre el punto de apoyo y la resistencia (*brazo de la resistencia*).

En toda palanca como en toda máquina, la *resultante* de las dos fuerzas potencia y resistencia, debe tener su punto de aplicación en el de apoyo, quedando destruida por la resistencia de éste. Además el equilibrio de la palanca depende de que *la potencia y la resistencia son inversamente proporcionales á sus respectivos brazos de palanca*; siendo iguales los productos de multiplicar cada una de ellas por su brazo de palanca.

En la fig. 11 P representa la potencia, R la resistencia A el punto de apoyo, A P el brazo de palanca de la potencia, A R el brazo de la resistencia. Según lo expuesto tendremos: $P : R :: A R : A P$ y que $P \times A P = R \times A R$.

Por tanto, la potencia se favorece aumentando el brazo de palanca, porque si este es dos, tres, veinte veces mayor que el de la resistencia, la potencia será dos, tres, veinte veces menor que ella.

Se comprende que si el brazo de la potencia se aumenta, el punto de aplicación de ésta recorrerá un camino proporcionalmente más largo, y por lo tanto empleará un tiempo mayor en recorrerlo. La palanca en este caso, habrá equilibrado una resistencia dada con un esfuerzo menor, pero el tiempo empleado será proporcionalmente más grande; por lo que en Mecánica se dice que en la palanca, como en toda máquina, lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo y recíprocamente.

Se distinguen tres clases de palanca:

Palanca de primer género.—Tiene su punto de apoyo entre la potencia y la resistencia. En ella, si los brazos son iguales (como en la balanza) la potencia y la resistencia también lo son. La potencia será

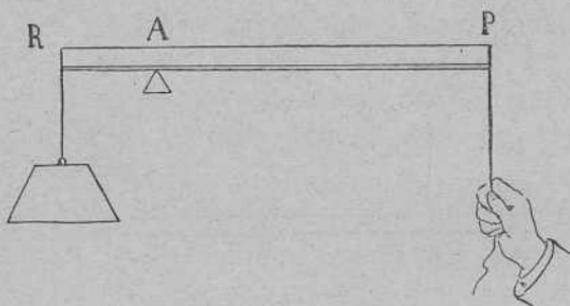


FIGURA 11.—Palanca de primer género.

tanto menor cuanto mayor sea su brazo de palanca y viceversa. Ejemplos: la romana, la balanza ordinaria, las tijeras, las tenazas, etc.

Palanca de segundo género —Tiene el punto de

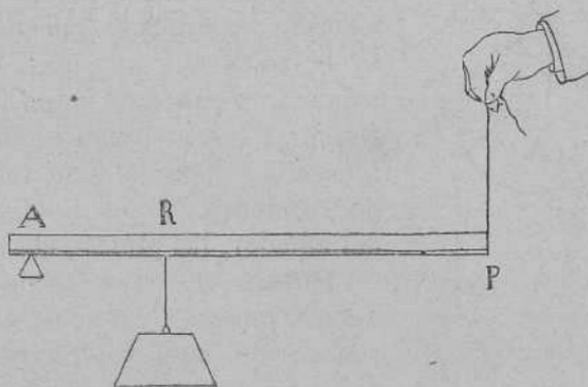


FIGURA 12.—Palanca de segundo género.

apoyo en un extremo, la potencia en el opuesto y la resistencia entre ambos. La potencia está siempre favorecida puesto que su brazo AP que es toda la palanca, es siempre mayor que el de la resistencia

A R, que es una parte de ella. Ejemplos: Las cuchillas de partir bacalao, los parte-nueces, las carretillas de mano, etc.

Palanca de tercer género.—El punto de apoyo está

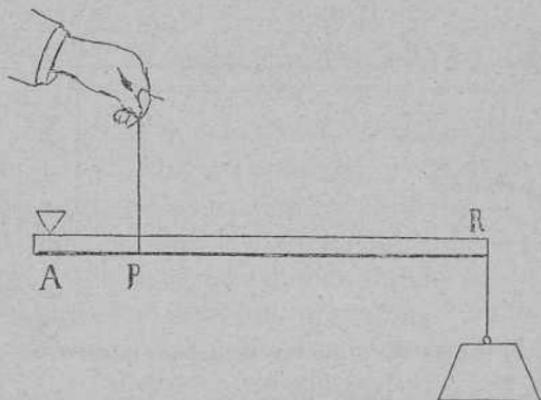


FIGURA 13. —Palanca de tercer género.

en un extremo, la resistencia en el otro, la potencia entre ambas. La potencia se halla siempre perjudicada puesto que su brazo es sólo una parte de la palanca, al paso que el de la resistencia está constituido por toda ella. Ejemplo: Las tenazas de chimenea, el pedal del torno del afilador, las pinzas, etc.

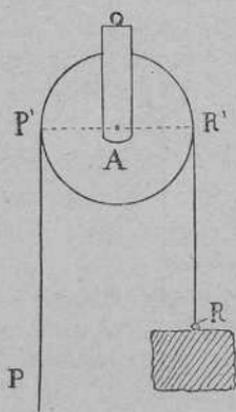


FIGURA 14. —Polea fija.

Polea.—Es una rueda con un eje, que pasa por su centro, al rededor del cual puede girar. El eje está sostenido en sus extremos por dos chapas unidas entre sí en su terminación, (*armadura*).

En su circunferencia lleva la polea una hendidura ó *cajera* por la que pasa una cuerda, de uno de cuyos extremos pende la resistencia.

Las poleas pueden ser: *fijas*, cuando sólo poseen un movimiento de rotación sobre su eje; *móviles*, cuando tienen además movimiento de traslación.

POLEA FIJA.—Puede ser considerada como una palanca de primer género $P' A R'$, de brazos iguales $A P'$ y $A R'$ en la cual la potencia y la resistencia son, por tanto, iguales.

Su utilidad estriba en poderse cambiar con ella la dirección de las fuerzas, cosa en muchas ocasiones importantísima.

Polea móvil.—En ella la resistencia R pende de

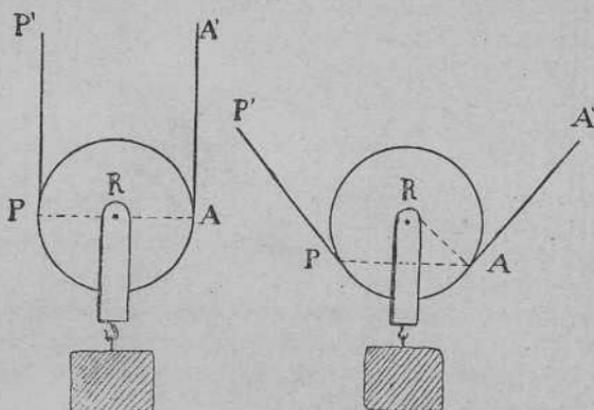


FIGURA 15.—Poleas móviles.

la armadura, actuando sobre el eje; el punto de apoyo A está en el de aplicación de la cuerda fija por su extremo A' y la potencia en el punto de aplicación P á la polea de la otra parte, libre de la cuerda P' .

En esta polea la potencia (P) es á la resistencia (R) como el radio de la polea (RA) es á la cuerda (PA) del arco abrazado por el cordón. Siempre que esta cuerda sea mayor que el radio, la potencia resultará favorecida.

Se llama Polipasto ó Tróculo á la combinación de varias poleas fijas y móviles, con objeto de favorecer la resistencia.

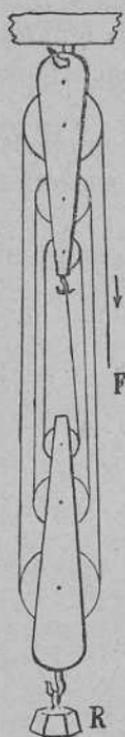


FIGURA 16.
Polipasto.

Torno.—Consta de un cilindro, cuyo eje descansa por ambos extremos sobre dos fuertes armaduras. En uno de estos extremos se halla un manubrio, mayor que el radio del cilindro, el cual sirve para hacer girar dicho cilindro; de una cuerda que se arrolla á éste, pende la resistencia.

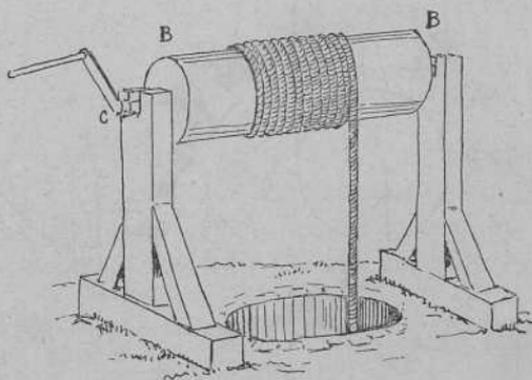


FIGURA 17.—Torno.

La potencia se aplica en el extremo del manubrio; la resistencia tangencialmente al cilindro, en el punto donde la cuerda se aplica

El torno puede considerarse como una palanca de primer género P A R, en la que el brazo de la potencia A P, el manubrio, es generalmente mayor que el radio del cilindro, que es el brazo de la resistencia A R, por lo cual, la potencia está tanto más favorecida cuanto mayor sea el manubrio.

A veces el manubrio está sustituido por una rueda, cuyo radio equivale á aquél. En el torno la *potencia es á la resistencia como el radio del cilindro es al manubrio ó al radio de la rueda.*

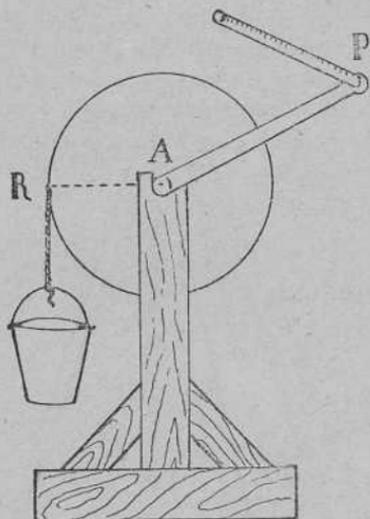


FIGURA 18 —Sección de un torno.

Se usan los tornos para elevar pesos, sobre todo en excavaciones, pozos, etc.

El **Cabrestante** es un torno colocado verticalmente, con palancas que hacen las veces de manubrios. Se usan para arrastrar grandes pesos.

El **Cric** ó **Gato** es en esencia un torno; se diferencia de él, sin embargo, en que el cilindro es muy corto y está dentado, y en que la cuerda está sustituida por una barra de acero también dentada, cuyos dientes engranan con los del cilindro. La barra soporta por su extremo la resistencia.

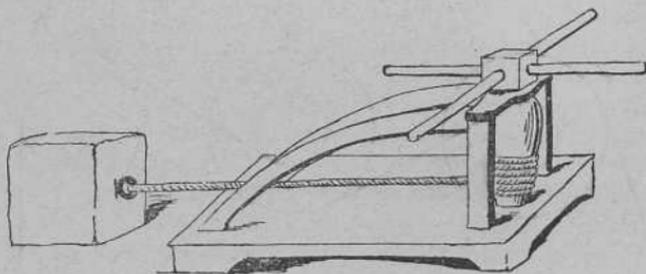


FIGURA 19.—Cabrestante.

Se emplea mucho para levantar la caja de los coches en sus reparaciones ó lavado.



Cabria es una máquina en la que se combina el torno y la polea, se emplea para levantar pesos.

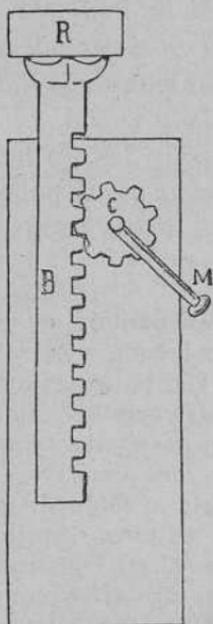


FIGURA 20.—Cric ó Gato.

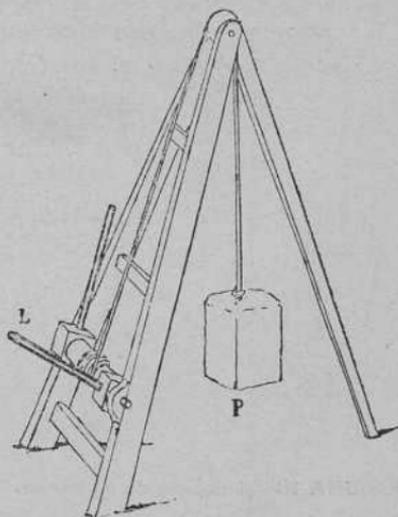


FIGURA 21.—Cabria.

En los **Sistemas de tornos**, se combina varios de ellos para conseguir un efecto dado. En la figura esquemática

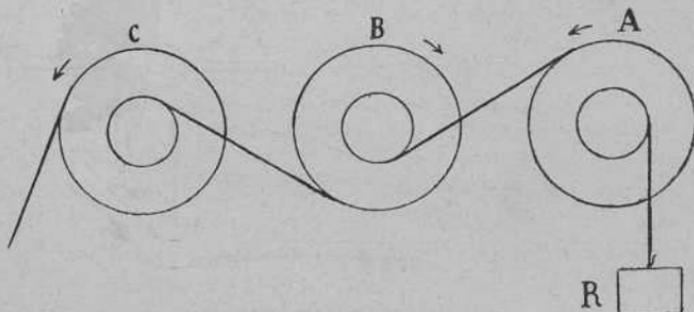


FIGURA 22.—Sistema de tornos.

22 la resistencia R , sostenida por la cuerda, se aplica tangencialmente al cilindro del torno A , la cuerda de la rueda

A se aplica al cilindro del torno B; la cuerda de la rueda B al cilindro del torno C, y á la cuerda de su rueda se aplica directamente la potencia.

En un sistema de tornos *la potencia es á la resistencia como el producto de los radios de los cilindros es al producto de los radios de las ruedas.*

Ruedas dentadas.—Ahora bien, las cuerdas pueden sustituirse, dotando á las ruedas, en su circunferencia de entrantes y salientes (*dientes; rueda dentada*) y lo mismo á los cilindros, que son muy cortos, (*piñones*), de modo que los

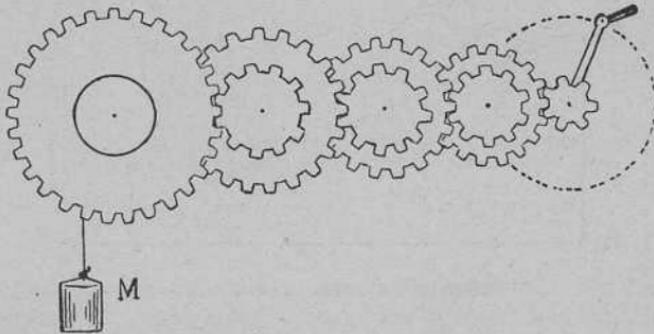


FIGURA 23.—Ruedas dentadas.

dientes de las ruedas puedan *engranar* con los entrantes de los piñones y reciprocamente. La rueda en la que se aplica la potencia suele ser sustituida por un manubrio, equivalente al radio de aquella. La ley de equilibrio de un sistema de ruedas dentadas es semejante á la de un sistema de tornos: *Potencia es á resistencia como el producto de los radios de los piñones es al producto de los radios de las ruedas.*

Las ruedas dentadas son de una aplicación constante para modificar el movimiento de muchos aparatos: relojes, máquinas de imprimir, etc., para transmitir el movimiento de rotación de un eje (*árbol*) á otro perpendicular á él.

Cuando la trasmisión se verifica entre árboles paralelos se emplean las *correas sin fin*.

Grua.—Es un aparato empleado para levantar grandes pesos, en el que se combina para tal efecto las ruedas dentadas, el torno y las poleas.

Plano inclinado.—Todo plano que forme con el horizonte un ángulo menor de 90° es un *plano inclinado*.

Representémosle por el triángulo rectángulo B A C; A B es la altura del plano inclinado; A C su base y B C su longitud.

Un cuerpo O situado sobre el plano tiende á caer en la dirección O R, pero el plano inclinado, que ejerce una acción contraria, se lo impide; entonces tiende á deslizarse

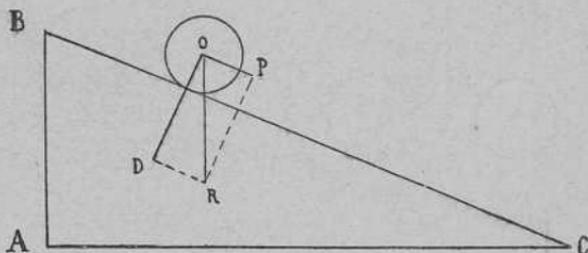


FIGURA 24. Plano inclinado.

en el sentido de la longitud B C porque la fuerza O R se descompone en otras dos O P y O D que son los lados de un paralelogramo O P R D en el cual O R es la diagonal.

Pero la fuerza O D, perpendicular al plano, es destruída por la resistencia de éste; solamente la fuerza O P actúa sobre el cuerpo y será preciso para mantener el equilibrio de una fuerza igual y contraria, pues sinó el cuerpo caería. La ecuación de equilibrio de esta máquina se deduce de la relación existente entre O P Potencia y O R que es el peso del cuerpo (Resistencia).

Ahora bien, como los dos triángulos O P R y B A C son semejantes resultará: $OP : OR :: BA : BC$ ó $P : R :: BA : BC$. Es decir que en el plano inclinado: *Potencia : Resistencia :: altura del plano : la longitud del mismo.*

El plano inclinado es muy útil para elevar grandes pesos ó bajarlos, aprovechando en parte la fuerza de gravedad y, por lo tanto, con un esfuerzo mucho menor que si hubiera que hacerlo directamente.

Tornillo.—Es un cilindro de hierro, acero ó madera, ú otro material resistente, en cuya superficie curva se ha labrado un prisma ya rectangular, ya triangular, que la recorre formando una hélice. El tornillo precisa otra

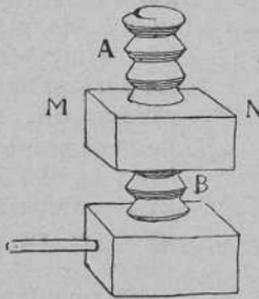


FIGURA 25.—Tornillo de rosca triangular.

M N tuerca que supone faja. — B la cabeza del tornillo.

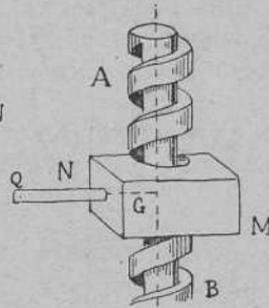


FIGURA 26.—Tornillo de rosca cuadrada.

N M Tuerca móvil.

pieza complementaria, la *tuerca*, M N, labrada en hueco, semejante é inversa á aquel. En ella encaja el tornillo, pues sus partes salientes son entrantes en la tuerca y vice-

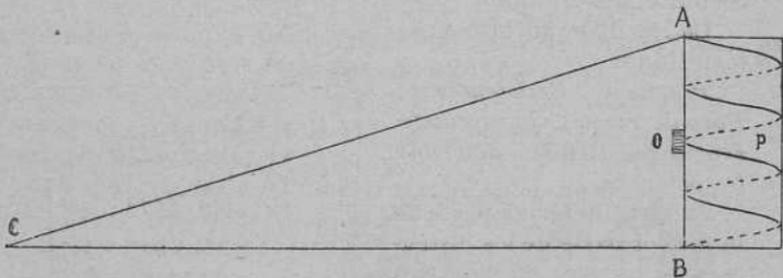


FIGURA 27.

versa. Una de las dos piezas, tuerca ó tornillo, está fija, siendo móvil la contraria.

Si á un cilindro P arrollamos un triángulo rectángulo A B C en la forma de la fig. 27 la hipotenusa A C describe sobre el cilindro una línea curva que se denomina *hélice*.

Si esta hélice es recorrida por un prisma triangular ó rec-

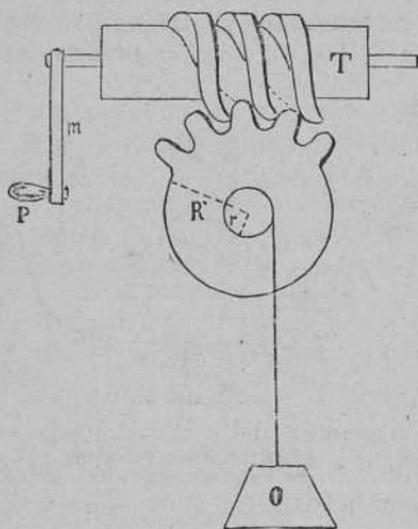


FIGURA 23. — Tornillo sin fin.

potencia se aplica á la cabeza del tornillo, la cual está provista de una palanca, ó de una ranura á propósito para recibir el *atornillador*.

La ley de equilibrio en el tornillo es:

Potencia : *Resistencia* ::
Paso de rosca : *la circunferencia que tiende á describir la potencia*.

El tornillo forma parte de la mayor parte de los instrumentos usuales en las Artes y las Ciencias para vencer grandes resistencias, obtener fuertes presiones, ajustar y mantener sujetas ciertas piezas, etc., etc. El *tornillo micrométrico* es una feliz aplicación de esta máquina á la medición.

tangular, que deja huella tras de sí, se habrá engendrado un tornillo de rosca triangular ó rectangular, según sea el prisma que recorrió la hélice. La parte saliente ó en relieve del tornillo, lleva el nombre de *filete* y la distancia entre dos filetes consecutivos, es su *paso de rosca*.

El tornillo puede considerarse como varios planos inclinados en los que la altura es el paso de rosca, la longitud es una vuelta entera del filete. La

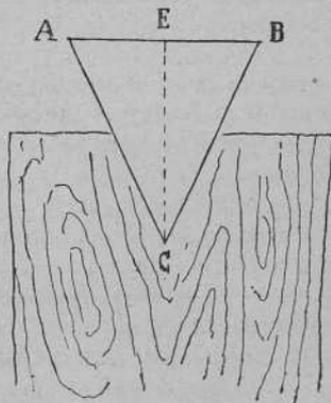


FIGURA 29. — Cuña.

El **Tornillo sin fin** es una combinación del torno y el tornillo.

Cuña.—Es generalmente un prisma triangular ACB, que se introduce por una arista C (*filo*) en un cuerpo resistente, para separarlo en partes, por la acción del martillo sobre la cara del prisma A B opuesta al filo (*cabeza de la cuña*).

Puede ser considerada como dos planos inclinados; para su equilibrio la *potencia* : la *resistencia* :: la *cabeza de la cuña* : á una de las caras.

Todos los instrumentos cortantes y punzantes, cuchillos, tijeras, clavos, piquetas, azadas, etc., son verdaderas cuñas.

Resistencias pasivas. Rozamiento.—Sabemos que en toda máquina la potencia tiene que vencer además de la resistencia útil, las llamadas resistencias pasivas, como la rigidez de las cuerdas, cables, cadenas, la oposición del aire ó el agua, y sobre todo el *rozamiento*.

El rozamiento es la resistencia que todo cuerpo encuentra á resbalar sobre otro que está fijo (*rozamiento de desliz*) ó á rodar sobre él (*rozamiento de giro*).

Esto es debido á que las superficies de los cuerpos, aunque estén muy pulimentadas, siempre presentan entrantes y salientes, protuberancias y cavidades, que vienen como á engranar cuando se ponen en contacto las de dos cuerpos.

El roce por desliz es mucho más difícil de vencer que el de giro, por eso cuando se quiere mover de un lugar á otro un bloque de piedra, no se arrastra, sino que se le coloca sobre rodillos de madera, que girando al ser empujado aquél, facilitan su transporte.

De todos modos en las máquinas es preciso disminuir el rozamiento, ya que no se pueda evitar por completo, para no emplear una potencia improductiva; lo cual se consigue alisando y puliendo, cuanto se pueda, las superficies de contacto, para reducir los puntos de roce, lubricándolas con sustancias grasas y otras semejantes; colocando

bolas de acero entre las superficies que giran, para cambiar el rozamiento de desliz por el de giro que es más favorable, como en las bicicletas, automóviles, etc.

Sin embargo, el roce es indispensable en muchos casos: sin el que encuentran las ruedas de un tren, de un tranvía, de un coche en las vías ó el suelo, estos *patinarían* sin poder ponerse en marcha; por el rozamiento puede tejerse las fibras textiles, que de otro modo se aflojarían; los hombres y los animales no podrían andar, etc., etc. Es más; el hombre saca gran partido del rozamiento, ya para bruñir los metales, ó alisar las maderas, ya para impedir mediante los frenos, la precipitación de un vehículo cuesta abajo.

DINÁMICA

MOVIMIENTO.

Definiciones.—La *Dinámica* estudia el movimiento con relación á las fuerzas que lo producen.

Todo móvil emplea cierto tiempo en su recorrido, se mueve con una velocidad determinada; llamándose *velocidad al espacio* (número de metros, centímetros, etc., según la unidad que se tome) *recorrido por el cuerpo en la unidad de tiempo*, (el segundo generalmente). Si la velocidad es constante, el movimiento se llama *uniforme*; si la velocidad varía con el tiempo, el movimiento recibe el nombre de *variado*.

Considerando todo móvil como un punto, se dá el nombre de *trayectoria* á la línea recorrida por él. Si la trayectoria es una línea recta, el movimiento es *rectilíneo*; si una curva el movimiento es *curvilíneo*.

Movimiento uniforme.—Es el de un cuerpo que en tiempos iguales recorre espacios iguales.

Sea rectilíneo ó curvilíneo el movimiento uniforme, en él la *velocidad es constante y los espacios recorridos son proporcionales á los tiempos* empleados en recorrerlos. Si un tranvía, por ejemplo, marcha con una *velocidad constante*, de 10 metros, *cada segundo*, los espacios recorridos en 3, 4, 5 segundos, será, *en la misma proporción*, de 30, 40, 50 metros.

Para calcular el espacio E , conociendo el tiempo T y la velocidad V se usa la fórmula: $E = VT$, de donde

$$V = \frac{E}{T} \text{ ó } T = \frac{E}{V}.$$

En la práctica, el movimiento uniforme sólo se puede conseguir por medio de una fuerza continua, siendo muy

difícil alcanzarlo por las múltiples y variadas resistencias pasivas que el cuerpo tiene que vencer. Teóricamente el movimiento uniforme es resultado de una fuerza instantánea.

La péndola de los relojes, los volantes de las máquinas, etc., son mecanismos ideados para conservar la uniformidad del movimiento necesario á los aparatos en que se emplean.

Movimiento variado.—Es el de un móvil que en tiempos iguales recorre espacios desiguales.

El más importante entre los muy diferentes modos de movimiento variado, es el *uniformemente variado*.

Movimiento uniformemente variado.—Es el de un *cuerpo cuya velocidad aumenta ó disminuye proporcionalmente á los tiempos*.

Movimiento uniformemente acelerado.—En el primer caso, es decir, cuando la velocidad aumenta proporcionalmente al tiempo, el movimiento se llama *uniformemente acelerado*, y á la cantidad *constante* en que la velocidad aumenta, se la denomina *aceleración*.

Para que un cuerpo se mueva con este movimiento es necesario que obre sobre él una fuerza continua y constante, la cual se supone actuando por impulsiones sucesivas al principio de cada segundo, comunicando al móvil una velocidad determinada, sobre la que poseía, al finalizar el segundo anterior.

La velocidad en este movimiento es *la que el cuerpo adquiriría con movimiento uniforme suponiendo que en el momento que se considere cesase la fuerza aceleratriz*.

Las leyes principales del movimiento uniformemente acelerado son: *las velocidades son proporcionales á los tiempos; los espacios recorridos, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos*. Es decir, que después de un tiempo doble, triple, etc., la velocidad adquirida es dos, tres etc., veces mayor; y para la segunda ley, si representamos

por 1 el espacio recorrido en 1 segundo, los espacios recorridos en 2, 3, 4, etc., segundos, estarán representados por los números 4, 9, 16, etc. Ejemplo de esta clase de movimiento es el de un cuerpo que cae atraído, como veremos más adelante, por la acción de la gravedad.

Movimiento uniformemente retardado.—Es el de un cuerpo cuya velocidad disminuye proporcionalmente al tiempo.

Si lanzamos una piedra al aire, en sentido contrario á la vertical, se eleva por la impulsión de una *fuerza instantánea*, correspondiente al esfuerzo muscular del brazo, pero obrando sobre ella, además, otra *fuerza continua*, la de la *gravedad*, opuesta á la primera, ambas producen en el móvil velocidades contrarias, una constante y otra creciente, que llegando á igualarse en un momento dado, determinarán la inmovilidad del cuerpo; pero desde este instante actúa solamente sobre la piedra la fuerza continua (la de la gravedad) adquiriendo naturalmente un movimiento uniformemente acelerado en dirección contraria á la que antes poseía, es decir, cayendo hacia la tierra.

Movimientos curvilíneos.—La trayectoria que describe el cuerpo es en estos movimientos una línea curva.

Entre los muchos que pueden existir de esta clase el más importante para nosotros es el *movimiento circular*.

Movimiento circular.—Nos dá idea de esta clase de movimiento el que se verifica cuando teniendo atado un cuerpo pesado al extremo de una cuerda, que mantenemos fija por el otro, impulsamos dicho cuerpo horizontalmente (fuerza instantánea).

El móvil tiende á marchar en línea recta, pero encuentra la oposición de la cuerda (fuerza continua), que le obliga á describir una circunferencia. Si de pronto soltamos la cuerda, cesa la fuerza continua, y

el cuerpo es lanzado tangencialmente á la circunferencia, porque en este movimiento circular se desarrolla una *fuerza*, llamada *centrífuga*, que tiende á

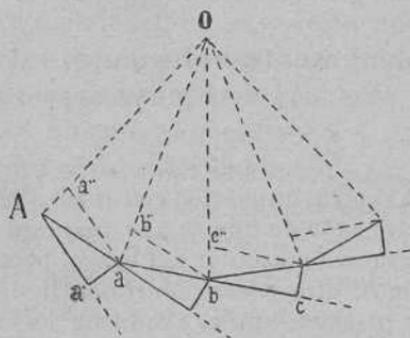


FIGURA 30.—Movimiento circular.

romper la cuerda, siendo igual y contraria á la *fuerza centrípeta* que está representada por la resistencia de la cuerda misma.

Para que el movimiento circular se verifique, son, pues, precisas dos fuerzas, una instantánea $A a'$ y otra continua $A a''$ que sollicita al cuerpo en la dirección O . El móvil marchará siguiendo la diagonal $A a$ del paralelogramo construido sobre las intensidades de ambas fuerzas. En el punto a el móvil tiende á seguir la prolongación de $A a$ pero por igual causa que antes, se ve forzado á recorrer la diagonal $a b$ y así sucesivamente, formando la trayectoria un polígono de infinito número de lados, y en su límite una circunferencia.

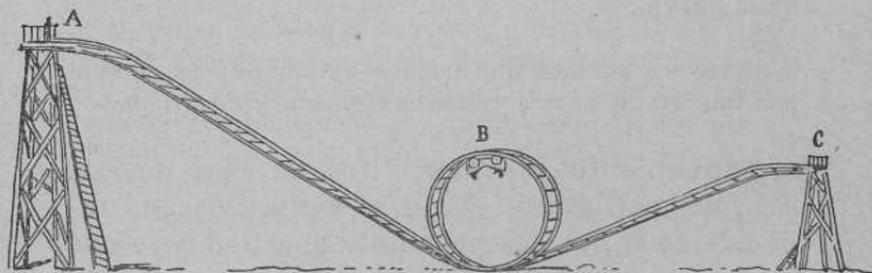


FIGURA 31.—Ferrocarril aéreo.

Por efecto de la fuerza centrífuga las piedras son lanzadas con las hondas; se puede hacer girar, sin que se vierta, un vaso lleno de agua, sujeto por unos cordones. El *ferrocarril aéreo*, como el *círculo de*

la muerte ó *looping the loop*, ejercicio muy corriente en los circos, es una aplicación de la fuerza centrífuga, pues el vagón, bicicleta, automóvil, etc., lanzado por la rampa descendente con gran velocidad, se ve obligado á recorrer interiormente la hélice formada por aquella, sin caerse, por la misma razón que no se vierte el agua del vaso.

Para evitar sus efectos se dá mayor inclinación, en las curvas rápidas, á la pista de los velodromos, á las carreteras, etc., así como se eleva más el riel exterior de la curva en los caminos de hierro, para que el tren, marchando con rapidez, no pueda salir por la tangente, con lo que se produciría un descarrilamiento.

En la Industria se aprovecha muy frecuentemente la fuerza centrífuga con diversos objetos, en las *aventadoras*, *bombas* y *ventiladores centrifugos*, en los *centrifugadores* y otros mil aparatos.

Por último, el achatamiento de la Tierra por los polos y su ensanchamiento por el ecuador son debidos á la fuerza centrífuga, desarrollada en su movimiento de rotación, en las épocas primeras de formación de nuestro planeta.

Movimiento parabólico.—Es el engendrado por dos fuerzas, una instantánea y otra continua en el que la trayectoria es una *parábola*. Su estudio tiene gran aplicación en Balística.

Movimiento de rotación.—Es el de un cuerpo que gira al rededor de un eje de giro, que es una línea recta.

Masa.—Es la cantidad de materia que contiene un cuerpo; por esto los diferentes cuerpos presentan resistencia distinta al movimiento, y cuando una fuerza actúa sobre cuerpos distintos les comunica aceleraciones diferentes.

Dos ó más fuerzas constantes que actúan sobre un mismo cuerpo son proporcionales á las aceleraciones que le imprimen, principio que enuncia la relación existente entre las fuerzas y las aceleraciones. A esta relación entre

una fuerza constante aplicada á un cuerpo y su aceleración, es lo que en Mecánica, se denomina *masa*.

Y como los cuerpos oponen al movimiento resistencia distinta según su masa, de aquí que *las fuerzas son proporcionales á las masas de los cuerpos á los cuales imprimen una misma aceleración*.

La medida de la masa de un cuerpo se halla dividiendo su peso por la aceleración de la gravedad.

Cantidad de movimiento.—Es el impulso de la fuerza durante un segundo y equivale al *producto de la masa mecánica por la velocidad*.

Trabajo mecánico.—Cuando levantamos un peso determinado á un metro de altura, por ejemplo, se dice que se ha efectuado un *trabajo*, es decir, que este es el efecto de una fuerza que vence una resistencia á lo largo de un espacio determinado. Se define diciendo que, *el trabajo de una fuerza es el producto de su intensidad por el camino recorrido por el punto de aplicación, si éste sigue la dirección de la fuerza*.

La unidad de medida de trabajo es el *Kilográmetro*, que, como sabemos, *es el necesario para elevar á un metro de altura, un kilogramo de peso*. Así, pues, si levantamos 10 kilogramos á la altura de 2 metros, se efectúa un trabajo de $10 \times 2 = 20$ kilográmetros.

Más á menudo se emplea para medir el trabajo el *caballo de vapor* que, es la potencia de una máquina efectuando 75 kilográmetros por segundo.

En el sistema C. G. S., la unidad se denomina *Erg*, que es el trabajo de una dina que recorre un centímetro en su propia dirección. Multiplo de este es el *Joule* que vale 10^7 ergs. El kilográmetro vale 9,81 joules.

Energía.—Es la capacidad que los cuerpos ó sistemas de cuerpos, poseen para efectuar un trabajo.

Se divide en *actual* y *potencial*. La *energía actual* es la que se manifiesta en los cuerpos en movimiento, y se mide por la cantidad de trabajo producido.

Llámase *fuerza viva* de un móvil al producto de su masa por el cuadrado de su velocidad, y *potencia viva* á la mitad de este producto.

Energía potencial es la que existe en los cuerpos como acumulada, sin manifestarse hasta que por una causa se convierte en actual. Al dar cuerda á un reloj se emplea

una cantidad de energía que se acumula en el muelle de aquel en forma de energía potencial, y que poco á poco va transformándose en energía actual para poner en movimiento el mecanismo del aparato.

Conservación de la energía.—Puesto en marcha el reloj, la energía acumulada, la potencial, disminuye al paso que va aumentando la actual proporcionalmente, de tal manera que si pudiésemos medir exactamente una y otra, en un momento dado, la suma de ambas nos daría la cantidad de *energía total* del cuerpo, la cual es invariable, porque *la energía, como la materia, ni se crea ni se pierde, solamente se transforma.*

Sucede muchas veces que la energía no se exterioriza produciendo efectos mecánicos.

Así una bala de escopeta disparada contra una resistente plancha de acero, choca contra esta sin que se manifieste trabajo alguno mecánico, pues ni la bala ha penetrado en la plancha, ni ésta se ha movido; en este caso la observación nos muestra que en la bala ha aparecido calor, siendo la cantidad de éste equivalente á la de trabajo que la bala debió efectuar. La energía mecánica se transformó, pues, en energía calorífica. Inversamente, cierta cantidad de calor puede transformarse en un trabajo equivalente, como sucede en las máquinas de vapor.

Como vemos, *la cantidad de energía es invariable, pero puede subsistir en formas distintas y transformarse una en otras en cantidades equivalentes.*

CHOQUE

Choque.—Es el encuentro brusco de un cuerpo con otro, en movimiento ó no.

En el choque suele haber comunicación de movimiento, y cuando esta se verifica según la línea que pasa por los centros de los cuerpos que chocan se denomina *choque directo*, y *oblicuo* cuando sucede en otra dirección.

CHOQUE DIRECTO.—*Cuerpos muy poco elásticos.*—Si dos trozos de plomo, por ejemplo, de igual masa, chocan en sentido contrario, con la misma velocidad, se deforman y quedan en reposo.

Si dos cuerpos poco elásticos se mueven en la misma dirección, uno con mayor velocidad que el otro, al chocar, continúan juntos su recorrido, y la velocidad final es igual á la suma de las cantidades de movimiento de cada uno dividida por la suma de sus masas.

Si la dirección es contraria, la velocidad final, es igual á la diferencia entre las cantidades de movimiento, dividida por la suma de las masas.

Si un cuerpo en movimiento choca con otro de igual masa, que se halla en reposo, ambos continúan el movimiento del primero con una velocidad igual á la mitad de la que poseía el cuerpo chocante. Si los cuerpos fuesen, en este caso, de distinta masa, la velocidad sería la del móvil dividida por la suma de las masas.

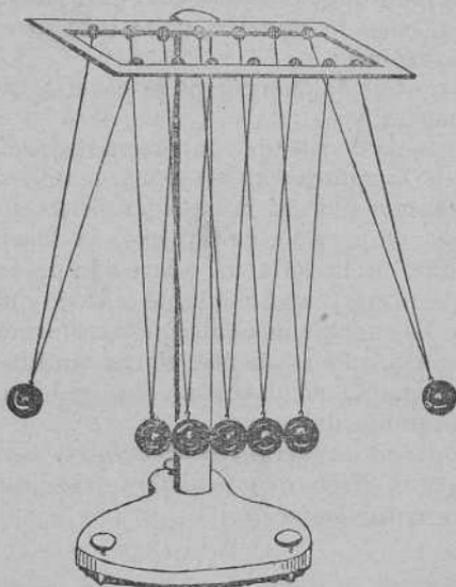


FIGURA 32.—Choque de los cuerpos elásticos.

nando inmediatamente, merced á su elasticidad, recobran la forma primitiva y se rechazan en sentido contrario con una fuerza igual y opuesta á la que los deformó.

Si uno de los cuerpos está en reposo, el que choca le comunica su velocidad y dirección, quedando él en reposo.

Si ambos marchan en la misma dirección, el chocante comunica al otro su velocidad.

Si van en dirección contraria se comunican mutuamente sus velocidades pero se repelen.

Cuerpos muy elásticos.—Si dos bolas de marfil, por ejemplo, se encuentran bruscamente, al recibir la acción del choque se deforman, pero *reaccio-*

Si son varios en contacto y en reposo, y al primero se le hace chocar contra el segundo, por una serie de choques sucesivos entre todos ellos, comunicase la dirección y velocidad del primero al último y éste se separa.

Varias monedas de cobre colocadas sobre una mesa, pueden servir para demostrar la mayor parte de estos casos; pero esta demostración es más precisa con un aparato de bolas de marfil (fig. 32), de igual masa, pendiente de un soporte común y situadas en el mismo plano.

CHOQUE OBLÍCUO.— Cuando un cuerpo elástico choca

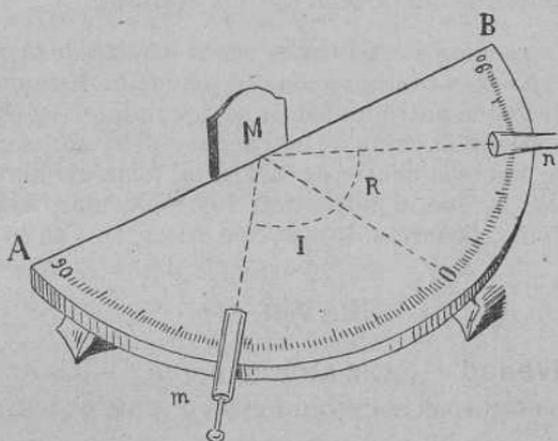


FIGURA 33.—Choque oblicuo.

oblicuamente contra una superficie, su dirección forma con la normal un *ángulo* llamado de *incidencia*, y en el choque el cuerpo es despedido en dirección tal, que forma con la normal otro *ángulo* llamado de *reflexión*, igual al de incidencia. El juego de billar por banda nos muestra constantemente esta clase de choque.

Si la superficie es curva, sucede lo propio, es decir, que *el ángulo de incidencia es igual al de reflexión*, porque cada uno de los puntos de aquella puede considerarse como un elemento rectilíneo.

IV

ATRACCIÓN UNIVERSAL

Atracción universal.—Todos los cuerpos ejercen entre sí una atracción mutua, por la que tienden al movimiento hasta ponerse en contacto.

Esta atracción *se verifica en razón directa de las masas y varía en razón inversa del cuadrado de la distancia.*

La atracción entre los astros se denomina *Gravitación*; la que ocasiona la caída de los cuerpos, dirigiéndolos verticalmente hacia el centro de la Tierra, toma el nombre de *Gravedad*; la que tiende á unir las moléculas, como ya hemos dicho, *Cohesión*.

GRAVEDAD.

Gravedad.—Es la atracción que la Tierra ejerce sobre los cuerpos solicitándolos en la dirección de su centro.

Esta atracción, llamada también *fuerza de gravedad*, es evidente en los sólidos y líquidos, pues basta abandonarlos en el espacio para que caigan á la tierra. En algunos gases la acción de la gravedad parece á primera vista que no se manifiesta, pero existe, pues si el Hidrógeno, por ejemplo, se eleva en el aire en vez de caer al suelo es debido á que el aire es más pesado que aquél, y ejerce sobre él presiones idénticas á las del agua sobre un trozo de madera que flote en su superficie.

Plomada.—**Dirección de la gravedad.**—La *plomada* está constituida por un hilo, sujeto por un extremo, que en el otro lleva un pedazo de plomo ú otro cuerpo pesado. La gravedad atrae al cuerpo hácia el centro de la tierra, pero este adopta una posición de

equilibrio, por ser destruída la fuerza de gravedad por la fuerza igual y contraria del hilo, que indica además su dirección. Ahora bien, la gravedad, puesto que hay equilibrio, tiene que actuar en el sentido de la prolongación del hilo, luego éste nos muestra la dirección de la gravedad.

La dirección de la gravedad se llama *vertical* y es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas, que se consideran como un *plano horizontal* (al menos en las proximidades de la vertical). Toda línea trazada en este plano ó paralela á él es una línea *horizontal*.

Siendo la vertical perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas lo es también á la de la Tierra, y como ésta es esférica se comprende que dos verticales tomadas en punto bastante distante uno de otro, como ambas se dirigen al centro de

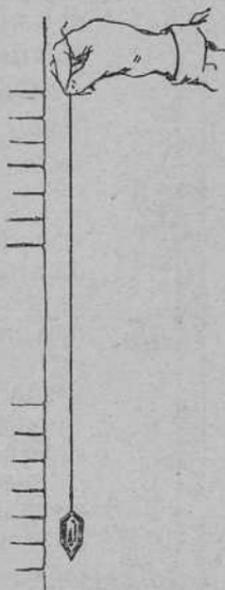


FIGURA 34.
Plomada.

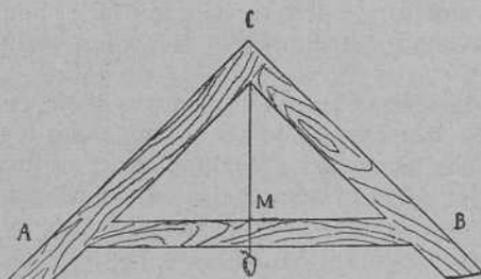


FIGURA 35.—Nivel de albañiles.

nuestro planeta, formarán un ángulo, cuyo vértice está en dicho centro. Ahora bien, si varias verticales están muy próximas, los ángulos formados son tan ínfimos que no puede apreciarseles, por lo que aquellas se consideran como paralelas.

Las aplicaciones de la plómada son muchas é importantes, sobre todo en la construcción, para comprobar la verticalidad de los muros. Forma parte del nivel de albañiles, va aneja á algunas balanzas, etcétera, etc.



FIGURA 36.—Caída de los cuerpos en el vacío.

Caída de los cuerpos.—1.^{ra} Ley. *Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma velocidad.*

Esta ley parece desmentirse en la vida ordinaria, pues si dejamos caer al mismo tiempo *en el aire* una bala y un pedazo de papel, vemos que no llegan al suelo en el mismo instante. Esto es debido á que el aire opone una resistencia á la caída de los cuerpos; la ofrece mayor para los más flexibles y de más grande superficie en igualdad de peso.

Recortemos un disco de cartulina del tamaño de un duro, ó un poco menor, coloquémosle sobre la moneda y dejemos caer á ambos á plomo; los dos llegarán al mismo tiempo al suelo, porque entonces solamente la pieza tiene que vencer la resistencia del aire, lo que no sucedería si dejásemos caer separadamente el duro y el disco.

Los *paracaidas* son una aplicación de la resistencia del aire, para amortiguar la acción de la gravedad y disminuir la velocidad de la caída.

Para demostrar que en el vacío, es decir, en un espacio desprovisto de aire, caen todos los cuerpos con la misma velocidad, se toma un largo tubo de vidrio, cerrado por sus dos extremos, con dos piezas de metal, una de ellas provista de una llave y adaptable á la *máquina neumática*, aparato con el cual hemos de extraer el aire del tubo. Introdúcense en éste tubo cuerpos de distinta naturaleza y masa: barbas de pluma, panes de oro, plomo, corcho, papel, etc., hecho el vacío y volviéndole rápidamente se ve que todos los cuerpos emplean el mismo tiempo en recorrer su longitud;

lo que no sucederá si dejando entrar el aire en el tubo se repite la operación.

El agua cuando llueve cae dividida en menudas gotas, por la resistencia que el aire le opone. En el vacío la caída se verifica en masa compacta, sin dividirse, como se puede demostrar volviendo el *martillo de agua*, que es un tubo, del cual se ha extraído el aire, conteniendo aquel una cantidad de agua, que al chocar contra las paredes del tubo produce un ruido seco, que dá nombre á este instrumento.

2.^a Ley.—*Cuando un cuerpo cae en el vacío los espacios que recorre son directamente proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.*

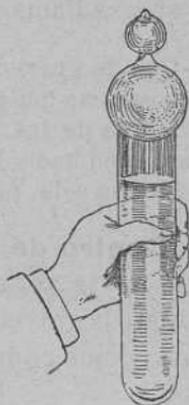


FIGURA 37.
Martillo de agua.

La gravedad es una fuerza continua y constante que, naturalmente, produce un movimiento uniformemente acelerado. Diversas experiencias ejecutadas con aparatos de cierta complicación, en cuya descripción no podemos detenernos, demuestran que un cuerpo que cae libremente en el vacío recorre en el primer segundo un espacio igual á 4,90 m.; en los dos primeros segundos recorre 4 veces 4,90 = 19,60 m.; en los 3 primeros segundos 9 veces 4,90 = 44,10 m.; en los 4 primeros segundos 16 veces 4,90 = 78,40 m.; en los 5 primeros segundos 25 veces 4,90 = 122,50 m., etc., etc.; y como los números 4, 9, 16, 25 son los cuadrados de los números 2, 3, 4, 5, queda demostrada esta ley por la experiencia.

De aquí deduciremos que, si queremos averiguar la altura de una torre sabiendo que una bala de plomo ha tardado en caer de ella 6 segundos (haciendo caso omiso de la resistencia del aire) bastará multiplicar el cuadrado del tiempo 36 por 4,90, a = 4,90 × 36 = 176,40 m.

Peso de los cuerpos.—La gravedad no actúa como una sola fuerza sobre cada cuerpo, sino que obra como un sistema de fuerzas paralelas, compuesto de

tantas de éstas como moléculas, sobre las cuales se aplican, tiene el cuerpo. Este sistema de fuerzas paralelas tiene una resultante, cuya intensidad, igual á la suma de las intensidades de todas las fuerzas, es lo que se llama *peso absoluto* del cuerpo.

Que la gravedad no obra como una sola fuerza puede demostrarse pulverizando finamente el cuerpo; todas y cada una de las partículas obtenidas, por pequeñas que sean, caen hacia la Tierra, lo que no sucedería si la fuerza fuese una sóla, pues se aplicaría á una sola partícula.

Centro de gravedad.—Es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas paralelas conque la gravedad actúa sobre un cuerpo. En él está, pues, como condensado el peso del cuerpo.

El centro de gravedad de un cuerpo de forma constante permanece invariable cualquiera que sea la posición en que se le coloque, pero varía en los cuerpos que se mueven y cambian de forma con facilidad, como los líquidos, por ejemplo.

Equilibrio; sus condiciones.—Como se ve, la gravedad puede reducirse á una fuerza sola, dirigida de arriba á abajo, cuyo punto de aplicación es el centro de gravedad del cuerpo sobre el cual actúa; para conseguir el equilibrio de éste se necesita una fuerza igual, en la misma dirección y en sentido contrario, es decir, de abajo á arriba, que se aplique al mismo centro de gravedad, neutralizando el efecto de la primera. Por esto, para que un cuerpo suspendido se mantenga en equilibrio, es indispensable que en la vertical que pase por el centro de suspensión se halle contenido el centro de gravedad, lo que nos muestra la exacta oposición de ambas fuerzas.

Clases de equilibrio.—El equilibrio puede ser *estable, inestable é indiferente.*

Un cuerpo suspendido está en *equilibrio estable* cuando su centro de gravedad se halla más bajo que el de suspensión, y ambos contenidos en la misma vertical. En este caso si se le hace variar de posición, vuelve por sí mismo á ocupar su primitiva posición de *estabilidad*. (Derecha de la figura).

En *equilibrio inestable* se halla un cuerpo cuyo

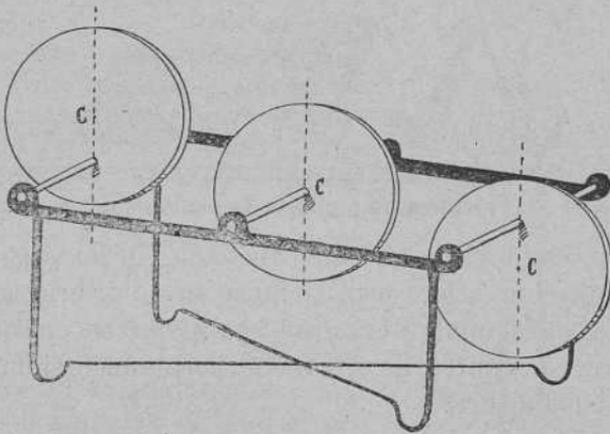


FIGURA 38. - Clases de equilibrio.

centro de gravedad está más alto que el punto de suspensión, pero dentro de la misma vertical. En este caso el cuerpo podrá permanecer en equilibrio hasta que una causa cualquiera saque su centro de gravedad de la vertical dicha; entonces el cuerpo se vuelve para adquirir su posición de *equilibrio estable*. (Izquierda de la figura).

En el *equilibrio indiferente* el centro de gravedad y el punto de suspensión coinciden, y el cuerpo permanece indiferentemente en cualquier posición que se le coloque. (Centro de la figura).

Cuando el cuerpo no está suspendido sino que descansa sobre un plano, el equilibrio se verifica si la vertical que pasa por su centro de gravedad cae

dentro del polígono resultante de unir por rectas los puntos del cuerpo que se apoyen en el plano (*base de sustentación*).

Del mismo modo y con iguales condiciones el equilibrio puede ser *estable*, como el de un cono que se apoya por su base en un plano horizontal; *inestable*, el de un cono apoyado por su vértice; é *indife-*

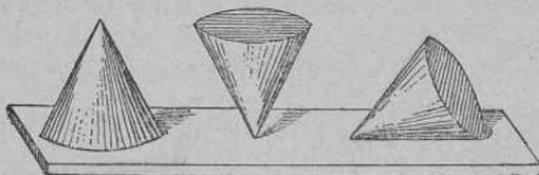


FIGURA 39.—Clases de equilibrio.

rente, como el de un cono apoyado por su superficie lateral. Una esfera está siempre en equilibrio indiferente, pues cualquiera que sea el punto en que se apoye, su centro de gravedad permanece siempre á la misma altura.

Las *aplicaciones* á la vida práctica de las condiciones de equilibrio son muy considerables, pues en la mayor parte de los objetos se busca una gran *estabilidad*, que puede obtenerse con un centro de gravedad muy bajo, como en las pesas de un reloj, una araña de sala, ó con una base de sustentación muy amplia, como en las pirámides de Egipto que perduran á través de los siglos, sin duda por sus admirables condiciones de estabilidad.

Inconscientemente el hombre busca en sus posturas que la vertical que pasa por su centro de gravedad, que normalmente está en la parte inferior de la pelvis, no salga de su base de sustentación; así, cuando lleva una carga á hombros, como esta se suma á su cuerpo y el centro de gravedad se eleva, necesita inclinarse hacia adelante. Un viajero que lleva una maleta en una mano se inclina hacia el lado opuesto, y le es más fácil caminar con dos maletas

una á cada lado. Por la misma razón el músico que toca el bombo en las bandas militares tiene que marchar echándose hacia atrás.

Las torres inclinadas, como las que existen en Bolonia, y Pisa, y la ya demolida de Zaragoza, parece deberían caer por su inclinación, no es así, sin embargo, porque su centro de gravedad está bajo y porque la vertical que pasa por él cae perfectamente dentro de la base de sustentación.

Por razonamientos semejantes se puede demostrar que un omnibus que llevase todos sus viajeros en la imperial y el interior vacío, está más expuesto á volcar que otro cuyos viajeros llenasen el interior y no la imperial.

Muchos juguetes se construyen fundándose en las reglas de equilibrio: los *tentemozos* y los *saltibanquis chinos* que siempre están de pie ó sentados, el *equilibrista* que se sostiene con un pie por llevar dos contra-pesos que sitúan el centro de gravedad más abajo del punto de suspensión, etc., etc., son ejemplos de ellos.

Determinación del centro de gravedad empíricamente.—La determinación del centro de gravedad en las figuras y cuerpos geométricos regulares y homogéneos es problema sencillo; pero cuando se trata de cuerpos irregulares presenta dificultades considerables. Sin embargo, empíricamente puede hallarse dicho centro de un modo muy aproximado.

Suspendido el cuerpo de una cuerda, cuando se halla en equilibrio, se continúa la línea que marca aquella cuerda; se suspende después de otro punto distinto y se hace la misma operación; en la intersección de ambas líneas está situado el centro de gravedad.

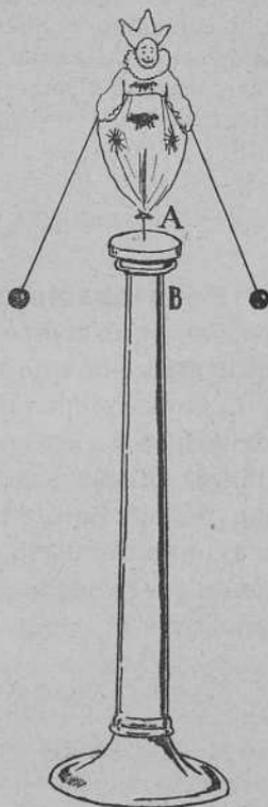


FIGURA 40.—Equilibrista.

Si el cuerpo es delgado y plano se puede proceder del modo siguiente: se coloca por una de sus caras sobre una arista fina de una mesa, filo de un cuchillo etc., hasta obtener su equilibrio, entonces el centro de gravedad tiene que estar en la línea de contacto; si se repite la misma operación colocando el cuerpo en posición distinta, bajo el punto de cruce de ambas líneas de contacto, marcadas al operar y á igual distancia de ambas caras se halla el centro de gravedad.

PESO DE LOS CUERPOS

Peso absoluto y relativo de los cuerpos.—

Sabemos que el *peso absoluto* de los cuerpos es el valor de la atracción que la Tierra ejerce sobre ellos. Y como ésta obra independientemente sobre cada una de las moléculas del cuerpo, se comprende que para cuerpos de una misma sustancia, si la masa es 2, 3, 4 veces mayor, el valor de la atracción, *el peso*, será también mayor en la misma proporción; luego *el peso absoluto de un cuerpo es igual al producto de su masa por la gravedad*. $P = Mg$.

El peso de un cuerpo no se puede obtener directamente porque no es posible de la misma manera determinar la masa absoluta del cuerpo. Además como *el peso absoluto de un cuerpo está en razón inversa del cuadrado de su distancia al centro de la tierra* y esta no presenta la forma de una esfera perfecta, pues el diámetro en el Ecuador es mayor que en los polos, resulta que el peso absoluto de un cuerpo no es el mismo en todas las partes del Globo.

Peso relativo.—Para evitar las graves dificultades que presentaría la adopción del peso absoluto, se ha admitido el *peso relativo* que resulta de la comparación del peso absoluto de un cuerpo con el de otro que se toma por unidad.

Esta unidad es el *gramo*, que es el peso en el vacío de un centímetro cúbico de agua destilada á 4° centígrados, en París.

La determinación de los pesos relativos de los cuerpos se verifica por medio de las *balanzas*, para masas pequeñas, de las *romanas*, *básculas*, etc., para masas considerables.

Balanza ordinaria.—Consta de una barra inflexible, horizontal, de hierro ó latón, en forma de rombo muy alargado ó de hoja de espada, para darla ligereza y resistencia, constituyendo una palanca de primer género, de brazos exactamente iguales. Llámase *cruz* de la balanza, y está atravesada perpendicularmente en su centro por un prisma triangular de acero, *cuchillo*, cuya arista inferior se apoya en dos planos pulimentados de acero ó ágata, situados uno delante y otro detrás de la cruz, pero de modo que vienen á constituir un solo plano horizontal. Estos dos pequeños planos se hallan sobre una columna metálica que sostiene todo el aparato, al que sirve de eje de suspensión la arista del cuchillo y los planos de puntos de apoyo. Sobre el cuchillo ó bajo el cuchillo una aguja, *fiel*, adaptada á la cruz, oscila con las oscilaciones de ésta y permite la fácil observación del equilibrio de la palanca, mediante una lámina ó arco graduado que aquella recorre al moverse. En cada uno de los extremos de la cruz hay un prisma de acero, con la arista viva hacia arriba, del cual se suspende los ganchos, también de arista fina interiormente, de los que penden los *platillos*, sujetos por cordones, alambres, cadenas, etc. Los platillos sirven para recibir las pesas y el cuerpo que se ha de pesar.

Además como parte accesoria, pero muy necesaria de la balanza, un mecanismo formado por dos brazos

iguales, una horquilla ú otro análogo, puede sostener

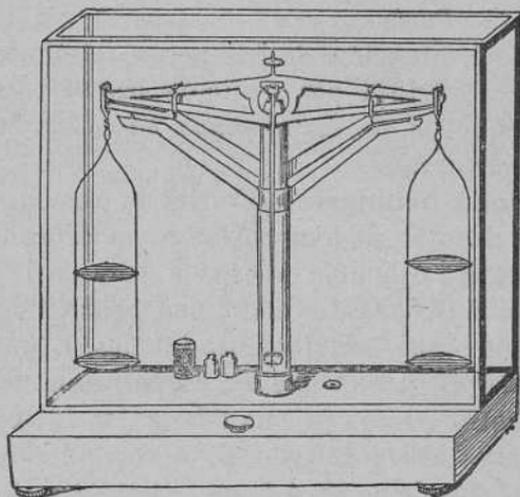


FIGURA 41.—Balanza de precisión.

la cruz cuando la balanza no se utiliza, evitando de este modo el desgaste de la arista del cuchillo, que queda separado de los planos que lo sustentan; pudiendo ponerlos en contacto, cuando es preciso, por medio de un tornillo que mueve todo el mecanismo.

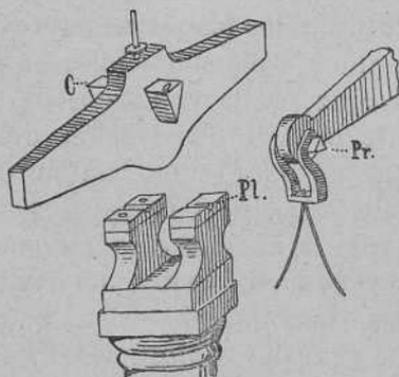


FIGURA 42.—Detalles de una balanza

C. Cuchillo; Pl. Planos sobre que descansa.
Pr. Prisma para los ganchos de los platillos.

La balanza ordinaria descrita es de una construcción bastante perfecta; existen otros muchos modelos más ó menos perfeccionados

según su precio y los usos á que se las destina.

Teoría de la balanza.—La balanza es una palanca de primer género, de brazos iguales, por lo que la potencia ha de ser igual á la resistencia si hemos de buscar su equilibrio; por tanto, si en un platillo colocamos un cuerpo y en el otro vamos poniendo pesas hasta conseguir la perfecta horizontalidad de la cruz, el valor de estas pesas será el peso relativo del cuerpo.

Precisión y sensibilidad de una balanza.—

SUS CONDICIONES.—Una balanza es *precisa* cuando el equilibrio perfecto se obtiene con pesos rigurosamente iguales; es *sensible* cuando por sus oscilaciones aprecia pequeñísimas diferencias de peso. Una balanza se dice sensible al miligramo, al medio miligramo, cuando se desequilibra por la acción de uno de estos pesos en uno de los platillos.

CONDICIONES DE PRECISIÓN.—*Los dos brazos de la palanca han de ser iguales en longitud y peso.*

El centro de gravedad del aparato debe estar más bajo que el punto de suspensión, es decir, más bajo que la arista del cuchillo, pues de este modo el equilibrio será estable.

Si el centro de gravedad coincidiese con el punto de suspensión, el equilibrio sería indiferente (*balanza indiferente*), si estuviera más alto, sería inestable (*balanza loca*).

La barra que constituye la cruz, ha de ser inflexible.

CONDICIONES DE SENSIBILIDAD.—*Las aristas de los tres prismas deben estar en el mismo plano y ser paralelas.*

De este modo el punto de apoyo y los de aplicación de la potencia y la resistencia se hallarán en línea recta. Estas aristas, como las de los ganchos de los platillos, serán muy vivas para evitar, en cuanto sea posible, los rozamientos.

El centro de gravedad debe estar situado muy cerca del punto de suspensión, pero siempre debajo de él.

Si estuviese muy bajo las oscilaciones serían de una gran lentitud (*balanza perezosa*).

La cruz debe ser ligera y sus brazos largos.

Balanzas de precisión.—Existen muchos modelos que esencialmente no difieren de la balanza descrita, pero contruidos en todas sus piezas con el mayor grado de perfección posible, para dotarlas de todas las condiciones de precisión y sensibilidad necesarias á aparatos destinados á apreciar pesos tan pequeños como el miligramo, el medio miligramo y aún otros menores. En algunas la barra de la cruz está sustituida por sistemas de palancas ó armaduras especiales, que ocupando un lugar más reducido que aquella si sus brazos son largos, no disminuyen por eso su sensibilidad. Los planos sobre que descansa la arista del cuchillo suelen ser de ágata, que siendo muy dura es inoxidable.

El fiel, mira hacia abajo y es muy largo, para hacer más patentes las oscilaciones; sobre el centro de la cruz existe una pequeña masa en forma de tuercas movible, con la cual se puede elevar ó bajar el centro de gravedad del aparato. En fin, algunas de sus partes están provistas de distintos mecanismos que tienden á disminuir y compensar las causas de error.

Las balanzas de precisión están encerradas en vitrinas que las preservan de la acción destructora de la humedad, del polvo y de los gases, que pueden impurificar la atmósfera, sobre todo de los laboratorios, que es donde aquellas tienen una gran aplicación. La atmósfera se mantiene seca mediante trozos de cloruro de calcio, contenidos en un vaso, que absorben la humedad.

La horizontalidad de la plataforma, que sostiene al aparato y es base de la vitrina, se obtiene mediante tornillos, con los que se eleva ó hace descender, atendiendo á las indicaciones de un nivel ó de una pequeña plomada.

Toda balanza tiene sus límites de resistencia y sensibilidad, traspasados los cuales, nos exponemos á destruir el aparato ó á no obtener una pesada exacta.

Pesas.—En la práctica para hallar la relación que determina el peso relativo de los cuerpos, se hace uso de masas metálicas, denominadas *pesas*, las cuales representan exactamente el peso del gramo ó el de sus múltiplos ó submúltiplos.

Para esto acompaña á toda balanza una *caja de pesas*, divididas en varias series, formadas de manera que, con las de cada una, puedan obtenerse pesos desde 1 á 9. He aquí un ejemplo de caja de pesas.

1. ^a serie.—Centenas. . .	= 2	pesas de á 100 grs. ≡ 1 id. de 200 grs. ≡ 1 id. de 500 grs.
2. ^a » —Decenas. . .	= 2	» 10 ≡ 1 » 20 ≡ 1 » 50
3. ^a » —Unidades. . .	= 2	» 1 ≡ 1 » 2 ≡ 1 » 5
4. ^a » —Décimas. . .	= 2	» 0'1 ≡ 1 » 0'2 ≡ 1 » 0'5
5. ^a » —Centésimas. . .	= 2	» 0'01 ≡ 1 » 0'02 ≡ 1 » 0'05
6. ^a » —Milésimas. . .	= 2	» 0'001 ≡ 1 » 0'002 ≡ 1 » 0'005

Estas pesas se construyen generalmente de latón y las de los submúltiplos en láminas, de platino para las balanzas de precisión.

Balanza de Roberval.—Es una balanza muy útil en el comercio, pues estando los platillos sostenidos y libres, permite pesar cuerpos de cierto volúmen con mucha comodidad; sin embargo es menos precisa que las anteriores.

Se compone de dos barras rígidas A B y D C, paralelas y de brazos iguales, que pueden moverse sobre dos ejes fijos E y F; estas barras, que son dos palancas de primer género, están articuladas por sus extremos con dos barritas verticales en los puntos A B y

C D, de modo que en conjunto forman un paralelógramo A B C D. La manera como están articuladas

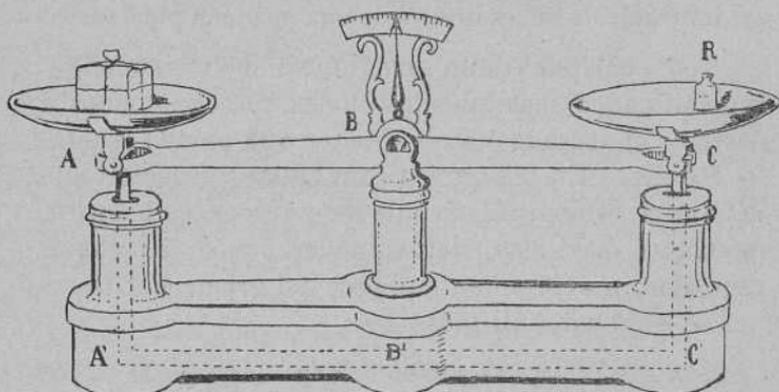


FIGURA 43.—Balanza de Roberval.

las barritas verticales, las obliga á permanecer siempre en la misma posición, aunque las palancas oscilen,

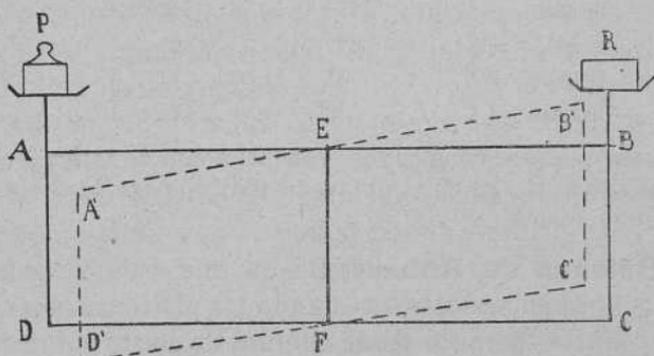


FIGURA 44.

como en A' B' C' D' y como, en su continuación, por la parte superior sostienen los platillos, estos permanecen siempre horizontales.

Modos de pesar.—Son dos: el directo y el de las dobles pesadas ó de Bordá.

MÉTODO DIRECTO (1).—Comprobado el equilibrio de la balanza, se coloca en el platillo de la izquierda el cuerpo cuyo peso vamos á determinar, y en el de la derecha se vá poniendo pesas, *siempre de mayor á menor y correlativamente*, hasta obtener la horizontalidad perfecta de la cruz, que marcará el fiel, señalando el cero del arco graduado. El valor de las pesas representa el peso del cuerpo.

MÉTODO INDIRECTO.—Este método, llamado también de Bordá, del nombre de su inventor, se practica como sigue: en un platillo se coloca el cuerpo que se ha de pesar, y en el otro se vá añadiendo trocitos de un cuerpo cualquiera, (*tara*), granalla de plomo, perdigones, arena fina, etc., ó

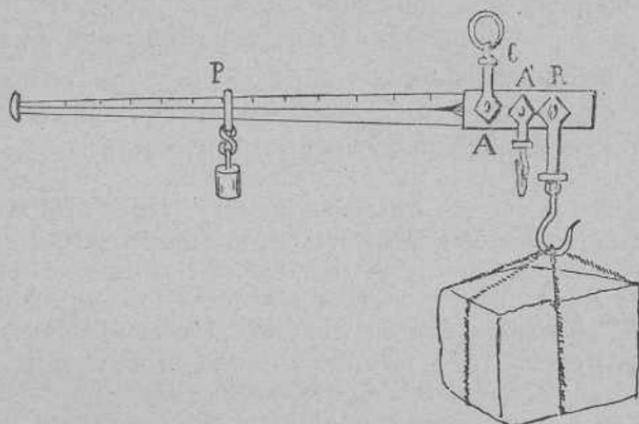


FIGURA 45.—Romana.

pesas, hasta obtener el equilibrio. Se retira entonces el cuerpo y en su platillo se vá poniendo pesas hasta equilibrar la balanza. El valor de estas pesas representa el peso exacto del cuerpo, aunque la balanza no sea muy precisa, pero sí sensible. Es, pues, un procedimiento muy seguro, aunque no muy usado por ser algo lento, á consecuencia de tener que hacer dos pesadas.

Romana.—Bastante usada en el comercio para determinar pesos de cierta consideración, la romana

(1) Suprimimos toda clase de detalles accesorios y precauciones prácticas, por no acumular dificultades ni hacer prolijo este capítulo.

es uno de los aparatos más antiguos entre los de este género, pero sus resultados son poco exactos. Consta de una barra de hierro, que es una palanca de primer género, de brazos desiguales, pues el punto de apoyo, del que se suspende el aparato por dos chapas del mismo metal (*armaduras de la romana*), está muy cerca de uno de los extremos, del que pende un gancho al que se aplica la resistencia ó sea el objeto que se va á pesar. El brazo de la potencia es muy largo y prismático, y en su arista superior lleva entalladuras transversales en las que puede detenerse, á voluntad, la potencia, representada por un peso conocido y siempre el mismo, al que se llama *pilón*. Sobre el punto de apoyo y entre las armas, un fiel nos muestra la horizontalidad de la barra y equilibrio de la romana.

Supongamos que queremos hallar el peso de un fardo, no estando la romana graduada de antemano. Colocado aquél en el gancho de la resistencia, correremos el pilón hacia el lado contrario, hasta obtener el equilibrio con el fardo, aplicado al extremo opuesto. Conocemos el brazo de la resistencia, que es siempre igual, el brazo de la potencia, desde el punto de apoyo hasta la aplicación del pilón, y el peso de la potencia que es el de éste; ahora bien, como sabemos que *la potencia es á la resistencia como el brazo de la resistencia es al brazo de la potencia*, tendremos que la resistencia que buscamos ó sea *el peso del fardo será igual al producto de la potencia, por el brazo de la potencia dividido por el brazo de la resistencia*. Este sencillo cálculo no es necesario en la práctica.

Las romanas están ya graduadas al salir de la fábrica y á cada entalladura corresponde un peso marcado en ella, que es el de la resistencia. ■

Las romanas suelen ser *dobles*, es decir, que por el lado contrario ván también graduadas, con relación á un nuevo punto de apoyo, más cercano á la resistencia, por lo que se puede determinar mayores pesos con la misma barra.

Báscula de Quintenz.—Este aparato destinado á determinar grandes pesos, por medio de las indicaciones de otros mucho más pequeños, es de uso frecuente en los almacenes, estaciones de ferrocarriles, etcétera.

Esencialmente (fig. 47) está constituido por una palanca de primer género A C K, de brazos muy desiguales, C K y C A, los cuales están generalmente en la relación de 1 á 10 (ó de 1 á 100, 1 á 1 000). Esta palanca, que representa la cruz, está articulada con dos varillas verticales de hierro, una de las cuales A L sostiene una plataforma de madera, que representa uno de los platillos de la balanza, y en la cual se colocan los objetos que se ha de pesar. Esta plataforma se halla sobre un triángulo formado por barras de hierro D B y se articula con la segunda varilla vertical O B.

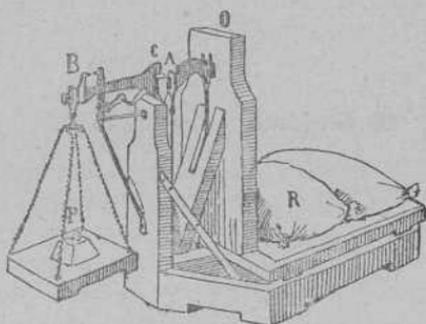


FIGURA 46.—Báscula.

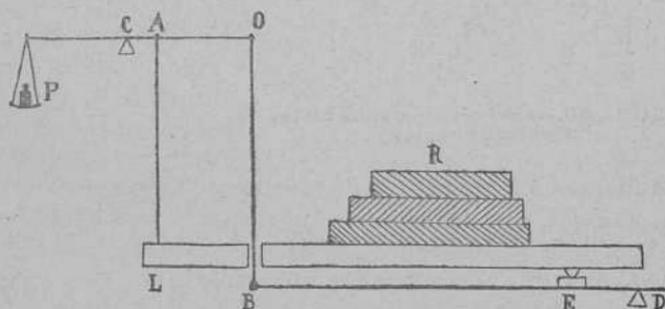


FIGURA 47.—Figura esquemática de una báscula.

Ambas varillas actúan, muy cerca la una de la otra, sobre el extremo más corto de la cruz, la cual lleva en el otro extremo un platillo colgante, que ha de recibir las

pesas, que equilibrarán el peso del cuerpo. Multiplicando el valor de las pesas por 10 se obtiene el peso del cuerpo.

Existen además otros aparatos destinados también á pesar, como los dinamómetros, la balanza de dobles pesadas y otros, en cuya descripción nos creemos dispensados de entrar por no tener usos tan generales como los anteriores.

PÉNDULO

Movimiento oscilatorio.—Supongamos un cuerpo pe-

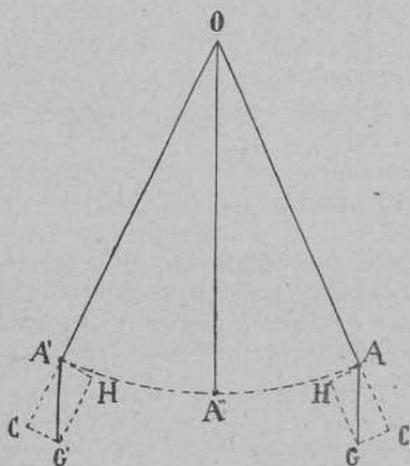


FIGURA 48.—Movimiento oscilatorio.
Péndulo simple.

sado A'' sujeto á un hilo flexible $O A''$ fijo por el otro extremo O ; su verticalidad en este momento nos demuestra su equilibrio, resultante de ser destruída la acción de la gravedad por la resistencia del hilo, igual y contraria. Si separamos el cuerpo de esta posición, llevándole hasta A donde le abandonamos, será solicitado, en virtud de su peso, en el sentido $A G$, que por la oposición del hilo se descompone en otras

dos fuerzas $A C$, que por ser contraria á $O A$ queda destruída, y $A H$, que hace moverse al cuerpo en su dirección obligándole á describir el arco $A A''$; al llegar á A'' no queda en equilibrio porque la inercia se lo impide y le hace continuar hasta A' , habiendo, pues, descrito desde A á A' un arco, cuyo centro es A'' . Al llegar á A' el movimiento del cuerpo, ya retardado por la acción del peso de éste, queda anulado por completo, y, entonces, el cuerpo está en condiciones idénticas á las en que se encontraba en A , volviendo á describir el mismo arco $A' A$ en sentido

contrario. Así continuaría indefinidamente si la resistencia del aire y el rozamiento en el punto de suspensión no disminuyesen poco á poco el espacio recorrido, hasta que, al cabo de algún tiempo, el cuerpo vuelve nuevamente á su posición de equilibrio, en A'' .

Al movimiento que acabamos de describir se le denomina *oscilatorio*. El paso del cuerpo de uno á otro punto extremo, $A A'$ ó $A' A$ es una *oscilación* y el valor del ángulo $A' O A$ *amplitud de la oscilación*.

Péndulo. — Es todo cuerpo pesado que gira en un punto fijo (*centro de suspensión*) ó sobre un eje horizontal fijo, (*eje de suspensión*) ejecutando movimientos oscilatorios.

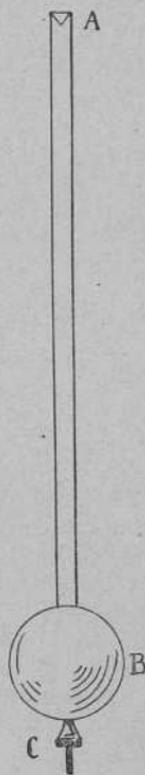
Esta definición corresponde al llamado *péndulo compuesto*, único práctico, el cual es generalmente una masa metálica, B lenticular, pendiente de una varilla vertical, que está suspendida del otro extremo, de modo semejante á como lo está la cruz de las balanzas.

El *péndulo simple* ó *ideal*, imaginado en Mecánica para deducir las leyes del péndulo, es un punto material, suspendido de un hilo inextensible y sin peso, fijo por el otro extremo (fig. 48).

Leyes del Péndulo. — *En un mismo lugar, cualquiera que sea la amplitud de las oscilaciones de un péndulo, siempre que no excedan de 5° , la duración de estas es constante, es decir, las oscilaciones son isócronas.*

Para comprobar esta ley nos podemos valer de un péndulo formado por una bala de plomo, suspendida de un hilo, cuyo extremo opuesto está fijo.

Si separamos la bala, de modo que el ángulo no pase de 5° y la abandonamos después, empezará á oscilar. Si contamos durante 3 minutos el número de oscilaciones, y al cabo de un cuarto de hora, por ejemplo, repetimos la observación, y hacemos lo mismo á la media hora, veremos que á pesar de haber disminuído, en las últimas observaciones,



FIGRA 49.
Péndulo
compuesto.

la amplitud de la oscilación, el número de ellas no ha variado:

En péndulos de longitud distinta la duración de las oscilaciones es proporcional á las raíces cuadradas de los números que representan su longitud.

Tomemos un péndulo, hagámosle oscilar y anotemos el tiempo empleado en 50 oscilaciones por ejemplo, si hacemos su longitud 4 veces mayor, y contamos el mismo número de oscilaciones con este nuevo péndulo, veremos que el tiempo empleado es ahora doble que el primero. Es decir, que si la relación de las longitudes es de 4 á 1, la del tiempo empleado es de 2 á 1. Si la relación de las longitudes fuese de 9 á 1 la del tiempo empleado en las 50 oscilaciones sería de 3 á 1, si la primera fuese de 16 á 1 la segunda lo sería de 4 á 1. Los números 1, 2, 3, 4, representan las raíces cuadradas de 1, 4, 9, 16.

En los péndulos de una misma longitud la duración de las oscilaciones es la misma é independiente de la naturaleza del cuerpo que los constituye.

Esto se comprueba fácilmente con péndulos de diversas sustancias, pero de la misma longitud.

La duración de las oscilaciones de un péndulo no es la misma en todos los puntos de la Tierra.

Aumenta la duración de las oscilaciones conforme se separa de los polos, y, teniendo presente que el origen del movimiento oscilatorio es la acción de la gravedad, se comprende que en el ecuador, y, más, en lo alto de una montaña, en que la intensidad es menor, el tiempo empleado en cada oscilación sea mayor.

Péndulo de segundos.— Es aquel cuyas oscilaciones duran cada una un segundo. Su longitud varía en los diversos puntos del globo; en Madrid es igual á 0^m 993396.

Aplicaciones del péndulo.— El péndulo se aplica á regularizar el movimiento de los relojes, que son aparatos destinados á medir el tiempo, mediante las oscilaciones de aquél, marcadas automáticamente por las *agujas* sobre un cuadrante.

Los relojes poseen un motor, que es, ó pesas suspendidas y arrolladas á un eje, que ponen en movimiento, al desarrollarse, por lo crecido de su peso, ó un resorte ó *muelle* en espiral, que tiende á producir un movimiento variado. Como lo que se persigue en estos aparatos es la obtención

de uno perfectamente uniforme. Huygens, físico holandés, tuvo en 1657 la feliz idea de aplicar el péndulo para regularizar la marcha de los relojes, pues siendo sus oscilaciones isócronas, reproduciéndose en tiempos iguales, si se hace depender de su movimiento, el movimiento del reloj, el primero sirve para uniformar al segundo.

Una pieza, llamada *áncora*, por su forma, oscila con las oscilaciones del péndulo, y encaja sucesiva y alternativamente las *uñas* de sus extremos en los dientes de una *rueda de escape*, adaptada al último árbol del mecanismo. Esta rueda tiende á girar, accionada por el motor, de un modo continuo, pero á cada oscilación es detenida por una de las uñas del *áncora*, parándola; de este modo el movimiento del reloj se descompone en una serie de movimientos, separados por intervalos de reposo perfectamente regulares. La marcha del péndulo se mantiene constante por pequeñas impulsiones que los dientes le comunican en el momento de escape; de otro modo la resistencia del aire y los rozamientos le harían detenerse.

El mecanismo de los relojes de bolsillo y de los cronómetros varía principalmente en que el péndulo está sustituido por un volante y el motor es siempre un resorte, pero la rueda de escape y el *áncora* son semejantes.

Otras aplicaciones del péndulo.—Sirve también para determinar la intensidad de la gravedad, y fué aplicado por Foucault á la demostración del movimiento de rotación de la Tierra, etc. etc.

V

MECÁNICA DE LOS LÍQUIDOS

HIDROSTÁTICA

PRESIONES DE LOS LÍQUIDOS

Mecánica de los líquidos.—Su estudio se divide en dos partes: *Hidrostatica* que trata de los líquidos en equilibrio, é *Hidrodinámica* que estudia los movimientos de éstos. La aplicación de sus principios á la conducción de aguas recibe el nombre de *Hidráulica*.

Caracteres de los líquidos.—Recordaremos

que los líquidos tienen volúmen constante, pero no forma propia, por cuanto adoptan la de las vasijas que los contienen; son poco compresibles, pero perfectamente elásticos, poseen una gran homogeneidad y, por su fluidez, efecto de su escasa cohesión, sus moléculas resbalan unas sobre otras, dotadas de una gran movilidad.

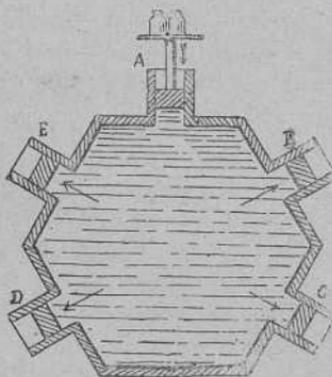


FIGURA 50. Igualdad de presión.

Principio de igualdad de presión ó de Pascal.—Cuando se ejerce sobre una superficie plana de un líquido una presión, esta se trasmite íntegramente

en todos sentidos, á través de la masa del líquido, á toda superficie plana igual á la que sufre directamente la presión.

En un recipiente lleno de agua, provisto en sus paredes de tubos cilíndricos A B C D E, cerrados por pistones móviles, ejerzamos en uno de estos A una presión equivalente á 40 kilogramos, por ejemplo. Inmediatamente se transmite esta presión en todos sentidos, normalmente á las superficies, y el líquido empuja, de dentro á fuera, los pistones B C D E, con una fuerza igual á 40 kilogramos, si los pistones presentan una superficie igual á A (fig. 50).

Y como *la presión es directamente proporcional á la superficie que la recibe*, si la presión ejercida en

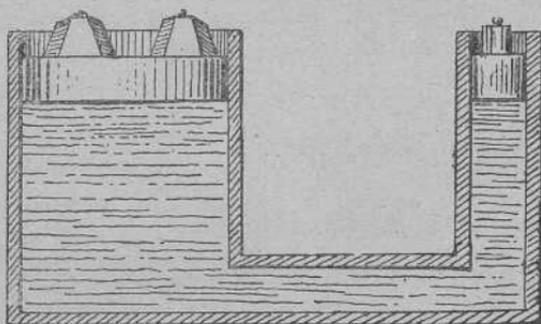


FIGURA 51.—Proporcionalidad de las presiones.

una superficie se trasmite á otra 2, 3, 4 veces mayor, la presión sobre ésta es también 2, 3, 4 veces más grande.

Este principio puede demostrarse con un aparato constituido por tubos verticales, de muy distinto calibre, unidos horizontalmente por otro tubo. Echando agua en uno de ellos, como comunican entre sí, el otro se llena hasta la misma altura. Colócase en cada uno de los verticales un pistón del diámetro interior del tubo, de modo que pueda resbalar fácilmente por las paredes, y tocando la superficie del agua. Si la superficie del tubo más grande es 50 veces mayor que la del pequeño, y ponemos sobre el pistón

de aquel un peso de 50 kilogramos, por ejemplo, veremos ascender el pistón del tubo menor, empujado por el agua, por efecto de la presión que transmite el dicho peso. Para restablecer el equilibrio es necesario colocar sobre él un peso 50 veces menor, 1 kilogramo por estar su superficie en la misma proporción (fig. 51).

La presión es siempre perpendicular á la superficie sobre la cual actúa.

Si con una jeringuilla terminada en una esfera hueca, llena de agujeros, se toma agua y después se ejerce una

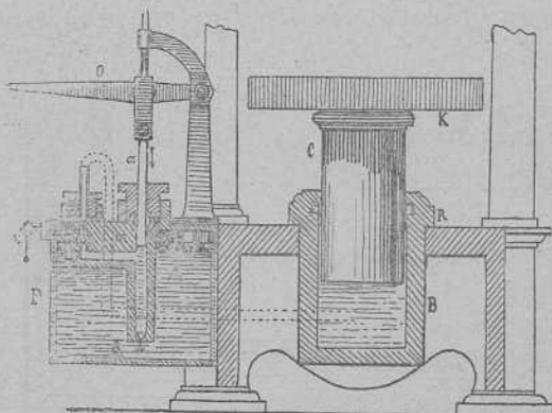


FIGURA 52.—Prensa hidráulica.

presión, se verá salir chorritos perpendiculares á la pared en la dirección de los radios de aquella esfera.

Las demostraciones prácticas de estos enunciados no pueden verificarse exactamente, y sí solo de un modo aproximado pues es necesario suponer á los líquidos independientes de la acción de la gravedad, y á los pistones desprovistos de toda clase de rozamientos.

Prensa hidráulica.—Ideada por Pascal y llevada á la práctica en 1796 por Bramah, ingeniero inglés, la *prensa hidráulica* es un aparato destinado á obtener grandes presiones con esfuerzos pequeños.

Consta de dos cuerpos de bomba A y B, de muy diferente diámetro y fuertes paredes, en cada uno de los cuales encaja un pistón ó émbolo *a* y *C*. El émbolo *C* lleva una plataforma *K*, que queda dentro, aunque independiente de ellas, de cuatro columnas de hierro que sostienen y sujetan otra plataforma fija á modo de techo *M* (figuras 52 y 53). Mediante una palanca *O* se favorece la acción del émbolo *a*, del cuerpo de bomba más pequeño A, el cual está en comunicación con

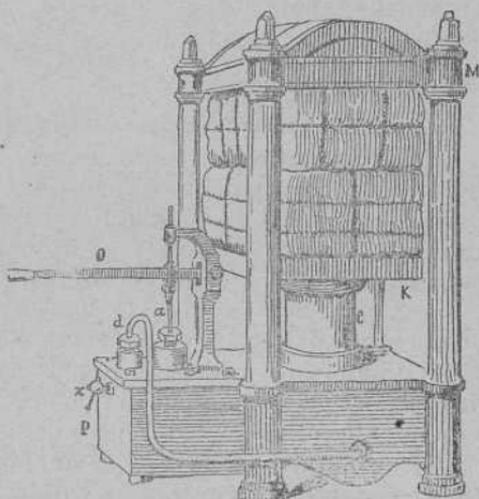


FIGURA 53.—Prensa hidráulica.

un depósito de agua *P*, constituyendo, en suma, una bomba impelente, que suministra el agua necesaria para llenar el espacio que el émbolo *C* deja libre al elevarse. Cuando al levantar la palanca *O* se eleva el émbolo *a*, el agua entra por la válvula *S* que se cierra tan pronto se ejerce presión con el citado émbolo, la cual presión se trasmite proporcionalmente á la superficie de *C*; determinando la elevación de la plataforma, sobre la cual está colocado el objeto que se ha de prensar contra la plataforma fija superior *M*.

Para evitar el escape del agua, que haría ineficaz el aparato, entre cada émbolo y el cuerpo de bomba correspondiente, se coloca una lamina de cuero en forma de \cup invertida \cap , que se ensancha por la presión, impidiendo la salida del líquido.

El uso de los prensas hidráulicas es importantísimo, ya para levantar grandes pesos (entonces sin la plataforma fija), ya para prensar semillas oleaginosas, balas de algodón, lana, telas, papel, hierba, facilitando así su transporte, ó bien para ensayar la resistencia de ciertas piezas de máquinas, cadenas de los barcos, etc., etc.

Ascensores hidráulicos.—Destinados á elevar personas ú objetos en las casas ó almacenes, estaciones, etc., son también una aplicación del principio de Pascal. Uno de los más conocidos (sistema Edoux) consta, en esencia, de un largo pistón, de altura proporcionada al piso á que se haya de elevar, contenido en un cuerpo de bomba á modo de pozo, en el cual se inyecta bajo presión el agua, para elevar el citado pistón, que en su extremo lleva el camarín destinado á los viajeros ó la plataforma de las mercancías. El descenso se obtiene deteniendo la entrada del agua y dejándola salir, merced al peso del pistón.

Es claro, que para favorecer su marcha en el ascenso y descenso, regular la entrada y salida del agua, etc., etcétera, los ascensores hidráulicos poseen otros mecanismos indispensables, en cuya descripción no podemos entrar.

Uniformidad de la presión en un plano horizontal.—

Las moléculas de una misma capa horizontal en un líquido sufren las mismas presiones; estas presiones, son proporcionales á la profundidad de la capa y á la densidad del líquido.

Efectivamente, si suponemos un líquido en equilibrio dividido en capas paralelas, cada una de estas soportará el peso de las que están encima, por lo que á mayor profundidad la presión tiene que ser mayor.

Esto puede demostrarse experimentalmente con un tubo cerrado por un extremo, con un poco de agua, é introducido por su parte abierta en un recipiente con el mismo líquido. Si lo paseamos por la misma capa horizontal se verá que el agua que contiene alcanza siempre el mismo nivel, pero asciende éste cuando baja á profundidades mayores.

Horizontalidad de la superficie libre de los líquidos.—*Cuando sobre un líquido en equilibrio no*

actúa otra fuerza que la de la gravedad, su superficie libre es horizontal.

Dada la gran movilidad y escasa cohesión de que están dotadas las moléculas de los líquidos, si imaginamos que por una causa cualquiera la superficie no fuese horizontal, tan pronto cesase dicha causa, las moléculas resbalarían unas sobre otras, para buscar un punto más bajo, en virtud de la gravedad, determinando la horizontalidad de aquella superficie.

Ya hemos dicho que ésta se considera como horizontal en pequeñas porciones, pero en gran extensión las superficies presentan la forma de la de tierra.

Aguas corrientes. Mares.—Los arroyos, ríos, etc., corren constantemente hacia un nivel más bajo para buscar la horizontalidad de su superficie, que encuentran en los mares.

El nivel de la superficie de los mares es el mismo para todos, fuera de los interiores, por eso se refiere siempre la altura de las montañas al nivel del mar.

Vasos comunicantes.—Son aquellos que, como indica su nombre, comunican entre sí, por bajo de la superficie del líquido que contienen.

En dos ó más vasos comunicantes, cualquiera que sea su forma, si contienen el mismo líquido, las superficies libres de éste se hallan en el mismo plano horizontal.

Los vasos comunicantes A B C D (figura 54) pueden servir para demostrar este principio. Poniendo agua en el vaso D, y abriendo después la llave situada al comenzar el tubo de comunicación *m n* el líquido asciende en los otros tres vasos A B C, descendiendo algo en D, para alcanzar en todos la misma altura, situándose sus superficies en el mismo plano horizontal.

Si los líquidos que ocupan dos vasos comunicantes son de distinta densidad la altura de sus superficies, por cima del plano horizontal de separación, está en razón inversa de sus densidades.

Si en un tubo en U ponemos mercurio y agua, observaremos que, el mercurio en la rama que ocupa tiene una altura 13,59 veces menor que la del agua, lo que nos demuestra lo enunciado, pues la densidad del mercurio es 13,59 veces mayor que la de aquel líquido.

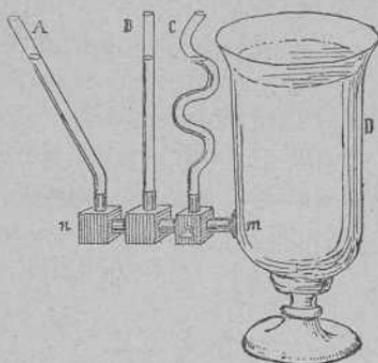


FIGURA 54.—Vasos comunicantes.

El todo está sostenido por un trípode. Si se echa en el nivel de agua un líquido coloreado, la superficie libre de éste alcanzará en los dos tubos de vidrio

Nivel de agua.

—Consta de dos tubos de vidrio, verticales, (véase la figura 55) unidos á los extremos de otro horizontal, de latón, con el cual comuni-

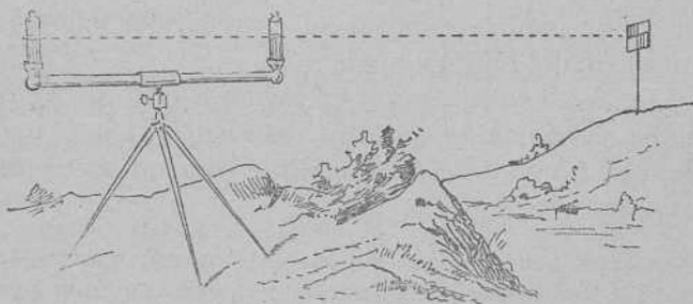


FIGURA 55.—Nivel de agua.

una altura igual, hallándose ambas en el mismo plano horizontal.

Con este útil instrumento se puede determinar las diferencias de nivel entre dos puntos, auxiliándose de una *mira*, placa que puede resbalar, á voluntad,

sobre una gran regla dividida en centímetros y milímetros, que se coloca verticalmente.

Situado el aparato entre los dos puntos cuya diferencia de nivel se quiere hallar, el observador envía una visual tangencialmente á las dos superficies del líquido en los tubos verticales, que será necesariamente horizontal. Colócase la mira de modo que su centro coincida con la prolongación de aquella visual. Conseguido esto se pasa la mira, ó se coloca otra en el punto contrario, hasta que coincida con la prolongación de la visual enviada en aquella dirección. Las distancias indicadas por las reglas es la de dichos puntos al suelo, y la diferencia entre ambas será evidentemente la diferencia de nivel, que se quería determinar, entre aquellos puntos.

Abastecimiento de agua en las poblaciones.—De un depósito situado en un lugar próximo á la población y bastante más elevado, parten cañerías de fundición que se extienden y ramifican bajo las calles, y de aquellas los tubos de plomo, que, no alterando las condiciones del agua, han de conducirla á los pisos de las casas, fuentes públicas, bocas de riego, surtidores, etc.

Siendo estos unos verdaderos vasos comunicantes en ellos se elevará el agua hasta la misma altura que tiene su superficie en el depósito. Por eso en los barrios altos, en que el nivel de algunos pisos es más elevado que el del depósito general, es preciso colocar otros depósitos en los tejados, llenándolos por medio de bombas.

Pozos artesianos.—La corteza terrestre está formada por capas ó estratos que siguen, muchas veces, paralelamente las sinuosidades de la superficie. Puede ocurrir, y así sucede con mucha frecuencia, que una capa permeable de arena, por ejemplo, se encuentre confinada por dos capas impermeables, una superior B A y otra inferior D C, de arcilla, v. gr. El agua de lluvia se infiltra por las partes libres de la capa permeable (entre A y C y B y D) constituyendo un vasto depósito, contenido, en suma, en vasos comunicantes naturales. Si horadamos la tierra verticalmente, con una sonda, buscando la parte más baja del depósito, al atravesar la primer capa impermeable, el agua, en virtud del principio de equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes, asciende por el tubo para buscar

la altura que alcanzan sus superficies libres dentro del depósito. Por esto en muchos pozos artesianos el agua se eleva después de su salida en forma de surtidor, como en el de Grenelle en París que forma un chorro vertical de 34 metros á pesar de tener una profundidad de 551 metros.

Manantiales.—Pozos.--El agua infiltrada por capas

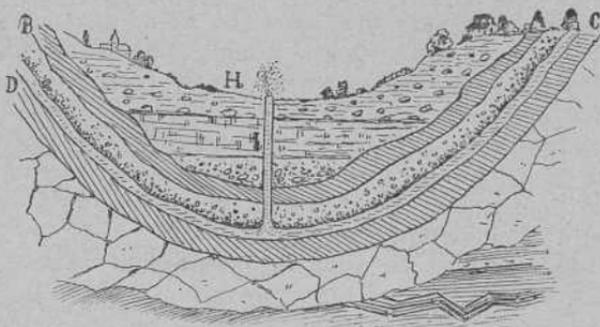


FIGURA 56.—Pozo artesiano.

permeables si encuentra una capa impermeable que la detiene, corre subterráneamente siguiendo las ondulaciones, hasta que encuentra una salida que constituye una fuente ó manantial.

Otras veces se acumula, como en la parte H de la figura 56, pudiendo aprovecharse el agua con la construcción de pozos ordinarios.

Esclusas.—Los canales destinados á la navegación unen generalmente dos ríos ó dos partes de un mismo río. Cuando el desnivel del terreno es grande, lo que ocasionaría una rápida corriente, los canales están contruídos por secciones ó tramos de distinta y gradual altura. Cada tramo está separado del que le precede por una *esclusa*, constituída esencialmente por dos fuertes puertas de madera que impide, cuando está cerrada, el paso del agua, manteniendo horizontal la superficie de ésta, en aquel tramo embalsada. Como el siguiente tramo está separado de este por otra esclusa, resulta que por medio de ellas puede aislarse, una de otra, las diversas secciones del canal.

Supongamos una barcaza en uno de los tramos. Abriendo en parte la esclusa, por medio de compuertas inferiores

que poseen las dos hojas de aquella, el agua del tramo superior entra en el tramo más bajo, y el nivel asciende (la esclusa siguiente está cerrada) al par que descende en el tramo superior, hasta igualarse en los dos tramos en comunicación. Ábrense entonces las dos puertas de la esclusa y, como la superficie del agua en las dos secciones está al mismo nivel, puede la barcaza pasar sin dificultad del tramo superior al inferior. De éste pasará al siguiente por el mismo procedimiento, y así sucesivamente.

Se comprende fácilmente, que de igual modo, puede un barco descender por el canal que remontarle.

Presiones de los líquidos sobre las paredes de los vasos que los contienen.—Todos los lí-

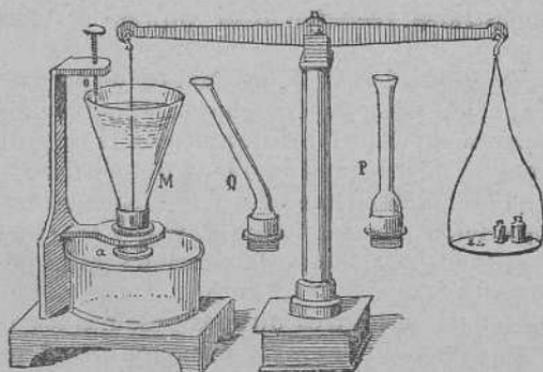


FIGURA 57.—Aparato de Masson.

quidos en equilibrio ejercen presiones sobre las paredes de los vasos que los contienen, debidas á la acción de la gravedad. La presión es normal á la superficie sobre la cual se ejerce.

Presiones sobre el fondo de los vasos.—

La presión ejercida por un líquido sobre el fondo horizontal de la vasija que le contiene es igual al peso de una columna líquida que tenga por base el fondo y por altura la del líquido en el vaso.



Podemos demostrar esta ley con el aparato de Masson. Sobre el brazo de un soporte una pieza metálica sirve para que pueda ser ajustada la parte inferior de los vasos M, Q y P, los cuales, son de forma distinta, pero tienen la misma base. Una balanza, y una varilla O, para marcar el nivel, del líquido completan el aparato.

Supongamos que el vaso es cilíndrico (no representado en la figura); atornillado á la tuerca del brazo del soporte, se hace pasar por él, un alambre que pende de uno de los brazos de la balanza, el cual lleva un obturador, que ajustándose á la parte inferior abierta del vaso hace el oficio de fondo. Se coloca un peso en el platillo de la balanza y después se echa agua en el vaso hasta que el obturador se separe, teniendo cuidado de marcar el nivel con la varilla O. *La presión en el vaso cilíndrico es igual al peso del líquido*, marcado por las pesas del platillo, como puede demostrarse recogiendo el líquido y pesándolo aparte.

Colóquese ahora el vaso M, de igual fondo pero de forma distinta; al echar el agua se verá que el obturador se separa al tocar la superficie del líquido con la varilla, ejerciendo, pues, la misma presión que la del cilindro de agua anterior, que tenía la misma base y la misma altura. Repítase la operación con los vasos P y Q y se obtendrá el mismo resultado, por lo que la presión será la misma en los cuatro casos.

Ahora bien, si en los tres últimos pesamos los líquidos se verá, que este peso es mayor ó menor que el marcado por las pesas del platillo, lo que nos demuestra que la presión es independiente del peso del líquido contenido en el vaso; hecho contradictorio al parecer que ha recibido el nombre de *paradoja hidrostática*.

Presiones sobre las paredes laterales.—*La presión ejercida por un líquido sobre una superficie de la pared lateral de un vaso, es perpendicular á ésta, y equivalente al peso de una columna líquida que tenga por base la superficie dicha y por altura la distancia desde su centro al nivel del líquido.*

Si en tres vasos iguales, con salidas laterales á distinta altura, e, d, c, (fig. 58) se echa agua hasta el mismo nivel, al

abrir al mismo tiempo las aberturas de los tres, veremos que, el agua sale perpendicularmente á aquella superficie, aunque después se modifique la dirección por la acción de la gravedad. Esto nos demuestra que existe la presión lateral y que es normal á la superficie. Además, observaremos que el agua sale con más fuerza cuanto más baja tiene la salida, es decir, que la presión es mayor si desde la superficie en que se ejerce hasta el nivel del líquido hay una más grande distancia. Esto último se ve claramente, al descender el nivel del líquido, por el gasto consiguiente, pues el chorro va teniendo cada vez menos fuerza.

Si la altura de la superficie libre del líquido es muy

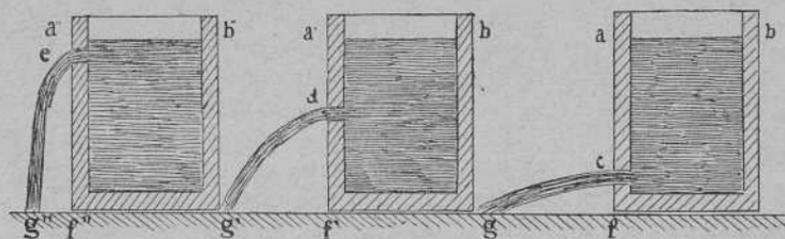


FIGURA 58.—Presiones laterales.

grande, las presiones pueden ser enormes con pequeña cantidad de líquido. Pascal lo demostró adaptando á la parte superior de un tonel, de gruesas paredes, un tubo metálico de unos 10 metros de altura; echando agua por el tubo hasta llenar el tonel y el tubo, se determinó la rotura de las paredes de aquel, pues tenían que soportar una presión inmensa, según el principio anterior.

Por esta razón los muros de los depósitos de aguas deben ser muy resistentes, tanto más cuanto más profundos sean aquellos.

El *Torniquete hidráulico* se emplea también para demostrar la existencia de las presiones laterales. Es un recipiente que puede girar sobre un eje vertical, llevando adaptados á su parte inferior dos tubos curvos y horizontales. Cuando estos están cerrados el torniquete permanece inmóvil, pero si se les destapa el aparato empieza á girar por la presión del agua en el codo de los tubos, no equilibrada por la presión que antes ejercía sobre los tapones que los cerraba.

Empuje hidrostático.—*Toda superficie horizontal en el seno de un líquido sufre una presión de abajo á arriba equivalente al peso de una columna líquida que tenga por base aquella superficie y por altura la distancia vertical desde ésta al nivel del líquido.*

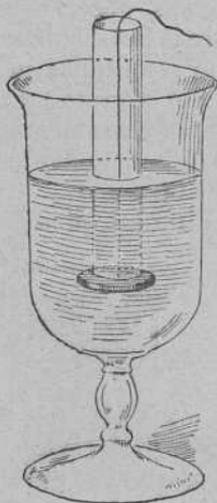


FIGURA 59.—Empuje hidrostático.

Un tubo de vidrio, abierto por ambos extremos y un disco de cartón, que pueda adaptarse á uno de ellos, nos servirá para demostrar este principio. Adaptando el disco al extremo inferior del tubo y sujeto por un hilo (figura 59) se introduce verticalmente en un vaso con agua. Hecho esto puede soltarse el hilo, porque el empuje de abajo á arriba del líquido sobre el disco lo mantiene unido al tubo. Echa-se agua, después, en el interior de éste y se observará que, cuando su nivel coincida con el del agua del vaso, el disco se separa, porque la columna

líquida, que tiene las condiciones enunciadas, equilibra la presión de abajo á arriba, siendo igual á ella por lo tanto.

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Principio de Arquímedes.—*Todo cuerpo sumergido en un líquido sufre un empuje de abajo á arriba igual al peso de la porción de líquido que desaloja.*

Multitud de hechos corrientes nos demuestran que este empuje existe; la facilidad con que nos elevamos en el agua con una ligera presión sobre el fondo, el escaso esfuerzo necesario para levantar una piedra pesada en el fondo de un río, por ejemplo, son prueba de ello.

Parece como que los cuerpos han perdido en peso cuando están sumergidos, por lo que también se enuncia el principio anterior diciendo: *Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde de su peso una cantidad igual á la que pesa el volúmen del líquido desalojado.*

Puede demostrarse el anterior principio por medio de la *balanza hidrostática* (figura 60).

Esta no es esencialmente distinta de una balanza ordinaria, pero los planos que sustentan la cruz están situados sobre una cremallera que encaja interiormente en la columna, pudiendo elevarse ó descender á volun-

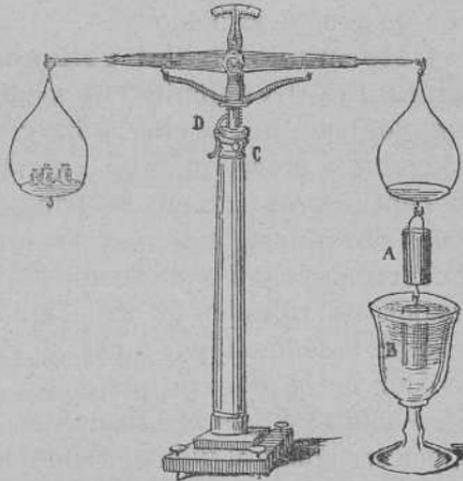


FIGURA 60.—Balanza hidrostática.

tad, facilitando de este modo las operaciones. Además, los platillos llevan en su parte inferior un ganchito del que se puede suspender los objetos.

Colguemos de un platillo de la balanza hidrostática un cilindro hueco A y de él, otro cilindro macizo B, cuyo tamaño sea exactamente igual á la cavidad del primero. Por medio de perdigones ó pesas colocadas en el platillo contrario restablezcamos el equilibrio de la balanza. Si ahora sumergimos completamente el cilindro macizo en un recipiente con agua, el equilibrio desaparece inclinándose la balanza hacia el platillo de la tara. El empuje de abajo á arriba es evidente.

Echemos agua poco á poco en el cilindro hueco; al llenarse, el equilibrio queda restablecido.

El volúmen de agua del cilindro hueco es igual al volúmen del cilindro macizo, y, por tanto, igual al volúmen de agua desalojado por este último, en virtud de la impenetrabilidad, luego el empuje recibido de abajo á arriba por éste será igual al peso del volúmen de agua desalojado.

Determinación del volúmen de un cuerpo insoluble.—La dificultad de medir geoméricamente el volúmen de un cuerpo irregular, hace muy útil el siguiente procedimiento. En una probeta graduada en centímetros cúbicos se pone agua hasta una división cualquiera, 40 c. c., por ejemplo; se sumerge el cuerpo cuyo volúmen se quiere determinar, el cual desaloja un volúmen de agua igual al suyo, el nivel del agua ascenderá por tanto. Si éste coincide con la división de la probeta, que marca 55 c. c., v. gr., la diferencia 15 c. c. será el volúmen de agua desalojado y, por ser igual, el volúmen del cuerpo.

Cuerpos sumergidos y flotantes.—Del principio de Arquímedes se deduce que, los cuerpos en el seno de un líquido están sometidos á la acción de dos fuerzas contrarias que obran en la dirección de la vertical: el empuje de abajo á arriba y el peso del cuerpo.

Pueden ocurrir tres casos: 1.º *El cuerpo sumergido va al fondo*; así sucede cuando, el peso del cuerpo es mayor que la presión de abajo á arriba (su densidad es mayor que la del líquido). 2.º *El cuerpo permanece en equilibrio* en cualquier punto del líquido en que se le abandone; entonces el empuje y el peso son iguales (densidad del cuerpo igual á la del líquido). 3.º *El cuerpo flota en la superficie*, no se sumerge; su peso es menor que la presión ejercida por el líquido

(su densidad es menor que la del líquido). A estos *cuerpos* se les denomina *flotantes*.

Puede comprenderse esto experimentalmente: un huevo en agua pura, se sumerge (1.^{er} caso); puesto en agua saturada de sal común, flota (3.^{er} caso); añadiendo agua con cuidado hasta que la densidad de la solución sea igual á la del huevo, éste permanece en cualquier sitio que se le deje (2.^o caso).

El aparatito denominado *Ludión* ú *Ondina* tiene el mismo objeto. Está constituido por un vaso cilíndrico con agua, cerrado por una lámina de caucho. En el agua flota una ampolla de vidrio, con un pequeño orificio, la cual termina en su parte interior por un tubo encorvado, en forma de gancho, del que pende una figurilla sumergida en el agua. La ampolla contiene una pequeña cantidad de agua que confina al aire encerrado en ella. Apretando la lámina de caucho, ejérese una presión sobre el aire, que hay entre ella y la superficie del líquido; el aire trasmite aquella presión al agua, que penetra en parte por el agujerito de la ampolla, aumentando su peso, por lo que desciende con la figurilla hasta el fondo. Si se deja de comprimir el caucho, el agua sale de la ampolla en virtud de la fuerza elástica del aire, que se hallaba comprimido, y el ludión vuelve á subir. Comprimiendo de un modo conveniente podrá conseguirse una igual densidad del líquido y de la ampolla con la figura, por lo que se detendrá en cualquier punto, á voluntad.

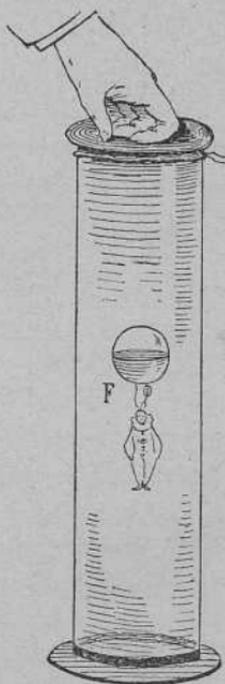


FIGURA 61.—Ludión.

Equilibrio de los cuerpos flotantes.—En los cuerpos flotantes, para que haya equilibrio es necesario que: *el peso del volúmen de agua desalojado sea igual al peso del cuerpo.*

La demostración experimental puede hacerse de la manera siguiente: En un frasco provisto de una tubulura lateral se pone agua hasta ésta; se coloca, con cuidado, un cuerpo flotante de peso conocido de antemano, 20 gramos, por ejemplo; el líquido desalojado por él saldrá por la tubulura; recogiéndolo y pesándolo se verá que el peso de este agua es de 20 gramos, es decir, el mismo que el del cuerpo.

Además es preciso que el centro de gravedad y el centro de empuje estén comprendidos en la misma vertical.

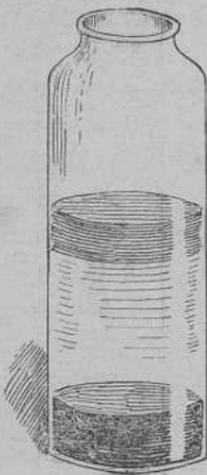


FIGURA 62.
Líquidos
superpuestos.

Si el centro de gravedad está más bajo que el de empuje, el equilibrio será estable; si está sobre éste, pero siempre en la misma vertical, el equilibrio será inestable; cuando coincidan los dos centros, el de gravedad y el de empuje, el equilibrio será indiferente.

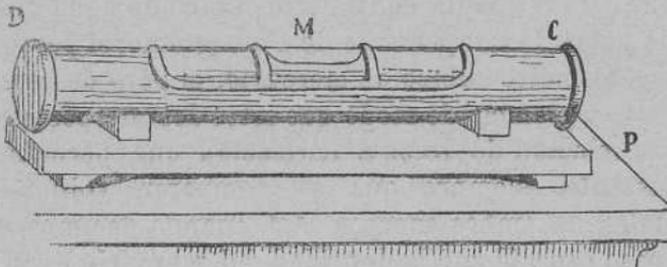
Si á un cuerpo más pesado que el agua en igualdad de volúmen, se le dá una forma tal que desaloje un volúmen de agua igual en peso al suyo, el cuerpo flotará. Por esta razón flotan los barcos, construidos modernamente con materiales muy pesados, y se sumerge más cuanto mayor es la carga. Un barco muy cargado que pasase del mar á un río podría hundirse, porque el

agua de éste es menos densa que la del mar y podría suceder que el volúmen desalojado no pesase lo que el barco con la carga.

Líquidos superpuestos.—Si en un vaso se ponen líquidos de distinto peso en igualdad de volúmen (es decir, de distinta densidad), si estos no pueden mezclarse entre sí, se colocan unos sobre otros, por el orden de sus densidades, y las superficies que los separan son horizontales.

Puede hacerse la experiencia con mercurio, agua y aceite, como se ve en la fig. 62.

Nivel de aire.—Es una aplicación de la horizontalidad de la superficie libre de los líquidos. Está formado por un tubo de vidrio, ligeramente curvo, cerrado por sus dos extremos, el cual contiene un líquido coloreado, muy móvil (agua hervida, alcohol), conservando una burbujita de aire. Este tubo va



· FIGURA 63.—Nivel de aire.

dentro de una armadura de latón D C, con una abertura, que deja al descubierto una graduación marcada en el tubo de vidrio. La armadura está sobre una placa bien recta, que sirve de base al aparato.

Cuando éste está sobre un plano perfectamente horizontal, la burbuja ocupa la parte más alta del tubo de vidrio, en el centro, tocando los extremos de la superficie líquida las divisiones o o (M), puntos de donde parten en ambos sentidos las graduaciones del nivel.

Fácilmente se comprende el manejo de este instrumento tan útil en las Ciencias y en las Artes industriales.

PESOS ESPECÍFICOS

Peso específico.— El *peso específico* ó *densidad* de un cuerpo es la relación entre el peso de éste y el

peso de un volúmen igual de otro cuerpo que se toma por unidad.

Este cuerpo que se toma por *unidad* es el *agua á la temperatura de 4°* (1).

Si representamos por E el peso específico, por P el peso del cuerpo y por P_1 el de un volúmen igual de agua, tendremos que $E = \frac{P}{P_1}$

Sabemos que un centímetro cúbico de agua destilada pesa á la temperatura de 4° un gramo; si pesamos un centímetro cúbico de mercurio, el peso de este es de 13,59 gramos; de modo que estos dos cuerpos están en la relación de 13,59 á 1, relación que permanece constante, siempre que se comparen volúmenes iguales de ambos cuerpos. Así cuando decimos que el peso específico ó la densidad del mercurio es 13,59 podremos afirmar que, en igualdad de volúmenes, el mercurio pesa 13,59 veces más que el agua.

De la fórmula anterior deduciremos que *dividiendo el peso de un cuerpo, por el peso de un volúmen igual de agua destilada á 4°, el cociente representará el peso específico de aquel.*

La definición que hemos dado de peso específico ó densidad, no es en realidad más que la que corresponde al peso específico relativo, pero aunque en la práctica se tome á aquellas palabras como sinónimas, corresponden á conceptos distintos, que conviene fijar siquicra sea de un modo elementalísimo.

Densidad absoluta de un cuerpo es la relación entre su masa y su volúmen; y si consideramos la unidad de volúmen (1 centímetro cúbico) diremos que densidad absoluta es la cantidad de masa contenida en la unidad de volúmen,

es decir, en un centímetro cúbico. $\equiv D = \frac{M}{V}$.

(1) Nos referimos aquí únicamente al peso específico de los sólidos y líquidos; para los gases, como veremos, se toma por unidad el aire.

Peso específico absoluto es la relación entre el peso de un cuerpo y su volúmen, ó considerando á este en la unidad, lo que pesa un centímetro cúbico de un cuerpo. $\equiv P E = \frac{P}{V}$.

Los conceptos de Densidad y Peso específico son diferentes, pues la Masa es independiente de la gravedad y el peso no puede existir sin ella. Además, la masa es incontable directamente, y como ésta es proporcional á los pesos, y éstos se determinan en relación á los de otro cuerpo que se toma por unidad, de aquí que la Densidad absoluta y el Peso específico absoluto no tengan uso en la práctica.

Densidad relativa es la relación entre la masa de un cuerpo y la que contiene un volúmen igual de agua destilada á 4°. Como hemos dicho que la masa es indeterminable, si no es pesándola, de aquí, que el número que representa la densidad relativa es siempre el mismo que el del peso específico, por lo que en la práctica se confunden.

Problemas.—Ocurre con mucha frecuencia en el comercio querer saber el volúmen ó el peso de una cantidad determinada en peso ó volúmen de un líquido, generalmente. Si se conoce el peso específico del mismo el problema es sencillo.

Supongamos que se trata de averiguar el peso de una cantidad de mercurio contenido en una vasija cuya cabida es de 100 c. c. El peso específico del mercurio es de 13'59, es decir, que cada centímetro cúbico pesa 13'59 gramos, luego 100 c. c. pesarán $13'59 \times 100 = 1.359$ gramos.

Queremos saber qué cabida debiera poseer un frasco para contener 4 kilogramos de ácido sulfúrico de 66° B. El peso específico de este cuerpo es 1'84, luego si 1'84 gramos ocupan 1 c. c. bastará dividir 4.000 gramos por 1.84 para determinar la capacidad necesaria del frasco.

$$\frac{4'000}{1'84} = 2.174 \text{ c. c.}$$

Determinación de los pesos específicos ó densidades de los sólidos y los líquidos.—Según la definición que hemos dado, para hallar el peso específico son necesarios dos datos: 1.° *el peso del cuerpo cuya densidad se quiere determinar.* 2.° *el peso de un volúmen de agua destilada á 4°, volúmen que*

tiene que ser exactamente *igual al del cuerpo*. El cociente de dividir el primero por el segundo nos dará el peso específico buscado E ó $D = \frac{P}{P_1}$.

La determinación de estos datos por separado ofrece algunas dificultades, pues sería casi imposible pesar con exactitud un volumen de agua igual al del cuerpo, si se operase aisladamente para cada uno. Expondremos los principales métodos.

Con una probeta graduada podemos hallar la densidad de un cuerpo. Supongamos un cuerpo sólido, un trozo de azufre, por ejemplo, cuyo peso es de 20 gramos; puesta agua á 4° en la probeta hasta una división cualquiera, sea 15 c. c., introduzcamos en ella el pedazo de ~~azufre~~, el cual desaloja un volumen de agua igual al suyo, subiendo el nivel del líquido á 25 c. c. Descontando los 15 c. c. que marcaba anteriormente, el volumen de agua desalojado por el cuerpo resulta ser de 10 c. c. que es evidentemente el mismo volumen que el del cuerpo. Sabemos que estos 10 c. c. de agua pesan 10 gramos, luego el peso específico del azufre será: $E = \frac{20}{10} = 2$.

Este procedimiento es bastante imperfecto pero facilita algo la comprensión de los siguientes

Método del frasco.—SÓLIDOS.—Se necesita para operar, además de una buena balanza, un frasco (*picnómetro*) como el que representa la figura 64 cuyo tapón esmerilado, hueco, se continúa en un tubo capilar, con una línea de enrase.

Para operar se pesa primero el cuerpo con toda exactitud; supongamos un trozo de hierro de 15'60 gramos de peso. Se coloca en uno de los platillos de la balanza, al lado del frasco, lleno de agua hasta la

línea de enrase y se equilibra con una tara cualquiera. Conseguído el equilibrio, introducimos el pedacito de hierro en el frasco, del cual es desalojado, naturalmente, un volúmen de agua igual al del cuerpo. Se confronta la línea de enrase y se enjuga bien el frasco, se coloca de nuevo en la balanza y se observará que el equilibrio con la tara ha desaparecido, siendo preciso añadir pesas, 2 gramos, por ejemplo, en el platillo del frasco, hasta restablecer aquel equilibrio.

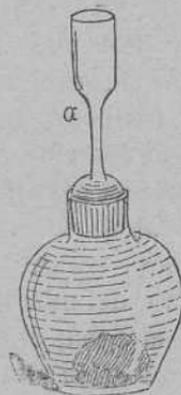


FIGURA 64.
Frasco para
sólidos.



FIGURA
65.-Fras-
co para
líquidos.

Estas pesas nos dan el peso del volúmen de agua desalojado. Ahora, sabiendo ya el peso del cuerpo: 15'60 gramos y el del agua: 2 gramos, en volúmenes iguales, tendremos que:

$$E = \frac{15'60}{2} = 7'8 \text{ que es la densidad del Hierro.}$$

LÍQUIDOS.—Es preciso conocer primero el peso del frasco vacío y seco, sea por ejemplo 20 gramos, los cuales se han de descontar después, como veremos. Tratamos de averiguar el peso específico del mercurio. Se llena el frasco hasta la línea de enrase y se pesa el todo, 291'9 gramos; descontando la tara del frasco, 20 gramos, quedará el peso del mercurio, ó sea 271'9 gramos. Se vacía el frasco y se llena hasta la línea de enrase con agua en las condiciones sabidas; se pesa el todo, si su peso

es 40 gramos, descontando la tara del frasco (20 gramos) quedan 20 gramos que es el peso del agua. El

peso específico del mercurio será, pues: $E = \frac{271'9}{20}$
 $= 13'59$ pues es evidente que hemos operado sobre volúmenes iguales.

Método de la balanza hidrostática.—SÓLIDOS.

—Se determina primero en un platillo de esta balanza el peso del cuerpo, de un trozo de Plata, por ejemplo, y sea 52'5 gramos; después, sin quitar las pesas, se suspende el cuerpo, atado á un hilo finísimo, del mismo platillo de la balanza, sumergiéndolo en el agua; el equilibrio se rompe, y hay que poner pesas en el platillo del que pende el cuerpo, para restablecerlo, sean 5 gramos. Estos nos dan el valor de la presión de abajo á arriba que el cuerpo sufre, y que como sabemos, es igual al peso (5 gramos) del volúmen de agua desalojado por el cuerpo, volúmen que es igual al suyo; luego $E = \frac{52'5}{5} = 10'5$, peso específico de la plata fundida.

LÍQUIDOS.—De un platillo de la balanza hidrostática se suspende una esfera de vidrio y el otro platillo se lastra con una tara hasta obtener el equilibrio. En una copa se ha colocado el líquido cuyo peso específico se va á determinar, Ácido sulfúrico, v. gr. Se introduce la esfera en el ácido, el equilibrio se rompe, y es preciso poner pesas sobre el platillo del que pende la esfera hasta restablecerlo; supongamos que han hecho falta 36'86 gramos, que representan el peso del volúmen de ácido sulfúrico desalojado por la esfera de vidrio. Se retira la copa y las pesas, se lava la esfera, se seca bien y se introduce en agua á 4°, que contiene otra copa. Nuevamente roto el equilibrio, es preciso añadir pesas en el platillo para conseguirlo otra vez. Estas pesas nos indican el peso del volúmen de agua desalojado por la esfera,

evidentemente igual al del Ácido sulfúrico; sea el peso del agua 20 gramos. Tendremos que $E = \frac{36'86}{20} = 1'84$ peso específico del ácido sulfúrico normal.

Corrección de temperatura.—Es de una gran dificultad tener el agua á la temperatura exacta de 4° durante las operaciones de determinación de densidades. Los cuerpos aumentan de volúmen, se dilatan, con la temperatura, y como la densidad es una relación entre el peso y el volúmen, si éste aumenta, como el peso permanece el mismo, el cociente de dividir el uno por el otro varía. Para obviar esta dificultad se puede operar con el agua pura á la temperatura del laboratorio, pero en este caso la fórmula debe modificarse del modo siguiente: $D = \frac{P}{P'} \times D'$; en la que P' representa el peso del volúmen de agua y D' la densidad del agua á la temperatura en que se operó.

Densidad del agua á diversas temperaturas según Despretz.

Grado.	Densidad.	Grado.	Densidad.	Grado.	Densidad.
0.....	0.999 873	10.5.....	0.999 685	21.....	0.998 004
0.5.....	0.999 900	11.....	0.999 640	21.5.....	0.997 894
1.....	0.999 927	11.5.....	0.999 583	22.....	0.997 784
1.5.....	0.999 946	12.....	0.999 527	22.5.....	0.997 675
2.....	0.999 965	12.5.....	0.999 470	23.....	0.907 566
2.5.....	0.999 983	13.....	0.999 414	23.5.....	0.997 431
3.....	0.999 999	13.5.....	0.999 349	24.....	0.997 297
3.5.....	0.999 999	14.....	0.999 285	24.5.....	0.997 187
4.....	1.000 000	14.5.....	0.999 205	25.....	0.997 078
4.5.....	0.999 999	15.....	0.999 125	25.5.....	0.996 939
5.....	0.999 999	15.5.....	0.999 102	26.....	0.996 800
5.5.....	0.999 984	16.....	0.999 079	26.5.....	0.996 681
6.....	0.999 969	16.5.....	0.999 036	27.....	0.996 562
6.5.....	0.999 949	17.....	0.998 794	27.5.....	0.996 418
7.....	0.999 929	17.5.....	0.998 703	28.....	0.996 274
7.5.....	0.999 902	18.....	0.998 612	28.5.....	0.996 130
8.....	0.999 878	18.5.....	0.998 517	29.....	0.995 986
8.5.....	0.999 845	19.....	0.998 422	29.5.....	0.995 837
9.....	0.999 812	19.5.....	0.998 317	30.....	0.995 688
9.5.....	0.999 771	20.....	0.998 213		
10.....	0.999 731	20.5.....	0.998 108		

Cuerpos solubles en el agua.—Si el cuerpo sólido fuese soluble en el agua, se emplea otro líquido que no le disuelva (alcohol, aceite, etc.), de densidad conocida, operando del modo ya explicado, y empleando la fórmula $D = \frac{P}{P'} \times D'$; en la que P' es el peso del volúmen del líquido utilizado y D' la densidad de este con relación al agua.

La determinación de los pesos específicos de los cuerpos flotantes y de los porosos requiere ciertas precauciones que no caben en una obra como la presente.

AREOMETRÍA

Areómetros.—Son aparatos constituidos esencialmente por un flotador, destinados á la determinación de los pesos específicos de los cuerpos.

Se dividen en: *Areómetros de volúmen constante y peso variable*, los cuales tienen un vástago con una línea de enrase hasta la cual debe sumergirse siempre el aparato; *Areómetros de volúmen variable y peso constante*, cuyo vástago, que lleva una graduación, se sumerge más ó menos según la densidad del líquido; y *Areómetros de volúmen y peso variables*.

Areómetros de volúmen constante y peso variable.—GRAVÍMETRO ó AREÓMETRO de NICHOLSON.—Está constituido por un flotador B, cilíndrico, hueco, terminado por dos conos. Del cono superior parte una varilla ó vástago, que lleva una raya ó *línea de enrase* o, terminando en un platillo A. Del otro cono pende de un ganchito un cestillo cónico C, lastrado con plomo, para conseguir la verticalidad del aparato en el agua.

Para operar se coloca el aparato en agua, contenida en una probeta (fig. 66). Supongamos que vamos á hallar el peso específico de un trozo de cristal de roca:

coloquémosle en el platillo y añadamos granalla de plomo, hasta que el nivel del agua coincida con la línea de enrase del vástago. Conseguido esto retírase el cuerpo, con cuidado; el enrase cesa y se añade pesas para restablecerlo, hasta conseguir la misma coincidencia; sean estas 13'25 gramos, que represen-

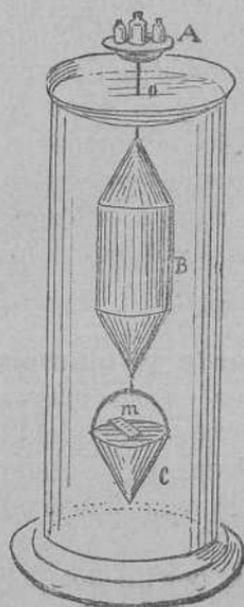


FIGURA 66. Areómetro de Nicholson.

tan evidentemente el peso del trozo de cristal de roca, puesto que lo sustituyen. Se retira las pesas del platillo, se saca el areómetro, se coloca el cuerpo en el cestillo y se sumerge aquel de nuevo. Para llegar á que coincidan la línea de enrase y la superficie del agua se va poniendo pesas en el platillo, que nos indican, como ya sabemos, el peso del

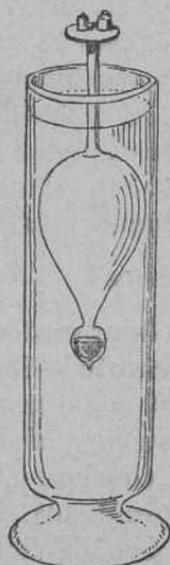


FIGURA 67. Areómetro de Fahrenheit.

volúmen de agua desalojado por el cuerpo, volúmen igual al suyo; sea 5 gramos. Tendremos que: $E = \frac{13'25}{5} = 2'65$, peso específico del Cristal del roca.

AREÓMETRO DE FAHRENHEIT.—Sirve para determinar el peso específico de los líquidos. En general es semejante al anterior, pero es de vidrio, y carece de cestillo, que está reemplazado por una ampolla lastrada con plomo ó mercurio (fig. 67).



Se necesita conocer de antemano el peso del areómetro, 100 gramos, por ejemplo. Si se quiere hallar la densidad de un líquido, Ácido sulfúrico, se sumerge el aparato en este líquido, poniendo pesas en el platillo, hasta que coincidan el punto de enrase y la superficie del ácido. Supongamos que el valor de estas pesas es de 93'20 gramos; luego, el volúmen de ácido sulfúrico, igual al del areómetro, desalojado por éste, pesa 93'20 + 100 gramos del areómetro. Se saca éste, se limpia y seca perfectamente, y se sumerge en agua destilada, colocando pesas hasta obtener el enrase; sean 5 gramos. 5 + 100 gramos del areómetro nos dan el peso del volúmen de agua desalojado, volumen igual al del Ácido sulfúrico. De donde tendremos que:
$$E = \frac{100 + 93,20}{100 + 5} = 1'84.$$

Areómetros de peso constante y volúmen variable.—Son aparatos destinados en su mayor parte á hallar el grado de concentración de los líquidos comerciales (*legías, ácidos, alcoholes, etc.*); grado de concentración que corresponde á una densidad determinada.

Son de vidrio, y están formados por un flotador con una ampolla en la parte inferior, lastrada con plomo ó mercurio, y un vástago ó varilla hueca y graduada, en la superior.

Como todos los cuerpos flotantes, el areómetro se sumerge tanto más cuanto menos denso es el líquido; así en el alcohol ó en el éter entra más que en el agua y mucho más que en un jarabe. Graduando, pues, la varilla convenientemente, se comprende que según se introduzca más ó menos en el líquido, podrá averiguarse el grado de concentración de éste y, como consecuencia, su grado de pureza.

Según la manera como su escala esté graduada, pueden ser estos *areómetros de escala arbitraria*, como el de Baumé, *de escala especial*, como el alcohómetro de Gay Lussac y *de escala científica*, como los densímetros y volúmetros.

AREÓMETRO DE ESCALA ARBITRARIA. AREÓMETRO DE BAUMÉ.—Se los construye por separado para líquidos más ó menos pesados que el agua.

El areómetro de Baumé para líquidos más pesados que el agua se gradúa de la manera siguiente: Está lastrado de modo que al introducirle en agua á 12°'5 se sumerge casi todo el aparato, hasta el final del vástago, y en el enrase de éste con la superficie del agua se marca el 0. Después se introduce en una solución de 15 partes de sal marina en 85 de agua; el areómetro se sumerge menos y en la coincidencia de la varilla con la solución se pone el grado 15. Divídese el espacio comprendido entre 0 y 15 en quince partes iguales y éstas nos sirven de norma para continuar, *hacia abajo*, la graduación de la varilla en partes idénticas. *Su escala es descendente*.



FIGURA 68.
Areómetro de Baumé.

Para líquidos más pesados que el agua.

Estos areómetros llamados también *pesa ácidos* (de 0° á 70°) *pesa sales* y *pesa leñas*, (de 0° á 45°) *pesa jarabes*, (de 0° á 40°) *pesa vinagres*, (de 0° á 4°), *pesa mostos* (de 0° á 22°) etcétera, etc. según los usos á que se destinan, no indican más que grados arbitrarios de concentración de los líquidos comerciales; pero como esta concentración guarda cierta relación en cada líquido con su peso específico, se puede calcular éste por medio de la fórmula $E = \frac{144}{144 - n}$,

en la que n representa el grado marcado por el areómetro.

El areómetro Baumé para líquidos menos pesados que el agua está lastrado de modo que, al introducirlos en una solución de 10 partes de sal marina y 90 de agua, el enrase se verifique en la parte más baja de la varilla, donde se pone el 0 de la escala. Se introduce después en agua pura á $12^{\circ}5$; el vástago se sumerge más, y en el enrase se coloca el grado 10. Dividido este espacio en 10 partes iguales, se continúa la división hacia lo alto de la varilla en espacios idénticos á los primeros. Su escala es ascendente.

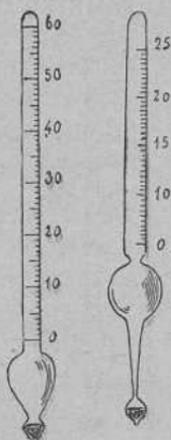


FIGURA 63.—Areómetro de Baumé.

Para líquidos menos pesados que el agua.

Suele llamárseles también *pesa éteres* (de 0° á 70°), *pesa alcoholes* (de 0° á 48°), *pesa licores*, *pesa álcalis* (de 0° á 30°), etcétera.

El peso específico se puede determinar con ellos mediante la fórmula siguiente:
$$E = \frac{128}{128 + n}$$

El *Areómetro Universal* lleva las dos escalas Baumé, pero para hallar la concentración de un líquido más denso que el agua es preciso agregarle un lastre adicional que acompaña al instrumento.

Corrección de temperatura.—Si la temperatura del líquido no es la de $12^{\circ}5$, para la que están graduados los areómetros Baumé, los resultados no pueden ser exactos; pero se corrige estos errores con el empleo de fórmulas, ó más rápidamente, de tablas calculadas de antemano para cada líquido.

A cada grado de los areómetros Baumé corresponde una riqueza del líquido, que puede averiguarse también por medio de tablas

AREÓMETRO DE CARTIER.—Su uso va decayendo algo, y llegará á desaparecer, pues estando destinado á determinar la concentración de los alcoholes, tiene el gran inconveniente de que sus grados no indican el tanto por ciento de alcohol, como en el de Gay Lussac. Es más, ni siquiera existe proporcionalidad entre la cantidad de alcohol y los grados del areómetro Cartier, pues una mezcla hidroalcohólica que marque 11° tiene 5 % de alcohol, otra que indique 12° posee 11 % y otra de 13° tiene 18 %. El areómetro Cartier marca 10° en el agua destilada y 44° en el alcohol absoluto.

AREÓMETROS DE ESCALA ESPECIAL. ALCOHÓMETRO CENTESIMAL DE GAY LUSSAC.—Su forma es la ordinaria, pero su escala es mucho más práctica y científica, puesto que en ella cada grado indica la riqueza en alcohol de una mezcla hidroalcohólica. El 0 colocado en la parte más baja del vástago, corresponde al agua pura á 15° del termómetro centígrado; el grado 100 marca la concentración del alcohol absoluto. Los grados intermedios se obtienen, preparando líquidos formados por 10, 20, 30, 40, etc., partes de alcohol y completando hasta 100 c. c. con agua pura. El enrase en cada uno de ellos expresa la cantidad de alcohol puro por ciento que contiene la mezcla. Por último, los espacios comprendidos entre 0 y 10, 10 y 20, 20 y 30, etc., se dividen en 10 partes iguales.

Su uso es muy sencillo: Se introduce el alcoholómetro en la mezcla hidroalcohólica, se lee el número de la línea de enrase con el líquido, y si este es 40 por ejemplo, sabremos que dicha mezcla contiene 40 % de alcohol.

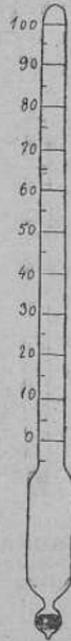


FIGURA 70.—Alcoholómetro de Gay Lussac.

Si la mezcla no es sólo de agua y alcohol, si contiene azúcar por ejemplo, es preciso destilar primero todo el alcohol, y añadir agua después, hasta obtener un volumen igual al primitivo, pues de otro modo los resultados serían equivocados.

Corrección de temperatura.— Cuando se opera á temperaturas superiores ó inferiores á 15° C. las indicaciones del areómetro pueden inducir á error. Para evitar esto, se toma la temperatura y el grado alcohométrico y se corrige éste por medio de las tablas de Gay Lussac, que, con aquellos datos, nos ofrecen el grado alcohométrico verdadero.

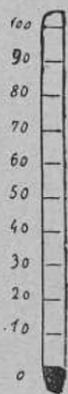


FIGURA 71.—Volúmetro.

AREÓMETROS DE ESCALA CENTÍFICA.— DENSÍMETROS Y VOLÚMETROS.— Son areómetros de peso constante, cuyas escalas dan cuando se les sumerge en los líquidos las densidades de los mismos (*Densímetros*) ó el *volúmen específico* (*Volúmetros*), entendiéndose por volúmen específico el de la unidad de peso de dicho líquido.

Unos y otros pueden ser para líquidos más ó menos densos que el agua.

Son de gran utilidad en la práctica, pero sus resultados, como los de los anteriores, no son completamente exactos.

Areómetros de peso y volúmen variables.— Entre estos areómetros, cuyo carácter principal se define por la variación de peso y volúmen según las circunstancias, se hallan como principales los *densímetros de Rousseau* y *de Paquet*, destinados á la determinación de las densidades de los cuerpos sólidos ó líquidos respectivamente, cuando no puede disponerse sino de pequeñas porciones. La descripción de estos instrumentos nos haría salir de los límites de este tratado.

Lo mismo decimos de otros muchos areómetros muy importantes y especiales, cuyo estudio tiene su lugar apropiado en otras asignaturas, y no en las generalidades de estos ELEMENTOS DE FÍSICA.



FIGURA 72.—Densímetro.

Densidades de algunos cuerpos.

Agua = unidad á 4° centígrados y presión 760 milímetros

SÓLIDOS

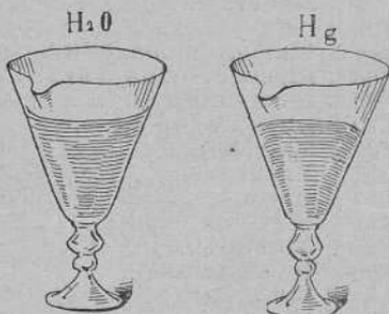
Acero templado.....	7'82	Madera de Abeto. 0'49	
Aleanfor.....	0'98	á.....	0'66
Aluminio fundido....	2'56	Idem de caoba. 0'56 á	0'85
Ambar.....	1'08	Idem de encina. 0'61 á	1'17
Antracita.....	1'26 á	Idem de Haya.....	0'85
Arena pura.....	1'99	Idem de Olmo.....	0'80
Azufre nativo.....	2'07	Magnesio.....	1'74
Idem prismático.....	1'97	Marfil.....	1'90
Caucho.....	0'92	Mármol.....	2'71
Cera.....	0'97	Nieve en copos.....	0'10
Cobre fundido.....	8'85	Niquel.....	8'27
Idem laminado.....	8'92	Oro fundido.....	19'26
Cristal de roca. 2'63		Parafina.....	0'87
á.....	2'81	Plata.....	10'50
Diamante.....	3'55	Platino.....	22'00
Estaño.....	7'29	Plomo.....	11'35
Fósforo ordinario....	1'84	Porcelana de Sevres.	2'24
Idem rojo.....	2'10	Potasio.....	0'87
Hielo.....	0'92	Sodio.....	0'97
Hierro.....	7'79	Vidrio de vidrieras..	2'53
Hierro (fundición)...	7'21	Yeso.....	2'33
Iridio.....	22'38	Zinc.....	7'19

LÍQUIDOS

Aceite de olivas.....	0'915	Eter.....	0'71
Acido clorhídrico ...	1'22	Glicerina.....	1'26
Idem nítrico fumante.	1'52	Leche.....	1'03
Idem sulfúrico.....	1'84	Mercurio.....	13'79
Agua de mar.....	1'026	Nafta.....	0'85
Alcohol absoluto....	0'792	Sangre.....	1'04
Bencina.....	0'89	Sulfuro de carbono..	1'29
Esencia de trementí-		Vinagre.....	1'03
na.....	0'869	Vino tinto.....	0'99

CAPILARIDAD = DIFUSIÓN = ÓSMOSIS

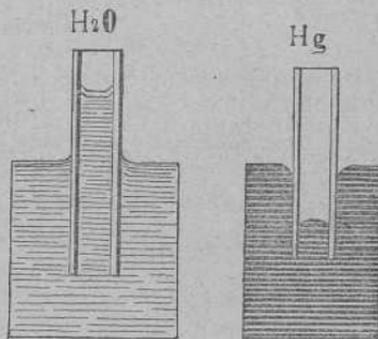
Capilaridad.—Los principios de horizontalidad de las superficies líquidas y el de la igualdad de éstas en los vasos comunicantes parece se contradicen con ciertos fenómenos, llamados *capilares*, por manifestarse más claramente en los tubos muy delgados.



Agua. FIGURA 73. Mercurio.

Si ponemos agua en una copa y mercurio en otra, veremos que aunque la superficie de estos líquidos sea horizontal en su mayor parte no lo es en los bordes, pues el agua se adhiere á las paredes de la copa y se eleva un poco, formando una superficie cóncava, y el mercurio por el contrario se deprime en su contacto con la copa y forma una superficie convexa (figura 73).

Si introducimos un tubo muy delgado en agua, la superficie de ésta en el interior del tubo está más alta que la del vaso y forma una superficie cóncava ó menisco ascendente; si el tubo se introduce en mercurio sucede lo contrario, es decir, que su nivel en el interior es más bajo que el exterior y forma una superficie convexa ó menisco descendente (figura 74).



Agua FIGURA 74. Mercurio.

Esta adherencia que se manifiesta entre los líquidos y sólidos se denomina *Capilaridad*, y sus fenómenos tienen por causa la atracción molecular. Cuando, como

sucede con el agua y el vidrio, la atracción entre el líquido y el sólido es mayor que la atracción de las moléculas del líquido entre sí, se dice que éste *moja* el vaso, y la adherencia se manifiesta ascendiendo aquel en los bordes; en el caso contrario, como pasa con el mercurio, el líquido *no moja* el vaso y se deprime en los bordes.

Si ponemos en agua dos láminas paralelas, la superficie, más elevada, es de forma cilíndrico cóncava; si el líquido en que se sumergen fuese el mercurio, por el contrario se manifestaría una depresión.

Caso de que las láminas formen un ángulo muy pequeño, el agua asciende á lo largo de la arista, formando en su contacto con la lámina, una curva (*hipérbola*); si están introducidas en mercurio la depresión se acentúa á lo largo de la arista, formando una superficie cóncava.

Todos estos fenómenos capilares, explicados tomando como ejemplo el agua y el mercurio, se pueden aplicar á todos los líquidos que mojen ó no mojen las paredes de los vasos que los contienen; debiendo tenerse en cuenta que, *las ascensiones ó depresiones varían para cada líquido, y, en cada uno, con la temperatura.* Además, *las alturas de los líquidos en tubos capilares están en razón inversa de los diámetros de estos tubos.*

Hechos explicados por la capilaridad.—La ascensión del agua por los cuerpos porosos, ó llenos de canaliculos, como un terrón de azúcar, un trozo de creta, papel secante, madera ó esponja, la subida del aceite ó del petróleo por las torcidas ó mechas; la de la savia por los vasos de las plantas, etc., etc., son fenómenos capilares. Por la capilaridad se explica también por qué algunos insectos caminan sobre las aguas, las atracciones recíprocas de los cuerpos flotantes, etc.

Difusión.—Es la mezela de los líquidos (ó gases) de distinta concentración ó naturaleza, que no ejercen acciones químicas entre sí.

Puede comprobarse la difusión del modo siguiente: A un vaso con agua teñida con tintura azul de tornasol, se hace llegar, con un largo embudo, una cantidad de ácido sulfúrico, situándolo en el fondo, de modo que no haya podido tocar á la masa del agua más que por la parte inferior de esta. Al momento se enrojece la tintura en los puntos de contacto, pero dejando el todo en reposo durante

cuarenta y ocho horas, veremos que toda la masa del líquido se ha enrojecido por la acción del ácido, cuya penetración ó difusión en el agua es manifiesta.

Osmosis.—Es la difusión ó trasmisión recíproca de dos líquidos mixcibles á través de una membrana porosa que los separa.

Puede demostrarse los fenómenos osmóticos con el *osmómetro*, que consta (fig. 75)

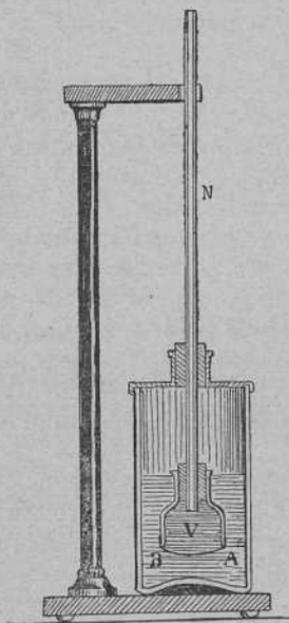


FIGURA 75.—Osmómetro.

de un vaso V, con un largo tubo, que está cerrado, por su parte inferior, con una membrana porosa A B. Colocando en el vaso V una solución de azúcar en agua, lo introducimos en agua pura y, al cabo de algún tiempo se podrá demostrar que en esta hay azúcar y que la solución del vaso está menos concentrada.

Se han establecido, pues, á través de los poros de la membrana dos corrientes contrarias de ambos líquidos, una más rápida (*endósmosis*), la del agua que entra en el vaso, y otra más lenta (*exósmosis*) la de la solución azucarada, que sale de aquel.

Cuerpos cristaloides y coloides.—Según que los cuerpos puedan por ósmosis atravesar ó no las membranas, se dividen

en: *cristaloides*, que pueden cristalizar y atraviesan las membranas con facilidad cuando están en solución, como el *azúcar*, *sales*, *ácidos*, etc., y en *coloides*, no cristalizables y que no pasan á través de las membranas.

Diálisis.—Es un procedimiento de análisis químico que se funda en la separación, por ósmosis y con el aparato denominado *dialisador*, los cuerpos cristaloides y coloides de un líquido, haciendo pasar los primeros á través de la membrana del *dialisador*.

HIDRODINÁMICA

Hidrodinámica.— Tiene por objeto el estudio de los movimientos de los líquidos.

Vena líquida.— Cuando en la pared delgada de un vaso se abre un orificio, la presión del líquido sobre las paredes y la acción de la gravedad determinan la salida de un chorro, *vena líquida*, que describe una parábola, si el orificio está en una pared lateral; si éste está en el fondo el líquido descenderá en la dirección de la vertical.

La vena líquida no es lo mismo en toda su extensión: tranquila y límpida al salir del orificio, va estrechándose poco á poco hasta llegar á una parte agitada y turbia, que presenta engrosamientos (*vientres*) y contracciones (*nodos*), constituidos por gotitas ensanchadas en los primeros y alargadas en los segundos.

Velocidad de la vena líquida.— Cuando un líquido sale por un orificio abierto en una pared delgada, *la velocidad de las moléculas del líquido*, según el teorema de Torricelli, *es igual á la velocidad que adquiriría un grave cayendo libremente desde una altura igual á la existente entre la superficie del líquido y el orificio.*

Gasto de un orificio.— Así se llama á la cantidad de líquido que sale por él en un segundo. Este gasto depende del diámetro y forma del orificio, de la distancia de éste á la superficie, etc., etc.

El *gasto teórico*, que puede calcularse multiplicando el área del orificio de salida por la velocidad del líquido, no se dá nunca en la práctica, por causas diversas que disminuyen la velocidad, por lo que el *gasto efectivo* ó verdadero es siempre menor.

Salida constante de un líquido.— Es evidente que la salida de un líquido en un vaso no puede ser constante mientras su superficie no permanezca á la misma altura,

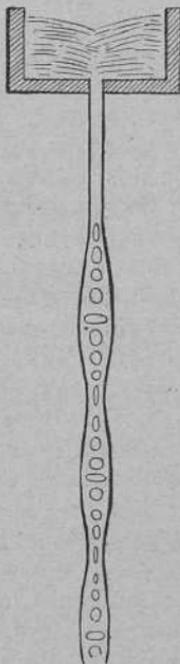


FIGURA 76.
Vena líquida.

y como esta desciende gradualmente con la salida del líquido, de aquí que se haya ideado varios procedimientos para conseguir aquella constancia. El *método de derrame* es uno de los más corrientes: consiste en hacer llegar al depósito una cantidad mayor de líquido de la que sale por el orificio, vertiéndose al mismo tiempo el exceso por un tubo situado al nivel en que la superficie debe mantenerse.

Tubos adicionales.—Son tubos cortos que, adaptados á los orificios de salida, modifican el gasto. Es necesario que estén hechos de una materia que sea mojada por el agua, que su longitud sea, á lo más, cuatro veces mayor que el diámetro, y que la forma sea la cilíndrica ó la de tronco de cono, pues de este modo se favorece la salida. Los tubos adicionales que más aumentan el gasto están constituidos por dos troncos de cono unidos por sus bases menores.

Salida por tubos largos.—La marcha de los líquidos por tubos largos varía por muchas circunstancias, como son: la diferencia de nivel entre el del depósito y el orificio de salida, el diámetro y longitud del tubo, los codos que presente, y cambios de dirección, por consiguiente, que el líquido tenga que sufrir, causas todas ellas que aumentando los rozamientos disminuyen la velocidad.

Los líquidos en equilibrio ejercen presiones sobre los vasos que los contienen; la presión de los líquidos en movimiento sobre las paredes de los tubos, *presión hidráulica*, es siempre menor que aquella, y disminuye cuando aumenta la velocidad; si ésta se aumenta, lo que se consigue elevando más el depósito, la presión llegará á ser nula en un momento dado, cuando la velocidad corresponda á la altura, y si aún se hace mayor la velocidad, podrá la presión hidráulica obrar de un modo negativo, es decir, aumentando la presión de las paredes del tubo sobre el líquido. Esto se puede demostrar haciendo en un tubo en estas condiciones un orificio por el cual se oye penetrar el aire rápidamente.

La construcción de las *trompas de aire* usadas en los laboratorios está fundada en este hecho.

Surtidores.—Los surtidores, de que ya hemos hablado, son delgados chorros, que se elevan por la acción de una columna líquida cuya superficie libre está más alta que el orificio del surtidor.

Aunque su altura debiera ser teóricamente la del líquido en el depósito, en la práctica es siempre algo menos por los rozamientos que experimenta en los tubos, orificio de salida, aire y choque del líquido que cae con el que sube.

Reacción originada por la salida de un líquido.—Cuando en una pared lateral de un vaso se abre un orificio, la salida del líquido produce una reacción contraria que puede ocasionar el movimiento de aquel en el sentido de la reacción, sobre todo si se le coloca en ciertas condiciones.

Al estar el vaso cerrado sus presiones laterales se equilibran, pero al abrirse, con la salida del chorro el equilibrio desaparece, por disminuir la presión en la pared en que el orificio está situado, siendo entonces mayor la presión de la pared contraria.

El *Torniquete hidráulico*, ya descrito (pág. 83), puede servir de ejemplo del movimiento producido por la reacción que origina la salida de un líquido

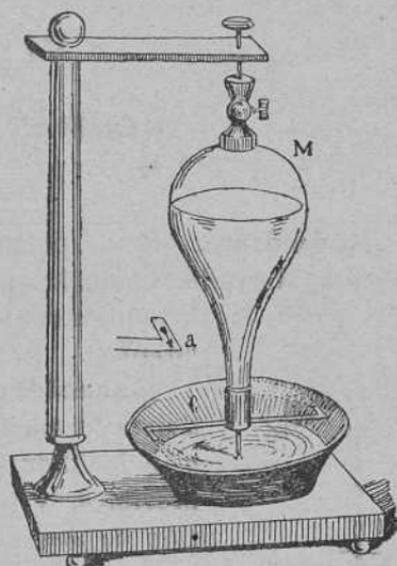


FIGURA 77.—Torniquete hidráulico.

VI

NEUMÁTICA

Neumática.—Es la parte de la Mecánica que estudia el equilibrio de los gases (*Neumostática*) y los movimientos de éstos (*Neumodinámica*).

Caractéres de los gases.—No tienen forma propia y se caracterizan principalmente por ser muy compresibles, y por la constante repulsión de sus moléculas, que les hace tender siempre á ocupar un mayor espacio. (*Expansibilidad*).

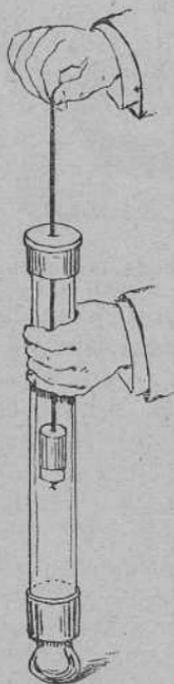


FIGURA 78.
Eslabón neumático.

La compresibilidad y elasticidad de los gases se comprueba por medio del eslabón neumático (fig. 78); accionado el pistón, el volúmen del aire contenido se reduce considerablemente; si el pistón se suelta de pronto, sube rápidamente empujado por el aire, que tiende á ocupar su volúmen primitivo, en virtud de su elasticidad.

La *expansibilidad* ó *fuerza expansiva* ó *elástica* de los gases se demuestra poniendo una vejiga con una pequeña cantidad de aire bajo la campana de una máquina neumática; al hacer el vacío en ésta, la vejiga aumenta de volúmen por tender el aire encerrado en ella á ocupar un espacio mayor, no equilibrada ya su fuerza expansiva por la

presión exterior. Si nuevamente dejamos entrar el aire la vejiga ocupa su volúmen primero.

GASES Y VAPORES.—Aunque ambos son cuerpos al estado gaseoso, se dá generalmente el nombre de *gases* á los que se hallan en este estado á las temperatura y presión ordinarias, y el de *vapores* á los que en este caso son cuerpos sólidos ó líquidos; pero ambos no difieren

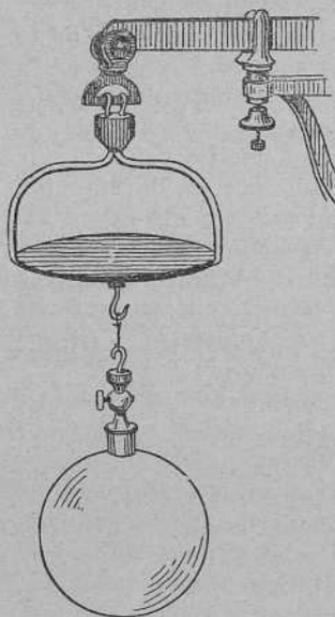


FIGURA 80.—Peso del aire.

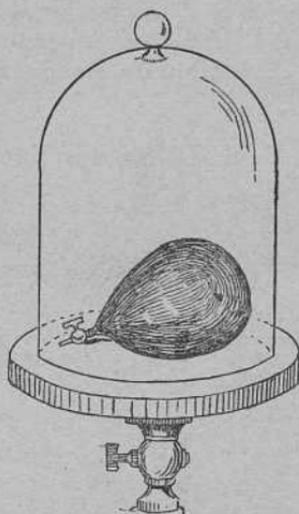


FIGURA 79.—Fuerza expansiva de los gases.

más que por estas circunstancias accidentales.

Pesantez de los gases.—Los gases como todos los cuerpos están dotados de peso.

Otto de Guéricke lo demostró, y hoy se demuestra, con un gran globo de vidrio de unos 4 litros de capacidad, provisto de un tubo, con una buena llave, el cual se puede adaptar á una máquina neumática. Hecho el vacío en el globo, y cerrada su llave de paso, se cuelga de un platillo de una balanza, equilibrando con una tara en el otro platillo. Abriendo después la llave de paso el aire penetra en

el globo, y la balanza se inclina del lado de éste, lo que nos demuestra que el aire es pesado.

Si se añade pesas en el platillo contrario, hasta el equilibrio de la balanza, estas pesas indicarán el peso del aire que entró en el globo, equivalente, cuando se opera con aire seco y á la temperatura de 0 grados y presión ordinaria, á 1'293 gramos por litro.

Principio de Pascal aplicado á los gases.—El principio

de igualdad de presión, como la mayor parte de los principios fundamentales de Hidrostática, pueden ser aplicados á los gases. *La presión ejercida en una superficie se transmite en todas direcciones íntegramente á través de la masa gaseosa.*

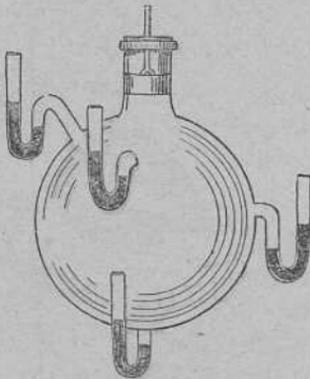


FIGURA 81.—Principio de igualdad de presión.

Para demostrarlo se emplea un aparato semejante al utilizado en Hidrostática, modificado por la adaptación de unos tubos curvos en los que se pone una cantidad de mercurio, igual para todos

ellos. Haciendo una presión con el pistón, el mercurio se eleva por igual en los tubos, porque *la presión se transmite en todos sentidos con igual intensidad.*

Que *la presión es proporcional á la superficie que la recibe* se prueba con un saco de caucho, cerrado, menos por una parte que se adapta á un fuelle. Encima del saco se coloca un disco de madera y sobre él un peso. Inyectando aire con el fuelle, la escasa presión ejercida en la pequeña superficie que representa la sección del tubo de dicho fuelle, transmitiéndose proporcionalmente á una superficie mucho mayor, la del disco, basta para elevar un peso relativamente grande.

Atmósfera.—El Globo Terráqueo está rodeado de una capa gaseosa, la *Atmósfera*, de altura aún no determinada exactamente (100 á 200 kil.^o) constituida por el *aire atmosférico*.

El aire es una mezcla de los gases Oxígeno (20, 81 partes en 100), Nitrógeno (78'14) y Argón (1'05); conteniendo además, independientemente de los anteriores, pequeñas cantidades de Anhidrido carbónico, vapor de agua y otros cuerpos en proporciones aún menores (*Ozono Amoniaco, Carburos de Hidrógeno, corpúsculos inorgánicos, microorganismos, etcétera, etc*)

Presión atmosférica.—El aire, como todos los gases, á la manera de los líquidos, ejerce presiones sobre las paredes de los recipientes que los contienen y sobre los cuerpos en ellos sumergidos.

Pero estas presiones no son las mismas á todas las alturas atmosféricas, pues decrecen con la altitud, porque las capas más elevadas, entre otras causas, soportan un menor peso á causa de ser menores en número las capas de aire que actúan sobre cada una.

Con varias esperiencias sencillas se puede comprobar la existencia de la presión atmosférica.

Cubriendo con un papel la boca de un vaso, lleno completamente de agua, al cual se le vuelve con precaución, se puede retirar las manos que sostenía el papel sin que el agua se caiga, porque la presión atmosférica sostiene fuertemente á aquel cerrando el vaso,

El *Rompevejigas* es un ancho tubo de vidrio, en el que en uno de sus extremos se ata fuertemente un pedazo de vejiga. Adaptando el otro extremo á la máquina neumática, al hacer el vacío en el interior del tubo, la vejiga se deprime de fuera á adentro, hasta que traspasado el límite de su elasticidad, se rompe con detonación, causada por

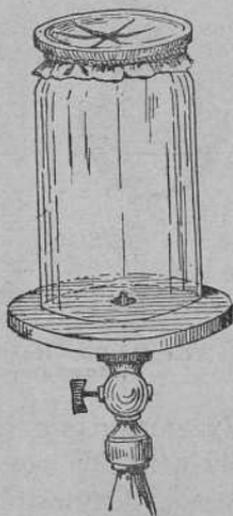


FIGURA 82.
Rompevejigas.



la entrada violenta del aire. Como el que contenía el tubo equilibraba á la presión atmosférica, extraído aquel, es claro, que sólo obraba sobre la vejiga la presión de la atmósfera, que determina su rotura.

Con los *Hemisferios de Magdeburgo* se prueba que la presión atmosférica obra en todos sentidos. Consta de dos hemisferios de latón, huecos, cuyos bordes, provistos de cuero, pueden ajustarse y cerrar herméticamente, untán-

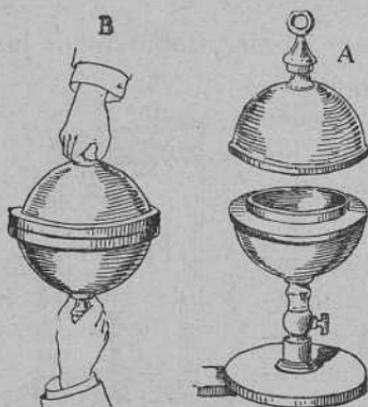


FIGURA 83.—Hemisferios de Magdeburgo.

dolos antes con sebo. Uno de los hemisferios lleva un tubo con llave que puede ser atornillado á la máquina neumática; el otro lleva una anilla. Cuando contienen aire los hemisferios se separan al menor esfuerzo, pero, si en ellos se hace el vacío, la presión atmosférica los mantiene tan unidos que es necesario tirar muy fuertemente para poder separarlos.

Medida de la presión atmosférica.—

EXPERIENCIAS DE TORRICELLI Y PASCAL.—La experiencia realizada por Torricelli, físico italiano, en 1643, no sólo demuestra la presión atmosférica, sino el valor de la misma.

Un tubo de 0'9 centímetros de diámetro y unos 90 centímetros de alto, cerrado por un extremo, se llena completamente de mercurio, teniéndole con el extremo abierto hacia arriba. Cerrándolo con el pulgar, con cuidado para que no quede aire alguno en el tubo, se invierte, sumergiendo la abertura en una cubeta con mercurio, retirando después el dedo. La columna de mercurio desciende, pero se detiene á la altura de unos 76 centímetros próximamente, dejando en la parte superior del tubo un espacio vacío (*Cámara*

barométrica). Torricelli dedujo de esta experiencia que la presión atmosférica equilibraba al peso de la columna de mercurio, y Pascal, después, lo comprobó repitiendo la experiencia con líquidos distintos, habiendo observado que la altura en los tubos, de cada uno de éstos líquidos era inversamente proporcional á su densidad. Habiendo operado con un largo tubo y con vino tinto, este ascendió hasta una altura de 10'42 centímetros, es decir, unas 13'59 veces más que el mercurio, cuya densidad es 13'59. Además realizó diversas experiencias á altitudes distintas, encontrando que cuanto más ascendía sobre el nivel del mar la altura de la columna de mercurio se hacía menor, puesto que habiéndose elevado á capas atmosféricas más altas el peso de ésta tenía que ser menor.

Luego la columna de mercurio está equilibrada por una columna de aire de la misma base, y, evidentemente, del mismo peso.

Si recordamos que en los líquidos las presiones se transmiten proporcionalmente á la superficie que las recibe, considerando el tubo y cubeta de Torricelli como una especie de prensa hidráulica, la presión que ejerce el mercurio se transmite proporcionalmente á la superficie libre de la cubeta, que si tiene 50 centímetros cuadrados, por ejemplo, estará equilibrada con una presión 50 veces

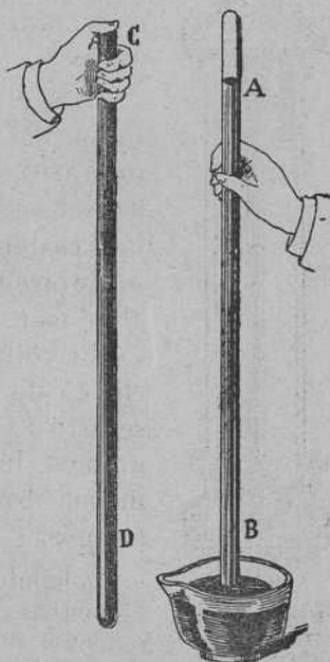


FIGURA 84.—Experiencia de Torricelli.

mayor, es decir, la de la columna atmosférica que se eleva sobre toda ella. Ahora bien, si aquella presión se considera transmitida á una superficie igual, un centímetro cuadrado, por ejemplo, el peso de la columna de mercurio quedará equilibrado con un peso igual al suyo, ó sea con el de una columna de aire que tenga por base una superficie igual á la sección de dicho tubo, es decir, un centímetro cuadrado.

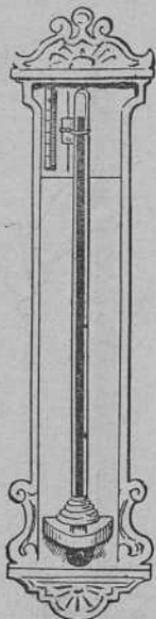


FIGURA 85.
Barómetro
de cubeta.

Conocida la densidad del Mercurio, 13'59, la altura de su columna en el tubo, 76 centímetros, por ejemplo, y la base de ésta, un centímetro cuadrado, fácil es determinar el peso de la columna de aire que la equilibra, que es igual al de ésta.

El volúmen del cilindro de mercurio es de $76 \times 1 = 76$ c. c; su peso será $76 \times 13'59$ (su densidad) = 1.033 gramos, luego la columna de aire de la misma base, tendrá por peso 1.033 gramos.

Un hombre de talla media, presenta próximamente una superficie total de metro y medio cuadrados, por lo que soporta una presión aproximada de 15.500 kilogramos, sin ser aplastado su cuerpo por que los fluidos interiores de su organismo son elásticos y equilibran tan enorme peso.

Barómetros.—Son aparatos destinados á determinar el valor de la presión atmosférica.

Se dividen en *barómetros de mercurio*, y *aneróides*, estos últimos fundados en la elasticidad de los metales sólidos.

Barómetros de mercurio.—**BARÓMETRO DE CUBETA.**—El aparato descrito en el experimento de Torricelli es en realidad un barómetro de cubeta.

Este se construye con un tubo de vidrio de unos 85 centímetros, bien seco, cerrado por uno de sus extremos, en el que se pone mercurio por porciones, que se hierve dentro del tubo cada vez para desalojar el aire y el vapor de agua que pueda contener. Después, con las precauciones sabidas, es sumergido por su extremo abierto, en una cubeta. El todo está adosado á una placa de madera en la que hay una graduación, á lo largo del tubo, en centímetros y milímetros, cuyo 0 corresponde al nivel del mercurio en la cubeta.

Este barómetro presenta varios inconvenientes; es difícil mantener la cámara barométrica libre de aire por completo; los efectos de la capilaridad, dado el escaso diámetro del tubo, pueden inducir á error; cada vez que la columna de mercurio asciende ó desciende, el nivel en la cubeta baja ó sube, y por lo tanto no coincide con el 0. Este inconveniente se obvia en parte haciendo las cubetas muy anchas. Es, además, un barómetro poco transportable.

El BARÓMETRO NORMAL es un barómetro de cubeta, modificado por Regnault, con objeto de evitar los inconvenientes antes dichos. Es un aparato de gran precisión, pero muy pesado, por lo que sólo se puede emplear en los laboratorios ó donde no haya que transportarlo.

BARÓMETRO DE FORTIN.—Es un barómetro fácilmente transportable, en el cual quedan evitadas también las diferencias de nivel en la cubeta. Esta es



FIGURA 86.
Barómetro normal.

cilíndrica, de vidrio, y su fondo, que es de gamuza, puede elevarse ó descender mediante un tornillo, para que el nivel del mercurio alcance el 0 de la escala, indicado por su contacto con una punta de marfil, colocada verticalmente.

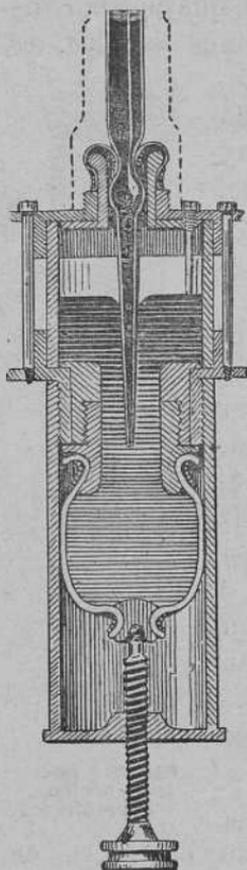


FIGURA 87.—Cubeta del Barómetro de Fortin.

La cubeta está tapada, con un tubo metálico en el centro, por el que pasa el del barómetro; ambos están unidos por una gamuza, para que, impidiéndose toda entrada de aire ó pérdida de mercurio, pueda á través de sus poros ejercerse la presión atmosférica. Un estuche metálico con dos aberturas longitudinales, paralelas, una de las cuales lleva en su borde la escala, dividida en centímetros y milímetros, protege al tubo de vidrio, que por su parte inferior se estrecha sensiblemente. Además, un trípode, que le sir-



FIGURA 88. Barómetro de Fortin.

ve de pie cuando abierto y de estuche cuando está cerrado, completa este útil instrumento. Su transporte es seguro pues, elevando con el tornillo el fondo de la cubeta, el mercurio llena el tubo y la cubeta,

evitando el peligro de rotura por el choque de aquel líquido contra las paredes.

Para tomar la altura barométrica es necesario hacer que coincida el nivel del mercurio con la punta del estilete de marfil: conseguido esto se lee la altura del nivel del tubo en su coincidencia con la escala, á la que acompaña un nonius para hacer más precisa la observación.

BARÓMETRO DE SIFÓN.—El *barómetro de sifón*, modificado por Gay Lussac, está constituido por un tubo en U, el cual en la curva es muy delgado y en las ramas rectas verticales es de un diámetro mucho mayor. Estas ramas son de desigual longitud; la mayor, de unos 80 centímetros y completamente cerrada, la menor cerrada incompletamente, puesto que un pequeño orificio lateral, impidiendo la salida de toda porción de mercurio, basta para que la presión atmosférica pueda actuar sobre la superficie libre del mercurio en esta rama. Puesto ya el mercurio en el tubo, con las precauciones debidas, y colocado el aparato en su posición normal, el nivel de las dos superficies libres en ambas ramas es distinto, por estar la columna mayor equilibrada por la presión atmosférica ejercida sobre la menor.

Como el nivel en una rama no puede elevarse ó descender sin que descienda ó se eleve en la otra, este barómetro lleva una doble escala, en sentido contrario, á partir del 0, situado

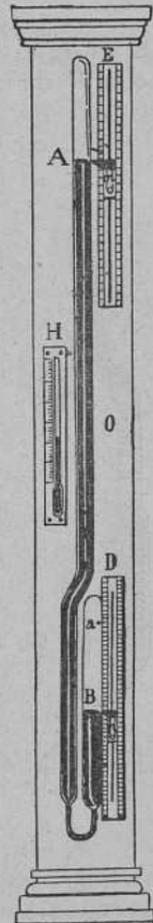


FIGURA 89.
Barómetro de
Gay Lussac.

próximamente hacia la mitad del aparato. La suma de los valores de las distancias verticales entre 0 y los dos niveles A y B, nos dá el valor de la presión atmosférica.

El antiguo barómetro de sifón está constituido por un tubo en U de igual calibre, y abierto completamente por la rama menor, por lo que era muy difícil impedir la entrada de aire en la cámara barométrica.

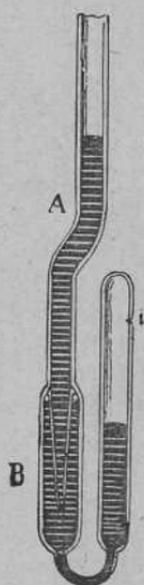


FIGURA 90.
Modificación
de Buntzen.

Buntzen modificó el barómetro de Gay Lussac. Al terminar el tubo delgado, dirigiéndose á la rama mayor, se ensancha, formando como una ampolla, en la cual viene á encajar la extremidad adelgazada de dicha rama mayor. Así, si, por casualidad, el aire entrase en el aparato se acumularía en la bóveda formada por la parte superior de la ampolla, sin inconveniente alguno.

El *Barómetro de cuadrante*, ya casi sin uso, no es más que un barómetro de sifón, en cuya rama corta, abierta, hay en contacto con el mercurio, un flotador sujeto por una cadenita, con un contrapeso pendiente de una polea. Esta tiene una aguja que marca sobre un cuadrante las oscilaciones barométricas por la subida ó bajada del flota-

dor, con el nivel del mercurio, movimientos que se comunican por la cadena á la polea y por tanto á la aguja.

Correcciones barométricas.—La simple lectura de la altura barométrica no basta para obtener resultados exactos, porque sobre ella influyen diversas causas, entre las que debemos citar: la *temperatura* y la *capilaridad*.

Corrección de temperatura.—Como todos los cuerpos, el mercurio aumenta de volumen con el calor, de modo que una columna barométrica alcanzará una mayor altura si la temperatura se eleva. Si una columna de mercurio es

á 0° de 758 milímetros y elevando la temperatura esta alcanza una altura de 761 milímetros, siempre que las demás condiciones de lugar, presión, etc. sean las mismas, podremos comprobar una diferencia de 3 milímetros, no debida á la presión y que, por lo tanto, puede inducir á error. Para evitar esto se emplea fórmulas adecuadas, pero más fácilmente se consigue con el uso de tablas, calculadas de antemano, que acompañan á cada barómetro.

Corrección de capilaridad.—Cuando el diámetro de los tubos barométricos es menor de 2 centímetros, los efectos de la *capilaridad* pueden dar lugar á errores de cierta consideración. La superficie del mercurio forma en aquellos un menisco convexo, y no alcanza además la altura que le correspondería. En la corrección se añade siempre al número obtenido por la lectura directa una cantidad, que se llama *constante*, obtenida por comparación, durante algún tiempo, del barómetro que se considera con otro barómetro normal, ó bien empleando tablas especiales calculadas á este efecto.



FIGURA 91.—Barómetro de Bourdon

Barómetros metálicos.—Para observaciones de no mucha precisión, se suele emplear los barómetros metálicos, más cómodos y transportables que los de mercurio, pero que dan indicaciones menos exactas.

Están fundados en la elasticidad de los metales, y, en esencia, son una caja metálica, herméticamente cerrada, en la cual se ha hecho el vacío, por lo que se les denomina *aneróides*. Las paredes de estas cajas

son muy flexibles y elásticas, y por la presión atmosférica sufren deformaciones, cuya mayor ó menor intensidad nos indica el valor de aquella presión. Están graduados por comparación con un barómetro normal de mercurio.

Como más importantes estudiaremos los siguientes:

BARÓMETRO DE BOURDÓN.—Se compone de un tubo metálico, de paredes elásticas, curvo y de sección elíptica, del cual se ha extraído el aire, cerrándole después. Sujeto por el medio, quedan libres sus dos extremos, unidos por palancas á un sector dentado, cuyos dientes engranan con los de un eje, que lleva una aguja móvil sobre un cuadrante. Cuando la presión atmosférica aumenta el tubo se encorva más, si la presión disminuye la curvatura es menos pronunciada, actuando en ambos casos las palanquitas sobre el sector, éste sobre el eje, moviendo la aguja, que nos marca sobre el cuadrante las indicaciones barométricas.

BARÓMETRO DE VIDL.—Su caja, vacía de aire, es un corto cilindro, cuya superficie superior es acanalada y muy elástica. La presión atmosférica obra sobre ella y aplastaría la caja, sin un resorte interior que obra en sentido contrario. De todos modos, la presión atmosférica produce cambios de posición en dicha superficie, cuyos movimientos trasmite una serie de palanquitas y una cadena metálicas á una aguja, que sobre un cuadrante nos dá las indicaciones del barómetro. Este instrumento es uno de los más perfectos en su género.

BARÓMETRO REGISTRADOR Ó BARÓGRAFO DE RICHARD.—Este aparato, muy útil en Meteorología, está constituido por varias cajas metálicas superpuestas, cuyas flexiones se comunican, amplificadas, por medio de

palancas, á una aguja, cuyo extremo, en forma de pluma siempre con tinta, va marcando gráficamente y de un modo continuo las variaciones de la presión atmosférica, por estar en contacto con un gran cilindro vertical, giratorio, cubierto con papel cuadriculado, cuyas cuadrículas, representan por una parte los días y horas y por otra las distintas presiones.

Aplicaciones del barómetro.

Como hemos dicho, los barómetros sirven para determinar el valor de la presión atmosférica, pero además son aparatos utilísimos para la medición de

alturas, y para la previsión del tiempo probable, en Meteorología.

Sabemos que la presión atmosférica es menor cuanto más elevada es la capa de aire en que se opera, luego la columna barométrica descenderá conforme el barómetro esté situado á una mayor altitud. Para hallar la diferencia de altura entre dos puntos (procurando operar en condiciones análogas) se ha establecido una compleja fórmula, que con las indicaciones del barómetro, puede resolver este problema. En general, puede decirse que la columna barométrica desciende 1 milímetro por cada 10 metros de elevación, siempre que las altitudes sean pequeñas.

Las variaciones que la presión atmosférica sufre en presencia de ciertos fenómenos meteorológicos,

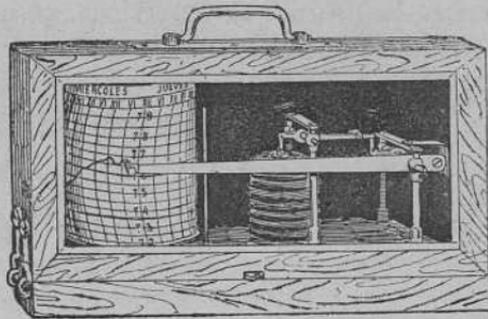


FIGURA 92.—Barómetro registrador de Richard.

hacen que el barómetro pueda, por esta circunstancia, ser empleado en la previsión del tiempo probable, como veremos más adelante en su lugar oportuno. En este sentido las indicaciones barométricas no son siempre exactas, pero sí generalmente; por esto muchos barómetros aneróides llevan en su escala las indicaciones: *Muy seco, fijo, variable, lluvia ó viento y tempestad*, correspondiendo con los números que marcan las alturas barométricas, coincidentes con las variaciones atmosféricas.

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES APLICADO Á LOS GASES

Principio de Arquímedes aplicado á los gases.—

Todo cuerpo sumergido en un gas en equilibrio sufre un empuje de abajo á arriba equivalente al peso del volúmen del gas desalojado por él

Es decir, que, de la misma manera que para los líquidos, parece como que el cuerpo sumergido pierde de su peso una cantidad igual al peso del volúmen del gas desalojado.

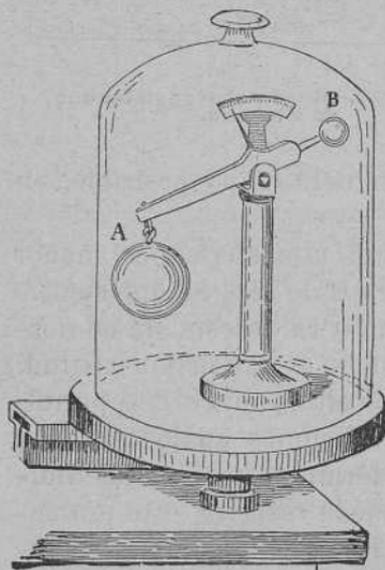


FIGURA 93.—Baroscópio.

Con el *Baroscópio* (figura 93) se puede demostrar la verdad de este principio. Es una balanza sin platillos, de cuya cruz se cuelga en un extremo un gran globo metálico, hueco y,

en el otro una pequeña masa maciza de plomo que equilibra á aquél. Conseguido este equilibrio se introduce el aparato bajo la campana de la máquina neumática y se hace el vacío. La cruz se inclina del lado del globo metálico, lo que nos demuestra que su peso es mayor, y que si en el aire equivalía al peso del plomo era porque desalojando un mayor volúmen de aire sufría un empuje mayor que aquél, es decir, perdía más en peso.

También es concluyente la experiencia directa siguiente: Con un aparato semejante, equilibrados en la cruz de la balanza, en el aire, un gran globo y una pequeña masa de plomo, se introduce este globo en un recipiente abierto que contenga Anhídrido carbónico, gas más denso que el aire; el equilibrio se rompe, y la cruz se inclina hacia la pequeña masa, porque el volúmen del gas desalojado pesa más que el mismo volúmen de aire y, por lo tanto, el globo sumergido en aquel ha perdido más en peso, ó mejor, sufre un empuje de abajo á arriba mayor.

Peso aparente y peso real.— De aquí se deduce que los cuerpos tienen un *peso aparente*, que es el de cuerpo en el aire, y un *peso real*, que sería el del cuerpo pesado en el vacío. En la práctica suele hacerse caso omiso de esta diferencia.

Cuerpos sumergidos en la atmósfera; su equilibrio.— De igual manera que los sólidos sumergidos en los líquidos, si un cuerpo sumergido en la atmósfera es más pesado que el aire, cae en virtud de su peso; si tiene una densidad igual á la del aire se mantiene en equilibrio, porque el peso del cuerpo y el empuje del fluido contrarrestan sus efectos; si el cuerpo es menos denso que el aire asciende hasta que, encontrando una capa atmosférica de la misma densidad que él, queda en equilibrio, flotando, aunque siempre rodeado del fluido.

Globos aerostáticos.— Los *globos aerostáticos*, fabricados con telas ligeras é impermeables, se elevan en la atmósfera porque estando llenos de un gas (*Hidrógeno, Gas del alumbrado*) más ligero que el

aire, desalojan un volúmen de éste mayor en peso que el del globo.

Los primeros, llamados *montgolfieras*, del nombre de sus inventores los hermanos Montgolfier en 1780, estaban contruídos con papel y se llenaban con aire caliente, que es menos denso que el aire á la temperatura ordinaria. Tenían una ancha abertu-

ra inferior, bajo la cual pendía un cestillo con combustible, para mantener la temperatura del interior.

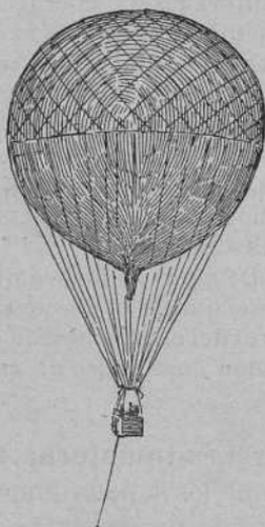


FIGURA 94.—Globo aerostático.

Hoy día, los globos, de forma esférica por lo general, un poco alargados por la parte inferior que es por donde se les llena con Gas del alumbrado, por ser el Hidrógeno muy difusible y caro, están contruídos con capas de tela y caucho, y otras materias, que los hace impermeables casi en absoluto. En la parte superior llevan una válvula que puede abrirse á voluntad, por medio de una cuerda. Están

rodeados de una gran red, de la que pende, por medio de cuerdas, una especie de cesto de mimbre, *barquilla*, donde se acomoda el aeronáuta, con los instrumentos y objetos necesarios durante la ascensión.

Al hinchar un globo se tiene cuidado de no llenarle por completo, pues al disminuir la presión exterior en las capas atmosféricas más altas, aumentando la fuerza elástica del gas del globo, podría

producirse la rotura de sus cubiertas. Además, de este modo se mantiene casi constante la fuerza ascensional, pues, si el aire se enrarece el volumen del gas aumenta y con él el del globo, desalojando un mayor volumen de aire, lo que sostiene el empuje.

Hinchado el globo convenientemente, á la voz de mando, se sueltan las cuerdas que lo retienen en tierra, y éste se eleva, con mayor ó menor rapidez, hasta llegar á una capa de aire en que la densidad de éste y la del *aerostato* con el gas son iguales. Entonces si el aeronauta quiere ascender arroja parte de la arena de los sacos (*lastre*) que á prevención lleva en la barquilla, con lo cual se aminora el peso y se rompe aquel equilibrio. Para descender abre la válvula dejando escapar una cantidad de gas, con esto el globo se reduce de volumen y disminuye naturalmente el peso del volumen del aire desalojado.

El barómetro y otros instrumentos son indispensables para saber á ciertas alturas, en que no hay puntos próximos de referencia, si el globo sube ó baja y, además, para medir aquellas. También debe llevarse, aparte de los víveres necesarios, la *cuerda freno*, *anclas*, etc., para el descenso.

Estos globos, cuando sus ascensiones no son libres, sino que permanecen sujetos por un largo cable á la tierra, se denominan *globos cautivos*; cuando, cautivos por lo general, se elevan sin aeronautas, pero con instrumentos registradores, para observaciones científicas en altas regiones de la atmósfera toman el nombre de *globos sondas*.

Globos dirigibles.—En un globo como los descritos la dirección de su marcha no depende de la voluntad del hombre; podrá, elevándose ó descendiendo, buscar corrientes favorables, pero no puede

seguir en todos los momentos una dirección determinada. Por esto se ha pensado y se trabaja constantemente en poder dotar al globo de mecanismos especiales que le hagan navegar en el aire, como un barco sobre las aguas, con el rumbo deseado.

Las primeras pruebas serias y de resultados aceptables fueron las de Renard y Krebs en 1884, y muy posteriormente, de 1901 hasta hoy, las de Santos Dumont, Lebaudy y otros, con éxitos muy satisfactorios, que son un gran paso para la solución de tan importante problema, pues han podido evolucionar

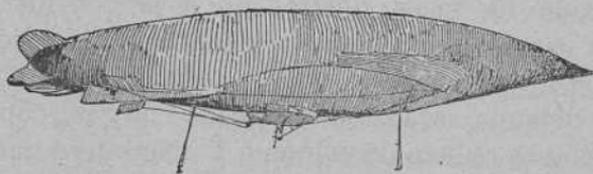


FIGURA 95.—Globo dirigible «Patrie».

en la atmósfera con tiempo tranquilo, volviendo al punto de partida, después de haber recorrido algunos kilómetros. Sin embargo, dicho problema no puede considerarse como definitivamente resuelto.

La forma que se dá á estos globos dirigibles suele ser alargada, á modo de inmenso cigarro puro, y el movimiento se obtiene por un órgano propulsor, muy ligero y de mucha fuerza, con una ó varias grandes hélices. Un amplio timón sirve para determinar la dirección.

Aplicaciones de los globos.—Son muy importantes, pues con ellos se ha podido explorar elevadas capas atmosféricas, en su composición, presión, temperatura, estado higrométrico, etc. Para esto suelen emplearse los globos sondas. En la guerra son

utilizados (los globos cautivos principalmente) para cerciorarse de la posición y movimientos del enemigo. Hoy son también un deporte muy en boga, y ciertas ascensiones constituyen un espectáculo público.

FUERZA ELÁSTICA DE LOS GASES

Ley de Mariotte.—*A una temperatura constante, los volúmenes ocupados por una masa determinada de un gas son inversamente proporcionales á las presiones á que está sometida.*

Experimentalmente (fig. 96) se demuestra esta ley con el tubo de Mariotte, que es un tubo de vidrio, en U, de ramas desiguales, de las que la más corta está cerrada; al lado de cada una hay una escala, sobre el tablero vertical, al cual está fijo el tubo. Se echa mercurio hasta que las dos ramas alcancen el mismo nivel (I); entonces es indudable que el volumen del gas encerrado está sometido á la presión atmosférica, que obra sobre el mercurio en la rama mayor. Añadiendo ahora mercurio hasta que el volumen de aire se reduzca á la mitad (II), veremos al conseguirlo, que la columna de mercurio C A medida desde el nivel C de la rama corta, equivale á la altura barométrica, es decir, á la presión de una atmósfera, á la que hay que añadir la presión atmosférica que actúa sobre dicha columna. Luego para reducir á la mitad de volumen aquella masa de aire ha sido precisa una presión doble. Si el aire se hubiese reducido á un tercio se hubiera necesitado una presión triple.

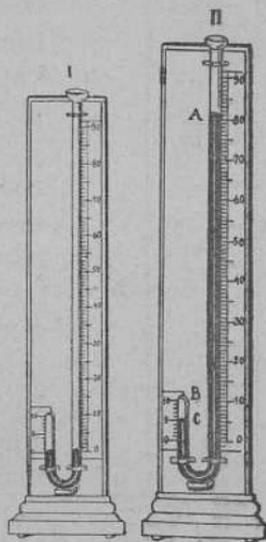


FIGURA 96.—Tubo de Mariotte.



Para demostrar esta ley á presiones menores que la atmosférica se emplea el *barómetro de cubeta profunda*, con el cual se obtienen resultados semejantes, aunque operando de distinto modo.

La ley de Mariotte, que no es exacta en absoluto, aunque sí muy aproximada á la verdad, es aplicable á todos los gases, siempre que sobre ellos no se ejerzan elevada presiones, que podrían liquidar á algunos de ellos.

Manómetros.—Son aparatos destinados á medir la presión ó fuerza elástica de los gases ó de los vapores contenidos en un recipiente cerrado.

A tres tipos principales pueden reducirse: *Manómetros de aire libre*, *manómetros de aire comprimido*, y *manómetros metálicos*.

MANÓMETRO DE AIRE LIBRE, (figura 97).—Está constituido por un tubo de vidrio, curvo, con mercurio, y abierto por los dos extremos, uno de los cuales está en comunicación con el recipiente R que contiene el gas y el otro con el aire. Cuando la presión del gas ó del vapor es igual á la atmosférica, el nivel del mercurio en las dos ramas está á la misma altura, pero si aquella presión aumenta ó disminuye, el mercurio sube ó des-

ciende en la rama externa. La diferencia entre los niveles de ambas ramas indica la diferencia de presiones entre el aire y el gas. Así, si la diferencia entre los niveles fuese de 76 centímetros, teniendo 1

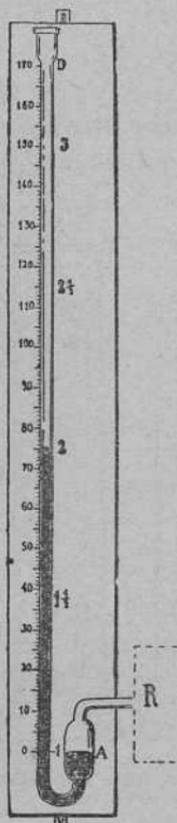


FIGURA 97.
Manómetro de
aire libre.

centímetro cuadrado la sección del tubo, la presión del gas sería de dos atmósferas: la correspondiente á la columna de mercurio y la atmosférica que actúa sobre ella.

Para medir débiles presiones, se emplea manómetros de aire con otros líquidos, que siendo menos densos que el mercurio no emitan vapores á la temperatura ordinaria, el Ácido sulfúrico, por ej. Estos manómetros son más sensibles.

En otros manómetros de aire libre (figura 98) el tubo b es recto, abierto por ambos extremos también, y entra en una cubeta herméticamente cerrada, menos por un tubo a, en comunicación con el recipiente. El gas actúa sobre la superficie del mercurio en la cubeta, y, se comprende, que si la presión del gas es igual á la atmosférica, el nivel del mercurio en este y en el interior del tubo será el mismo.

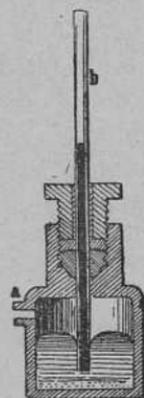


FIGURA 98.
Manómetro de
aire libre.

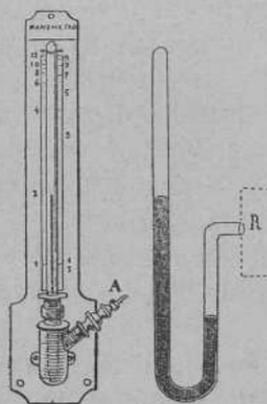


FIGURA 99.—Manómetros
de aire comprimido.

Los manómetros de aire libre son los más exactos, pero son poco usados por necesitarse tubos muy largos, no pudiendo medir sino débiles presiones.

MANÓMETROS DE AIRE COMPRIMIDO.—Evitan estos inconvenientes, pero tampoco tienen grandes usos industriales, porque la lectura de su graduación, expuesta á errores, se hace difícil cuando las presiones son grandes. Un tubo encorvado, cerrado por un extremo y en comunicación por el otro con el recipiente del

gas ó vapor, contiene una cantidad de mercurio, que confina en la rama cerrada á un volúmen de aire bien seco. La presión de éste es igual á la atmosférica cuando el nivel del mercurio alcanza la misma altura en las dos ramas; pero si la presión del gas de la caldera ó recipiente aumenta, el mercurio sube en la rama cerrada, pero cada vez en menor escala, porque el aire comprimido opondrá cada vez una mayor

resistencia al empuje del mercurio, accionado por la fuerza elástica del gas, (fig. 99, derecha).

En otros el tubo es recto y está ajustado por su parte abierta á una cubeta herméticamente cerrada y muy resistente, en comunicación con el recipiente que contiene el gas. Este actúa sobre la superficie del mercurio de dicha cubeta y el líquido sube por

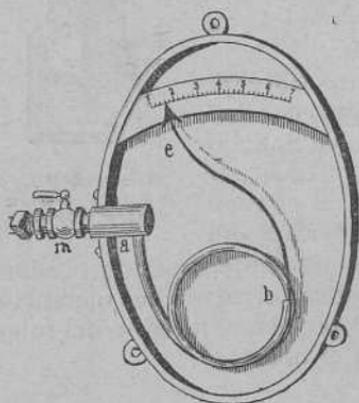


FIGURA 100.—Manómetro de Bourdon.

el tubo, cuyo extremo abierto está sumergido casi hasta el fondo de aquella, (fig. 99, izquierda).

MANÓMETROS METÁLICOS.—Son los más usados en la Industria, por su tamaño reducido, claridad en sus indicaciones y resistencia.

MANÓMETRO DE BOURDON.—Parecido al barómetro del mismo autor, se compone de un tubo metálico en espiral, cerrado por uno de sus extremos, libre y con una palanca que mueve una aguja que recorre un cuadrante. El otro extremo, abierto, está adosado á un tubo con llave *m* que se adapta á la caldera ó recipiente donde están contenidos el gas ó vapor, cuya

presión se trata de saber. Según ésta sea mayor ó menor obliga al tubo á deformarse más ó menos, determinando con el movimiento de la aguja, que marcará el valor de dicha presión sobre el cuadrante. Este está graduado por comparación con uno de aire libre.

Unidades de medida de las presiones.—Las presiones de los gases se miden en la Industria por *atmósferas*, valiendo cada una la presión equivalente á la atmosférica, es decir 1.033 gramos. Así cuando decimos que, la presión en una caldera es de 5 atmósferas, afirmamos que en cada centímetro cuadrado se ejerce una presión igual á $1.033 \times 5 = 5$ kilogramos, 165 gramos.

Actualmente el uso de esta unidad va decayendo, siendo reemplazada por el *kilogramo*, de modo que, la presión es de 6 kilogramos cuando cada centímetro cuadrado del recipiente que contiene el gas, soporta un empuje equivalente al peso de 6 kilogramos.

APARATOS FUNDADOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Bombas.—Son aparatos empleados para elevar líquidos, el agua generalmente, desde un depósito.

A tres tipos pueden ser reducidas las diversas clases de bombas: *Bomba aspirante*, *bomba impelente* y *bomba aspirante impelente*.

BOMBA ASPIRANTE.—Está constituida por un cilindro hueco B, *cuerpo de bomba*, que comunica con el depósito del líquido, por un *tubo vertical de aspiración*, cuyo extremo superior está unido al fondo del cuerpo de bomba, en cuyo orificio hay una

válvula V, especie de tapón movable, que se abre por una presión de abajo á arriba. En la parte alta y lateral del cuerpo de bomba hay un tubo corto *C*, por el que tendrá salida el agua. Un *émbolo* ó *pistón P*, cilíndrico, recubierto de cuero ó cáñamo, del diámetro

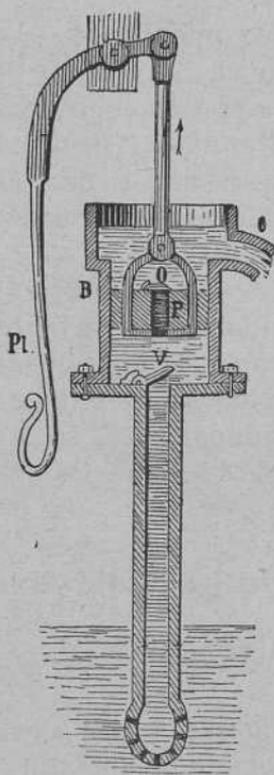


FIGURA 101.—Bomba aspirante.

interior del cuerpo de bomba, sube ó baja en éste, sujeto por un vástago accionado por una palanca exterior, *Pl*. El pistón lleva en su centro uno ó dos orificios, con válvulas *O*, que se abren también de abajo á arriba.

El funcionamiento de esta bomba se comprende fácilmente. Considerando el pistón en la parte más baja del cuerpo de bomba, al actuar sobre la palanca, el pistón se eleva, el aire se enrarece, por ocupar un mayor espacio, y la válvula del tubo de aspiración se abre empujada por el aire que se contenía en este tubo y equilibraba á la presión atmosférica, la cual obra en la superficie del líquido en el depósito, y eleva el agua en el tubo de aspiración.

Al bajar el pistón el aire del cuerpo de bomba se comprime, abriendo las válvulas *O* de éste, por las que se escapa, y cerrando la del tubo de aspiración *V*. Vuelve á subir el pistón; sus válvulas se cierran, y del mismo modo que antes, otra nueva cantidad de aire del tubo de aspiración entra

en el cuerpo de bomba y el agua se eleva más en aquel, hasta que por la repetición de estos movimientos del pistón, el agua, ocupando todo el tubo, llega al cuerpo de bomba y penetra por la válvula V. El pistón descende; esta válvula se cierra por la presión del agua y, por la misma, se abren las válvulas del pistón, el agua pasa por ellas á ocupar la parte superior de dicho pistón, que al subir, eleva con él el líquido y lo vierte por el caño lateral.

Como el agua se eleva por efecto de la presión atmosférica, no es indiferente la longitud del tubo de aspiración, pues aquella no ascenderá más que hasta una altura (10 m. 33 cents.) en que el peso de la columna líquida equivalga á dicha presión. Según el experimento de Pascal, el agua debería ascender en las bombas aspirantes á una altura de unos 10 metros; no sucede así en la práctica, pues el roce del agua contra las paredes y las imperfecciones de la construcción, que impiden hacer un vacío perfecto, se oponen á que alcance una altura mayor de 8 metros, por lo general.

BOMBA IMPELENTE.—Carece de tubo de aspiración, por cuanto el cuerpo de bomba B con válvula V, que se abre de fuera á adentro, está sumergido en parte en el depósito; el pistón P no tiene válvula alguna, y en la parte baja y lateral del cuerpo de bomba

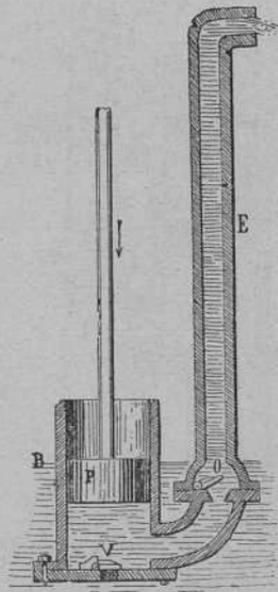


FIGURA 102.—Bomba impelente.

arranca un tubo elevador E, con una válvula O, que se abre de dentro á fuera.

Si consideremos el pistón en la parte superior del cuerpo de bomba, cuando desciende ejerce una presión sobre el agua bajo él contenida, presión que transmitida á la válvula del tubo elevador la hace abrirse, pasando el agua á éste. Cuando el pistón ha bajado por completo, el agua del tubo E, por su peso, cierra la válvula. En el ascenso del pistón la válvula V se abre para dar paso al líquido, que la empuja de abajo á arriba, y ocupa el cuerpo de bomba; pero en el nuevo descenso vuelve á cerrarse aquella válvula, al par que se abre nuevamente la del tubo, en el que se eleva una nueva cantidad de agua.

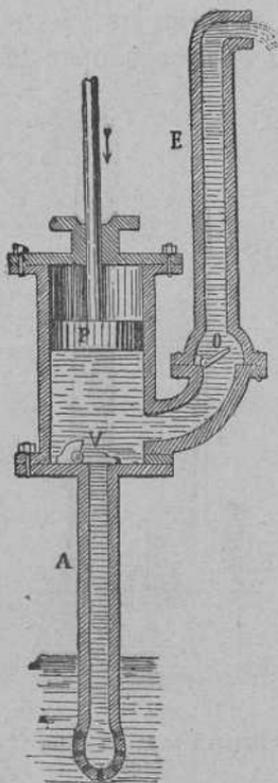


FIGURA 103.—Bomba aspirante impelente.

De este modo, por sucesivos golpes de émbolo puede llegarse á la altura que se quiera, siempre que se disponga de la fuerza necesaria para ello.

BOMBA ASPIRANTE IMPELENTE.—Es una bomba mixta, con un sólo cuerpo de bomba y un pistón P, sin válvulas, que cuando asciende obra como en las bombas aspirantes y cuando baja como en las impelentes. Por esta razón lleva en el fondo un tubo aspirador A, con su válvula V, abriéndose de fuera á adentro, y lateralmente un

tubo elevador E, con su válvula O, que se abre de dentro á fuera.

Esta bomba es más perfecta que las anteriores, pero, como en ellas, aunque en menor grado, el chorro no es continuo. Para obviar estos inconvenientes se ha ideado diversas disposiciones.

BOMBA DE DOBLE EFECTO.—Consta de un solo cuerpo de bomba con cua-

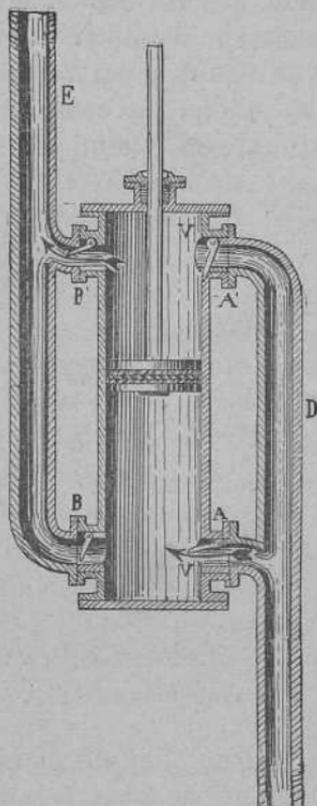


FIGURA 104.—Bomba de doble efecto.

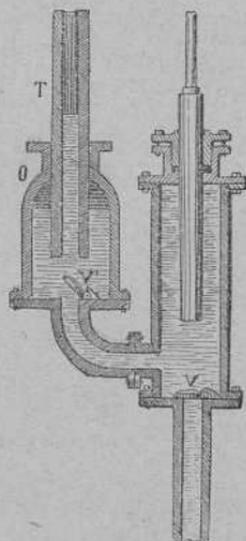


FIGURA 105.—Depósito de aire.

tro tubos A A' y B B', de los que cada dos constituyen un solo tubo, uno D aspirador y otro E elevador. Las válvulas del aspirador se abren de fuera á adentro del cuerpo de bomba, las del tubo elevador de dentro á fuera. Cuando el pistón se eleva el agua penetra por A y B'; cuando desciende, cerrándose

estas válvulas y abriéndose las de B y A', el líquido pasa por ellas, obteniéndose de este modo un chorro casi continuo.

Depósito de aire.—Consiste en un depósito adicional, *depósito de aire*, cerrado, al cual llega el agua de la bomba por un tubo de mayor diámetro que el del tubo T de salida. El aire que ocupa la parte superior del depósito, por no tener escape, se comprime y ejerce una presión continua, en virtud de su

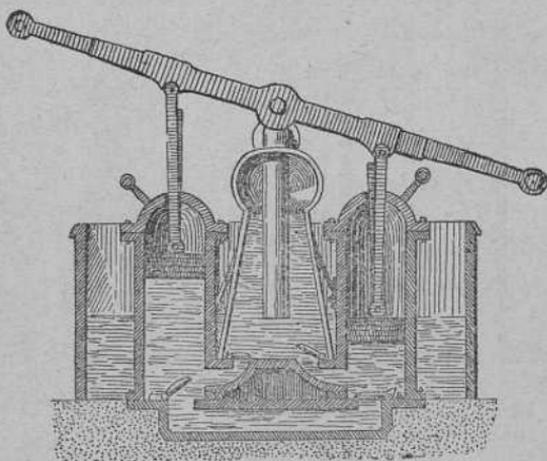


FIGURA 106.—Bomba contra incendios.

fuerza elástica, sobre la superficie del líquido, dando lugar á la salida regular y constante de éste.

BOMBA CONTRA INCENDIOS.—Es una doble bomba impelente, de dos cuerpos, sumergidos en un depósito al que llega el agua. Los dos pistones se mueven alternadamente por medio de un balancín, de modo que cuando uno se eleva, desciende el otro impeliendo el agua de un modo casi continuo á un depósito de aire, donde por la fuerza expansiva de éste se regula la salida del líquido. Si no existiese este

depósito la salida se detendría un instante, cada vez que los pistones cambiasen de sentido en su marcha.

BOMBAS CENTRÍFUGAS.—En el día, para usos industriales, se emplea las bombas centrífugas con gran ventaja en muchas ocasiones, por su continuidad, por extraer grandes cantidades de los líquidos y poder enviarlos á gran distancia, y porque en ellas se aplica con facilidad la misma fuerza motriz de la fábrica. Estas bombas no tienen pistón, el cual está reemplazado por una rueda de paletas curvas, que al girar con velocidad produce un vacío en el centro, que determina la subida del líquido por la presión atmosférica, siendo después lanzado mediante el impulso de las paletas por un tubo elevador y de salida.

Aplicaciones de las bombas.—Es imposible enumerarlas todas: son empleadas para subir el agua de los pozos, riego de jardines, elevación de agua á los depósitos altos de las casas, extinción de incendios, transporte de líquidos diversos en las fábricas, agotamiento de agua en los barcos, minas y construcciones, etc., etc. Debiendo advertir que en muchas ocasiones funcionan varias bombas, combinadas de trecho en trecho, para poder alcanzar una mayor altura, por la disposición de aquellas, ú obtener un mayor rendimiento, etc., etc.

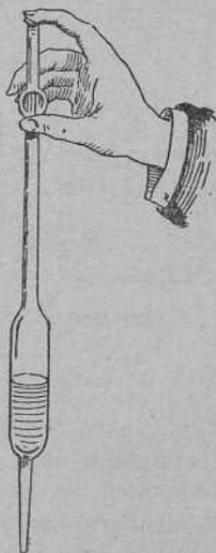


FIGURA 107.—Pipeta.

Pipeta.—Es un tubo adelgazado por un extremo y abierto por ambos. Si se introduce en un líquido por el lado estrecho, éste penetra en el tubo hasta alcanzar un

nivel igual al exterior; cerrando con el dedo pulgar el extremo no sumergido puede retirarse una cantidad del líquido sin que se vierta, por efecto de la presión atmosférica. Ahora bien, si destapamos, quitando el dedo, la presión atmosférica obrando sobre el líquido, y añadida al peso de este, determina su caída.

Sifones.—Son tubos encorvados, de ramas desiguales, empleados para trasvasar los líquidos; como vinos, alcoholes, ácidos, legías, etc.

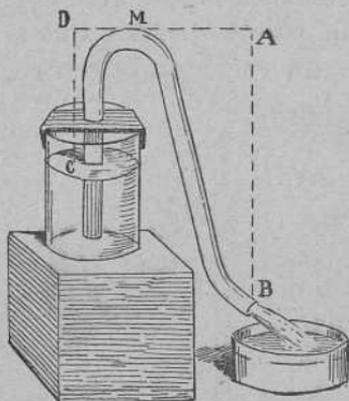


FIGURA 108.—Sifón.

A este efecto se sumerge la rama más corta en el agua, y se hace una aspiración en el extremo de la rama larga, produciéndose un vacío que llena el líquido, porque la presión atmosférica le obliga a elevarse. Llenas ya las dos ramas del tubo, se deja abierta la mayor y la columna líquida cae por su

peso, arrastrando consigo una columna continua de líquido.

La presión atmosférica actúa al mismo tiempo sobre las ramas menor y mayor; pero esta presión en la rama menor será igual a la presión atmosférica disminuida en el peso de la columna líquida CD de dicha rama; en la rama mayor la presión será igual a la presión atmosférica disminuida en el peso de su columna líquida AB, y como es evidente que la columna líquida de esta rama es mayor en peso que la de la rama menor, de aquí que en esta sea más grande la presión atmosférica, lo que determina la salida continua del líquido.

No es siempre necesario hacer la aspiración antes dicha; con sifones de poco tamaño, basta llenarlos

del líquido y, cerrando sus extremos, sumergir la rama corta en el depósito. Cuando los líquidos puedan dañar al operador se emplea sifones con un tubo lateral, por el cual se hace la aspiración sin peligro, teniendo cuidado de cerrar, hasta el momento oportuno, el extremo de la rama larga. Si el diámetro del sifón fuese muy grande es preciso tener sumergidos los dos extremos, si no el aire entraría por la rama libre impidiendo la trasvasación del líquido.

Aplicaciones del sifón.—En el Comercio y la Industria se usa con gran frecuencia para trasvasar los líquidos, vinos, aguardientes, etc.; en las grandes construcciones hidráulicas sirven para variar el curso de los ríos ó vaciar las aguas embalsadas; en los laborato-

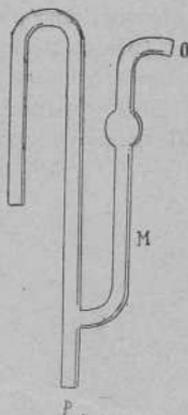


FIGURA 109.
Sifón para
líquidos
perjudiciales.

rios, en las Artes industriales, etc., tienen aplicaciones corrientes.



FIGURA 110.—Fuente
intermitente

Fuentes intermitentes naturales.—La naturaleza nos presenta con frecuencia notables ejemplos de estas fuentes, que manan sólo en determinadas épocas. Están formadas por una cavidad C en comunicación con el exterior por

una hendidura, á modo de tubo encorvado A B D, que es en realidad un sifón (fig. 110). El agua de infiltración se encuentra en el depósito y cuando, por efecto de las lluvias, el nivel llega á la parte más alta de la curva B del tubo, el sifón funciona y vacía el agua del depósito hasta que el extremo A queda descubierto. Entonces la fuente

deja de manar, hasta que el agua dentro de la cavidad se halle en las condiciones ya indicadas. De aquí la periodicidad é intermitencia de la salida del agua.

Frasco de Mariotte.—Es un frasco con llave lateral inferior, cerrado en su boca por un tapón, atravesado por un tubo abierto por ambos extremos, de los que el inferior está sumergido en el líquido. Su objeto es obtener la salida continua de éste. Abriendo la llave, el líquido sale, al mismo tiempo que el nivel del contenido en el tubo baja por la presión atmosférica, hasta que, al llegar al extremo, comienza la entrada del aire, en burbujas, acumulándose en la parte superior del frasco. La salida es continua porque la presión atmosférica se ejerce constantemente en el extremo inferior del tubo y por lo tanto la diferencia de nivel entre éste y el orificio de salida es siempre la misma, hasta que quede descubierto el tubo. En este caso el agua sale como en un frasco cualquiera.

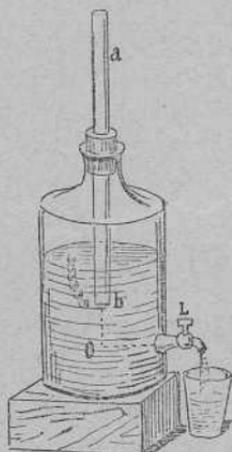


FIGURA 111.—Frasco de Mariotte.

Máquina neumática.—Las máquinas neumáticas son aparatos destinados á extraer los gases de un recipiente.

Las modificaciones que han experimentado desde su invención, por Otto de Guericke en 1650, han sido tantas que, para la mejor comprensión de su mecanismo y modo de funcionar, nos referiremos á la máquina neumática primitiva.

MÁQUINA NEUMÁTICA PRIMITIVA.—Es una verdadera *bomba aspirante de aire*. Consta de un cuerpo de bomba C en comunicación con un tubo T, doblemente acodado en ángulo recto, con un recipiente R á él adaptado. El pistón P del cuerpo de bomba ajusta perfectamente y posee un orificio con una válvula V', que puede abrirse de abajo á arriba. En la base del

cuerpo de bomba, en el arranque del tubo, existe una válvula *V*, que se abre también en el mismo sentido.

Supongamos que el pistón se halla en la parte inferior del cuerpo de bomba: al elevarlo, por una tracción ejercida en el puño del vástago que mueve á aquel, la presión atmosférica mantiene cerrada su válvula, al paso que por el enrarecimiento, por ocupar un mayor espacio, del aire contenido entre el pistón y la base del cuerpo de bomba, la fuerza elástica del que se encuentra en el recipiente y el tubo, levanta la válvula *V*, penetrando parte del aire en el citado cuerpo de bomba. El pistón desciende; entonces comprime á este aire, que comunica una presión á la válvula inferior *V* cerrándola, y adquiere la fuerza expansiva

suficiente para abrir la válvula del pistón *V* escapando en gran parte por ella. Repitiendo sucesivamente estos movimientos, cada vez que el pistón baja será expulsada una nueva cantidad de aire y se conseguirá un mayor enrarecimiento en el recipiente.

Es imposible en ésta, ni en otra máquina neumática, hacer un vacío perfecto y absoluto, puesto que á cada golpe de pistón el aire contenido en el recipiente no hace más que dividirse entre éste y el cuerpo de bomba. Además, por muy bien construída que la máquina esté, siempre queda entre la cara inferior del pistón y el fondo del cuerpo de bomba un

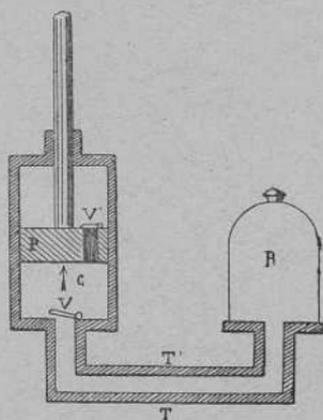


FIGURA 112.—Máquina neumática.

espacio perjudicial, que impide la salida completa del aire contenido en dicho cuerpo de bomba.

Los inconvenientes de ésta máquina neumática son grandes: sus piezas no ajustan con toda exactitud; además cuando el enrarecimiento del aire es considerable llega un momento en que su fuerza elástica no es bastante para elevar las válvulas. Por otra parte, á medida que esta fuerza elástica disminuye la atmósfera ejerce una mayor presión sobre la

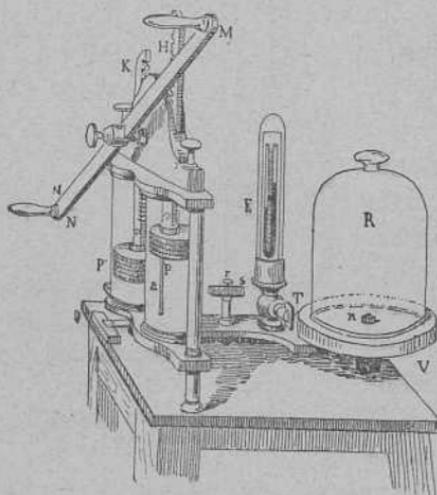


FIGURA 113.—Máquina neumática de dos cuerpos de bomba.

MÁQUINA NEUMÁTICA DE DOS CUERPOS DE BOMBA.—Dos cuerpos de bomba, paralelos, de cristal, se unen por su parte inferior, cada uno por medio de un tubito, con un tubo único, que, en comunicación primero con el *barómetro truncado*, termina en un plano horizontal de cristal, *platina*, sobre el que se ha de colocar una campana, destinada á hacer en ella el vacío, y cuyos bordes se adaptan con toda perfección á la platina. En el final del tubo, situado en el centro de ésta pueden ser adaptados también, á tornillo, otros recipientes.

Cada cuerpo tiene un pistón con un vástago de cremallera K y H, cuyos dientes engranan con una rueda

superficie externa del pistón, por lo que tiene que aumentarse, en la misma proporción, el esfuerzo necesario para vencer una resistencia que, al final, puede equivaler próximamente á tantos kilogramos como centímetros cuadrados tenga aquella superficie.

MÁQUINA NEUMÁTICA DE DOS CUERPOS DE BOMBA

dentada X, movida por una manivela M N, comunicando este movimiento á los vástagos, de modo que cuando un pistón sube el otro baja. Así, la presión atmosférica que actúa sobre los pistones, al actuar sobre el que baja, equilibra la presión que ejerce sobre el que sube.

Estos pistones, formados por roldanas de cuero engrasadas, firmemente unidas por dos discos de latón de un diá-

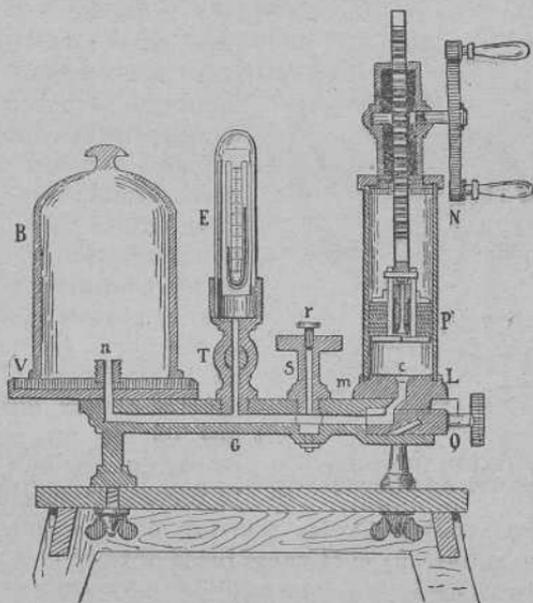


FIGURA 114.—Sección de una máquina neumática de dos cuerpos de bomba.

metro algo menor que aquellos, llevan un orificio, con una válvula cónica, que se abre de abajo á arriba.

Las válvulas de la base del cuerpo de bomba funcionan automáticamente, pues cada una está al extremo de una varilla vertical, que atraviesa al pistón, y puede deslizarse en él con duro rozamiento. Así, cuando un pistón asciende, la válvula se abre porque la varilla sube con aquél, aunque muy poco porque el otro extremo de ella choca en seguida con la parte superior del cuerpo de bomba. Cuando el pistón desciende la válvula se cierra. En

ambos casos, al ser detenida la varilla resbala á través del pistón sin impedirle sus movimientos.

El *barómetro truncado*, es un tubo en U, con una rama cerrada, de unos 20 centímetros de altura, fijo sobre una escala dividida en milímetros. En éste se ha introducido mercurio como en un barómetro de sifón. Todo está contenido en una campana ó probeta de vidrio, muy resistente, que comunica mediante una llave T con el tubo de aspiración.

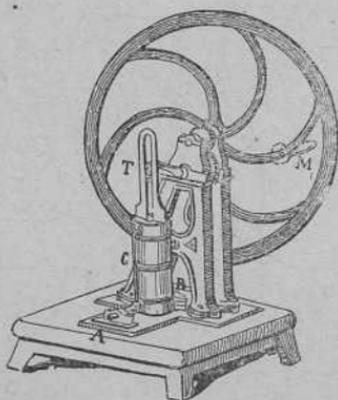


FIGURA 115. — Máquina neumática de Bianchi.

Cuando no se ha enrarecido el aire de la campana su fuerza elástica mantiene al mercurio ocupando toda la rama cerrada; pero á medida que el enrarecimiento se obtiene, disminuyendo aquella fuerza elástica, y no siendo suficiente para equilibrar el peso de la columna de mercurio, éste desciende. Las diferencias de los niveles en las dos ramas nos dá, en un momento determinado, el valor de la fuerza elástica del aire

enrarecido. Ambos niveles estarían en el mismo plano (0 de la graduación) si el vacío fuese absoluto.

En el tubo de aspiración, una llave S permite establecer ó interrumpir la comunicación entre el cuerpo de bomba y la platina. Otra llave especial, llamada de *Babinet*, ingeniosamente concebida, permite llevar el enrarecimiento del aire á un grado mayor, pues al final de la operación, por medio de dicha llave, mientras un solo pistón extrae el aire del recipiente, el otro aspira el aire que entra en el cuerpo de bomba del primero.

Existen otras máquinas neumáticas de pistón, aún más perfeccionadas que las anteriores, como la de Bianchi, de un solo cuerpo de bomba, metálico, de doble efecto, cuyo pistón, en consecuencia, opera el enrarecimiento al elevarse y descender, estando movido por un volante, dotado de un manubrio. Con esta máquina se consigue un vacío más perfecto en menos tiempo.

Las condiciones de este libro nos vedan describir ésta y otras máquinas neumáticas con mayor detenimiento.

MÁQUINAS NEUMÁTICAS DE MERCURIO.—Con estas máquinas, en cuya descripción no podemos entrar, se obtiene un vacío más perfecto que con las anteriores, hasta de 0.1 milímetro, pues el pistón está reemplazado por una columna de mercurio, desapareciendo por lo tanto todo espacio perjudicial. Están fundadas en poner en comunicación el recipiente de donde se ha de extraer el gas con la cámara barométrica de un tubo, semejante al del barómetro de mercurio; la columna de éste baja, arrastrando al tubo parte del gas. Si se vuelve á poner en las mismas condiciones el aparato es indudable, que volverá á extraer una nueva cantidad de gas, y el enrarecimiento será cada vez mayor. Sin embargo, el funcionamiento de estas máquinas es lento, por lo que sólo se emplean para llevar al último límite posible el enrarecimiento de un gas ya enrarecido por una máquina neumática de émbolo.

Trompas.—TROMPA DE AIRE.

Las trompas son máquinas neumáticas en las cuales el vacío se obtiene mediante la aspiración producida por una corriente de un líquido en un tubo.

La *Trompa de agua* está constituida por dos tubos A y B del mismo diámetro y terminados en tronco de cono, por cuyas partes menores se corresponden, quedando entre ambos un pequeño trecho. Estas partes cónicas están contenidas en una especie de ampolla, *cámara de aire*, cerrada, menos por el tubo D, que comunica con el recipiente en el que se pretende hacer el vacío. El tubo A recibe el agua bajo presión y se precipita en a sobre el tubo B, produciéndose en la cámara de aire una enérgica aspiración, que arrastra el aire en ella contenido por el

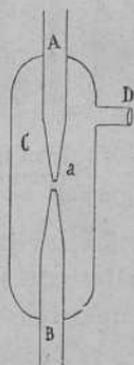


FIGURA 116.
Trompa
de agua.

tubo B, con el líquido, y se extiende al gas contenido en el recipiente.

TROMPA DE MERCURIO.—En las trompas de mercurio, (fig. 117) se obtiene un vacío muy perfecto, pues el líquido cae gota á gota en la cámara C que está en comunicación por R con el recipiente en que se ha de enrarecer el gas. Cada gota arrastra tras sí en el tubo E una pequeña cantidad de gas, que aprisiona la siguiente, saliendo al exterior al llegar á la cubeta H. Por esta lenta y sucesiva extracción de pequeñas cantidades del gas se logra obtener vacíos más completos que con las máquinas de mercurio.

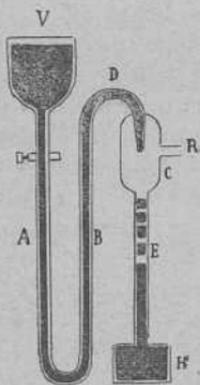


FIGURA 117.
Trompa
de mercurio.

Experiencias y aplicaciones.

— En el curso de estas lecciones hemos tenido que referirnos á la máquina neumática en diversas experiencias, como en las demostraciones de la porosidad (*lluvia de Diana*), caída de los cuerpos (*tubo de Newton*), fuerza elástica de los gases (*vejiga en el vacío*), presión atmosférica (*rompevejigas, hemisferios de Magdeburgo*), etc., etcétera. Se puede demostrar la

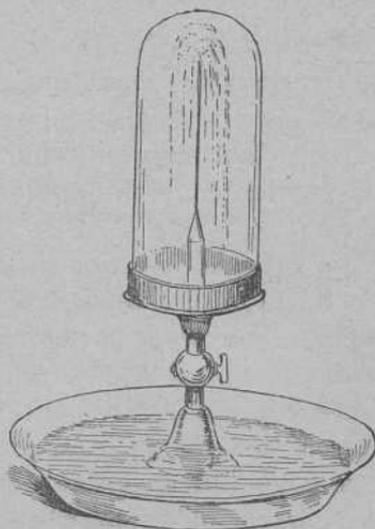


FIGURA 118.—Fuente en el vacío.

Se puede demostrar la

necesidad del aire para la vida, colocando un pajarrillo, bajo la campana de la máquina neumática; cuando el enrarecimiento se hace, el animal cae exánime y perece. Colocando una bujía encendida, en las mismas condiciones, se apaga al hacer el vacío por ser indispensable el Oxígeno del aire para la combustión. La *fente en el vacío* se obtiene enrareciendo el aire del recipiente representado en la figura 118; conseguido esto, se separa de la platina, después de haber cerrado la llave, y se coloca en una vasija con agua, ábrese nuevamente la llave y el agua sube en surtidor en el vacío por la presión atmosférica que sobre la superficie del líquido de la vasija se ejerce

Otras muchas experiencias podríamos citar, además de las que tendremos aún que poner de manifiesto en otras lecciones.

Las trompas son muy utilizadas en los laboratorios para desecaciones, ebulliciones y filtraciones rápidas.

Consiguiéndose por las máquinas neumáticas ordinarias, trompas ú otros aparatos destinados al mismo fin, el enrarecimiento mayor ó menor del aire, son indispensables en algunas industrias, como en la fabricación de lámparas incandescentes, en las fábricas de azúcar, para hacer un vacío parcial en las calderas de concentración de jarabes, que determina la ebullición á una temperatura poco elevada, etc., etc.

Máquinas de compresión.—Se las denomina también *contraneumáticas* porque su objeto no es hacer el vacío, sino, por el contrario, acumular un gas en un recipiente.

En esencia son un cuerpo de bomba en comunicación con un recipiente bien adherido á un tubo que los pone en comunicación. En el arranque de éste del cuerpo de bomba hay una válvula que se abre

de arriba á abajo, y en el pistón otra que funciona en el mismo sentido, que como se ve es inverso al de las válvulas de la máquina neumática, por lo que sus efectos son contrarios. En realidad *son bombas impelentes de aire*.

Consideremos el pistón en la parte inferior, al levantarlo la presión atmosférica actúa sobre su válvula abriéndola, penetrando el aire en el interior del cuerpo de bomba, para llenar el vacío hecho en ella. Al descender el pistón, por un esfuerzo, es comprimido y su fuerza elástica, actuando sobre las válvulas, cierra la del pistón y abre la de comunicación con el tubo, por el cual entra el aire al recipiente, donde se acumula con una presión mayor que la atmosférica, cerrando por su fuerza elástica la válvula de comunicación tan pronto como el pistón se detiene. Repitiendo los movimientos del pistón se acumulará nuevas cantidades de aire, con una presión cada vez creciente, que determina la necesidad de un esfuerzo cada vez mayor para vencer dicha presión, que en un momento dado llegará á ser casi insuperable.

Geneneralmente no se usa el aparato completo, sino sólo el cuerpo de bomba, sin tubo ni recipiente, adaptable aquella á varios de éstos, y modificada según los usos á que se destina.

La BOMBA DE INYECCIÓN ó DE COMPRESIÓN es de uso muy corriente; su cuerpo de bomba tiene dos tubos laterales inferiores, con llaves y válvulas interiores que funcionan en sentido contrario. El pistón no tiene abertura alguna. Por su funcionamiento se comprende que ésta es una verdadera *bomba aspirante impelente de aire*, pues, cuando el pistón se eleva el aire penetra en el tubo de aspiración, abriendo la válvula de fuera á adentro y, cuando aquél baja,

al comprimir el aire contenido en el cuerpo de bomba, se cierra la válvula del tubo de aspiración y abriéndose la del tubo de salida va á acumularse en el recipiente, con el cual la bomba se ha puesto en comunicación.

En las grandes industrias son empleadas máquinas más poderosas, movidas por el vapor, ó combinaciones de bombas, denominadas *compresoras*, con objeto de trabajar en mayor escala y obtener los gases á una elevada presión.

Aplicaciones. —

La compresión de los gases es comunmente utilizada, ya para obtener grandes cantidades de ellos en un pequeño recipiente, ya para liquidarlos, ó

para disolverlos en una mayor proporción en un líquido, como sucede en las fábricas de bebidas gaseosas con el Anhidrido carbónico. El aire comprimido llena los neumáticos de las bicicletas y automóviles, amortiguando los choques bruscos. En muchos ferrocarriles se usan los frenos Westinhouse, que funcionan por medio del aire comprimido. También por el aire comprimido son transportados en los grandes almacenes, bancos, etc. y en algunas grandes poblaciones, como París, paquetes, papeles, ó cartas. Hay *tranvías* movidos por aire comprimido; *perforadores de rocas*, para construir los túneles, siendo

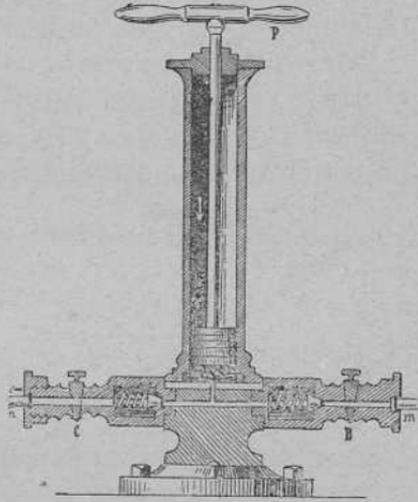


FIGURA 119.—Bomba de compresión.

empleados al mismo tiempo como motor y para renovar el aire. En las construcciones marinas ha tenido un empleo muy importante, y hoy lo conserva, por la adopción de las *escafandras*, aparatos de buzos, que permiten trabajar más tiempo y mejor bajo el agua que con las antiguas campanas. Las escopetas de viento y otros mil instrumentos, tienen como fundamento la utilización del aire comprimido.

Corrientes gaseosas (1).—Cuando á un gas, encerrado en un recipiente, se le ofrece un orificio de salida se precipita al exterior si su presión es mayor que la exterior. En caso contrario entraría el gas que

envolviese al recipiente, quedando en equilibrio si las presiones de ambos fuesen las mismas.

Fuelles.—Son sencillos aparatos destinados á obtener una co-

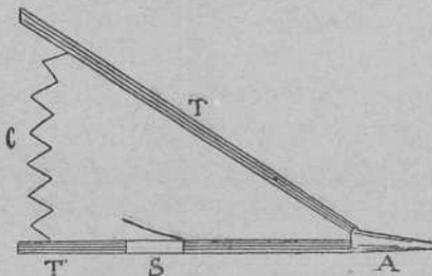


FIGURA 120.—Fuelle.

rriente de aire, con objeto, por lo general, de avivar la combustión. Con los fuelles comunes se obtiene una salida discontinua de aire. En realidad son máquinas simplicísimas de compresión, que constan de dos tabletas T T', de forma acorazonada, con manijas, y reunidas por una badana ó cuero flexible, armado interiormente por varillas á modo de aros. Ambas tabletas, en su parte más estrecha, están unidas á un tarugo, sobre el cual puede moverse la superior y en el cual hay un tubo ó cañón, é in-

(1) Corresponde todo lo que sigue á la *Neumodinámica*, cuyo estudio completo no podemos intentar.

teriormente una válvula de cuero que se abre de dentro á afuera. La tableta inferior T' tiene un orificio con una válvula interna, que se abre de fuera á adentro. Juntas las dos tabletas, al abrirlas se origina un vacío que el aire exterior viene á llenar, pasando por el orificio y válvula de la tableta inferior. Al volver á juntarlas el aire se comprime, cierra esta válvula y abriendo la de salida se precipita al exterior por el cañón

El *fuelle de fragua* es un fuelle continuo. Se compone de tres tabletas, la del centro C D fija, y movibles las otras dos, reunidas de igual modo que en el anterior por láminas flexibles de cuero, constituyendo dos depósitos. Cuando se levanta por medio de una palanca la tableta inferior, el aire almacenado en su depósito penetra en el superior por una válvula V, que hay sobre la plancha fija. Al mismo tiempo la fuerza elástica eleva la tableta superior, pero ésta tiene un peso, que actúa comprimiendo el aire almacenado y obligándole á salir por la válvula de salida que se halla á la entrada del cañón. Pero mientras esto se verifica la tableta inferior desciende merced al peso I que de su manija cuelga y el aire entra en el depósito inferior por su válvula S, que se abre de fuera á adentro: este aire irá á ocupar el segundo depósito en el momento en que por la tracción de la palanca vuelva á plegarse el fuelle en su parte inferior.

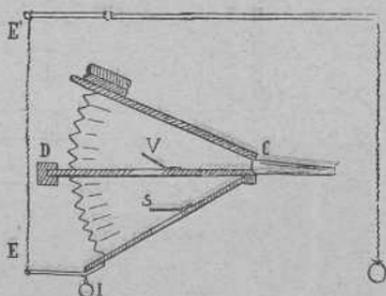


FIGURA 121.—Fuelle de fragua.

En las varias industrias se usan otras formas de fuelles, y máquinas parecidas á las bombas de doble efecto, con objeto de obtener poderosas corrientes de aire.

Gasómetros.—Para obtener la salida constante de un gas, aunque sólo de un modo aproximado, son usados en la Industria los *gasómetros*.

El *gasómetro* empleado en las fábricas de gas del alumbrado, que es uno de los más importantes, consta de una gran campana de palastro sumergida en

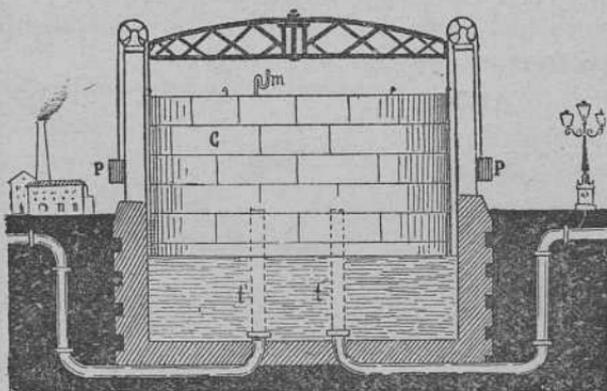


FIGURA 122.—Gasómetro.

parte en el agua de un gran depósito. El gas llega desde la fábrica por el tubo *t*, el cual termina algo más alto que el nivel del agua; la acumulación del gas determina la elevación de la campana, y el peso de ésta, comprimiéndole, le obliga á salir regularmente por el tubo *t*, que le conduce, ramificándose después en diversas cañerías, al lugar de su consumo. Para contrarrestar el peso de la campana lleva esta dos contrapesos *P P* que, añadidos al empuje del gas, lo equilibra en parte, pero no del todo para que el gas interior se halle siempre más comprimido que

el aire que actúa sobre el gasómetro. De este modo, y procurando que la entrada y salida del gas sea equivalente, la salida se mantiene aproximadamente uniforme.

Otras formas de gasómetros son empleados en los laboratorios y aún en la Industria, cuyo estudio encaja mejor en obras especiales.

VII

CALOR

Calor.—Es la causa que produce en nosotros las sensaciones, de todas conocidas, de calor y frío.

El calor es una forma de la energía, y se supone originado por el rápido movimiento á que están sometidas las moléculas de los cuerpos, movimientos transmitidos por el éter, que es, como ya hemos dicho, un medio sutilísimo, imponderable y sumamente elástico que ocupa todos los espacios vacíos de materia, lo mismo los espacios interplanetarios que los intermoleculares.

Diversos experimentos modernos, prueban que el calor y la energía calorífica se transforman una en otra, en una relación de equivalencia. Así, si se golpea repetidas veces sobre un yunque con un martillo, ambos se calientan, porque la energía mecánica del martillo no se trasmite como trabajo al yunque, por la oposición de éste y, se transforma en calor. En cambio si calentamos un globo de caucho lleno de aire, el globo aumenta de volumen y llega á romperse, porque el calor se transforma en el trabajo molecular necesario para aumentar el volumen de aquél y ejercer una mayor presión sobre la cubierta del globo.

Fuentes de calor.—El *Sol* es la principal, aunque la cantidad de calor que de él recibe la Tierra, por efecto de la distancia (150 millones de kilómetros) no es más que una pequeñísima parte del que irradia de aquel astro en todas direcciones. Manantial de calor importantísimo son también las reacciones químicas, entre las que la *combustión* ocupa el primer lugar, así como las que se verifican en todos

los seres orgánicos. Por último, el calor central de la Tierra, el rozamiento, la percusión, la presión, la electricidad, etc., etc., ofrecen con aquellos el calor necesario para el sostenimiento de la vida en nuestro globo ó proporcionan al hombre el necesario para sus necesidades industriales.

Temperatura. -- Se define diciendo que *es el grado de calor sensible que posee un cuerpo.*

Según esto, dos cuerpos que produzcan en nosotros la misma sensación de calor están á la misma temperatura. Sin embargo, el organismo humano no puede apreciar con exactitud las variaciones de temperatura, pues si metemos una mano en agua fría y otra en agua caliente y, después de un rato, sumergimos ambas en agua templada, la mano que sale del agua fría sentirá calor y la que viene de la caliente, tendrá una sensación de frío, y sin embargo ambas están en el mismo medio y á la misma temperatura.

De modo semejante se explica que estando una bodega en invierno y en verano á la misma temperatura aproximadamente, al entrar en ella en el estío se siente fresco y calor en el invierno, porque la temperatura exterior es más alta ó más baja respectivamente

Efectos del calor. -- Los cuerpos en contacto se comunican entre sí su grado de calor, de modo que el más caliente cede parte de aquél al más frío para ponerse á la misma temperatura.

Si tomamos un trozo de hielo en la mano, ésta se enfría y el hielo se funde por efecto del calor que la mano le comunica.

Esta comunicación se verifica á través de toda su masa, pero no en todos con la misma rapidez; así hay cuerpos en que aquella se verifica lenta ó parcialmente, es decir, que se calientan ó enfrían despacio ó incompletamente, *cuerpos malos conductores,*

el Vidrio por ejemplo, al paso que en otros, *cuerpos buenos conductores*, la comunicación del calor se efectúa con rapidez y de un modo más completo, como en el Hierro.

El calor al comunicarse á los cuerpos produce en ellos, aparte la correspondiente elevación de temperatura: 1.º Aumento de volúmen, (*Dilatación*); 2.º Paso del cuerpo del estado sólido al líquido y de éste al gaseoso, si el calor aumenta en el grado necesario, ó del estado gaseoso al líquido y de éste al sólido, si disminuye aquél (*Cambios de estado*); 3.º Descomposición parcial ó total en la composición íntima del cuerpo (*Disociación; descomposición*) si el grado de calor es mucho más elevado.

El calor puede además producir *efectos químicos, luminosos, eléctricos y mecánicos*.

DILATACIÓN

Dilatación.—Los cuerpos aumentan de volumen con la temperatura, tanto más, dentro de ciertos límites, cuanto mayor es ésta. Pero cuando el calor disminuye y el cuerpo adquiere sus condiciones anteriores, recobra su primitivo volumen.

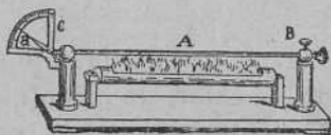


FIGURA 123.—Pirómetro de cuadrante.

La dilatación se verifica en los cuerpos en sus tres estados, como se puede comprobar experimentalmente.

SÓLIDOS.—El *Pirómetro de cuadrante* consta en esencia de una barrita de hierro, fuertemente sujeta por un extremo y libre por el otro, con el que toca á una aguja que puede moverse sobre un cuadrante. Al calentar la barrita

la aguja se mueve, empujada por aquélla al aumentar de longitud en su dilatación por la acción del calor. Pero si separamos el foco calorífico, la aguja vuelve á ocupar su posición primera, por la contracción de la barra.

El *Anillo de S. Gravesande* es un aparato formado por un anillo y una esfera del mismo metal; á igual temperatura, la esfera pasa justamente por el anillo, pero si la calentamos con una lamparilla, se dilata, aumenta de volumen, y entónces no cabe por el anillo. Si calentamos éste á la misma temperatura, el paso se verifica.

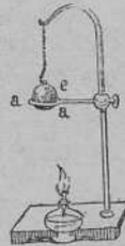


FIGURA 124.
Anillo de Gravesande.

LÍQUIDOS.—En una ampolla de vidrio fino terminada por un delgado tubo pongamos un líquido cualquiera coloreado, para hacerlo más visible, de modo que ocupe parte del tubo. Calentando la ampollita el líquido eleva (1) rápidamente su nivel, lo que nos demuestra su dilatación, en mayor grado que la de los sólidos.

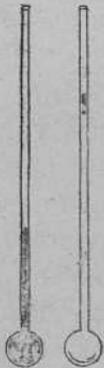


FIGURA 125.
Dilatación de líquidos y gases.

GASES.—En un tubo semejante, con aire, se introduce un índice, una gotita de mercurio. Calentando la ampollita con la mano se ve que el mercurio asciende, por la dilatación del aire, y dado el escaso calor que se le comunicó se comprende la gran dilatabilidad de los gases.

Si éstos son calentados en un recipiente cerrado, no pueden dilatarse, por la oposición que á su aumento de volumen oponen las paredes de aquél, pero entónces la acción del calor se traduce en un aumento de presión. Tomemos un balón

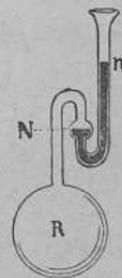


FIGURA 126.
Aumento de presión de los gases por el calor.

lón terminado por un largo tubo en S, en el cual se pone un líquido, mercurio, por ejemplo. Calentando el balón,

(1) En el primer instante desciende un poco, por la dilatación de las paredes de la ampolla, que hace al recipiente de mayor capacidad, pero la ascensión se manifiesta en cuanto el calor se comunica al líquido.

el líquido asciende en la rama externa, pero añadiendo nueva cantidad de líquido podemos hacerle alcanzar el nivel A primitivo, lo que nos demuestra el aumento de presión por ser mayor el peso del líquido, sostenido por el aire del recipiente á aquella temperatura determinada.

Termómetros.—*Son aparatos destinados á medir las temperaturas.*

Están fundados en que la dilatación de los cuerpos es mayor cuanto mayor es la temperatura y por lo tanto, según sea el aumento ó contracción de volumen que experimente el cuerpo que se tome como sustancia termométrica, podremos medir el grado de calor que le ocasiona.

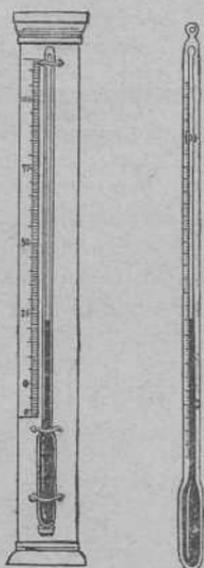


FIGURA 127.—Termómetro de mercurio.

El Mercurio es el cuerpo más empleado en la construcción de los termómetros, porque los líquidos son más dilatables que los sólidos, y en consecuencia más visible el aumento ó disminución de volumen; como metal es buen conductor del calor y se pone rápidamente en equilibrio con la temperatura de los cuerpos que le rodean; se le puede obtener en un grado de pureza completo; su dilatación es bastante uniforme, sobre todo entre ciertos límites y, por último, hierve á una temperatura relativamente elevada, (350 grados) y se solidifica á una baja temperatura (40° bajo 0), lo que hace pueda emplearse en la mayor parte de los casos.

También hay termómetros en que la sustancia termométrica es el alcohol, los gases, los metales, etcétera.

TERMÓMETROS DE MERCURIO.—Constan de un delgado tubo terminado por un depósito y cerrado por el extremo opuesto. El depósito y parte del tubo contienen mercurio; el resto del tubo está vacío. Adjunta lleva una escala dividida en *grados*. El *grado es la unidad de medida de la temperatura*.

Para construirlo se escoge un tubo muy delgado, que tenga interiormente, en todas sus partes, el mismo diámetro. En un extremo tiene el depósito, cerrado, y en el otro una abertura ensanchada á modo de embudo. Para llenarlo se pone mercurio, puro y seco, en el embudo, se calienta el depósito, el aire se dilata y, á través de aquél, sale en parte al exterior el aire; al enfriarse se contrae y parte del mercurio entra en el depósito. Caliéntase nuevamente el depósito, hasta que el mercurio hierva, sus vapores arrastran al exterior todo el aire, y al enfriarse otra vez el aparato, vuelve á entrar otra cantidad de mercurio, determinada por la condensación de sus vapores. Lleno el aparato se separa el embudito con una lima, y se calienta el depósito á una temperatura algo superior á la mayor que el termómetro haya de marcar, con lo que se consigue expulsar todo el mercurio excedente y, en este momento, sin dar tiempo á que se contraiga, se cierra el tubo con un soplete. Al enfriarse, el nivel del mercurio descende en gran parte del tubo, parándose á la altura que corresponda á la temperatura del ambiente que le rodea, dejando en la parte superior un espacio vacío de aire.

Ahora falta solamente dotar al termómetro de una *graduación ó escala*, cuyos números representen, cuando el nivel del termómetro se detenga en ellos, la temperatura del medio en que se halle.

GRADUACIÓN DEL TERMÓMETRO. ESCALA CENTÍGRADA Ó DE CELSIO.—La graduación de un termómetro se



FIGURA 128.
Construcción
del termómetro.

hace determinando primero dos *puntos fijos* y distintos, que lo son de referencia para la división completa en grados de toda la escala.



FIGURA 129.
Determinación
del 0 de
la escala.

La más usada en casi todos los países es la *escala centígrada* ó *de Celsio*, cuyos puntos fijos son: 0° que corresponde á la temperatura del Hielo fundente, y 100° que representa la del Agua pura en ebullición, á la presión de 760 m. m. Entre 0° y 100° la escala está dividida en 100 partes iguales, de las que cada una representa un grado.

Determinación del 0 de la escala.—

Se introduce el depósito del termómetro entre hielo machacado y rociado con agua destilada, contenido en un recipiente de fondo agujereado. La columna de mercurio se contrae y desciende hasta que á un nivel determinado se para. En este punto se marca el grado 0.

Determinación del grado 100 de la escala.—El depósito se expone á los vapores del agua hirviendo contenida en una caldera metálica C, A estos vapores se los preserva de su enfriamiento, porque el tubo A, interior, que los recibe directamente, está resguardado á su vez por otro, concéntrico B, el cual lleva un pequeño manómetro de aire M y un tubo de salida D, por donde el vapor escapa despues de haber rodeado al termómetro, en el interior del tubo A y circulado por el espacio existente entre A y B. El manómetro M sirve para indicar si la presión interior

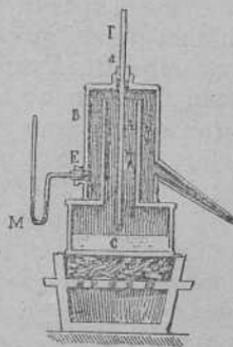


FIGURA 130.— Deter-
minación del 100
de la escala.

es equivalente á 760 m. m. El mercurio del termómetro asciende con rapidez, y en un lugar determinado a, se estaciona; en este punto, con una lima, como antes, ó por otro procedimiento, se marca con una raya el grado 100.

La escala termométrica se puede construir ya dividiendo el espacio comprendido entre 0° y 100° en cien partes iguales, y continuando la división por bajo del 0, y por encima de 100. Va grabada en la misma varilla del termómetro ó sobre una plancha de madera ó metal, al cual está aquél adaptado (figura 127).

Como ya hemos dicho, cada una de estas divisiones es un *grado*, y cada grado representa, pues, la centésima parte de la dilatación que sufre la columna termométrica al pasar de la temperatura del hielo fundente á la del agua pura en ebullición, á 760 m. m. de presión. La palabra grado se indica con $^{\circ}$ sobre la cifra que indica su valor. Los grados bajo 0 llevan delante, para su escritura, el signo menos (-4° , -8° etcétera) y los grados sobre 0 el signo $+$ ó se les escribe sin signo.

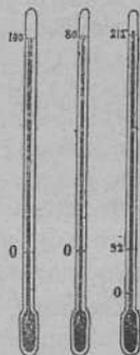


FIGURA 131
Escala termométrica.

Celsio, Reamur
Fahrenheit.

OTRAS ESCALAS TERMOMÉTRICAS.—Además de la escala centígrada, es importante conocer la *escala Reamur*, algo usada en Francia y la *escala Fahrenheit*, corriente en Inglaterra y los Estados Unidos.

En la *escala Reamur* los puntos fijos se refieren á la temperaturas del hielo fundente y á la de ebullición del agua, indicados con 0° y 80° respectivamente, de modo que la escala está dividida en 80 grados.

En la *escala Fahrenheit* el 0 corresponde á la temperatura de una mezcla, á partes iguales, de hielo y sal

amoníaco, equivalente á 32 grados bajo la temperatura del hielo fundente, por lo que el grado 32 de la escala Fahrenheit equivale al 0 de las de Celsio y Reamur. El otro punto fijo es el de la ebullición del agua y se representa por el grado 212. De esto se desprende que si queremos poner en relación esta escala con las dos anteriores, tomando en ella las temperaturas de fusión del hielo y la del agua hiviendo, como puntos fijos, quedará reducida á $212 - 32 = 180$ grados.

CONVERSIÓN DEL GRADO DE TEMPERATURA DE UNA ESCALA AL CORRESPONDIENTE DE OTRA.—Para esto debe ponerse las tres escalas en igualdad de condiciones, tomándose para las tres, como puntos fijos, las temperaturas de fusión del hielo y la de ebullición del agua. En este caso tendremos que los grados en que están divididas, son: Centígrada = 100° , Reamur = 80° , Fahrenheit = $212 - 32$.

Ejemplos.—Un termómetro centígrado marca 25° de temperatura ¿á qué grados de las escalas Reamur y Fahrenheit corresponde?

Comparando las escalas respectivas, diremos:

$$\text{Reamur } 100 : 80 :: 25 : x \quad x = 20 \text{ R.}$$

$$\text{Fahrenheit } 100 : 212 - 32 :: 25 : x + 32 = 77^\circ \text{ F.}$$

¿A qué temperatura corresponderá el grado 30 Reamur en las escalas centígrada y de Fahrenheit?

$$\text{Centígrado } 80 : 100 :: 30 : x \quad x = 37'5^\circ$$

$$\text{Fahrenheit } 80 : 212 - 32 :: 30 : x + 32. \quad x = 99'5^\circ$$

¿Qué grado de temperatura indicarán dos termómetros, centígrado y Reamur, cuando uno Fahrenheit, colocado en iguales condiciones marca 68° ?

$$\text{Centígrado } 212 - 32 : 100 :: 68 - 32 : x \quad x = 20^\circ \text{ C.}$$

$$\text{Reamur } 212 - 32 : 80 :: 68 - 32 : x \quad x = 16^\circ \text{ R.}$$

Sensibilidad de los termómetros.—Un termómetro es sensible si aprecia ligerísimas variaciones de temperatura ó si indica rápidamente la temperatura del medio en que se le coloca.

Cuando se desea que acusen ligeras variaciones de temperatura, se les construye con un gran depósito y un tubo muy delgado, capilar; estando en este

caso dividida su escala en grados y décimas de grado. Para no hacerlos extremadamente largos, son construídos en series, en que cada uno de los que las constituyen tiene solamente una parte de la escala (*termómetros de escala fraccionada*), es decir, que uno tiene de 0 á 20 grados, por ejemplo; el segundo de 20 á 30, el tercero de 30 á 50 y así sucesivamente hasta completar la escala.

Si se busca una gran rapidez en las indicaciones, el depósito debe ser pequeño, pues se comprende que, cuanto menor sea la masa del mercurio más pronto el calor le hará sentir sus efectos.

Variación del cero del termómetro.—Por modificaciones que el depósito experimenta con el tiempo la posición del cero varía, elevándose sensiblemente, hasta que al fin de uno ó dos años adquiere una posición fija. Es preciso corregir esta causa de error comprobando y modificando la posición de los puntos fijos al cabo de este tiempo, ó lo que es mejor, no graduándolos hasta después de que haya cesado todo cambio molecular en el vidrio.

Termómetro de alcohol.—En éste el líquido dilatado es el alcohol, teñido con una materia colorante para hacer más visible la columna. La graduación se hace tomando el 0 en el hielo fundente, y los demás grados por comparación con un termómetro tipo de mercurio, y para grados inferiores á -40° con otro de aire.

Este termómetro es muy ventajoso para tomar temperaturas muy bajas, pues el Mercurio se solidifica á -40° y el alcohol á -100° sólo se torna viscoso. En cambio no sirve para temperaturas superiores á 70° pues dicho líquido hierve á $+78^{\circ},4$.

Se ha propuesto reemplazar el alcohol por el *Tolueno* para medir bajas temperaturas, porque su grado de ebullición es superior á 100° y no se vuelve pastoso á las más bajas temperaturas.

Termómetros de máxima y de mínima.—

Empleados casi exclusivamente en las observaciones meteorológicas, sirven para la observación cómoda de la temperatura más elevada (*máxima*) ó más baja (*mínima*) habidas durante un espacio de tiempo determinado.

Muchos termómetros de este género han sido ideados, pero uno de los más prácticos es el de Six y Bellani, que en un solo instru-

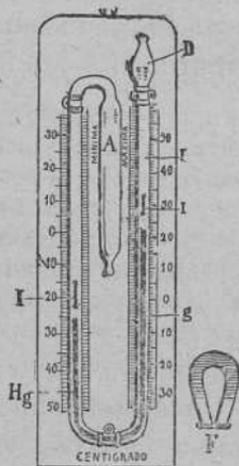


FIGURA 132.—Termómetro de Six y Bellani.

mento marca las dos temperaturas extremas. Es un termómetro de alcohol de cuyo depósito A parte el tubo encorvándose dos veces. Este lleva una columna de mercurio con la que el alcohol está en contacto. En cada extremo de la columna de mercurio hay un índice de esmalte I, con un pelo á él arrollado, sirviéndole de resorte, y un alambre de acero que le atraviesa. Este último sirve para poder poner el índice en contacto con el mercurio, mediante un imán F. En la parte B del tubo y en el depósito D también hay alcohol, que tiene por objeto evitar que la columna de mercurio se divida.

Supongamos que la temperatura se eleva, el alcohol se dilata, empuja al mercurio y asciende la columna de la derecha (*máxima*) y con ella el índice de esmalte. Si la temperatura descende el alcohol se contrae, baja al mercurio, y, como no moja al índice, éste permanece en el lugar á que ascendió, sostenido por el resorte que forma el pelo. Al mismo tiempo que descende la columna de la derecha sube la de

la izquierda (*mínima*) elevando el índice correspondiente, el cual permanecerá en el lugar alcanzado, cuando la temperatura vuelve á elevarse.

Consultando la posición de los dos índices, estos nos indicarán, en la escala correspondiente, los datos deseados, es decir, la mayor ó menor temperatura de un día ó de otro lapso de tiempo cualquiera.

Para cada nueva observación es preciso poner nuevamente los índices en contacto con el mercurio por medio del imán.

Termómetros de sólidos.—Están fundados en la desigual dilatación de láminas metálicas soldadas entre sí en toda su extensión y arrolladas formando una especie de hélice. En el *termómetro de Breguet* son dos láminas de oro y platino soldadas á una tercera central de plata. La hélice está sujeta por un extremo y en el otro, que es el inferior, lleva una aguja que recorriendo un círculo graduado, indica, cuando se desarrolla ó arrolla la hélice, la elevación ó descenso de temperatura.

En el *termómetro metálico* de *Pfister* y *Hermann* las láminas son de acero y latón, arrolladas en espiral, la de latón ocupando la parte interna, estando aquella espiral sujeta por su extremo central y por el otro en comunicación con un sector, que engrana en un piñón sobre el que se halla la aguja indicadora de las temperaturas al recorrer un círculo graduado.

La graduación de estos termómetros se hace por comparación con otro de mercurio.

Termómetros de gases.—Los gases, empleados como cuerpo termométrico, son de gran precisión y sensibilidad, pero su manejo es de una gran dificultad. El aparato representado en la figura 126 puede hacernos comprender en esencia estos termómetros. Si en el balón R hay una cantidad *constante* de aire, al más escaso aumento de temperatura, este ejercerá cierta presión sobre el mercurio elevándolo. Si marcamos en el tubo la altura del mercurio, estando el globo á la temperatura del hielo fundente, y las demás alturas correspondientes á temperaturas determinadas por comparación con un buen termómetro de

mercurio, podremos obtener una escala termométrica de gran precisión.

En la dilatación de los gases se funda la construcción de los *termoscópios diferenciales*, como el de *Leslie* ó el de *Rumford*, que sirven para determinar pequeñas diferencias de temperaturas entre dos lugares. El de *Rumford*, parecido al de *Leslie*, es un tubo horizontal cuyos extremos se doblan en ángulo recto y termina en dos esferas huecas. En la rama horizontal hay un índice de mercurio que se mueve en un sentido ó en otro, sobre una escala, según las presiones que sufra por la dilatación del aire contenido en una ú otra esfera.

Termómetros registradores.—Sirven para dejar gráficamente representadas las variaciones de temperatura habidas en un tiempo dado. El de *Richard* consta principalmente de un tubo metálico, encorvado, y lleno de alcohol, cuyo extremo libre comunica por palancas con un estilete que marca sobre las cuadrículas del papel arrollado á un cilindro giratorio las variaciones que la temperatura hace sufrir á dicho tubo.

Pirómetros.—Tienen por objeto medir las elevadas temperaturas á las que no podrían alcanzar los termómetros ordinarios. Sus resultados no son más que aproximados. El *Pirómetro de cuadrante*, ya descrito, el de *Brougniart*, que es una barra de hierro que contenida en una pieza de porcelana, comunica con una aguja que se mueve sobre un cuadrante por la dilatación de aquella; el de *Wedgood* en el que se aprovecha la contracción de un cilindro de arcilla por el calor, dan resultados más imperfectos que los de los *pirómetros eléctricos*, más usados hoy, de los que hablaremos en el lugar correspondiente.

APLICACIONES DE LOS TERMÓMETROS.—Los termómetros tienen aplicaciones tan importantes y numerosas que no es posible indicar ni aún el mayor número. En Meteorología para conocer la temperatura del ambiente, en la Industria para saber el grado de calor de las preparaciones industriales, en Medicina, con los termómetros clínicos, especiales de máxima, para medir las temperaturas del organismo

humano, en Veterinaria, en Química, Farmacia, etcétera, etc., los termómetros son instrumentos indispensables.

Coefficientes de dilatación.

Coefficiente de dilatación.—*Es el aumento que experimenta la unidad de volumen de un cuerpo cuando su temperatura pasa de 0 á 1°.*

Coefficiente de dilatación de los sólidos.—En los líquidos y en los gases solamente puede apreciarse la dilatación en volumen ó cúbica, pero en los sólidos se puede considerar aisladamente la dilatación en longitud (*dilatación lineal*) ó en superficie (*dilatación superficial*) de un cuerpo: una barra, una varilla, etc., ó una plancha metálicas, etc.

El coeficiente de dilatación lineal de un cuerpo es el alargamiento que sufre su unidad de longitud cuando su temperatura se eleva de 0 á 1°.

El coeficiente de la dilatación superficial ó el de la cúbica son, pues, el aumento que experimenta la unidad de superficie ó de volumen, respectivamente con el mismo aumento de temperatura.

Aproximadamente la dilatación en los sólidos es proporcional á la temperatura, de modo que si al pasar de 0 á 1° el cuerpo se ha dilatado en una cantidad determinada, á los 2, 3, 4.... 20 grados, la cantidad en que se ha verificado la dilatación será 2, 3, 4.... 20 veces mayor.

Los números que representan el coeficiente de dilatación superficial ó cúbica son el doble ó el triple respectivamente de los que representan el de la dilatación lineal de cada cuerpo.

Por procedimientos delicados se ha determinado los coeficientes de dilatación de muchos cuerpos. He aquí el valor de algunos de estos coeficientes:

SUSTANCIAS	Coeff. ^{te} de dilatación lineal.	Coeff. ^{te} de dilatación cúbica.
Aluminio.....	0,000 022	0,000 066
Bronce.....	0,000 0185	0,000 055
Cobre.....	0,000 017	0,000 051
Hierro.....	0,000 012	0,000 036
Madera.....	0,000 005	0,000 016
Plata.....	0,000 019	0,000 057
Platino.....	0,000 009	0,000 027
Plomo.....	0,000 029	0,000 087
Vidrio.....	0,000 009	0,000 027
Zinc.....	0,000 0297	0,000 088

La determinación del aumento que un cuerpo experimentará, á una temperatura dada es importantísima; sus problemas, en su expresión más sencilla, se reducen á multiplicar el volúmen inicial del cuerpo por el coeficiente de dilatación, y el producto por la temperatura.

Ejemplo. Se trata de averiguar el aumento en longitud que experimentará á 100° una barra de Hierro de 90 centímetros.—Sabemos que este alargamiento es de 0,000 012, para cada centímetro, al pasar de 0 á 1°, luego para los 90 centímetros será de $90 \times 0,000 012 = 0,001 080$. Ahora bien, si por cada grado el aumento de la barra es de 0,001 080 en 100° aumentará $0,001 080 \times 100 = 0,108$. Luego la barra tendrá á la temperatura de 100°, 90 centímetros más 0,108, es decir 90,108 centímetros de longitud.

Efectos y aplicaciones de la dilatación de los sólidos.

—Los sólidos al dilatarse ejercen una presión extraordinaria sobre los cuerpos que se oponen á su aumento de volumen. Por esta razón al tender las vías en los caminos de hierro, se deja siempre un espacio entre riel y riel, porque si se tocasen, al dilatarse por efecto del calor, la presión que ejercerían el uno sobre el otro los levantaría ó deformaría. Estas mismas ú otras semejantes precauciones deben tomarse en las construcciones, principalmente en las que intervienen los metales, disponiendo las piezas de modo que la dilatación pueda verificarse libremente. El aro de hierro de las ruedas de los coches y carros y el de acero de los vagones, se adapta á aquellas ruedas, de madera ó fundición, calentándolo; el aro se dilata y la rueda entra en él perfectamente, pero enfriándolo en seguida se

verifica una contracción que sujeta fuertemente las diversas piezas de aquellas, etc., etc.

PÉNDULOS COMPENSADORES.—Las oscilaciones de un péndulo dependen de la longitud de éste. Si un péndulo metálico se dilata sus oscilaciones se harán más lentas, puesto que la longitud ha aumentado en aquél. Para evitar errores se construye *péndulos compensadores*, formados por dos ó más metales, de tal modo dispuestos, que sus dilataciones se compensan mutuamente, manteniendo siempre una longitud constante en el péndulo.

En el *péndulo compensador de Graham* la lenteja metálica está sustituida por un vaso con mercurio. Cuando la varilla que lo sostiene se alarga por la elevación de temperatura, el centro de oscilación bajaría, si el mercurio al dilatarse en sentido inverso no produjese el efecto contrario.

Coefficiente de dilatación de los líquidos.—**DILATACIÓN APARENTE Y REAL.**—Cuando un líquido contenido en un recipiente se dilata por efecto del calor, su elevación de nivel no manifiesta todo su aumento efectivo de volumen (*dilatación real*), porque siendo también dilatado el recipiente, éste aumenta de capacidad, que ocupada por el líquido, hace aparecer á éste con un aumento de volumen menor (*dilatación aparente*) del que en realidad tiene.

De esto se deduce que *la dilatación aparente más la dilatación del recipiente es igual á la dilatación absoluta*. Debiendo, pues, considerarse para los líquidos un coeficiente de dilatación aparente y otro de dilatación absoluta ó real, siendo *el coeficiente de dilatación aparente igual al de la absoluta, restando de éste el coeficiente de dilatación del recipiente*.

La dilatación de los líquidos es mucho mayor que la de los sólidos, y algunos, los muy volátiles, se acercan á las de

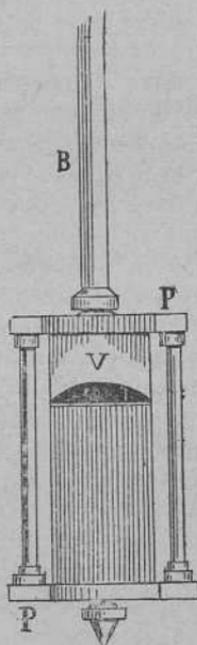


FIGURA 133.
Péndulo
de Graham.

los gases. Es también más irregular sobre todo á temperaturas cercanas á su solidificación y ebullición, presentando sólo alguna regularidad entre cortos límites (el Mercurio de 0 á 100°).

DILATACIÓN DEL AGUA. SU DENSIDAD MÁXIMA.—El agua presenta ciertas anomalías en su dilatación, su concentración máxima es á 4°; cuando la temperatura se eleva se dilata, cuando desciende de 4° aumenta también. Como se ve es una excepción á lo que ocurre en todos los cuerpos.

Para demostrar lo expuesto, tomemos un tubo con depósito, semejante al de un termómetro, y pongamos agua en él. Sumergiendo el depósito en un vaso que contenga agua templada, si la del tubo está más fría, el nivel asciende. Echemos ahora pedacitos de hielo en el vaso, el agua del tubo va contrayéndose, desciende, al par que baja la temperatura que le rodea, y así continúa hasta que á 4° (comprobando con un termómetro) alcanza su máximo de contracción, pues cuando pasándola á hielo machacado la temperatura baja aún más, vemos entonces que la columnita de agua vuelve á dilatarse.

Siendo, pues, á 4° la temperatura en que el agua presenta su máxima concentración á esta temperatura, tiene que ser su *densidad máxima*, pues si á 15° el volumen es mayor, como la masa es la misma, la relación entre una y otro tiene que ser menor.

Presentan estas anomalías algunas soluciones salinas, pero en estas, por efecto de las sales disueltas, el punto máximo de densidad está á temperaturas más bajas. El agua de mar tiene su densidad máxima á 3° 67, y gracias á esta circunstancia ni el frío ni el calor penetran profundamente en los mares, pues las aguas más frías ó más calientes ocupan la superficie por ser menos densas.

Aplicaciones, entre otras, de la dilatación de los gases, son las correcciones de la altura barométrica y la determinación de los pesos específicos á que ya nos hemos referido en lugar oportuno.

Coefficiente de dilatación de los gases.—Los gases son los cuerpos más dilatables. Si los gases se dilatan libremente á una presión constante su dilatación se manifiesta por un aumento de volumen, pero si al gas se le mantiene siempre en el mismo volumen el efecto producido por la

elevación de temperatura es una presión que crece con aquella.

Presentan la particularidad de que *aproximadamente todos los gases tienen el mismo coeficiente de dilatación, igual 0,00366*, considerándolos sometidos á una *presión constante*, siendo solamente la temperatura la que varía.

La regularidad de las dilataciones y contracciones de los gases los hace aplicables á la construcción de termómetros especiales, muy precisos.

Peso específico de los gases.—*Es la relación entre el peso de un volumen dado de un gas y el peso de un volumen igual de aire, que se toma por unidad, medidos ambos á la temperatura de 0° y presión de 760 m. m.*

Los gases no se comparan con el agua porque siendo aquellos mucho más ligeros que éste, la relación resultaría sumamente pequeña.

El peso de 1 litro de aire es de 1 gr. 293, luego si un litro de Oxígeno, por ejemplo, pesa 1 gr. 4295 el peso específico de éste será, $E = \frac{1,4295}{1,293} = 1,1056$.

CAMBIOS DE ESTADO

Por la acción de una temperatura conveniente los cuerpos cambian de estado.

Si se calienta en una vasija un trozo de hielo pasa del estado sólido, en que se encuentra, al líquido (*fusión*), y si la acción del calor continúa, del estado líquido pasa al de vapor ó gaseoso (*vaporización*). Por el contrario, si este vapor se enfría vuelve á pasar al estado líquido (*liquefacción*) y si el enfriamiento se hace con un descenso de temperatura aún más acentuado, vuelve el agua, líquida, á convertirse en hielo (*solidificación*).

Fusión.—*Es el paso de un cuerpo sólido al estado líquido por la acción del calor.*

Se ha logrado *fundir* un gran número de cuerpos, llamados *fusibles* (*metales, Fósforo, Azúfre, ceras, etc., etc.*), á

alguno, impropriamente denominado infusible, no se le ha podido hacer cambiar de estado, (*Carbono*), por no disponerse en la actualidad de temperaturas suficientemente elevadas. Otros que se funden solo á temperaturas excesivamente altas toman el nombre de refractarios (*arcillas*), muchos, por último, se descomponen antes de fundirse (*Mármol, Celulosa, etc.*)

LEYES DE LA FUSIÓN.—*Cada cuerpo se funde á una temperatura determinada (punto de fusión) invariable siempre que se opere á la misma presión.* El punto de fusión es carácter específico muy importante de los cuerpos.

He aquí el punto de fusión de algunos cuerpos.

Acero.....	1350 á	1450	Hierro.....	1500
Aluminio.....		625	Mantequilla.....	33
Antimonio.....		430	Mercurio.....	- 40
Azufre.....	113 á	117'5	Oro.....	1045
Bronce.....		900	Plata.....	1000
Cera.....		65	Platino.....	1775
Cobre.....		1035	Plomo.....	330
Estaño.....		228	Potasio.....	62'5
Fósforo.....		44'2	Sódio.....	95'6
Hielo.....		0	Zinc.....	433

Generalmente los cuerpos al pasar al estado líquido aumentan en volumen, disminuyendo en densidad, pero hay algunas excepciones, en que sucede lo contrario, el *Agua*, por ejemplo.

Un aumento ó disminución de la presión influye sobre el punto de fusión elevándole ó haciéndole descender, aunque no de un modo tan notable como se verá en la vaporización.

Mientras la fusión de un cuerpo se está verificando la temperatura permanece invariable.

Agitando con un termómetro el azúfre que se está fundiendo en un crisol, marcará una temperatura siempre igual, mientras queden partículas sólidas sin fundir.

Esta invariabilidad de la temperatura durante la fusión es debida á que el calor suministrado por el foco calorífico es como absorbido por el cuerpo, transformándose en el trabajo interno necesario para vencer la cohesión de las moléculas del sólido.

CALOR DE FUSIÓN.—A la cantidad de calor que la unidad de masa (el *kilogramo* ó el *gramo*) de un cuerpo precisa para pasar del estado sólido al líquido, se denomina *calor de fusión*. Cada sustancia tiene un calor de fusión propio.

Disolución.—*Al paso de un cuerpo al estado líquido, por el intermedio de un líquido (disolvente), se le dá el nombre de disolución.*

El *Azúcar*, la *Sal común*, el *Nitrato potásico* se disuelven en el Agua; el *Azufre* en el Sulfuro de Carbono, las *resinas* en el Alcohol. Si el líquido no tiene acción química sobre el cuerpo disuelto se dice que es un *disolvente neutro*.

Generalmente la temperatura desciende en la disolución, efecto de que necesitando el sólido para cambiar de estado una cantidad de calor que, transformada en trabajo interno, venza la cohesión de las moléculas, no teniendo foco calorífico que se lo suministre, necesita tomarlo del calor del disolvente.

Disolviendo *Hipsulfito sódico* ó *Nitrato amónico* en agua puede demostrarse este descenso de temperatura.

Otras veces la temperatura aumenta, pero entonces es porque verificándose una combinación química entre el cuerpo que se disuelve y el disolvente, con desprendimiento de calor, si éste es mayor que el absorbido en la disolución, la diferencia se manifiesta; como se demuestra disolviendo *Sosa cáustica* ó mejor *Anhidrido fosfórico* en agua. Claro está, que si el desprendimiento de calor de la combinación y la absorción de la disolución fuesen iguales, la temperatura permanecería invariable, como sucede cuando se disuelve *azúcar* en agua.

Los cuerpos no se disuelven en cantidades indefinidas en una porción dada de disolvente (100 gramos, por ejemplo) y á una temperatura fija; por el contrario, sólo se disuelven en una cantidad máxima determinada, disuelta la cual no puede disolverse otra porción, por pequeña que sea.

Al número que representa la cantidad de un cuerpo que se puede disolver en una cantidad fija de disolvente á una temperatura dada, se le denomina *coeficiente de solubilidad*.

Así por ejemplo: 100 gramos de agua pueden disolver á 15°: 85 gramos de Nitrato potásico, siendo 85 gramos el coeficiente de solubilidad de esta sal en tales condiciones. Si la dicha solución contuviese la mayor cantidad (85 gramos) que los 100 gramos de agua podían disolver á 15° se diría que la *solución* estaba *saturada*; si la cantidad era menor, pero próxima al máximum, la *solución* se llama *concentrada*, y *diluida* en el caso de que haya muy poca cantidad de cuerpo disuelto.

El grado de solubilidad de los cuerpos aumenta, por lo común, con la temperatura. Así 100 gramos de agua disuelven á 0°: 15 gramos de *Nitro*, á 15°: 85 gramos, á 100°: 246 gramos y á 118°: 335 gramos.

Sin embargo algunos escasos cuerpos son más solubles en frío que en caliente, como el *Sulfato cálcico*; otros, como la *Sal común*, lo son próximamente lo mismo á todas las temperaturas. En varios aumenta su solubilidad hasta cierto grado de temperatura, traspasado el cual desciende aquella cuando ésta se eleva.

MEZCLAS FRIGORÍFICAS.—Son una aplicación del descenso de temperatura que se produce en la disolución. Pero si en vez de poner el disolvente al estado líquido, el Agua, por ejemplo, se toma al estado sólido, *hielo* ó *nieve*, el descenso es mucho mayor,

porque se juntan el frío producido por la fusión del *hielo*, y el de la disolución del cuerpo en el agua. Sin embargo, el uso de las mezclas frigoríficas decae sensiblemente, por disponerse hoy de otros medios más eficaces para hacer descender la temperatura, de los cuales hablaremos más adelante.

He aquí algunas de estas mezclas frigoríficas.

CUERPOS	Proporciones en peso.	Descenso de temperatura.
Nitrato amónico.	1	} De 10° á — 15°
Agua.....	1	
Sulfato sódico.....	8	} De 10° á — 17°
Acido clorhídrico.....	5	
Hielo machacado.....	2	} De 10° á — 17°
Sal común.....	1	
Cloruro de calcio cristalizado...	4	} De 0° á — 51°
Nieve ó Hielo machacado.....	3	

Solidificación.—*Es el tránsito de un cuerpo del estado líquido al sólido.*

Está sujeta á las siguientes leyes.

1.^a *Cada cuerpo, á una presión dada, se solidifica á una temperatura determinada, que es precisamente la de su punto de fusión.*

2.^a *Mientras la solidificación se está verificando la temperatura permanece invariable.*

En este cambio es restituído el calor que en la fusión fué transformado en trabajo para vencer la cohesión molecular, el cual, en este caso, se transforma, á su vez, en la misma cantidad de calor que en la fusión fué absorbido.

Siendo este el fenómeno inverso á la fusión, los cuerpos que aumentan de volumen al fundirse, lo disminuyen al solidificarse y viceversa.



El hielo flota sobre el agua porque, aumentando de volumen en la solidificación, disminuye su densidad, igual 0.93. Este aumento de volumen produce una fuerza expansiva extraordinaria, que puede producir la rotura de los recipientes cerrados en los que se verifique; tal fuerza expansiva es la causa de la rotura de las piedras porosas en el invierno y de la destrucción de algunos vegetales durante las grandes heladas, por romperse los vasos conductores de la savia al solidificarse ésta.

REHIELO.—Dos trozos de hielo en contacto, sometidos á una presión, se sueldan. La presión hace fundirse las partes en contacto y el líquido resultante entrando en los intersticios, libres de la presión, vuelve á congelarse. Para demostrar este fenómeno se toma un prisma de hielo, colocándole horizontalmente; de él se cuelga un alambre con pesos, el cual poco á poco pasa á través del prisma sin que éste quede cortado, pues al mismo tiempo que el alambre hiende el hielo, el *rehielo* suelda las partes separadas.

SUBFUSIÓN.—Algunos líquidos presentan la particularidad de que habiendo descendido á temperaturas inferiores á su punto de solidificación se mantienen, sin embargo, al estado líquido. El *Agua* presenta este fenómeno en los vasos capilares de los vegetales, ó cuando se la mantiene completamente inmóvil á temperaturas algo inferiores á 0°. Enfriándole lentamente, el *Azufre* fundido puede llegar á la temperatura ordinaria sin solidificarse y, el *Fósforo*, cuyo punto de solidificación es de 44'2 llega hasta los 22°, permaneciendo líquido en el seno del agua inmóvil. Pero en estos casos, un movimiento cualquiera ó el contacto con una partícula sólida de la misma sustancia, determinan la solidificación inmediata.

Cristalización.—*Es el paso de un líquido al estado sólido adoptando formas geométricas regulares, que reciben el nombre de cristales.*

Puede verificarse en la solidificación de los cuerpos fundidos (por *via seca*), como en los metales, ó en la de las

substancias disueltas (por *vía húmeda*), como cristalizan las sales y otros cuerpos.

El estudio detallado de la cristalización corresponde principalmente á la Cristalografía y á la Química.

Sobresaturación.—Es el fenómeno por el cual, al descender la temperatura de una solución, la sustancia disuelta en el disolvente está en mayor cantidad que la correspondiente á su grado de saturación, á la temperatura actual. Este fenómeno, denominado *sobresaturación*, cesa tan pronto se introduce una partícula sólida del cuerpo disuelto.

Vaporización.—*Es el tránsito de un líquido al estado gaseoso (vapor) por la acción del calor.* La vaporización puede verificarse solamente en la superficie del líquido (*evaporación*) ó al mismo tiempo en toda su masa (*ebullición*).

Algunos líquidos (*aceites*), no emiten vapores á ninguna temperatura y se les denomina *fijos*; otros emiten vapores á todas temperaturas, (*Alcohol, Eter, etcétera*), y se les llama *volátiles*; algunos no comienzan á vaporizarse sino á partir de cierto grado de calor (*Acido sulfúrico, desde los 30°*). Varios sólidos pasan al estado de vapor sin pasar por el líquido, y á este tránsito se le dá el nombre de *sublimación*.

VAPORIZACIÓN EN EL VACÍO.—*Los líquidos volátiles en el vacío pasan instantáneamente al estado de vapor.*

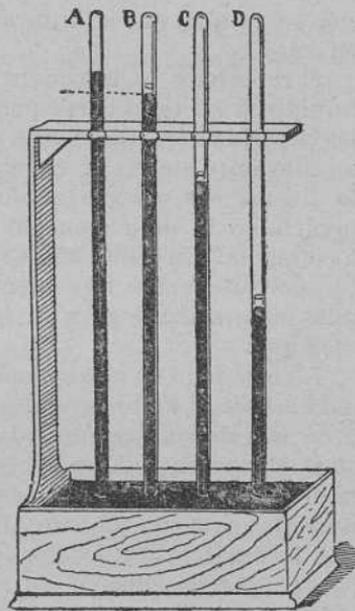


FIGURA 134.—Vaporización en el vacío.

Tomemos varios tubos barométricos con mercurio que colocamos en una cubeta común (fig. 134). Si con una pipa curva introducimos en cada uno y respectivamente, dejando el primero A libre para la comprobación, una gota de agua B, una gota de alcohol, C, y otra de éter D, veremos que los tres líquidos se vaporizan instantáneamente al llegar á la cámara barométrica. Al mismo tiempo se observa que la columna barométrica desciende un poco, lo que nos muestra que el vapor formado ejerce una presión sobre ella, que equilibra en parte á la presión atmosférica.

Si repetimos la introducción de nuevas gotas de cada líquido en su tubo correspondiente, se repetirán también la vaporización y descenso del mercurio, hasta llegar á un momento en que la última gota se mantiene líquida y lo mismo las que se añadan después, permaneciendo invariable la depresión del mercurio, si la temperatura no cambia. En este caso se dice que el *espacio* está saturado de vapor y la fuerza elástica de este vapor en tales circunstancias es su *tensión máxima*. Por esto se dice que:

La cantidad de líquido que puede vaporizarse en un espacio vacío, á una temperatura dada, está limitada por la presencia de una tensión máxima.

Si observamos ahora el nivel del mercurio veremos que, la depresión sufrida por la columna del tubo del Agua es menor que la del tubo de Alcohol, y ésta á su vez menor que la del del Eter. De donde

A una temperatura dada, cada líquido posee una tensión máxima propia, distinta de la de los demás.

Si calentamos ahora los tubos por su parte superior, el mercurio desciende, y parte del líquido (Agua, Alcohol, Eter) pasa al estado de vapor, verificándose ambos fenómenos con tanta mayor amplitud cuanto el calor comunicado es mayor. Si dejamos enfriar poco á poco los tubos, los vapores nuevamente formados se condensan en gotitas en las paredes de cada uno y, al llegar á la primitiva temperatura, el nivel de la columna de mercurio es el mismo de antes, porque la presión ó tensión máxima es la misma. Lo cual nos demuestra que

La tensión máxima de los vapores aumenta ó disminuye con el aumento ó disminución de la temperatura.

Ley de Watt ó principio de la pared fría.—Cuando las diversas partes de las paredes de un recipiente que contiene un vapor saturante están á una temperatura diferente, si el exceso de líquido puede permanecer en la pared de temperatura más baja, la tensión máxima del vapor es la equivalente á esta temperatura más fría.

VAPORIZACIÓN EN PRESENCIA DE LOS GASES.—La vaporización de un líquido en un recipiente cerrado, que contiene uno ó varios gases se verifica lentamente, en cantidad igual á la que se vaporizaría en el vacío y con la misma tensión máxima. La fuerza elástica de la mezcla gaseosa resultante es igual á la suma de las tensiones aisladas del vapor y el gas ó gases.

Evaporación.—*Es el tránsito lento de un líquido al estado de vapor, cuando sólo se produce en su superficie.*

Cuando la evaporación se verifica en la atmósfera, se le dá el nombre de *evaporación espontánea* ó simplemente *evaporación*. A esta nos referiremos exclusivamente.

Por la evaporación se secan las ropas tendidas después de lavadas, desaparece el agua abandonada en un plato, etcétera, etc. Los mares, lagos, ríos, etc., están emitiendo constantemente vapor de agua.

La mayor parte de los líquidos dan vapores á todas las temperaturas, como el *Agua*, el *Alcohol*, el *Eter*. El *Acido sulfúrico* lo hace sólo á más de 30°. Algunos cuerpos sólidos pueden emitir también vapores (*sublimación*) como el *Alcanfor*, el *Iodo*, etc.

Aunque la evaporación no se rige por leyes bien determinadas, se sabe por la experiencia que: *La cantidad de líquido evaporado en un tiempo dado, un segundo, (velocidad de evaporación) es proporcional á la superficie.*

Por eso las salinas, donde la sal común se obtiene por evaporación del agua del mar, tienen poco fondo y gran extensión. La sal de los lagos salados se extrae haciendo

caer el agua sobre un macizo de ramas secas, que, dividiéndola mucho, le dan una gran superficie de evaporación.

La evaporación es más activa cuanto menor cantidad de vapores del mismo líquido existen en la atmósfera donde aquella se verifica.

Así una atmósfera muy seca, con corrientes de aire seco que la renueven, favorece la evaporación, pues es necesario que el espacio no esté saturado, porque si nó la tensión del vapor, siendo mayor que la tensión de los vapores del líquido, impedirían el cambio de estado.

La evaporación aumenta con la elevación de temperatura.

En la Industria se acelera la evaporación de los líquidos calentándolos, al par que se les ofrece la mayor superficie libre posible, y se les hace llegar una corriente de aire seco y caliente.

DESCENSO DE TEMPERATURA EN LA EVAPORACIÓN.— En la evaporación, cierta cantidad de calor se transforma en el trabajo interno necesario para vencer la cohesión de las moléculas del líquido. Cuando éste no tiene un foco calorífico que se lo suministre, este calor es tomado del mismo líquido y de los cuerpos que le rodean, de aquí el descenso de temperatura que se produce en los líquidos en su evaporación

Rodeando el depósito de un termómetro con algodón y poniendo en él unas gotas de éter, al evaporarse éste, la columna termométrica baja. Si se introduce un tubo de ensayo con un poco de agua en una copa con éter, y se activa la evaporación, soplando con un fuelle, el descenso de temperatura producido llegará á congelar el agua. Los botijos enfrían el agua por la evaporación de la que mana por sus intersticios. Por idénticas razones la evaporación defiende á las plantas contra los ardores del Sol, como el sudor tiende á conservar el equilibrio térmico del cuerpo,

APLICACIONES INDUSTRIALES.—La principal es la de la fabricación de hielo mediante el frío producido por la evaporación de ciertos cuerpos, como el *Amoniaco*, el *Anhidrido sulfuroso*, el *Cloruro metílico*, el *Éter metílico*, etc., etc.

Uno de los aparatos más empleados es el de Carré. Consta de dos fuertes recipientes cerrados, A (*caldera*) y B (*congelador*), reunidos por un tubo de hierro. La caldera, que contiene solución concentrada de amoníaco, es colocada en un horno; el congelador posee una forma tal, que rodea á otro recipiente C, que contiene el agua que se ha de helar, estando aquel sumergido en un balde con agua fría.

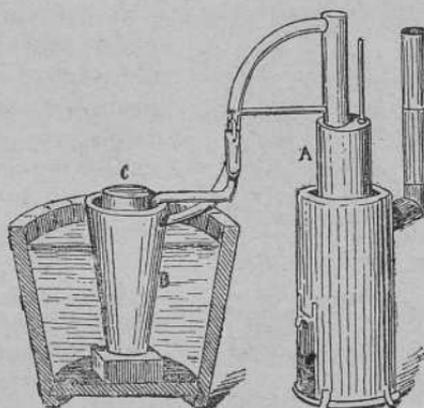


FIGURA 135.—Aparato de Carré, para la obtención del Hielo.

Por el calor comunicado á la caldera, el gas amoníaco se desprende y va á acumularse en el congelador, donde, cuando la presión es suficiente, se condensa, pasando al estado líquido.

En el momento en que la condensación es completa, se quita la caldera del horno y se coloca en el agua fría, con el congelador al exterior; entonces, enfriándose rápidamente el agua de dicha caldera redisuelve los vapores de amoníaco, produciéndose, al disminuir la tensión, la evaporación inmediata de todo el amoníaco líquido, por ser absorbido todo el vapor á medida que se produce. Esta evaporación

rápida origina el descenso de temperatura necesario para congelar el agua.

Para la fabricación de hielo en gran escala emplease aparatos continuos, en los cuales se produce el descenso de temperatura con el *Amoniaco* ó con el *Anhidrido sulfuroso*, que es más barato.

Ebullición.—*Es la vaporación de un líquido en toda su masa, con formación de burbujas tumultuosas.*



FIGURA 136.
Ebullición del agua.

Si en un matraz calentamos agua observaremos que, cuando la temperatura se eleva, comienzan á desprenderse algunas pequeñas burbujas que salen al exterior, las cuales no son otra cosa que los gases en el agua disueltos. Después, al acercarse la temperatura á 100°, otras burbujas más gruesas se forman y se separan de las paredes y el fondo de la vasija, yendo á condensarse en las capas líquidas superiores, más frías, con un ruido característico, denominado *canto del agua*. Por último, un desprendi-

miento tumultuoso de burbujas de vapor de agua, iguales á las anteriores, se verifica en toda la masa del líquido, saliendo al exterior, puesto que ya la temperatura es la misma en toda la masa. En este momento hay gran producción de vapor, y se dice que el agua *hierve*, es decir, que está en *ebullición*.

LEYES DE LA EBULLICIÓN.—*Cada líquido posee una temperatura determinada de ebullición, distinta de la de los demás.*

Este punto de ebullición es siempre el mismo, si la presión no varía.

He aquí el punto de ebullición de algunos cuerpos al estado líquido.

LIQUIDOS	Grados.	LIQUIDOS	Grados.
Acido nítrico.....	86	Cloroformo.....	60'8
Acido sulfúrico.....	338	Eter sulfúrico.....	34'5
Acido sulfuroso.....	-10	Esencia de trementina	156'8
Agua destilada.	100	Fósforo.....	278
Alcohol absoluto.....	78'4	Mercurio.....	350
Bencina.....	80'4	Zinc.....	932

Mientras la ebullición se está verificando la temperatura permanece invariable.

Puede demostrarse esta, como la anterior ley, introduciendo un termómetro en el líquido en ebullición.

La tensión del vapor de un líquido en ebullición, es igual á la presión ejercida sobre él.

Puede demostrarse esta ley con un tubo en U, de ramas desiguales, de las que la más corta está cerrada. Pónese una cantidad de mercurio, no excesiva, y se hace llegar á la rama corta una pequeña porción de agua, con lo que ésta ocupa la parte superior y el resto de la rama el mercurio. Colocado después el tubo por cima del agua hirviendo, que contiene un matraz, el agua del tubo se evapora en parte, y el mercurio desciende hasta que su nivel en cada rama está á la misma altura, lo que nos demuestra que la tensión máxima del vapor de agua formado es, á la temperatura de ebullición, igual á la presión atmosférica.

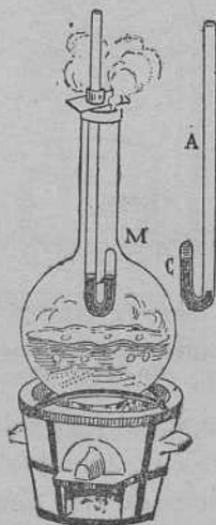


FIGURA 137.—Tensión del vapor en un líquido en ebullición.

CAUSAS QUE MODIFICAN EL PUNTO DE EBULLICIÓN.—La presión que el líquido sufre modifica su punto de

ebullición. *Cuando la presión exterior disminuye, el punto de ebullición desciende.*

Por esto en las altas montañas, en las que la presión atmosférica es menor que en la orilla del mar, el agua hierve á temperaturas inferiores á 100.º En los laboratorios puede demostrarse esto colocando bajo la campana de la máquina neumática una cápsula con agua á unos 50º; al

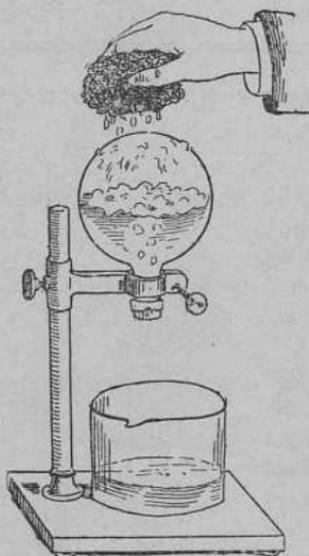


FIGURA 138.—Experiencia de Franklin.

extraer el aire, el agua comienza á hervir. Aún más sencilla es la experiencia de Franklin; en un matraz, mediado de agua, se hierve ésta; los vapores expulsan el aire en él contenido; se tapa herméticamente y se deja enfriar un poco; entonces colocando el matraz con el cuello hacia abajo, se enfría por la parte ahora superior con una esponja empapada en agua fría; los vapores se condensan produciéndose un vacío, que origina la nueva ebullición del agua, evidentemente á una temperatura inferior á la de su punto de ebullición.

La Industria aprovecha esta propiedad para hervir á temperaturas bajas ciertos líquidos, como los jarabes en las fábricas de azúcar, que podrían alterarse á temperaturas más elevadas.

En cambio, *cuando la presión aumenta, el punto de ebullición se eleva.* Si en un recipiente cerrado se calienta agua, como los vapores aumentan su tensión á medida que se les calienta impiden que el agua hierva.

Así sucede en la *Marmita de Papin* que es una fuerte caldera, cerrada por una tapa perfectamente adherida á ella,

de modo que constituye un vaso cerrado. Un manómetro y un termómetro indican en todo momento la presión y la temperatura. Además, una válvula de seguridad previene contra todo peligro de explosión, levantándose cuando se aproxima al límite de resistencia máxima de la caldera.

Los *autoclaves*, perfeccionamientos del anterior aparato, son hoy muy empleados en la Industria para disolver ciertas sustancias que sólo son solubles á temperaturas superiores á la del punto de ebullición normal del disolvente, tal sucede en la extracción de la gelatina de los huesos. Además son aparatos esterilizadores, por poderse con ellos someter los líquidos á temperaturas en que toda clase de microorganismos perjudiciales quedan destruídos.

La falta de gases en disolución en los líquidos retarda la ebullición de los mismos, y ésta se verifica de una manera más brusca.

Las sustancias disueltas en un líquido, si son menos volátiles que éste, elevan la temperatura de ebullición, tanto más cuanto la solución está más concentrada. Una solución saturada de Sal común en agua, hierve á $108^{\circ}4$, otra de Cloruro de Calcio, en las mismas condiciones á $179^{\circ}5$. Pero la temperatura de los vapores permanece invariable á la presión correspondiente, puesto que son únicamente los vapores del disolvente.

Aunque en menor escala influyen también en el punto de ebullición de los líquidos, la naturaleza de

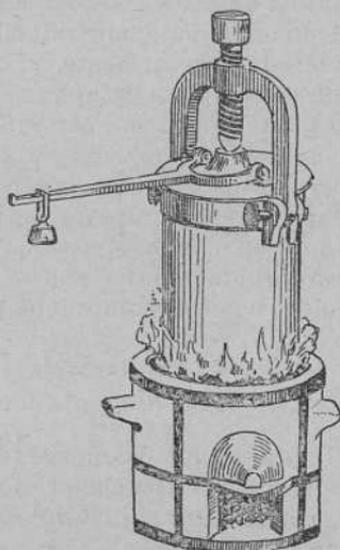


FIGURA 139.—Marmita de Papin.

las vasijas, siendo preferibles las metálicas á las de vidrio que retardan la ebullición, y, por último, la altura del líquido en el recipiente, etc., etc.

Calefacción de los líquidos.—Cuando se pone una pequeña cantidad de un líquido volátil sobre una plancha metálica calentada al rojo, adopta una forma redondeada, á modo de glóbulo, muy móvil si está en pequeña cantidad y dentado regularmente, el cual se evapora, sin hervir, hasta su completa desaparición.

En este fenómeno, atribuido antes á un *estado* particular denominado *esferoidal*, la esferita líquida no toca á la superficie de la plancha incandescente, como se puede comprobar mirando entre ambas una luz, situada en el mismo plano y en el lado opuesto. Además la temperatura de la masa líquida es inferior á la del punto de ebullición del líquido, como se comprueba por la observación directa.

Liquefacción.—*Es el tránsito de los vapores ó los gases al estado líquido.*

LIQUEFACCIÓN Ó CONDENSACIÓN DE LOS VAPORES.—Puede producirse por una compresión suficiente; cuando el vapor llega á adquirir su tensión máxima, no pudiendo continuar al estado gaseoso, se condensa.

El método más generalmente empleado para condensar los vapores, consiste en someterlos á condiciones inversas á las que determinaron su formación. Haciéndoles sufrir un descenso de temperatura se condensan, restituyendo en este cambio de estado todo el calor absorbido por el líquido al convertirse en vapor.

Al enfriarse el vapor se aminora su fuerza elástica, llega á su saturación y se condensa. Por esto se empañan interiormente los cristales de los balcones en el invierno, pues el vapor de las habitaciones se condensa al tocar la superficie fría del vidrio. Lo mismo sucede con una botella de agua fría que se coloca en una habitación templada. El vapor de agua emitido en la respiración se condensa

también en la atmósfera en los días muy fríos, formando como una especie de niebla.

DESTILACIÓN.—*Es una operación, fundada en la condensación de los vapores por enfriamiento, que tiene por objeto separar un líquido volátil de las materias sólidas que contenga, ó varios líquidos entre sí, primitivamente mezclados.*

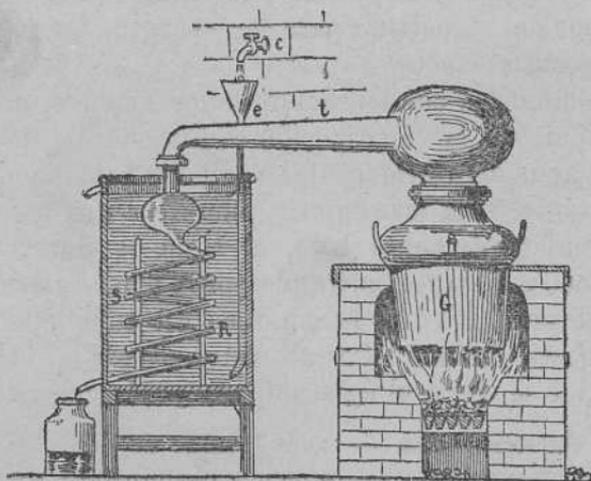


FIGURA 140.—Alambique.

A los aparatos más empleados se les denomina *Alambiques*. El *Alambique* consiste en una caldera de cobre, C, *cucúrbita*, cerrada por una tapadera á modo de cúpula, *capitel*, del que parte un tubo casi horizontal t, que termina en otro tubo descendente en hélice ó zig-zag, *serpentín* S, bañado exteriormente por el agua que contiene un recipiente, *refrigerante* R, y teniendo salida por la parte inferior de éste. Supongamos que vamos á destilar agua de mar para obtener agua pura. La operación se dirige á separar el agua pura de todas las sustancias sólidas que contenga en disolución ó suspensión. Se pone el agua

que se va á destilar en la cucúrbita y ésta en un hornillo *ad hoc*; se cierra con el capitel, cuyo tubo ha de ajustarse perfectamente por el otro extremo al serpentín. Por efecto del calor del hornillo el agua entra en ebullición, y sus vapores pasan por el tubo del capitel al serpentín, donde, por hallarse éste enfriado con el agua fría del refrigerante, se condensan, saliendo el líquido resultante por el extremo inferior del serpentín, para ser recogido en la vasija dispuesta al efecto.

Como en la condensación de los vapores, el calor absorbido en la vaporización es totalmente restituido, el agua del refrigerante se calienta sensiblemente, por lo que, para mantenerla siempre á una temperatura suficientemente baja, el agua es renovada de un modo constante, entrando por la parte inferior del refrigerante, al que la conduce un tubo que llega casi hasta el fondo. Por un caño situado en la parte superior se vierte el agua sobrante, más caliente.

En la destilación de todo líquido se debe observar ciertas precauciones, más ó menos complicadas, según las sustancias que lo impurifiquen. Para el agua consisten generalmente en despreciar las primeras y últimas porciones del líquido destilado, en las cuales pueden pasar mecánicamente algunas de las sustancias extrañas.

Cuando la destilación tiene por objeto la separación de líquidos con distinto punto de ebullición, que constituyen una mezcla, toma el nombre de *destilación fraccionada*, pues esta se hace en varias veces, á las diversas temperaturas á que hierva cada líquido, empezando por la más baja. Para extraer, por ejemplo, el alcohol de un vino, no se calienta éste líquido sino á temperaturas muy poco mayores de $78^{\circ},4$, que es el punto de ebullición del alcohol, con lo que éste líquido destila con una muy escasa

cantidad de agua. Si después fuese útil separar el agua de las materias sólidas del vino habría que elevar la temperatura á algo más de 100° . En la Industria úsase *aparatos destilatorios* continuos, para destilaciones fraccionadas, pero con formas y disposiciones varias, según los usos á que se les destina, como fabricación de alcoholes industriales, destilación de petróleos brutos, etc., etc.

LIQUEFACCIÓN DE LOS GASES.—Esencialmente no se diferencian de los vapores; por esta razón pueden ser liquidados por procedimientos análogos, por *enfriamiento*, por *compresión* y por *compresión y enfriamiento* á la vez. En el día han sido liquidados todos los gases.

Por compresión.—Algunos gases, como el *Anhidrido carbónico*, el *Cloro*, el *Acido sulphídrico*, etc., pasan al estado líquido sometiéndolos á una fuerte presión, obtenida las más de las veces con una sólida bomba de compresión, como ocurre sometiéndolo el *Protóxido de Nitrógeno*, á 0° , á una presión de 20 atmósferas.

Por enfriamiento.—Otros gases cambian de estado, pasando al líquido, por un conveniente enfriamiento. Así, haciendo pasar el *Anhidrido sulfuroso* por un tubo rodeado de una mezcla frigorífica se liquida en él á -10° . Por el mismo procedimiento se obtienen líquidos el *Acido hiponítrico*, á temperaturas inferiores á 22° ; el *Cloro* á -40° , etc.



FIGURA 141.—Tubo de Faraday.

Por compresión y enfriamiento.—Es el procedimiento más usado y el de resultados más amplios. Puede demostrarse la liquefacción de algunos gases por medio del *tubo de Faraday*, que es un tubo encorvado en ángulo obtuso, cerrado por ambos extremos, en uno de los cuales se contienen el cuerpo ó cuerpos que han de producir el gas.

Supongamos que es solución de amoniaco en agua la que se contiene en dicho extremo. Sumergiendo éste en un baño caliente de agua ó aceite, el gas se desprende por la acción del calor yendo á acumularse al otro extremo, rodeado de una mezcla frigorífica, donde comprimiéndose á sí mismo, se vá condensando por enfriamiento y compresión de modo semejante á como se verifica en el aparato de Carré para la obtención del Hielo.

Las experiencias de Faraday, perfeccionadas por Melsens, no lograron liquidar los gases *Hidrógeno*, *Oxígeno*, *Nitrógeno*, *Bióxido de Nitrógeno*, *Oxido de Carbono* y *Formeno*, que entonces se les denominó *permanentes*. Más tarde los trabajos aislados de Pictet y de Cailletet en Ginebra y París respectivamente, en 1877, y los posteriores de Wroblewski y Olszewski, han conducido á la liquefacción de todos los gases permanentes, sometiéndolos á grandes presiones y temperaturas muy bajas, obtenidas con aparatos y procedimientos especiales, en cuya descripción no podemos entrar sin traspasar los límites de estos elementos. Por último, Linde y Dewar, por caminos distintos de los anteriores, han conseguido obtener grandes cantidades de los gases liquidados, lo que no se pudo alcanzar con los otros procedimientos.

APLICACIONES DE LOS GASES LIQUIDADOS.—La Industria utiliza hoy algunos gases liquidados, ya por el escaso volumen ocupado en este estado por enormes volúmenes de gas (1 litro próximamente de Amoniaco líquido produce 1.350 de gas en las condiciones normales), ya para obtener grandes descensos de temperatura, necesarios para la conservación de materias alimenticias, fabricación de hielo, etc. (*Amoniaco*, *Anhidrido sulfuroso*, *Anhidrido carbónico*), en los Laboratorios (*Cloruro de metilo*) etc., etc.

PROPAGACIÓN DEL CALOR

Propagación del calor.—Puede ser por *conductibilidad* y por *radiación*.

Conductibilidad.—El calor se propaga por conductibilidad cuando se transmite á través de la masa

de los cuerpos, gradual y sucesivamente, molécula á molécula, calentándose todas desde el foco calorífico.

Los que conducen fácil y prontamente el calor, son llamados cuerpos *buenos conductores*, (metales); á los que no presentan esta aptitud, se les denomina *malos conductores* (vidrio, madera, etc.).

En general, los sólidos son mejores conductores que los líquidos, cuya conductibilidad es escasa. La de los gases es casi nula.

SÓLIDOS.—Los cuerpos, aun los buenos conductores, no presentan la misma conductibilidad.

Si sostenemos paralelamente, en una mano tres varillas iguales, una de *Cobre*, otra de *Zinc* y la tercera de *Hierro*, por ejemplo, y las calentamos por igual en el otro extremo, se observará que la primera que nos hace experimentar la sensación de calor, es la de *Cobre*, más tarde la de *Zinc* y luego la de *Hierro*, y que cuando es preciso arrojar la de *Cobre*, por no poderla resistir en la mano, aún se puede soportar á las otras dos.

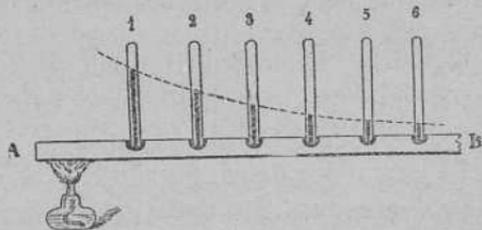


FIGURA 142.—Procedimiento de Despretz.

Esto mismo puede comprobarse con el *aparato de Ingenhousz* ó por el procedimiento de *Despretz* (fig. 142), que es más exacto y concluyente. Se toma varillas prismáticas de cada uno de los metales que se ha de ensayar, las cuales llevan orificios equidistantes, en los que se coloca el depósito de pequeños termómetros muy sensibles. Calentando por un extremo la varilla A B sometida á ensayo, se observa la ascensión gradual de las columnas termométricas 1, 2, 3, 4, 5, 6 á partir del foco calorífico, disminuyendo su altura conforme se separa de aquel



foco, hasta llegar á un termómetro que marca la temperatura ambiente.

Los cuerpos metálicos usuales, mejores conductores del calor, lo son por este orden: *Plata, Cobre, Oro, Latón, Zinc, Estaño, Hierro, Acero, Plomo, Platino, Bismuto*, etcétera.

LÍQUIDOS.—Los líquidos son malos conductores del calor, excepto el *Mercurio*.

Si en un delgado tubo de vidrio ponemos agua, y calentamos por la parte superior, teniendo cuidado de que toda la masa del líquido permanezca inmóvil, se puede hacer hervir las capas superiores de agua sin que las inferiores experimenten variación sensible de temperatura.

GASES.—La conductibilidad de los gases es tan escasa que puede considerarse como nula, en una capa de aire mantenida en absoluta inmovilidad.

El gas mejor conductor del calor es el *Hidrógeno*.

CONVECCIÓN.—Sin embargo de lo expuesto, cuando se calienta á un líquido ó un gas por su parte inferior, vemos que su temperatura, al cabo de algún tiempo, se ha elevado en toda su masa, pero no propagándose el calor por conductibilidad, sino mediante un fenómeno distinto, denominado *convección*, consistente en la formación de corrientes ascendentes y descendentes en el seno del líquido ó del gas, que aseguran el contacto de toda la masa con el foco calorífico.

Si en un ancho matraz ponemos agua, con unas partículas de serrín en suspensión, para hacer más visibles los movimientos del agua, y calentamos, con un mechero, por la parte inferior, la porción de agua que se halla en contacto del foco de calor, se dilata, aumenta de volumen, disminuyendo por lo tanto su densidad, subiendo por esta razón á ocupar las capas superiores, lamiendo las paredes del matraz. Otra porción de agua, más fría y más densa,

ocupa el lugar abandonado por la primera y, calentándose, asciende también por idénticas causas, dejando el lugar libre á otra nueva porción. Así, de un modo continuo, se establecen corrientes laterales ascendentes del agua más caliente, y centrales descendentes del agua más fría, fácilmente visibles porque las partículas de serrín son arrastradas por ellas.

La mayor movilidad y dilatabilidad de los gases hacen que estas corrientes sean más rápidas y pronunciadas que en los líquidos. Por ellas se producen los vientos en la superficie de la tierra. Cuando el suelo se calienta en una región, el aire que se halla en contacto con él se calienta también y se eleva, siendo reemplazado por el que afluye de las regiones próximas, más frías.

Aplicaciones.—La diferente aptitud de los cuerpos para conducir el calor, se utiliza con innumerables fines. Los instrumentos metálicos, que han de estar expuestos á un gran calor, tienen mangos de madera ú otra materia *mala conductora*. El entarimado, las dobles vidrieras ó puertas, entre las cuales queda siempre una capa de aire, impiden la pérdida de calor de las habitaciones; lo mismo que las ropas, los abrigo de lana, piel ó pluma, los sombreros de fieltro, los edredones, etc., protegen al cuerpo contra el frío exterior por idénticas causas. Un líquido caliente tarda menos en enfriarse, si se coloca el vaso que lo contiene sobre una plancha metálica, que si se pone sobre una placa de corcho. Aún más se conservaría el calor en dicho vaso colocándole dentro de otro de mayor capacidad, rellenando el espacio intermedio entre ambos con cuerpos aisladores como el serrín, corcho, etc., sistema empleado para aislar algunas calderas. La nieve se conserva, aun durante el estío, en los pozos de nieve, cubriéndola con paja, cuya mala conductibilidad, aumentada por el aire que se contiene en sus tallos, protege á aquella contra la influencia del calor exterior. De modo semejante obran los sombreros de paja para defender la cabeza de los calores estivales.

El uso de las telas metálicas está fundado en la gran conductibilidad de los metales. Si sobre una llama se coloca una fina tela metálica, dicha llama no pasa á través

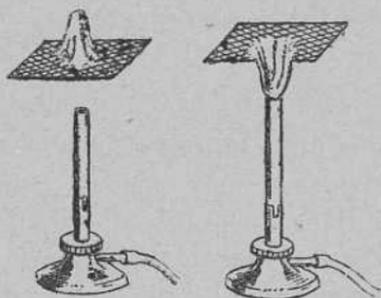


FIGURA 143.—Telas metálicas.

de las mallas, porque, cediendo á la tela una gran cantidad de calor, su temperatura desciende, hasta el punto de que los gases no pueden arder por cima de dicha tela. Lo mismo sucede, sino que en sentido inverso, cuando sobre un mechero se pone una tela metálica, si se

acerca entonces, por encima, una cerilla encendida, los gases arden por la parte superior, pero no por bajo de la tela.

La lámpara de Davy, empleada en las minas de hulla para evitar las explosiones del gas grisú que en ellas se desprende, está fundada en dicha propiedad de las telas metálicas. En esencia, es una lámpara de aceite, cuya llama queda encerrada en una chimenea formada por una tela metálica. El gas, que penetra á través de las mallas de la tela, arde en el interior, pero, no haciéndolo al exterior, no puede producir explosión.

Radiación del calor.—El calor se propaga también entre cuerpos distantes, á través de los medios transparentes, sin que se comunique á estos ninguna elevación sensible de temperatura. A esta manera de propagarse el calor, se denomina por *radiación*.

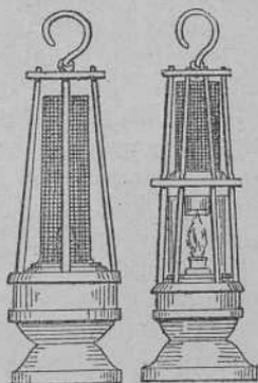


FIGURA 144.—Lámpara de Davy.

Por radiación llega á nosotros el calor del Sol atravesando el vacío, la atmósfera terrestre y aún los cristales de las ventanas; y por radiación percibimos directamente el calor de un hogar.

El calor radiante se propaga en línea recta en los medios homogéneos y en todas direcciones; su intensidad depende del foco de calor, de la distancia de éste y de la inclinación del rayo calorífico.

La identidad de los fenómenos del calor radiante y los de la radiación de la luz, nos hace aplazar su estudio completo para lugar oportuno.

Enfriamiento.—Cuando dos cuerpos se hallan en presencia uno de otro, con diferente temperatura, como ambos emiten calor, establécese entre ellos un cambio calorífico recíproco, cediendo el más caliente mayor cantidad de calor al más frío que la que recibe de él, hasta que la temperatura en ellos llega á igualarse, emitiendo entonces y recibiendo cada uno igual cantidad de calor (*equilibrio móvil de temperatura*).

Como ejemplo nos puede servir el de cualquiera cuerpo caliente en una habitación, el cual, en presencia del aire, se enfriará tanto más rápidamente cuanto mayor sea la diferencia entre su temperatura y la del medio que le rodea.

CALORIMETRÍA

Definiciones.—Tiene por objeto la *calorimetría* la medida de las cantidades de calor.

La unidad *calorimétrica* es la *caloría*, que es la cantidad de calor absorbida para elevar la temperatura de 1 kilogramo de agua de 0 á 1°. A veces se considera la *pequeña caloría* en la que la masa de agua es solamente un gramo.

La cantidad de calor absorbido por un cuerpo para elevar su temperatura en un grado, es proporcional á la masa de dicho cuerpo, es decir, que para una masa diez veces mayor la cantidad será diez veces mayor también.

Del mismo modo dicha cantidad, para una masa dada, es proporcional al grado de temperatura á que se eleve.

Además, la cantidad de calor absorbida por un cuerpo determinado para elevar su temperatura cierto número de grados (siempre que no haya habido trabajo interno alguno), es restituída íntegramente al descender su temperatura el mismo número de grados.

Calor específico.—*Calor específico de un cuerpo es el número de calorías necesarias para elevar de 0° á 1° la temperatura de 1 kilogramo de este cuerpo.*

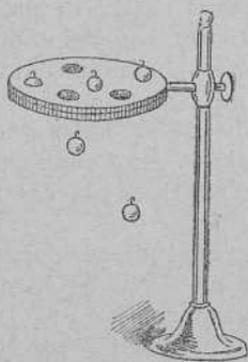


FIGURA 145.—Procedimiento de Tyndall.

Los cuerpos, á igualdad de masa, no absorben la misma cantidad de calor para elevar su temperatura un mismo número de grados. Si ponemos sobre dos mecheros iguales y en idénticas condiciones 1 kilogramo de agua y otro de Mercurio, éste se calienta rápidamente y llega á 100° , cuando el agua no está aún templada. Esto se comprende porque el Mercurio absorbe solamente $0'033$ calorías (que es su calor específico) para elevar su temperatura 1 grado, al paso que el

agua necesita 1 caloría (su calor específico).

Puede emplearse también el procedimiento de Tyndall para demostrar la diferente *capacidad calorífica* de los diversos cuerpos. Sobre un delgado disco de cera, colocado sobre un tripode, colócase esferitas de igual peso de diversos metales, calentadas á 200° próximamente en un baño de aceite. Unas atraviesan rápidamente la cera, fundiéndola, (*Hierro, Cobre, Zinc*), otras no la pasan completamente (*Estaño*), algunas apenas hacen huella en el disco (*Plomo*), lo que nos demuestra que no todos los metales cedieron á la cera la misma cantidad de calor.

Determinación del calor específico.—Tres son los métodos empleados generalmente: el de las *mezclas*, el de la *fusión del hielo* y el del *enfriamiento*.

MÉTODO DE LAS MEZCLAS.—Consiste en mezclar una cantidad determinada P' del cuerpo cuyo calor específico C se quiere determinar, calentado á una temperatura t' , en una porción también determinada en peso P de agua fría pero á temperatura t conocida. El cuerpo cede parte de su calor al agua y llegará un momento en que ambos se encuentren á la misma temperatura t'' . Es indudable que el calor ganado por el agua, $t'' - t$ es igual al perdido por el cuerpo $t' - t''$. Así $P \times (t'' - t) = C \times P' \times (t' - t'')$ de donde $C = \frac{P \times (t'' - t)}{P' \times (t' - t'')}$.

El aparato empleado se denomina *calorímetro*, dispuesto en forma que se eviten en el mayor grado posible los errores por pérdida de calor por radiación y conductibilidad. Además, se opera siempre de modo que la temperatura final sea vecina á la del laboratorio, para que los cambios de calor con el exterior sean más pequeños. Por último, como el vaso del calorímetro es metálico, éste se calienta también, por lo que no es solamente el agua la

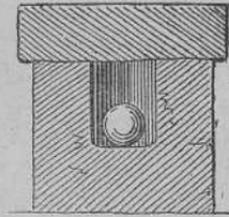


FIGURA 146.—Método de la fusión del hielo.

que absorbió el calor perdido por el cuerpo; de aquí que sea preciso tener en cuenta su peso, su calor específico, etcétera, para modificar la fórmula más arriba expresada.

MÉTODO DE LA FUSIÓN DEL HIELO.—En un bloquecito de hielo se forma una cavidad, en la que se introduce el cuerpo de peso P' cuyo calor específico C se va á determinar y calentado á una temperatura dada t , tapando la cavidad con otro trozo de hielo. El cuerpo comunica su calor al hielo con que está en contacto y lo funde formando una cantidad de agua de peso P que nos servirá para determinar el calor específico que se busca. En efecto, es evidente que el cuerpo ha perdido una cantidad de calor igual $P' \times C \times t$ que es igual $P \times 79'25$, siendo 79'25 el calor de fusión del Hielo. Luego $C = \frac{P \times 79'25}{P' \times t}$.

MÉTODO DEL ENFRIAMIENTO.—Consiste en determinar el calor específico de los cuerpos, por la velocidad de su enfriamiento, teniendo en cuenta su masa.

CALORES ESPECÍFICOS DE ALGUNOS CUERPOS

Sólidos.	Líquidos.
Agua (estado sólido)..... 0,474	Agua..... 1,000
Aluminio..... 0,212	Alcohol..... 0,054
Azufre..... 0,176	Bencina..... 0,436
Cobre..... 0,057	Esencia de trementina..... 0,425
Estaño..... 0,056	Mercurio..... 0,033
Hierro..... 0,112	
Latón..... 0,025	Gases.
Niquel..... 0,102	Agua (vapor)..... 0,477
Oro..... 0,032	Aire..... 0,237
Plata..... 0,057	Anhidrido carbónico. 0,217
Platino..... 0,032	Cloro..... 0,122
Zinc..... 0,093	Hidrógeno..... 3,000

Como se ve por el cuadro anterior, los calores específicos de todos los cuerpos, excepto el del Hidrógeno, son menores que los del Agua; no siendo iguales para cada cuerpo en sus tres estados. El mayor corresponde al estado líquido.

EQUIVALENCIA DEL CALOR Y EL TRABAJO

Cualquier trabajo mecánico efectuado sin que se manifieste el correspondiente aumento de energía de movimiento, pareciendo como que dicho trabajo se destruye, engendra calor.

Si dejamos caer una bola de marfil sobre un plano horizontal de mármol, en virtud de su elasticidad, rebota, sin que aparezca calor alguno, porque en el choque con el mármol no ha habido desaparición de trabajo, puesto que, el movimiento de abajo á arriba ha sido transformado en otro que la eleva en sentido contrario.

Pero si tomamos una bola de plomo, cuerpo no elástico, y la hacemos que *choque* muy fuertemente contra una plancha de acero, la bola no rebota, y, en la anulación de su fuerza viva, aparece calor, á veces tan intenso, que puede llegar á fundirla.

Por el *rozamiento* se calientan los ejes y cubos de las ruedas de un vehículo en marcha, cuando están sin engrasar. En las cátedras suele demostrarse que el rozamiento produce calor por medio de aparato de Tyndall (figu-

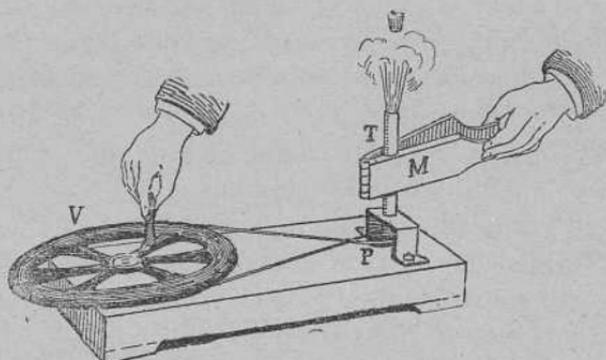


FIGURA 147.—Aparato de Tyndall.

ra 147). Sobre un soporte horizontal de madera, hay un tubo de cobre, perpendicular á él, cerrado por el extremo inferior, el cual tubo puede girar rápidamente por la acción de un volante que le trasmite su movimiento por medio de una correa sin fin. En el tubo se pone alcohol y se cierra con un tapón de corcho. Si sujetamos dicho tubo con unas pinzas de madera y le hacemos girar rápidamente rozando con ellas, llega un momento en que la temperatura desarrollada por el frotamiento hace hervir al líquido, saltando el tapón de corcho, por la expansión del vapor, con proyección de parte del líquido.

Por la compresión del aire, rápida y energicamente en el eslabón neumático se desarrolla calor, en ocasiones, el suficiente para poder inflamar un trozo de yesca.

Contrariamente á lo expuesto, en muchas ocasiones, hay pérdida de calor, que parece desaparecer,

pero que, en realidad, se nos manifiesta en forma de trabajo mecánico.

En las máquinas de vapor, la combustión en el hogar proporciona una cantidad de calor, que se transforma, por intermedio del vapor de agua, en la fuerza viva que pone en movimiento los diversos órganos de la máquina.

Toda cantidad de trabajo gastada, sin aparición de fuerza viva, se transforma en una cantidad equivalente de calor, y, recíprocamente, toda cantidad de calor que suministrada á un cuerpo no produce aumento de temperatura, se transforma en el trabajo mecánico equivalente, en ambos casos, de un modo absoluto, cuando en las sustancias que intervienen no se ha verificado cambio molecular alguno.

La unidad de calor, *la caloría, se transforma en un trabajo mecánico de 426 Kilográmetros, que es el equivalente mecánico del calor.*

MÁQUINAS TÉRMICAS

Máquinas térmicas.—Son las destinadas á transformar el calor en trabajo.

Si el agente intermediario en esta transformación es el vapor de agua, se las denomina *máquinas de vapor*; si se utiliza la dilatación del aire caliente, toman el nombre de *máquinas ó motores de aire caliente*; si lo que se aprovecha es la energía mecánica producida en la combinación del aire con el gas del alumbrado ú otros gases ó vapores (petróleo, bencina, etc.), se les llama *motores de gas ó de vapores combustibles*.

Máquinas de vapor.—Están fundadas en que, la fuerza elástica del vapor de agua, encerrado en

una caldera y calentado á una temperatura superior á 100° , es mayor que la presión atmosférica, tanto más cuanto más elevada es la temperatura de aquel. Así pues, en las máquinas de vapor se utiliza esta diferencia de presión para producir un trabajo mecánico por el movimiento de un émbolo, que lo transmite, modificado ó no, á los diversos órganos de la máquina.

Los ensayos practicados para la aplicación del vapor al movimiento de las máquinas, por Papín, el Marqués de Worcester y Savery, Newcomen, con su *máquina atmosférica*, Cawley y otros, si bien prepararon la invención de la máquina de vapor por Jaime Watt no tuvieron resultado práctico. La gloria de tan gran descubrimiento corresponde por completo á Watt, ingeniero escocés del siglo XVIII, pues muchos de los órganos de su máquina de vapor son esencialmente los mismos usados en la actualidad, con ligeros perfeccionamientos, como lo demuestran el *tubo de nivel*, el *regulador de fuerza centrífuga*, la aplicación del *condensador*, etc., etc.

Los organos esenciales de una máquina de vapor son: Un *generador ó caldera*, donde se produce el vapor; un *cuerpo de bomba* donde el vapor actúa, por su fuerza elástica, sobre un *pistón ó émbolo*; un *mecanismo destinado á transformar el movimiento rectilíneo del émbolo en otro generalmente circular*.

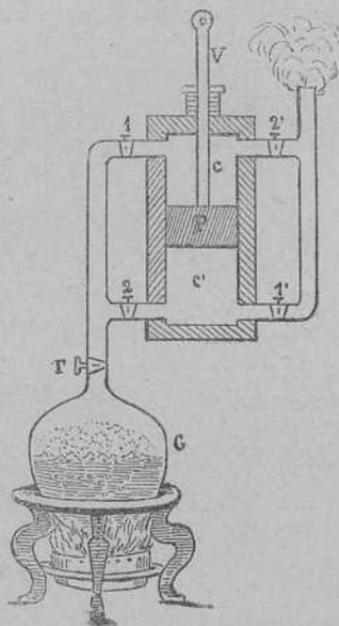


FIGURA 142.—Disposición general de una máquina de vapor.

En la figura esquemática 148 podemos darnos cuenta de los órganos esenciales de una máquina de vapor y de su funcionamiento. En el generador G el agua hierve, produciendo vapor al que, al llegar á adquirir la presión necesaria, se le hace pasar por el tubo T al cuerpo de bomba C C'. Este tiene cuatro aberturas 1 y 2 en comunicación con la caldera, 2' y 1' que lo están con la atmósfera. En dicho cuerpo de bomba existe el pistón P. Hemos abierto, por ejemplo, las llaves de las aberturas 2 y 2' dejando ce-

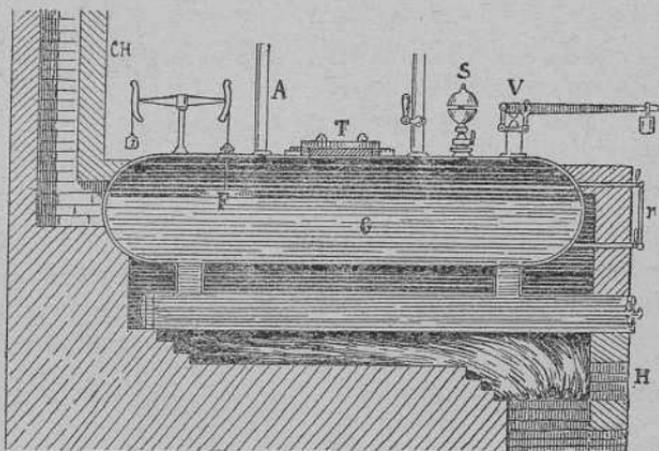


FIGURA 149. - Caldera de hervideros.

rradas las 1 y 1', el vapor entra en el cuerpo de bomba por la 2 y su fuerza elástica obliga al pistón á elevarse, mientras el aire contenido en el espacio C sale al exterior por la abertura 2'. Cerramos ahora estas dos llaves, abriendo la 1 y 1'; el vapor penetra por la 1 y empuja al pistón que descende, al par que el vapor encerrado en C' es expulsado al exterior por la abertura 1'. Repitiendo sucesivamente la entrada y salida del vapor en la forma indicada, el vástago del pistón se moverá con un movimiento rectilíneo de vaivén, que luego puede transformarse por medios diversos.

CALDERAS.—Los principales tipos son: la *caldera de hervideros*, las *semitubulares* y las *tubulares*.

Caldera de hervideros.—Está constituida por un gran cilindro G (fig. 149) de hierro ó cobre, cerrado en cada extremo por un casquete esférico. El cilindro comunica por dos cortos tubos verticales, para cada uno, con otros dos cilindros (*hervideros*) de menor diámetro, paralelos á la caldera y situados sobre el hogar H. Los hervideros y los dos tercios de la caldera están llenos de agua. El fuego del hogar, (cok, hulla, leña, etc.), hace hervir el agua de los hervideros y de la caldera, y el vapor producido se acumula y concentra en la parte superior de la caldera, de la cual sale un tubo (sin letra en la figura) que conduce al vapor al cuerpo de bomba. Todo el generador está contenido en una construcción de mampostería ó de metal en la que se hallan, el hogar cuyas llamas se reconcentran sobre el generador, y la chimenea CH por donde encuentran salida los productos de la combustión.

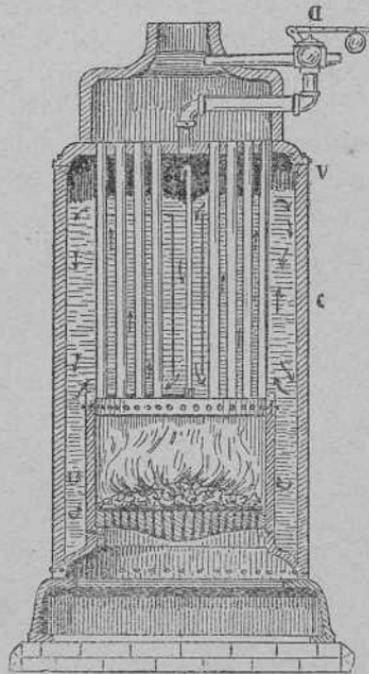


FIGURA 150.—Caldera semitubular.

Las flechas indican la dirección en que el agua circula al hervir.

Calderas semitubulares y tubulares.—En la actualidad son más usadas, porque, aparte otras ventajas reales, producen efectos idénticos con mayor economía de combustible, pues la superficie de calefacción está considerablemente aumentada.

En las *calderas semitubulares*, parecidas á las anteriores, los productos de la combustión, antes de salir por la chimenea, pasan por tubos paralelos, rodeados completamente por el agua del generador. Son empleadas donde la máquina no puede ocupar mucho espacio, como en las locomotoras.

Las *calderas tubulares* están constituídas por tubos, por los que circula el agua, estando rodeados

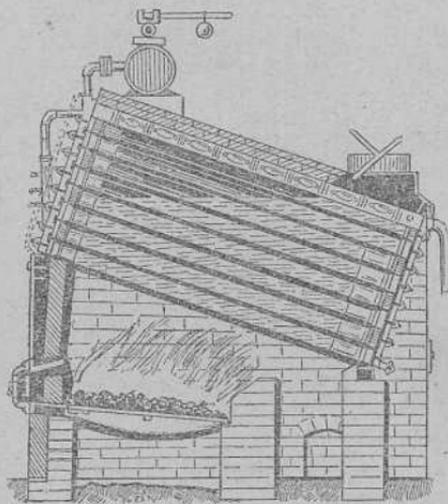


FIGURA 151.—Caldera tubular.

por las llamas del hogar. Estos tubos en comunicación con un *colector*, dividido en dos compartimentos, reciben el agua de él, que á su vez la toma de un depósito, al cual vá después á parar el agua caliente, mezclada con el vapor. Este, antes de pasar á la máquina, pasa por unos tubos

aplastados, en forma de serpentín, donde se recalienta y deseca.

Las calderas tubulares, llamadas también *inexplosibles*, porque cualquier explosión se localiza en un tubo, aminorando en mucho las terribles consecuencias de estos accidentes, son empleadas en las máquinas de los buques y aún en las máquinas fijas de gran potencia.

APARATOS ACCESORIOS DE LAS CALDERAS DE VAPOR.
—EXPLOSIONES.—Cuando la tensión del vapor en la

caldera es mayor que la que los materiales de que está fabricada pueden resistir, podría sobrevenir una explosión de ésta provocando funestas consecuencias; para evitarlas ó para el mejor servicio de la máquina, las calderas llevan diversos aparatos accesorios entre los que los más principales son: la *válvula de seguridad* V (figura 149), especie de tapón metálico, que se ajusta, cerrándolo, á un orificio de la caldera, mediante una barra de hierro con un contrapeso ó resorte, calculados de modo que la válvula pueda ser levantada, dando escape al vapor, siempre que la tensión de éste sea mayor que la que la caldera puede soportar. Un *manómetro*, que indica constantemente la presión interior. Un *tubo de nivel*, de vidrio, que adaptado á una de las paredes de la máquina, comunica, por la parte inferior, con el agua del generador, y, por la superior, con el vapor de la misma. La altura del agua en el tubo nos indica la de la que se contiene en la caldera. Para caso de rotura del tubo de nivel, un *flotador* F hace su oficio indicando el nivel del agua en la caldera, dato importantísimo para no correr el riesgo de una explosión.

En efecto, si por la evaporación la cantidad de agua fuera escasa en la caldera, la parte inferior de ésta llegaría á enrojecer, por el aumento consiguiente de temperatura, y el agua adoptaría el estado esferoidal, en el que, como sabemos, la evaporación es lentísima. Si en este estado, se hace llegar agua á la caldera, por descuido, para alimentarla, la temperatura descendería repentinamente, el estado esferoidal desaparecería y la evaporación se haría tan rápida é intensa, que no pudiendo salir todo el vapor por la válvula de seguridad al mismo tiempo, ejercería sobre las paredes del generador una presión superior á la resistencia de ellas, produciendo una explosión.

Existen además: un tubo A en comunicación con una bomba impelente para hacer llegar á la caldera el *agua de alimentación* necesaria; una *gran abertura* T, herméticamente cerrada, cuando la máquina está funcionando, que permite cuando está parada el paso de un obrero, para limpiar las costras calizas y las incrustaciones que se suelen formar en el interior.

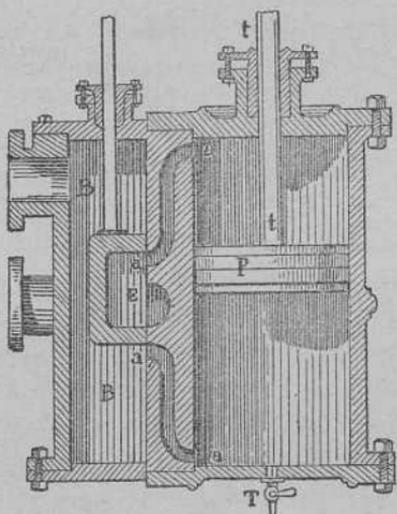


FIGURA 152. —Cuerpo de bomba y caja de distribución.

Muchas veces las aguas empleadas para alimentar el generador contienen gran cantidad de sales de Calcio y de Magnesio, las cuales por concentración debida á la evaporación, cristalizan sobre las paredes interiores de la caldera, recubriéndolas, lo que aumenta su espesor, originando un mayor gasto de combustible. Pero si estas costras se desprenden irregularmente, dejando al descubierto parte de las paredes de la

caldera, estas partes se dilatan, más que las que están recubiertas, pudiendo ser causa de resquebrajaduras, originadoras de explosiones.

CUERPO DE BOMBA Y CAJA DE DISTRIBUCIÓN.—En el cuerpo de bomba, el vapor, actuando alternativamente sobre las dos caras del pistón, engendra el movimiento de vaivén de éste, movimiento rectilíneo, que después ha de ser modificado al comunicarse á los demás órganos de la máquina. Es, pues, el órgano más importante de cuantos la constituyen.

El *cuerpo de bomba* (figura 152), es un resistente tubo de acero, cerrado por sus extremos, en el que se

mueve, ajustando perfectamente, un *pistón* P provisto de un *vástago* t t. Este vástago atraviesa el extremo superior, saliendo al exterior por una caja de estopas, por la que resbala, sin que el vapor pueda perderse.

Como el vapor ha de entrar alternando en las dos partes del cuerpo de bomba, es preciso regular esta entrada, para lo cual existe al lado una *caja de dis-*

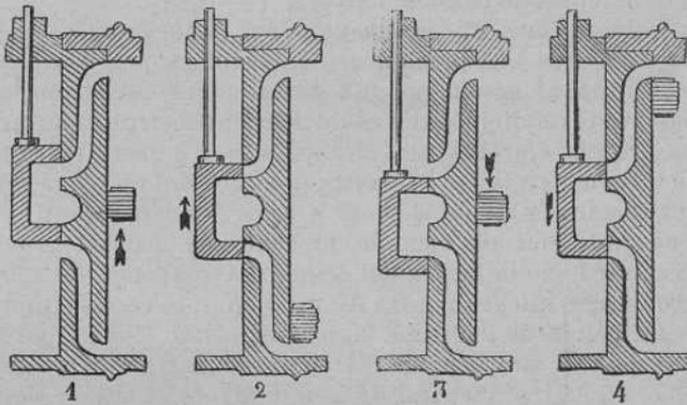


FIGURA 153.—Diversas posiciones de la corredera en la distribución del vapor.

tribución B B (fig. 152) en la que una pieza, *corredera* □, se mueve en sentido contrario al pistón, por medio de un vástago. La caja de distribución y el cuerpo de bomba están en comunicación por dos aberturas a a y a a. El vapor que viene de la caldera entra en la caja de distribución B B, y, si la corredera tiene la posición indicada en la figura, como la entrada a a, de la parte inferior, está franca, el vapor penetra por ella en el cuerpo de bomba, accionando, por su fuerza elástica, al pistón P, que se eleva, hasta que, al llegar cerca del final del cilindro, la corredera, movida por la misma máquina, cambia de

posición cerrando la abertura antes franca y dejando libre la abertura a a de la parte superior; por ésta penetra ahora el vapor, obrando sobre el pistón en sentido inverso, mientras que el vapor que actuó anteriormente escapa, como sucedió antes, por un tubo lateral, ya al exterior, ya á un recipiente denominado condensador.

La figura 153 permite darnos cuenta más exacta de los movimientos de la corredera.

Supongamos que, en la caldera, la fuerza elástica del vapor ejerce una presión de 8 kilogramos por centímetro cuadrado; al actuar en una de las caras del pistón, si la superficie de dicha cara es de 400 centímetros cuadrados, la presión ejercida será de $400 \times 8 = 3.200$ kilogramos, pero como en la cara opuesta la atmósfera ejerce, aproximadamente una presión de 1 kilogramo por centímetro cuadrado, en el ejemplo presente de 400 kilogramos, resultará que la fuerza del émbolo es solamente de $3.200 - 400 = 2.800$ kilogramos (1). Ahora bien, si el vástago tiene 75 centímetros de longitud, dando el pistón dos golpes por segundo, el movimiento real por segundo será de 1 metro 50 centímetros, y el trabajo efectuado en el mismo tiempo es de $2.800 \times 1'50 = 4.200$ kilográmetros; lo que da una potencia de $\frac{4.200}{75} = 56$ caballos de vapor.

CONDENSADOR.—Como hemos visto, el pistón tiene que vencer la resistencia de la presión atmosférica, lo que resta una parte considerable de su fuerza aumentando el gasto de combustible. Para evitarlo, el vapor que ya actuó no sale al exterior, sino á una caja, inventada por Watt, *condensador*, cuyas paredes están constantemente refrigeradas. Al contacto de las paredes frías, el vapor se condensa y su fuerza elástica disminuye notablemente, oponiendo una menor resistencia.

A 50°, por ejemplo, la presión máxima del vapor es unas diez veces menor que la presión atmosférica.

(1) En este cálculo hacemos abstracción de los rozamientos y otras causas de pérdida de fuerza.

EXPANSIÓN DEL VAPOR.— En muchas máquinas de vapor existe un perfeccionamiento, debido á Watt, que permite obtener una economía real. Consiste en interrumpir la entrada del vapor en el cuerpo de bomba antes de que el pistón haya recorrido todo su camino, para lo cual, la co- rredera presenta disposiciones especiales. La cantidad de vapor que actúa es menor que si se tra- bajase á toda presión, pero por su ex- pansion continua empujando al émbolo hasta el término de su carrera, aunque con fuerza cada vez menor. Se com- prende fácilmente que, al final, la mis- ma cantidad de vapor habrá producido una mayor suma de trabajo, aunque en un tiempo determinado el trabajo efec- tuado por una máquina con expansión sea menor que el obtenido funcionando á toda presión.

TRANSFORMACIÓN DEL MOVIMIENTO RECTILÍNEO DEL ÉMBOLO.— Casi siem- pre el movimiento rectilíneo del vástago del pistón es transformado en otro, generalmente giratorio. Para ésto, el vástago A (fig. 154) está arti- culado á una barra de hierro, *biela* B, que á su vez lo está, por el otro extremo, á una *manivela* EP, unida á un eje, *árbol*, al cual hace girar. Basta fijarse en la figura para com- prender el modo de transformarse el movimiento del émbolo.

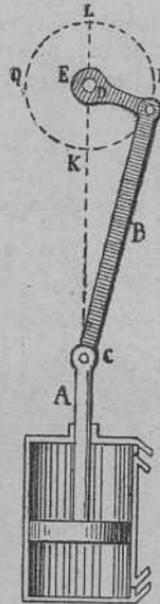


FIGURA 154.
Transformación del movimiento del émbolo.

REGULADORES.— *Volante.*— Es una pesada y grande rueda de hierro, unida al *árbol*, que le sirve de eje, la cual, al girar, regulariza el movimiento de la máquina, pues por su inercia impide la interrupción del movimiento cada vez que el émbolo, al final de su marcha, se detiene (*puntos muertos*) para volver en sentido contrario.

Regulador de fuerza centrífuga.—Sirve para uniformar la velocidad de la máquina dando mayor ó menor entrada de vapor en el cuerpo de bomba cuando el movimiento se retarda ó acelera.

Dos pesadas esferas B y B', pendientes de dos varillas, articuladas en C C, al eje A A', tienden á separarse en virtud de la fuerza centrífuga cuando el regulador gira, acercándose al eje cuando la máquina está parada. Dichas varillas están articuladas á otras dos M N y M' N' que, á su vez, lo hacen en N N' á una pieza á modo de anillo que puede correr á lo largo del eje vertical. Esta pieza está unida á la palanca acodada V que actúa, por medio de otros mecanismos, sobre los que distribuyen el vapor, interceptando en parte el paso de éste, cuando las bolas, por un exceso de velocidad, se separan, levantando la pieza N N', ó facilitando la entrada en caso contrario (1).

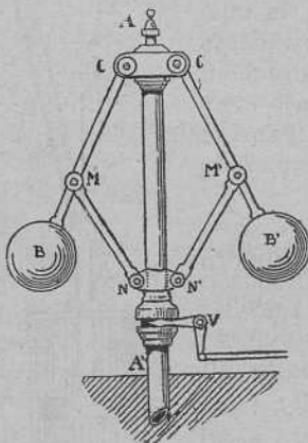


FIGURA 155.—Regulador de fuerza centrífuga.

Máquina de Watt.—Descritos los órganos esenciales de una máquina de vapor moderna, á continuación representamos, sin más explicaciones que las que se desprenden del grabado, la máquina de vapor de Watt: en su examen podrá apreciarse la perfecta concepción de aquel inmortal mecánico.

CLASIFICACIÓN.—Las máquinas de vapor se dividen, cuando se atiende á la presión con que funcionan, en: *máquinas de vapor de alta, media y baja presión*. En las de

(1) Un estudio más detallado de la máquina de vapor, nos llevaría muy lejos de las necesidades de este libro, por eso no entramos en la explicación de órganos tan importantes como la excéntrica, que mueve el vástago de la corredera de la caja de distribución, las bombas é inyectores, las transmisiones del movimiento desde el árbol, por correas, etcétera, etc.

alta presión ésta supera siempre á 5 atmósferas, llegando hasta 13 ó más, y carecen de condensador; las de *media presión* varían entre 3 y 5 atmósferas; las de *baja presión* no pasan de 2 atmósferas y trabajan con condensador.

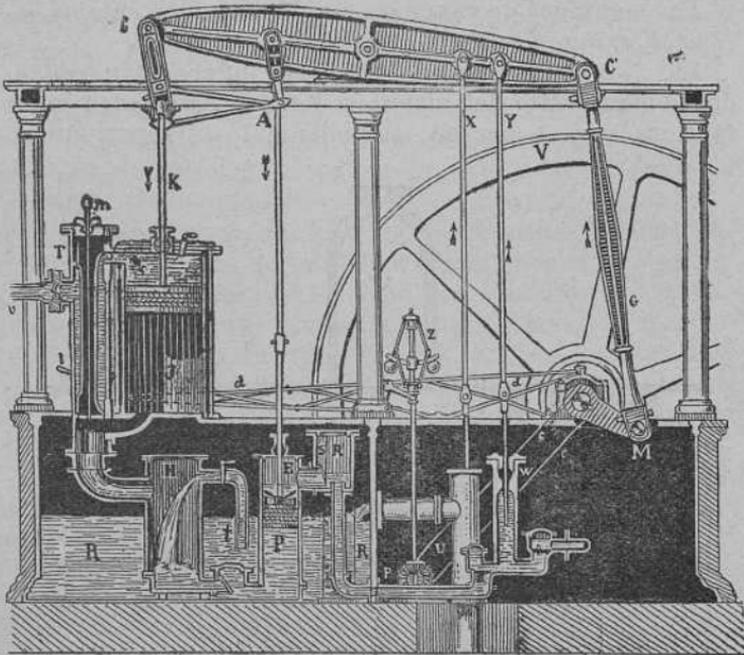


FIGURA 156.—Máquina de vapor de doble efecto de Watt.

U. Tubo por donde llega el vapor á T *caja de distribución* de donde pasa á J, *cuerpo de bomba*, en el que obra sobre el *pistón*, cuyo *vástago* K, transmite su movimiento al *balancín* C C', que articulado con la *biela* G, y esta con la *manivela* M, hacen girar al árbol del *volante*, V. El *condensador* H recibe el agua de la *bomba* E. La *bomba* U extrae el agua del depósito para los usos de la máquina; la *bomba* W alimenta la caldera con el agua caliente del condensador. Estas tres bombas están movidas mediante el *balancín* por las varillas A, X ó Y—d varillas que unidas en el eje á la *escéntrica*, llevan el movimiento de ésta al *vástago* de la *corredera* para regular la entrada y salida del vapor en la *caja de distribución*.—Z *Regulador de fuerza centrífuga*, etc.

Si el vapor no obra más que en una cara del *pistón*, las *máquinas* son de *simple efecto*, cuyo uso ha decaído hoy casi por completo; si el vapor actúa en las dos caras se las llama *máquinas de doble efecto*, exclusivamente empleadas en el día.

Hay máquinas *sin condensación* y *con ella* y *sin expansión* y *con expansión*, pudiendo ser estas últimas de *doble*, *triple*, *cuádruple* expansión, en las que el vapor pasa sucesivamente por *dos*, *tres*, *cuatro* cuerpos de bomba combinados.

Las máquinas de vapor se dividen también en *fixas*, *locomóviles*, *automóviles* y *locomotoras*.

Las *fixas* ocupan siempre el mismo lugar, están separadas generalmente del motor, y son las empleadas en las fábricas para poner en movimiento los diversos útiles,

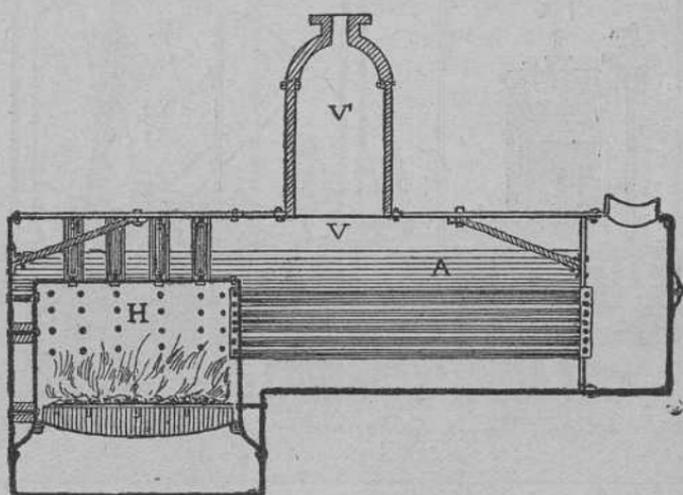


FIGURA 157.—Caldera de una locomotora.

Semitubular horizontal.

aparatos y máquinas. Pueden subdividirse en *verticales* y *horizontales* según la posición de su cuerpo de bomba.

Las *locomóviles* están montadas sobre una armazón con ruedas, para poderlas llevar é instalarlas en el lugar donde convenga produzcan su trabajo.

Las *automóviles* se denominan así porque ellas mismas accionan las ruedas sobre las que están emplazadas. Tienen diversos usos: arrastres pesados, afirmado y apisonado de paseos, carreteras, etc., etc.

Las *locomotoras* son máquinas de vapor destinadas á la conducción de viajeros y arrastre de mercancías sobre

coches y vagones, que, como ellas, marchan sobre dos rieles ó carriles paralelos. Dos son los tipos principales: *locomotoras para gran velocidad*, exclusivamente destinadas á la conducción de viajeros, que no pueden arrastrar grandes pesos, pero sí adquirir mucha velocidad, y *locomotoras para pequeña velocidad*, en las que la velocidad es escasa, pero las cargas que pueden arrastrar muy considerables.

Las locomotoras llevan calderas semitubulares, trabajan sin condensador, y el vapor después de accionar los émbolos, que transmiten su movimiento á las *ruedas* motrices por medio de bielas y manivelas, sale por la chimenea, así como los productos de la combustión. Carecen de volante, pero la uniformidad del movimiento se obtiene porque cuando uno de los émbolos, situados á los dos lados de la caldera, está en sus puntos muertos, el otro está obrando con su mayor energía. Las locomotoras pueden caminar hacia adelante ó hacia atrás, á voluntad del maquinista, merced á un ingenioso *aparato de cambio de marcha*, inventado por Stéphenon (1).

Motores de gas y de vapores combustibles.— En los MOTORES DE GAS se utiliza para impulsar el pistón, en un sentido, la fuerza elástica que resulta de la elevación de temperatura en la inflamación de una mezcla de *aire* (90 litros) y *gas del alumbrado* (10 litros). Esta inflamación se provoca mediante una chispa eléctrica ó mecheros de gas encendidos, convenientemente dispuestos. El retroceso del pistón se verifica por la presión atmosférica.

Los motores de gas son muy usados, principalmente en las pequeñas industrias, por ser limpios y de fácil y cómodo manejo.

En los MOTORES DE GASES POBRES, muy usados en la actualidad por su economía, los *gases pobres* empleados son los resultantes de la disociación y paso del vapor de

(1) El verdadero creador de las locomotoras fué Stéphenon en 1833, pues si antes se había hecho ensayos por Trevithick, Míller y otros, Stéphenon fué quien resolvió el problema de la locomoción por el vapor, inventando los órganos esenciales, aún hoy usados con mayores ó menores modificaciones, y el aparato de cambio de marcha.

agua, á muy elevada temperatura, por combustibles minerales incandescentes.

Los vapores y gases del *petróleo*, *bencina*, *gasolina*, etcétera, mezclados con el aire, producen, mediante una chispa eléctrica, la detonación y energía mecánica que acciona el pistón de los *motores* llamados en general *de petróleo*. Muy usados en los automóviles modernos.

Los *motores de alcohol* no han adquirido aún el suficiente grado de perfección.

Motores de aire caliente.—Como su nombre lo indica en estos motores el movimiento de avance del émbolo se obtiene por la expansión del aire caliente. En el día no tienen aplicación.

VIII

ACÚSTICA

Definición.—La Acústica estudia el sonido y sus propiedades, así como su producción y propagación.

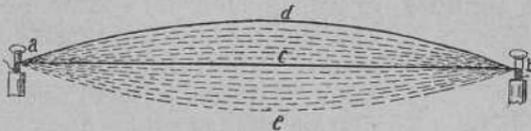


FIGURA 158.

Producción del sonido.—El sonido se produce por las vibraciones, visibles ó no, de los cuerpos elásticos, siempre que éstas sean suficientemente rápidas.

Si separamos de su posición una cuerda, en tensión, por estar sujeta por ambos extremos, y la soltamos bruscamente, *vibra*, es decir, ejecuta una serie de oscilaciones, cada vez más rápidas y menores, que, si se verifican con suficiente velocidad, determinan la producción de un sonido. A cada movimiento de ida y vuelta se le denomina *vibración completa*. (Fig. 158).

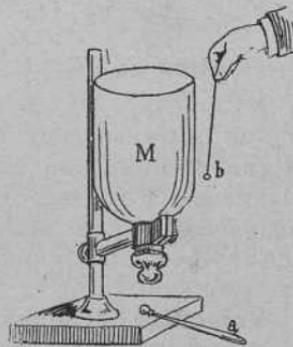


FIGURA 159.

Si á una copa de cristal suspendida fuertemente en el aire se le da un golpe brusco con un macito, se produce un sonido, originado por las vibraciones de sus paredes; vibraciones que puede hacérselas patentes acercando una bolita metálica suspendida de un hilo, la cual choca repetidas veces contra la campana. (Fig. 159).

Propagación del sonido.—El sonido no puede propagarse si entre el cuerpo que vibra y el oído que lo ha de percibir no hay *un medio ponderable y elástico, capaz de vibrar también*. Este medio puede ser gaseoso, líquido ó sólido, siendo el más común el aire.

El sonido no se propaga en el vacío.

Puede demostrarse con una campanilla suspendida en el interior de un globo de vidrio en el cual se hace el vacío. En estas condiciones el badajo podrá chocar contra las paredes de la campanilla, pero el sonido no se percibe. Si después dejamos entrar aire ó un gas cualquiera el sonido se oye claramente. (Fig. 160).

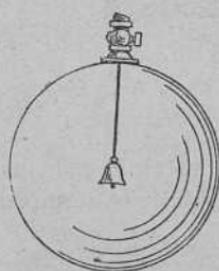


FIGURA 160.

En los líquidos la propagación del sonido se verifica con más rapidez é intensidad que en el aire. Un trabajador en una campana de buzos bajo el agua percibe claramente los ruidos de la orilla.

Aún más intensa es dicha propagación en los sólidos; por eso á mucha distancia puede oirse el ruido de pasos ó el caminar de un tren poniendo el oído sobre la carretera ó los rieles de la vía ferrea. Los *teléfonos de hilo*, que usan los niños para jugar, comunicándose en voz baja á una distancia relativamente larga, son un ejemplo

de la transmisión del sonido por los cuerpos sólidos. Algunos sólidos, sin embargo, poco compactos y poco elásticos por el estado en que se encuentran, se usan como aisladores, por ser malos propagadores del sonido, tales son el *serrín*, las *plumas*, la *estopa*, el *algodón cardado*, etcétera, etc.

Velocidad del sonido.—La propagación del sonido no se efectúa instantáneamente.

Cuando se ve disparar un tiro á cierta distancia, la detonación se oye algunos momentos después de haber visto el fognazo, á pesar de ser simultáneos.

Diversas experiencias han demostrado que el sonido se propaga en el aire, á la temperatura de 15°, con una velocidad de 340 metros por segundo. Esta

velocidad decrece con la temperatura, pues á 0° es sólo de 333 metros por segundo.

En el agua la velocidad de propagación del sonido, á 8° de temperatura, es de unos 1.435 metros por segundo. Es decir, unas cuatro veces mayor que en el aire.

En los sólidos, como en los líquidos y en los gases, es variable, según el metal experimentado. En tubos de fundición de hierro se ha obtenido una velocidad de 3.485 metros por segundo. En otros metales y en las maderas la velocidad es aún mayor.

Manera como se propaga el sonido.—Cuando un cuerpo sonoro vibra en un medio elástico, gaseoso, líquido ó sólido, comunica sus vibraciones á las moléculas que le rodean, éstas á las que le siguen, que lo hacen á su vez á las que están después y así sucesivamente. Dándose el nombre de *onda sonora* á la condensación y dilatación que sufre el aire, por ejemplo, con cada uno de los movimientos de ida y vuelta respectivamente de la vibración del cuerpo sonoro.

Un hecho vulgar nos facilitará la comprensión de este modo de propagación.

Sobre la superficie tranquila de un estanque dejemos caer una piedra. En el punto de contacto la superficie se deprime, pero se levanta inmediatamente, formando una pequeña eminencia, que se convierte en seguida en una onda circular, *en relieve (onda condensada)* que va alejándose del centro, ensanchándose al par, pero disminuyendo en cuerpo, hasta perderse á cierta distancia. A continuación de ésta, una segunda onda, *en hueco*, á modo de canal (*onda dilatada*) se forma y la sigue inmediatamente propagándose como la anterior. Si el movimiento producido en el agua por la piedra ha sido el suficiente, otras ondas, condensada y dilatada, siguen á las primeras de un modo continuo y sucesivo.

Observando un pedazo de corcho flotante, no lejano al lugar en que cayó la piedra, veremos que éste se eleva ó descende al paso de cada clase de onda, pero que permanece sensiblemente en el mismo punto. Esto nos demuestra, que no hay transporte de agua del centro al exterior, pues en este caso el corcho caminaría y sería transportado con las ondas. La piedra produjo solamente, en el punto de la

caída, oscilaciones, movimientos de vaivén que se fueron comunicando á cada uno de los puntos de las capas de agua concéntricas.

De modo muy semejante se producen las *ondas sonoras* en el aire por la vibración de un cuerpo sonoro, pero, en este caso, las ondas no son circulares como en el agua, sino esféricas, sin que en manera alguna haya transporte de la masa aérea; sino simplemente condensaciones y dilataciones de las capas de aire. Al conjunto de una onda sonora condensada y su correspondiente dilatada se le da el nombre de *onda completa*.

Reflexión del sonido.—Cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo, reaccionan, vuelven sobre sí mismas, es decir, se *reflejan* de modo semejante á como una bola de marfil lanzada contra una placa de mármol vuelve en sentido contrario á su primera dirección.

Se llama *rayo sonoro* á la recta que indica la dirección en que el sonido se propaga. La reflexión del sonido está sometida á las siguientes leyes: 1.^a *El rayo sonoro incidente y el reflejado están en el mismo plano*; 2.^a *El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales*.

Ecos y resonancias.—El *eco* es un fenómeno, de todos conocido, por el que un sonido emitido á cierta distancia de un obstáculo elástico, tal como un muro, una montaña, etc., se refleja volviendo á ser percibido en el lugar de producción. Es decir, que se oirá el sonido directo y después otro sonido igual reflejado al chocar las ondas sonoras sobre el obstáculo.

La distancia mínima que debe haber entre el observador y el obstáculo reflector para que el eco pueda ser percibido, es algo mayor de 17 metros, pues persistiendo en el oído las sensaciones sonoras un décimo de segundo, si la distancia fuese menor, el eco llegaría al oído antes de que la sensación del sonido inicial hubiese terminado, superponiéndose éste y el reflejado, reforzándose, pero confundiendo ambos, (*Resonancia*). Así sucede en las habitaciones desalquiladas, en las iglesias, etc. Pero cuando la distancia es mayor de 17 metros el eco de un sonido

simple, muy corto, es percibido claramente, porque en un décimo de segundo el sonido recorre 34 metros.

Los *ecos* pueden ser: *monosilábicos*, *disilábicos*, *trisilábicos*, etc., cuando se percibe la última, las dos ó tres, etcetera, últimas sílabas de una palabra, debiendo estar situados respectivamente los obstáculos á más de 34, 68, 102, etc. metros de distancia.

En los *ecos múltiples* un sonido es repetido varias veces, pues hay dos ó más obstáculos, en forma tal colocados que las ondas sonoras se reflejan de unos á otros repetidamente. Son muy notables los *ecos múltiples* del Castillo de Simoneta, cerca de Milán, que repite una misma sílaba hasta 40 veces; el de Ademach, en Bohemia, el cual repite tres veces una palabra de siete sílabas, y otros muy curiosos.

El eco también se produce reflejándose el sonido en las superficies curvas, así algunas bóvedas ofrecen casos curiosos, como en una del *Conservatoire d'Arts et Métiers*, de París, en cuya habitación dos personas pueden comunicarse en voz baja, situadas en los extremos sin que perciban nada las que hallándose más cerca, no están colocadas en los puntos convenientes.

Cualidades del sonido.

Ruido.—Sonido.—No es fácil establecer una distinción absoluta entre estos conceptos.

El *sonido*, es sonoro y agradable al oído y se caracteriza por sus tres cualidades: *intensidad*, *tono ó altura* y *timbre*.

El *ruido* es confuso y desagradable, como el chirrido de un carro, el golpe de un martillo contra un clavo, etc., y carece de altura y timbre. Pero, muchas veces, un ruido, considerado como tal aisladamente, puede compararse y relacionarse con otros análogos, adquiriendo entonces el carácter de sonido.

Intensidad del sonido.—La intensidad del sonido es la fuerza con que impresiona nuestro oído. La intensidad depende de la mayor ó menor amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro.

Modifican la intensidad de un sonido, en primer lugar la *amplitud de las vibraciones*, que son su causa; la *densidad del medio* en el que se propaga el sonido, el cual se oye á mayor distancia cuanto más denso es el medio; la *dirección del viento*, que si es contraria perjudica la propagación, favoreciéndola en el caso contrario; la proximidad de *cajas de resonancia*: una cuerda de guitarra, tensa sobre un muro, apenas produce sonido perceptible, pero si se la coloca sobre la caja de la guitarra, cuyo aire puede vibrar al mismo tiempo que ella, la intensidad del sonido se refuerza notablemente. La más importante de las circunstancias que modifican el sonido, es la distancia.

El *sonido* propagándose en un medio indefinido, *decrece con la distancia, variando en razón inversa del cuadrado de aquella.*

Pero en los tubos, no angulosos, esta intensidad se conserva sin decrecer sensiblemente. Esto se comprende con facilidad, pues el sonido, en un medio indefinido, se propaga en ondas esféricas que cada vez van haciéndose mayores, por lo que, á una distancia mayor del cuerpo sonoro, la intensidad de sus vibraciones tiene que ser menor, para una superficie determinada. En cambio en los tubos no sucede así, porque sus ondas no son esféricas, sino porciones iguales de planos paralelos.

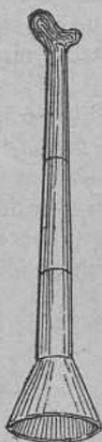


FIGURA
161.
Bocina.

Aplicaciones de esta conservación de la intensidad de los sonidos en los tubos son entre otras los aparatos siguientes:

BOCINA.—Es un tubo largo, ligeramente cónico, ensanchado por un extremo en forma de pabellón, y con una embocadura en el otro, donde se coloca la boca para producir los sonidos. Muy empleada en marina para transmitir órdenes á larga distancia.

TROMPETILLAS ACÚSTICAS.—Son tubos sensiblemente cónicos y á veces ligeramente acodados, de los que uno de los extremos es lo suficientemente delgado, para que pueda ser colocado en el conducto auditivo externo de las personas de oído poco sensible. Los sonidos emitidos en la parte ancha ó pabellón de la trompetilla van concentrándose, por las reflexiones que sufren en el interior del tubo, llegando al tímpano muy reforzados.

TUBOS ACÚSTICOS.—Muy empleados en las oficinas, almacenes, casinos, barcos, etc., para transmitir y recibir órdenes, constan de un largo tubo recto, con una boquilla en cada extremo, en la que se puede adaptar un silbato para prevenir la comunicación.

ESTETOSCOPIO.—Es una aplicación á la medicina de los tubos acústicos, para auscultar.

Tono de los sonidos.—El tono ó altura de los sonidos depende del número de vibraciones del cuerpo sonoro en un segundo, y, por lo tanto, de la duración (*período*) de cada una. Los sonidos *agudos* son producidos por mayor número de vibraciones que los *graves*.

El *tono absoluto* de los sonidos se determina por el número de sus vibraciones en un tiempo determinado, lo que se consigue por diversos métodos: *acústico*, (Sirena de Cagniard de La-tour), *gráfico*, (VibroscoPIO Fonautógrafo), *ópticos*, (llamas manométricas).

Describiremos sólo el *vibroscoPIO*, empleado en el método gráfico. En esencia es un cilindro C cubierto de

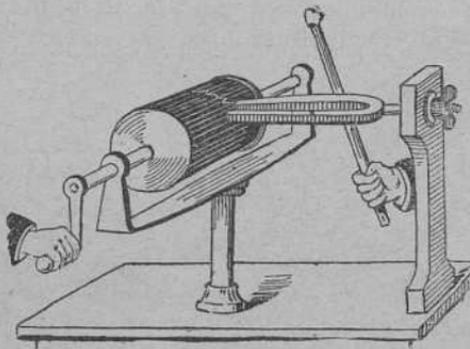


FIGURA 163.—VibroscoPIO.

papel, uniformemente embadurnado con una delgada capa de negro de humo. Este cilindro, además de girar, tiene un movimiento lateral de avance en la dirección de su eje. El cuerpo sonoro, un diapason, por ejemplo, cuyas vibraciones va-

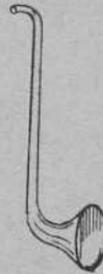


FIGURA 126.
Trompeta acústica.

estilete marcará una hélice, pero si se le hace vibrar trazará sobre el negro de humo una línea sinuosa representativa de sus vibraciones.

Si se inscribe al mismo tiempo las vibraciones de dos cuerpos sonoros, y trazamos después dos rectas paralelas

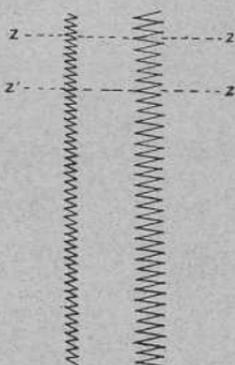


FIGURA 164.

$Z Z$ y $Z' Z'$ (fig. 164), que corten normalmente á los ejes de las líneas sinuosas, si los sonidos producidos tenían el mismo tono, el número de sinusoides será igual para ambas (*unísono*), pero si los sonidos eran distintos dicho número será distinto también, y el cociente de dividir las vibraciones del más agudo por las del sonido más grave nos dará la relación entre las de ambos en un tiempo dado (*intervalo*).

FONÓGRAFO.—Es un aparato inscriptor y reproductor de los sonidos. Fué inventado por Edison en 1877, y consta esencialmente, su modelo

primitivo, de: un cilindro provisto de una ranura helicoidal, del mismo paso de rosca que la de su eje, de modo que, á cada vuelta de la manivela del eje, el cilindro avanza lateralmente un trecho igual á su paso de rosca.

Ante él una embocadura E, sirve para concentrar las ondas sonoras sobre una placa vibrante X provista de un estilete, cuya punta toca suavemente en una hoja de estaño que recubre al cilindro.

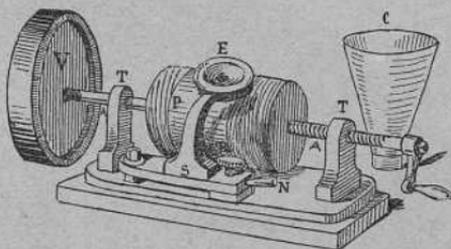


FIGURA 165.—Fonógrafo.

Para escribir los sonidos, puestos ya, la hoja de estaño y sobre ésta el estilete, coincidiendo con la ranura del cilindro, se hace girar á éste uniformemente, al mismo tiempo que se emite los sonidos, con intensidad, en la embocadura del aparato. Las ondas sonoras se concentran,

haciendo vibrar á la placa, que trasmite sus movimientos al estilete, cuya punta va dejando, en la hoja de estaño, señales ó surcos distintos según los diferentes sonidos que los originaron.

Estos sonidos inscritos pueden ser reproducidos; para ello se coloca el cilindro en su posición primitiva y se le hace girar uniformemente, con la misma velocidad que antes; el estilete al pasar por cada huella ó surco volverá á ejecutar los movimientos primitivos, reproduciendo las vibraciones correspondientes de la placa y con ellas los sonidos originarios.

El fonógrafo ha recibido en la actualidad multitud de perfeccionamientos, pues la marcha está regulada por mecanismos especiales, el papel de estaño ha sido substituído por cilindros con una capa de cera, ó pastas especiales, la claridad é intensidad de los sonidos reproducidos se refuerza por medio de bocinas, etc.

En algunos modelos los cilindros han sido reemplazados por discos especiales (*gramófonos*). Las aplicaciones del fonógrafo son de todos conocidas.

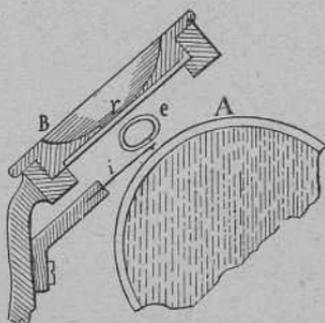


FIGURA 166.—Corte de los órganos esenciales de un Fonógrafo.

LÍMITE DE LOS SONIDOS

PERCEPTIBLES.—El oído puede percibir sonidos desde 30 vibraciones dobles, para los graves; hasta 26.000, para los más agudos.

Teoría física de la música.—INTERVALO.—*Intervalo* musical es la relación entre el número de vibraciones de dos sonidos en un segundo, tomando el más agudo como dividendo. El *Arte de la Música* está en combinarlos de modo que produzcan sensaciones gratas al oído.

GAMA Ó ESCALA MUSICAL.—Es una serie de siete sonidos, (*notas*), *do, re, mi, fa, sol, la, si*, separadas por intervalos musicales. Esta escala se repite sucesiva y periódicamente en tono más agudo ó más bajo, de modo que cada nota de una gama vibra siempre doble número de veces (*octava*) que la correspondiente de la gama más grave. Para dis-

tinguir estas gamas entre sí se representa al *do* más grave del bajo por *do*₁, al de la siguiente gama más alta por *do*₂, y así sucesivamente.

Tomando como unidad la *tónica* ó nota fundamental, primera de la escala, el número relativo de las vibraciones de las demás notas, es:

<i>do</i> ,	<i>re</i> ,	<i>mi</i> ,	<i>fa</i> ,	<i>sol</i> ,	<i>la</i> ,	<i>si</i> ,	<i>do</i> ,
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Los intervalos entre cada nota y la tónica, son:

<i>unísono</i>	do á do	$\frac{1}{1}$	<i>quinta</i>	sol á do	$\frac{3}{2}$
<i>segunda</i>	re á do	$\frac{9}{8}$	<i>sexta</i>	la á do	$\frac{5}{3}$
<i>tercera</i>	mi á do	$\frac{5}{4}$	<i>séptima</i>	si á do	$\frac{15}{8}$
<i>cuarta</i>	<i>fa</i> á do	$\frac{4}{3}$	<i>octava</i>	do á do ₂	$\frac{2}{1}$

Los intervalos de las notas entre sí, son:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{16}{15}$

Los intervalos distintos en la gama son tres: $\frac{9}{8}$ (tres en la gama) denominado *tono mayor*, $\frac{10}{9}$ (dos en la gama) *tono menor* y $\frac{16}{15}$ (dos en la gama) ó *semitono mayor*. Vemos, pues, que la gama está constituida por *dos tonos*, seguidos de un *semitono* y *tres tonos*, seguidos de otro *semitono*.

Sostenidos y bemoles.—La escala natural ó *diatónica* que acabamos de estudiar, no es suficiente para las necesidades de la música, por lo que se completa con los *sostenidos* y *bemoles*, notas, como suplementarias, que *alzan* ó *bajan* respectivamente un *semitono* á la nota que afectan. Con su auxilio puede también formarse escalas á partir de cualquier nota de la escala natural, que entonces adquiere

el carácter de tónica, pero es necesario que los intervalos conserven siempre la misma disposición.

El conjunto de los sonidos de la escala natural, con sus sostenidos y bemoles, forma la *escala cromática*, que consta de 21 notas.

ACORDES.—A la producción simultánea de dos ó más sonidos, se denomina *acorde*. Este puede ser: *consonante* cuando resulte agradable al oído (*octava, quinta, tercera*) y *disonante* cuando produce una sensación desagradable.

El acorde de mejor efecto, *acorde perfecto*, es el de *tónica, tercera y quinta*.

SONIDOS ARMÓNICOS.—Se les llama así porque de su combinación resultan los acordes consonantes, y se caracterizan porque sus vibraciones crecen como los números 1, 2, 3... etcétera.

NÚMERO ABSOLUTO DE VIBRACIONES DE LAS NOTAS DE LA ESCALA. «LA» NORMAL.—Para acordar entre sí los diversos instrumentos se ha tomado como tipo el «*la*₃» cuyo valor es de 435 vibraciones dobles. El número absoluto de vibraciones de cada una de las demás notas se deduce fácilmente de este dato.

DIAPASÓN.—Es un aparatito de acero en forma de U alargada, cuyas dos ramas se acercan por sus extremos, las cuales son puestas en vibración, bien separándolas y soltándolas bruscamente, con un cilindrito de madera, bien por el roce de un arco de violín. El diapasón produce siempre el mismo sonido, que en el llamado *diapasón normal* es el *la*₃. Generalmente se le coloca sobre una caja para reforzar el sonido que emite.

LÍMITE DE LOS SONIDOS MUSICALES.—Los sonidos más bajos empleados en música son producidos por 32 vibraciones simples, los más agudos provienen de unas 8.000.

Tímbre de los sonidos.—El tímbre es la cualidad por la cual dos ó más sonidos de igual intensidad y del mismo tono se diferencian entre sí. A una misma nota ejecutada por un violín y una flauta, simultáneamente, con igual intensidad se las distingue perfectamente. Las personas tienen distinto *tímbre de voz*.

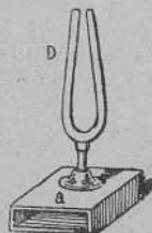


FIGURA 167.
Diapasón.

SONIDOS SIMPLES Y COMPUESTOS.—Los sonidos que ordinariamente percibimos no son *sonidos simples*, que provienen de una sola clase de vibraciones, sino *sonidos compuestos*, en los que al *sonido fundamental* ó *simple* se superponen otros sonidos más agudos, armónicos del mismo.

La causa del timbre de los sonidos está precisamente en los armónicos que acompañan al fundamental y á su intensidad mayor ó menor. Los sonidos simples carecen de timbre.

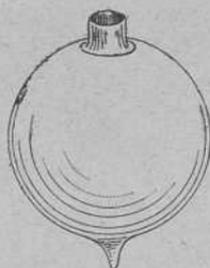


FIGURA 168.
Resonador de
Helmholtz.

ANÁLISIS DE LOS SONIDOS.—Para analizar si un sonido es simple ó compuesto se usa, entre otros aparatos, los resonadores de Helmholtz, que son esferas metálicas, huecas, con dos aberturas diametralmente opuestas, en la forma que indica la figura. Los resonadores están fundados en la propiedad que tiene el aire contenido en una cavidad de tamaño conveniente

de vibrar al unísono de una nota determinada, reforzándola considerablemente. Para operar, la abertura más estrecha se coloca en el oído, recibiendo los sonidos exteriores por la abertura más ancha, pero no percibiéndose más que el que corresponde al resonador, por lo que para el análisis de varios sonidos simples son precisos otros tantos resonadores.

La lentitud de este procedimiento ha sido evitada con el analizador de los sonidos de Kæning, también por medio de los resonadores.

VIBRACIONES DE LAS CUERDAS, VARILLAS, PLACAS Y MEMBRANAS

Cuerdas sonoras.—Son cuerpos elásticos, filiformes, de metal, tripa, seda, etc., que estando tensos, pueden producir sonidos, cuando en ellos se provocan vibraciones.

Estas vibraciones pueden ser *longitudinales*, producidas por frotación longitudinal de la cuerda con un trozo

de tela con resina, ó *transversales*, que se obtienen hiriéndola transversalmente con el dedo, púa, etc. (arpa, guitarra, bandurria) ó rozándola con un arco de violín (violín, contrabajo, etc.) Las vibraciones transversales son las únicas de las cuerdas utilizadas en música, pues las longitudinales producen sonidos estridentes y desagradables.

Leyes. —Con el *sonómetro* ó *unicordio* se ha deducido y comprobado que las vibraciones transversales de las cuerdas varían: 1.º en razón inversa de las longitudes; 2.º en razón inversa de los diámetros; 3.º proporcionalmente á las raíces cuadradas de los pesos tensores; 4.º en razón inversa de las raíces cuadradas de las densidades.

Modo de vibrar las cuerdas.—**NODOS Y VIENTRES.**—Si pellizcamos en su centro á una cuerda, sujeta por ambos extremos y tensa, y se la hace vibrar, se ve que todos sus puntos vibran produciendo un sonido, que se llama *fundamental de la cuerda*. Pero si la sujetamos ligeramente en su centro y la herimos en una de sus mitades a b, se

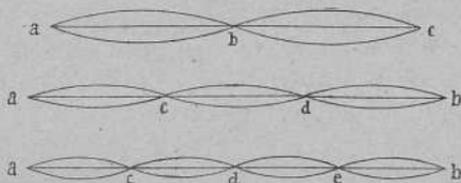


FIGURA 169.—Vibraciones de las cuerdas.

observa que la segunda mitad c b vibra al mismo tiempo que la primera, permaneciendo inmóvil el punto b produciéndose un sonido que es la octava alta del sonido fundamental, por corresponder á un doble número de vibraciones (*su segundo armónico*). Si se sujeta la cuerda en su tercera parte y se pone en vibración la a c, la parte no herida c b vibra también, dividiéndose en dos trechos iguales entre sí c d y d b é iguales á a c, mientras el punto d permanece inmóvil, lo mismo que el fijo c. En este caso se ha obtenido un sonido (quinta de la octava de su fundamental) que corresponde á un número de vibraciones triple en el mismo tiempo (*su tercer armónico*). Fijando la cuerda en su cuarta parte y haciendo vibrar á ésta, la otra parte se divide también en tres más, iguales á la primera, y el sonido producido es la doble octava (*su cuarto armónico*).

Las partes vibrantes de las cuerdas toman el nombre de *vientres*; los puntos fijos, inmóviles que las limitan, *nodos*.

Instrumentos de cuerda.—Constituyen con los de viento la mayor parte de los instrumentos musicales. Son aplicación de las leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas, y todos llevan, necesariamente, una caja hueca, sobre la que van fijas las cuerdas, cuyas vibraciones se refuerzan y modifican por aquella.

En los instrumentos musicales de cuerda, unos poseen una cuerda para cada sonido, como el piano, el arpa, etc. otros tienen un número de cuerdas mucho más limitado, 6 en la guitarra, 4 en el violín, pero limitando la parte vibrante de la cuerda, pisándola con el dedo, se obtiene una extensa serie de sonidos musicales.

Para poner en vibración las cuerdas se usan diversos procedimientos: ya se las hiere con *macillos*, accionados por *teclas* (*piano*), ya como pellizcándolas con *los dedos*, (*guitarra*, *arpa*) ó con una *púa*, (*bandurria*) ó rozándolas con las cerdas tensas de un *arco*, (*violín*, *contrabajo*, etc.).

Vibraciones de las varillas.—Son cuerpos sólidos y elásticos, más gruesos y rígidos que las cuerdas, pero cuyo diámetro es muy escaso en relación con su longitud. Sus vibraciones pueden ser longitudinales y transversales dependiendo estas últimas de la manera de estar sujetas.

El *diapasón*, ya descrito, es una de sus aplicaciones más importantes. En música se emplea como punto de partida para acordar los instrumentos.

Vibraciones de las placas y membranas.—En sus vibraciones transversales forman *vientres* y *líneas nodales* constituidas por puntos inmóviles unidos, que puede hacerseles visibles espolvoreando la placa con arena muy fina antes de ponerla en vibración. Las vibraciones de las placas se rigen por leyes muy variadas, y dependen del modo de provocar las vibraciones y de la naturaleza, forma, etcétera, de la placa.

Como las *membranas* son cuerpos flexibles es preciso colocarlas tensas en un marco, por eso, en sus vibraciones influye además el grado de tensión á que están sometidas.

APLICACIONES.—Los instrumentos músicos derivados de las vibraciones de las placas y de las membranas no son realmente de los más importantes, pero ellos producen efectos especiales y muchas veces imprescindibles. La *caja* ó *bombo*, los *tambores*, *timbales*, *tamtam*, *tabletas*, etc., etc., son ejemplo de ellos.

VIBRACIONES DEL AIRE EN LOS TUBOS

Tubos sonoros.—En los *tubos sonoros*, el sonido se produce por la vibración de la columna de aire contenido en su interior, cuando se hace llegar á ella una corriente intermitente de aire.

Esta intermitencia se consigue por medio de la *embocadura*, pieza por donde entra la corriente de aire al tubo. La embocadura puede ser: de *flauta* ó de *lengüeta*. En la primera la intermitencia se obtiene por el choque de una lámina de aire contra un obstáculo cortado á bisel; en las de *lengüeta* (*libre y batiente*) se produce mediante una pieza movible y elástica que interrumpe la salida del aire á intervalos iguales y frecuentes.

Los tubos pueden ser *abiertos*, que son los más empleados en los instrumentos musicales, ó *cerrados* cuando lo están por uno de sus extremos.

Leyes.—*La materia con que está construido un tubo sonoro no influye en la producción del sonido*—*El número de vibraciones en un tubo está en razón inversa de su longitud.*—*El sonido fundamental dado por un tubo cerrado es el mismo que el de un tubo abierto de doble longitud.*—*Cuando se aumenta lentamente la entrada del aire en los tubos, los números de vibraciones de los sonidos obtenidos crecen como los números 1, 2, 3, etc., en los tubos abiertos y como los impares 1, 3, 5, etcétera, en los tubos cerrados.*

En las cátedras se demuestran todas estas leyes por medio de un aparato denominado *órgano experimental* ó *fuelle acústico*.

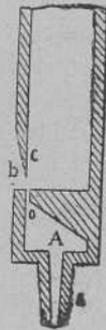


FIGURA 170.—Tubo de embocadura de flauta.

La lámina de aire que sube de A por c, choca contra el bisel c.

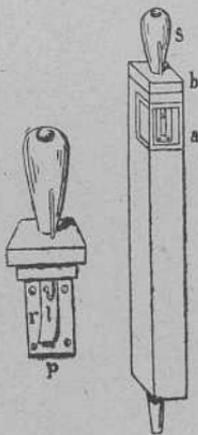


FIGURA 171.—Tubo de embocadura de lengüeta.

A la izquierda, disposición de la lengüeta.

Modo de vibrar el aire en los tubos.—Al producirse un sonido en un tubo la columna de aire no tiene todas sus partes en el mismo estado de agitación, sino que presenta zonas alternantes, unas agitadas, de vibración máxima (*vientres*) y otras tranquilas de vibración nula (*nodos*).

Instrumentos fundados en los tubos sonoros.—Se les llama en su mayoría *instrumentos de viento* y son muy varios; pero pueden clasificarse en: 1.º *Instrumentos de embocadura de flauta*, generalmente cilíndricos, y en los que el sonido se obtiene lanzando una columna de aire contra un bisel que tiene la boca del instrumento (*Flauta, Flautín, Silbato, Caramillo*, etc.); 2.º *Instrumentos de lengüeta*, en los que la vibración se excita por medio de una laminilla elástica y movable (*Clarinete, Oboe, Fagot, Órgano expresivo, Acordeón*, etc.); 3.º *Instrumentos de boca* en los que los labios del artista colocados sobre una embocadura especial, (*boquilla*), en hueco, cónica ó hemisférica, producen la intermitencia de la corriente de aire, provocadora de las vibraciones del contenido en el instrumento (*Clarín, Trompa, Cornetín*, etc., etc.)

AUDICIÓN

Aparato de la audición.—El *oído* es el órgano encargado de recibir la impresión de los sonidos.

En el hombre el órgano de la audición se compone de tres partes principales: *oído externo, oído medio y oído interno*.

OÍDO EXTERNO.—Está formado por el *pabellón de la oreja*, que por su forma ha de recoger los sonidos dirigiéndolos hacia el *conducto auditivo externo*, el cual se prolonga hasta el oído medio donde se limita por la membrana del tímpano.

El *pabellón* de la oreja es una expansión laminar, ternillosa, delgada é irregular, moldeada á modo de embudo, forma adecuada para recibir las vibraciones sonoras. Se continúa por el *conducto auditivo externo*, de unos tres centímetros de largo, al que limita la *membrana del tímpano*.

OÍDO MEDIO.—Es una cavidad llena de aire, escavada en el temporal, tapizada de una membrana mucosa. En su

pared externa presenta un orificio cerrado por la *membrana del tímpano*, que separa el oído externo del medio; enfrente se hallan otros dos orificios posteriores, llamados *ventana oval* y *ventana redonda*, también cerrados por una membrana cada uno. Se halla en comunicación con la parte superior y lateral de la faringe por un conducto denominado *trompa de Eustaquio* y desde el tímpano has-

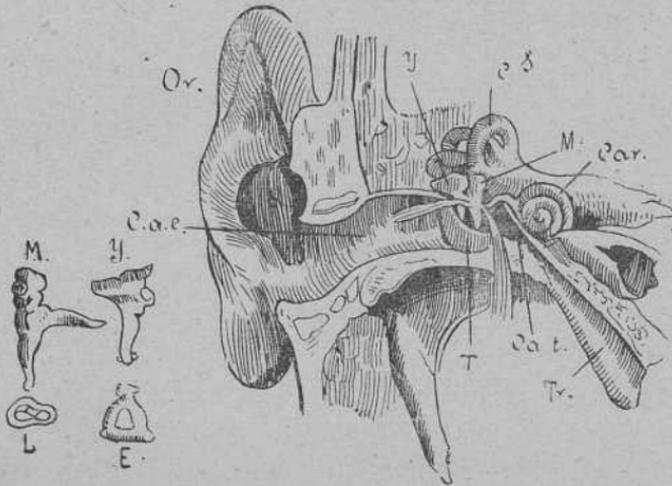


FIGURA 172.—Órgano del oído.

Or. Pabellón de la oreja; C. a. e. Conducto auditivo externo; T. Membrana del tímpano; Ca. t. Caja del tímpano; Tr. Trompa de Eustaquio; C. S. Canales semi-circulares, Car. Caracol; M. Martillo; Y. Yunque; L. Lenticular; E. Estribo.

ta la ventana oval se extienden cuatro huesecillos encadenados, que se llaman *martillo*, *yunque*, *lenticular* y *estribo*.

En la *caja del tambor*, que así se denomina también el oído medio, el aire que recibe por la trompa de Eustaquio, mantiene una tensión igual á la exterior.

OÍDO INTERNO.—Es la parte más importante y complicada del aparato auditivo. Está situado en el espesor del peñasco (1). Está formado por cierto número de cavidades, que constituyen el *laberinto óseo*, el cual contiene un líqui-

(1) Correspondiente á los temporales.

do, *perilínfa*, que baña exteriormente, otras cavidades menores, blandas y membranosas, que forman el *laberinto membranoso*. Este contiene á su vez un líquido, *endolínfa*, que tiene en suspensión ciertas granulaciones sólidas, capaces de moverse en presencia de células ciliadas, en las que terminan las ramificaciones del nervio acústico.

En el *laberinto óseo* debemos mencionar: el *vestíbulo óseo*, pequeña cavidad situada inmediatamente detrás de la ventana oval; los tres *canales semicirculares* que se hallan detrás y encima del vestíbulo; el *caracol óseo*, que se arrolla en sí mismo, en dos vueltas y media, presentando dos cavidades, *rampas*, de las que una comunica con el vestíbulo y la otra con la ventana redonda.

El *laberinto membranoso*, bañado por la perilínfa del óseo comprende todas las partes blandas, alojadas en el anterior, las cuales contienen la endolínfa.

En él pueden distinguirse: el *vestíbulo membranoso*, que presenta dos vesículas de las que la superior, *utrículo*, comunica con los *canales semicirculares membranosos* y la inferior, *sáculo*, con el *canal coclear*, que ocupa el caracol óseo. En todos ellos y principalmente en el último las células sensibles de la audición, con las diversas modificaciones de cada una de las distintas partes del oído interno y las ramificaciones del nervio acústico, forman un delicadísimo y complicado conjunto, cuyo detallado estudio no cabe en la índole de este libro.

Audición.—De un modo general, esta función se verifica de la siguiente manera: Las vibraciones sonoras, que la oreja recoge, pasan reflejándose por el conducto auditivo externo á la membrana del tímpano que vibrando, á su vez las comunica por la cadena de los huesecillos á la membrana de la ventana oval. Esta pone en movimiento á la perilínfa quien lo hace al mismo tiempo á la endolínfa, donde las células sensibles reciben la impresión auditiva, que el nervio acústico conduce al cerebro.

IX

ÓPTICA

PROPAGACIÓN DE LA LUZ

Definiciones.—La *Óptica* es la parte de la física que estudia los fenómenos de la luz.

Luz es la causa que nos hace *ver* los objetos, impresionando el órgano de la visión, y se supone que es originada por el rapidísimo movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos, cuyas vibraciones comunicadas al éter, son transmitidas por éste en todas direcciones.

Cuerpos luminosos son los que tienen luz propia, que emana de ellos mismos (*Sol, estrellas, cuerpos en ignición*). Los demás cuerpos, llamados *oscuros* pueden ser *iluminados*, por la luz que reciben de los luminosos.

A través de los *cuerpos transparentes* ó *diáfanos* pasa fácilmente la luz, y se ve los objetos con su forma y colores propios (*agua, aire, vidrio, etc.*), no así en los *cuerpos traslucientes* que si dejan pasar la luz, no permiten la percepción de los objetos á través de su masa (*papel, vidrio deslustrado, etc.*). Los *cuerpos opacos* impiden el paso de la luz, (*madera, metales, etcétera*), aunque esta opacidad sea sólo relativa, pues reducidos á láminas delgadísimas, de espesor conveniente, se les hace más ó menos traslucientes ó más ó menos diáfanos.

Propagación de la luz.—*En todo medio transparente y homogéneo, la luz se propaga en línea recta.*

La recta, según la cual se propaga la luz, es un *rayo luminoso* y la reunión de varios de éstos un *haz luminoso*.

El rayo de sol que entra por un agujero de una ventana cerrada de una habitación oscura (*cámara oscura*) nos muestra claramente la dirección rectilínea de la propagación de la luz.

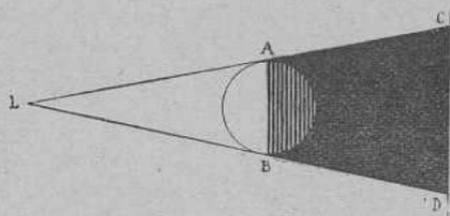


FIGURA 173.—Sombra.

se les llama *divergentes*, si por el contrario se van acercando hasta reunirse en un punto, se les denomina *convergentes*.

Sombra y penumbra.—*Sombra* es la privación de luz que se produce tras un cuerpo opaco puesto en presencia de uno luminoso en el espacio en que los rayos de éste son interceptados por aquel.

Penumbra es el espacio que rodea á la sombra, algo más iluminado por ser interceptados so-

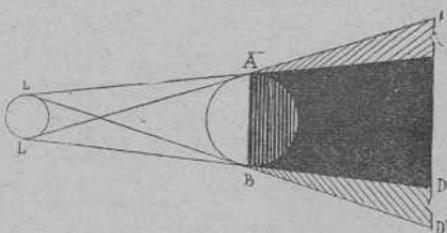


FIGURA 174.—Sombra y penumbra.

lamente algunos rayos, y cuya iluminación va aumentando gradualmente conforme se aleja de la sombra.

Supongamos un *punto* luminoso L, aislado, que se halla en presencia de un cuerpo opaco A B. Los rayos emitidos por aquel iluminan la parte anterior del cuerpo opaco;

pero son detenidos por éste, quedando completamente desprovista de luz, en la oscuridad, su parte opuesta, así como el espacio situado detrás, formando una *sombra* en forma de cono $A B C D$ que se prolonga indefinidamente, y que estaría limitada por una recta, $L C$ por ej. que pasando siempre por el punto luminoso contornease al cuerpo opaco exactamente (figura 173).

Pero si, en vez de un punto, es un cuerpo luminoso, como sucede siempre en la práctica, la *sombra* aparece rodeada de *penumbra*. Limitemos el cuerpo con los puntos $L' L$; las sombras de cada uno de estos puntos serán $A B C' D$ y $A B C D'$, las cuales superponiéndose en $A B C D$, forman una sombra completa. Pero el espacio $A C' C$ recibe luz de L sin recibirla de L' y el $B D D'$ la tiene de L' sin ser iluminado por L , por lo que estos espacios no están en sombra completa, sino en *penumbra*, algo iluminados, y más cada vez conforme se alejan de la sombra (figura 174).

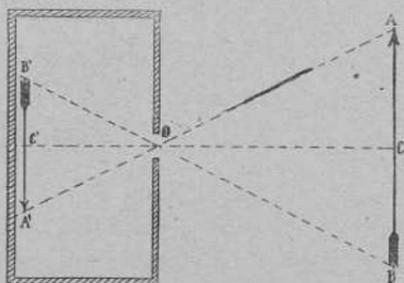


FIGURA 175.—Cámara oscura.

Así se explican los eclipses: en los de Luna, por ej. este planeta entra en el cono de sombra de la Tierra, interpuesta entre ella y el Sol, ocultándose á nuestra vista.

Imágenes á través de las pequeñas aberturas.—*Cámara oscura* es todo espacio cerrado, en el cual no puede penetrar la luz más que por un pequeño agujero, abierto en una de sus paredes laterales.

Cuando los rayos luminosos de los objetos exteriores pasan á través del agujero, la imagen de dichos objetos se proyecta en la pared interior opuesta, pero *invertida*, tanto más detallada cuanto más reducida es la abertura.

Este fenómeno es una consecuencia de la propagación de la luz en línea recta. Véase la figura 175 que por sí sola explica la exactitud de este hecho.

Velocidad de propagación de la luz.—Aunque al observar cualquier fenómeno luminoso en la Tierra no puede apreciarse con nuestros sentidos espacio sensible entre su producción y su percepción, la propagación de la luz no es instantánea. Esta se verifica con una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo (1).

INTENSIDAD DE LA LUZ

La intensidad con que un foco luminoso ilumina á un cuerpo opaco, no depende solamente de la naturaleza de dicho foco, sino también de la oblicuidad con que caen los rayos sobre el cuerpo, que está tanto menos iluminado cuanto más oblicuos son aquellos. Pero la intensidad de la luz depende muy principalmente de la distancia entre el foco y el cuerpo, *variando en razón inversa del cuadrado de dicha distancia*; así si la distancia es *dos, tres, cuatro* veces mayor, la intensidad de la iluminación del cuerpo opaco por el mismo foco luminoso será *cuatro, nueve, diez y seis* veces menor.

Podemos demostrar experimentalmente esta ley, con facilidad suma. Tomemos una pantalla de papel blanco, con una mancha trasluciente de aceite en el centro. Colocada verticalmente, en una habitación oscura, se ilumina

(1) La gloria del descubrimiento de la propagación no instantánea de la luz se debe á *Roemer*, astrónomo dinamarqués en 1676. Otros físicos, *Fizeau*, *Foucault*, *Perrotin*, etc., por experiencias diversas han comprobado y fijado aún más los datos de Roemer.

por un lado, á cierta distancia con la luz de *cuatro* bujías. En el lado contrario se manifiesta con claridad la mancha trasluciente. Después se ilumina este lado con la luz de una bujía, acereándola ó separándola hasta que la mancha desaparezca ó sea uniforme, vistá por ambos lados, lo que nos demuestra que la intensidad de la luz recibida en ambas caras de la pantalla es igual. Mídese ahora la distancia entre cada uno de los focos y la pantalla, y se observará que las cuatro bujías están á una distancia *doble* que la bujía sola.

El *fotómetro de Bunsen*, tiene esencialmente la misma disposición que acabamos de explicar.

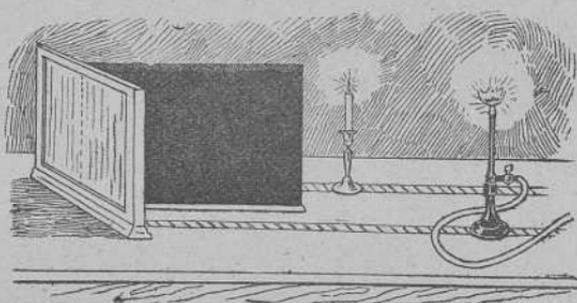


FIGURA 176.—Fotómetro de Bouguer.

Fotometría.—Con los aparatos denominados *fotómetros* se puede hallar la intensidad relativa de dos luces.

La unidad más comúnmente adoptada para medir la intensidad de la luz es el *Cárcel*, ó sea la intensidad de una *lámpara Cárcel*, que consume 42 gramos de aceite de colza purificado por hora, con mecha de 40 milímetros.

Existen muchos modelos de fotómetros, como el de *Bunsen*, ya citado. El de *Rumford*, en el cual la intensidad de dos luces se mide por la distancia á que se hallan éstas de una pantalla de vidrio deslustrado cuando las sombras de un estilete opaco, colocado delante, y proyectadas por aquellas luces sobre la pantalla, son iguales. El *fotómetro de Bouguer* consta de una pantalla vertical, de vidrio deslustrado, dividida en dos mitades, por una placa negra, perpendicular á dicha pantalla (figura 176). Cada luz, de las que se va á comparar, ilumina una de las dos partes de

la pantalla, acercando ó alejando una de aquellas, hasta que todo el vidrio deslustrado, visto por el lado contrario, presente el mismo grado de iluminación. Entonces se mide la distancia de cada luz á la pantalla, y como las intensidades relativas de estas luces están, en este caso, en razón directa del cuadrado de las distancias, por un sencillo cálculo puede determinarse la intensidad relativa de ambos focos luminosos.

Los fotómetros son aparatos de no gran exactitud.

REFLEXIÓN DE LA LUZ

Reflexión regular de la luz.—El fenómeno de la reflexión de la luz se produce cuando un rayo luminoso (*rayo incidente*) encuentra una superficie pulimentada que le hace cambiar de dirección (*rayo reflejado*).

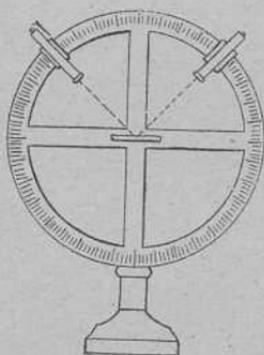


FIGURA 177.—Reflexión de la luz.

Aparato de Silbermann.

Angulos de incidencia ó de reflexión son los formados por el ángulo incidente ó el reflejado con la normal.

La reflexión regular de la luz está sujeta á las siguientes leyes: 1.^a *Los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales*; 2.^a *El rayo incidente, el reflejado y la normal están en el mismo plano.*

Compruébase estas leyes, experimentalmente, con el aparato de Silbermann (fig. 177). Por uno de los tubos móviles, que hay sobre el círculo graduado, se hace pasar un rayo de luz, el cual al encontrar la superficie reflectora del espejo, situado en el centro del círculo, se refleja

Compruébase estas leyes, experimentalmente, con el aparato de Silbermann (fig. 177). Por uno de los tubos móviles, que hay sobre el círculo graduado, se hace pasar un rayo de luz, el cual al encontrar la superficie reflectora del espejo, situado en el centro del círculo, se refleja

y al rayo reflejado se le hace pasar por el centro del otro tubo, al cual se le coloca convenientemente. Conseguido ésto, basta comprobar en el círculo graduado la igualdad de los ángulos de incidencia y de reflexión; y como todo el aparato está construído en el mismo plano, en el que se mueven ambos rayos, quedan comprobadas ambas leyes.

Reflexión en la superficie de los cuerpos transparentes.—Cuando un haz de rayos luminosos cae sobre la superficie de un cuerpo transparente, una pequeña parte de la luz se refleja, *en tanta mayor cantidad cuanto mayor es el ángulo de incidencia*, y el resto pasa á través del cuerpo.

Difusión de la luz.—Cuando un haz de rayos luminosos cae sobre una superficie no pulimentada se verifica una *reflexión irregular de la luz*, en todas direcciones, debido á que las asperezas de una superficie no pulimentada son como pequeñas superficies planas diversamente orientadas.

Merced á la difusión de la luz vemos los objetos que nos rodean, aun los no heridos directamente por la luz solar.

ESPEJOS

Espejo.—En Física es un *espejo* todo cuerpo de superficie finamente pulimentada que refleja regularmente la luz.

Pueden ser *metálicos*: de *plata bruñida*, *metal de espejos* (1), muy empleados en los aparatos de precisión, por lo perfecto de sus imágenes, ó de *crystal*, formados por una lámina de cristal ó vidrio recubierta por su cara posterior de amalgama de estaño ó de una delgada capa de plata, que son la verdadera superficie reflectora.

(1) Aleación de Estaño (1 parte) y Cobre (2 partes).

Por la forma de la superficie reflectora, los espejos son: *planos ó curvos (esféricos, parabólicos, etc.)*

Imágenes.—La reproducción que un espejo hace de un objeto es una *imagen*; *imagen real* cuando se

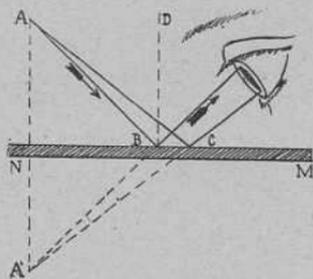


FIGURA 178.

produce delante del espejo por la convergencia de los rayos reflejados por éste en un punto determinado, pudiendo recogerse dicha imagen sobre una pantalla; *imagen virtual* cuando siendo divergentes los rayos reflejados se forma detrás del espejo, en el punto donde concurren las pro-

longaciones de dichos rayos, no pudiendo recogerse en una pantalla, por lo que es sólo una ilusión óptica.

Espejos planos.—La imagen de un objeto en un espejo plano es *virtual, del mismo tamaño y forma que él y simétrica con relación al espejo.*

Supongamos (fig. 178) un punto luminoso A que emite rayos A B, A C, etc., sobre un espejo N M, los cuales son reflejados en la dirección B O, C O. Tomemos uno de ellos, A B por ej., que forma con la normal D B, al reflejarse, un ángulo D B O igual al ángulo incidente A B D.

Si desde el punto al espejo trazamos la normal A N, prolongándola en el sentido N A', la prolongación del rayo reflejado O B se encontrará con la de la normal en A', habiéndose así formado dos triángulos A B N y A' B N, iguales por tener un lado común B N y dos ángulos iguales A N B y A' N B, que son rectos, y los ángulos A B N

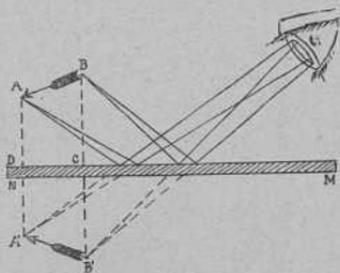


FIGURA 179.—Imagen en los espejos planos.

y $A'BN$ que lo son también, por serlo con el ángulo OBM según las leyes de la reflexión. Así, pues, siendo AN igual á NA' , la intersección de las prolongaciones del rayo reflejado OB y de la normal AN se verifica en el punto A' *simétrico* del punto luminoso, con relación al espejo.

Todos los rayos luminosos emanados del punto A se conducirían del mismo modo y sus prolongaciones se encontrarían en el mismo punto A' ; de manera que al reflejarse tomarían la misma dirección que si proviniesen directamente del punto A' , por lo que el ojo al recibirlos se impresionaría como si efectivamente procediesen de dicho punto A' .

Repitiendo este mismo razonamiento cuando se trata de un objeto, se comprende cómo la imagen, que es el conjunto de las imágenes de todos sus puntos, conserva la forma y tamaño del objeto, pero éste y la imagen no se pueden superponer. Así, cuando nos miramos a un espejo, al mover por ej., el brazo derecho, se mueve también el que está enfrente, que correspondería al izquierdo de la imagen.

Imágenes múltiples.—Cuando un objeto se halla colocado entre dos espejos que forman ángulo se producen varias imágenes, tanto más numerosas cuanto el ángulo es más pequeño. El número de imágenes se puede obtener por la fórmula $\frac{360}{n} - 1$, en la que n representa el número de grados del ángulo. Si éste es recto las imágenes son tres, si de 60° cinco, etc.

En los espejos paralelos el número de imágenes de un objeto es infinito, no en absoluto en la práctica, pues en cada reflexión va perdiéndose luz gradualmente hasta extinguirse por completo.

Aplicaciones.—Los espejos planos tienen aplicaciones de todos conocidas en la ornamentación, en el tocador, etcétera. Forman parte de gran número de aparatos de Física.

El *Calidoscopio* es un juguete que consiste en un tubo en cuyo interior hay dos espejos formando un ángulo de 60° y en un extremo varios pedazos de vidrio de brillantes colores y otros objetos movibles, entre dos vidrios. Mirando por el agujero del extremo opuesto se vé dibujos

vivos y simétricos que varían constantemente á cada movimiento del tubo.

El *Porta luz* (fig. 180) es un espejo plano, que, dotado de movimientos convenientes, sirve para enviar horizontalmente á la cámara obscura los rayos de sol que caen sobre él.

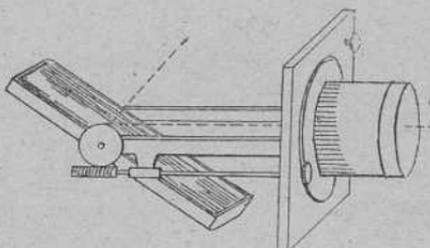


FIGURA 180.—Porta luz.

terna ó la externa de la porción de esfera que los constituye. Los espejos cóncavos son los más importantes.

Se llama *centro geométrico* ó *de curvatura* (fig. 181), al centro O de la esfera de que es parte el espejo; *centro de figura* es el centro A del casquete que lo forma; *eje principal* es la recta OA que pasa por ambos centros; *eje secundario* cualquier otra recta OB que una al centro de figura con cualquier punto del espejo; *sección meridiana* ó *principal* BB' es la que resulta de cortarle con un plano que pase por el eje principal, y *apertura del espejo* es el ángulo BOB' .

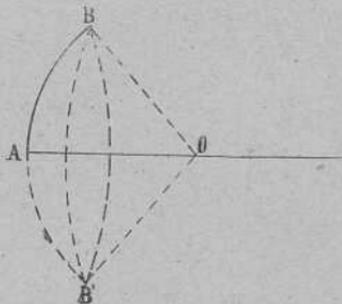


FIGURA 181.

La luz se refleja en las superficies curvas con sujeción á las leyes generales de la reflexión.

Foco.—Es el punto donde se reúnen y cortan los rayos reflejados (*foco real*) ó sus prolongaciones (*foco virtual*).

Espejos cóncavos.—La imagen de un objeto situado ante un espejo cóncavo, según la distancia á que se halle, puede ser *real, mayor ó menor*, por lo general, que aquel, é *invertida, ó virtual, mayor que el objeto y en su misma posición*.

Para estudiar esta cuestión con mayor detenimiento suponemos que un punto luminoso, situado sobre el eje principal de un espejo cóncavo de escasa abertura, emite rayos sobre este espejo.

1.º *El punto luminoso está en el infinito* (fig. 182). Los rayos caen paralelamente y al reflejarse, los rayos reflejados se cortan en un punto F , situado en el eje principal, entre el centro geométrico y el del espejo, á igual distancia de ambos. A este punto F donde se pinta la imagen del punto luminoso, se le da el nombre de *foco principal*.

Recíprocamente, si el punto luminoso está situado en el foco principal F , emite sobre el espejo un cono de luz cuyos rayos $F N$, al reflejarse lo hacen, $F N$, $F M$ etc., paralelamente entre sí y al eje principal.

2.º *El punto luminoso P se halla entre el infinito y el centro geométrico* (fig. 183), la intersección de los rayos reflejados $N P'$, $N' P'$ forma la imagen de dicho punto, entre el foco principal y el centro geométrico, tomando el nombre de *foco conjugado P'* .

De un modo recíproco, si el punto luminoso está entre el foco principal y el centro geométrico, los rayos al reflejarse se cortarán entre dicho centro y el infinito.

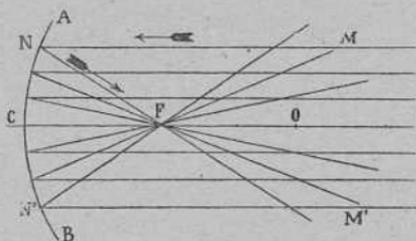


FIGURA 182.

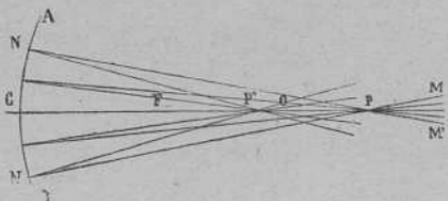


FIGURA 183.

3.º Cuando el punto luminoso está en el centro geométrico, los rayos incidentes caen normalmente, los ángulos

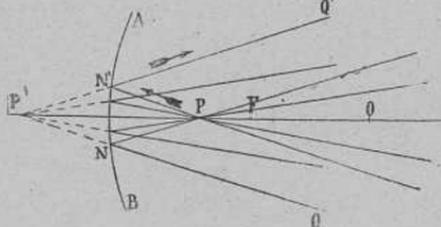


FIGURA 184.

de incidencia son nulos, por lo que los de reflexión lo son también, y los rayos reflejados vuelven en la misma dirección, pintando la imagen del punto luminoso coincidiendo con el mismo.

4.º Si el punto luminoso P (fig. 184) se halla situado entre el foco principal y el centro del espejo, los rayos reflejados N' Q', N Q etc., lo hacen divergiendo, separándose cada vez más, por lo que no se cortan, pero sí sus prolongaciones, formándose la imagen en la intersección de éstas P'; foco virtual.

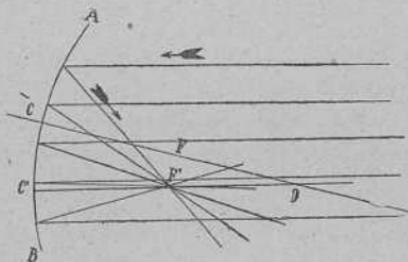


FIGURA 185.

FOCO DE UN PUNTO LUMINOSO SITUADO EN UN EJE SECUNDARIO.—El foco de un punto luminoso situado

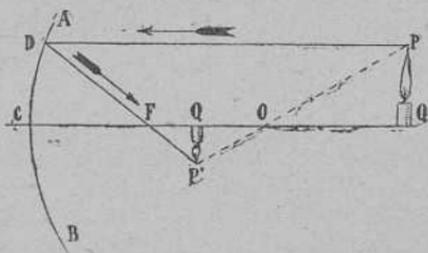


FIGURA 186.

en un eje secundario se halla en los mismos casos, con relación á este eje secundario, que los estudiados cuando el punto luminoso se halla sobre el eje principal (fig. 185).

Imagen de un objeto.—Supongamos

que el objeto P (figura 186) está situado entre el centro geométrico y el infinito, sus rayos se reflejarán, según hemos

explicado, formando una imagen P' *real, invertida y más pequeña* que el objeto, entre el foco principal y el centro geométrico.

Pero si acercamos el objeto hacia el centro, la imagen en sentido contrario, lo hará también, y al situarse aquel en el centro geométrico la imagen se pintará en el mismo plano perpendicular al eje principal en que se halla el objeto, pintándose aquella *real, invertida y del mismo tamaño*.

Acerquemos aún más el objeto al espejo, situándolo en P entre el foco principal y el centro geométrico, la imagen P' se pintará más allá de dicho centro, entre éste y el infinito y será *real, invertida y mayor* que el objeto (fig. 187).

Si llega á situarse en el foco principal no se pinta imagen alguna, porque los rayos reflejados salen paralelamente.

Por último, cuando el objeto está colocado entre el foco principal y el espejo, la imagen se pinta detrás del espejo en las prolongaciones

de los rayos reflejados, siendo *virtual, mayor* que el objeto y *con su misma posición*.

Se comprueba experimentalmente la formación de imágenes en los espejos cóncavos, colocando delante de uno de éstos un cuerpo luminoso, una bujía por ejemplo, cuyas imágenes reales pueden ser recogidas sobre una pantalla ó un vidrio deslustrado.

CONSTRUCCIÓN DE LAS IMÁGENES.—Se determina los focos correspondientes á varios puntos del objeto luminoso, que unidos después, forman por su conjunto la imagen de aquel.

Aplicaciones.—Los espejos cóncavos tienen aplicaciones importantes. Así, se les emplea en los teatros, circos, etcétera, como reflectores para enviar á larga distancia y paralelamente los rayos reflejados que provienen de una luz situada en el foco principal. También constituyen los

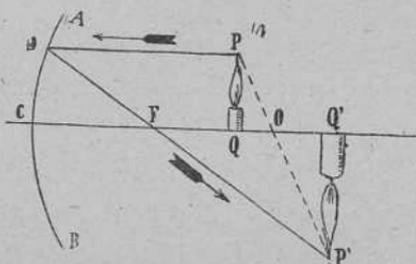


FIGURA 187.

reflectores de los faroles de los carruages, de las linternas, quinqués, etc. Los espejos llamados *de barba* que producen una imagen muy aumentada son cóncavos. En muchos aparatos de Física tienen aplicaciones muy importantes.

Espejos convexos.

Supongamos un punto luminoso, situado en el eje principal, ante un espejo convexo:

1.º Si el punto luminoso se halla en el infinito (fig. 188), los rayos incidentes paralelos, divergen al reflejarse, es decir, los rayos reflejados se separan cada vez

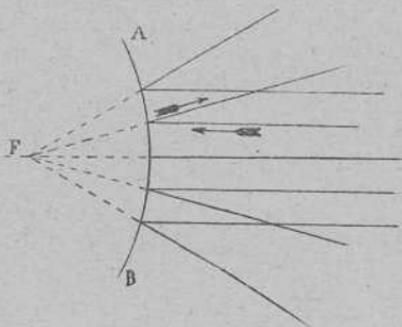


FIGURA 188.

más; pero sus prolongaciones se encuentran tras el espejo en un punto F , situado en el eje principal, equidistante del centro geométrico y del centro del espejo. Este *foco virtual* es el *foco principal* del espejo.

2.º Si el punto luminoso P se acerca hasta situarse entre el infinito y el espejo (fig. 189), los rayos reflejados se separan también y más aún, y sus prolongaciones se encuentran entre el foco principal y el centro del espejo, constituyendo un *foco virtual, conjugado* P' . Este se acercará tanto más al espejo cuanto el punto luminoso se aproxime más.

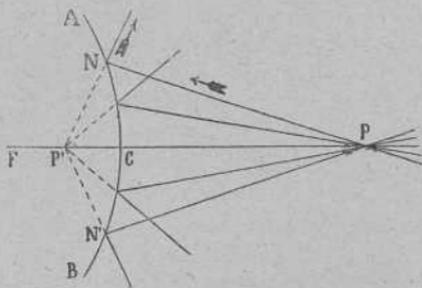


FIGURA 189.

IMAGEN DE UN OBJETO.— La imagen

de los objetos en los espejos convexos es siempre *virtual, más pequeña* y *en la misma posición* que aquél. Esta imagen será tanto mayor cuanto más cercano al espejo esté el objeto luminoso (fig. 190).

Aplicaciones.—Las aplicaciones de los espejos convexos son escasas.

Empléaseles en algunos aparatos de Física, como en el fotómetro de Wheatstone y otros. Las esferas azogadas interiormente (*globos periscópicos*) que cuelgan á la entrada de algunas casas, en los jardines, etcetera, copiando todo lo que las rodea, son una aplicación de los espejos convexos.

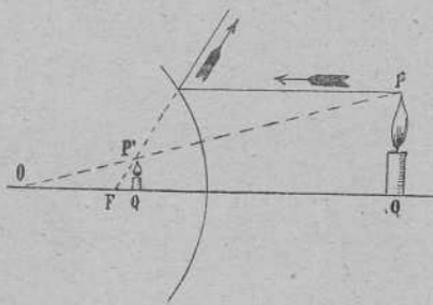


FIGURA 190.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Refracción de la luz.—Cuando un rayo de luz R I (*rayo incidente*) cae *oblicuamente* sobre la superficie de separación M M' de dos medios transparentes de distinta densidad, aire y agua, por ejemplo, penetra en el segundo, desviándose de su primitiva dirección (*rayo refractado*).

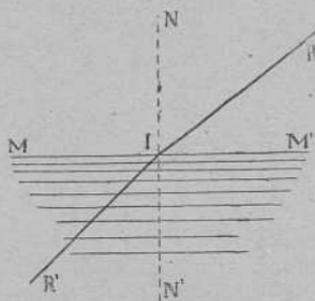


FIGURA 191.

A este fenómeno se le da el nombre de *refracción de la luz*.

Si el rayo incidente lleva la dirección de la normal NN', no se desvía; pero al caer oblicuamente, (figura 191) pasando del aire, por ejemplo, (*medio menos refringente*) al agua, (*más refringente*), el rayo

refractado se acerca á la normal, y el *ángulo de incidencia*, $NI R$, formado por la normal y el rayo incidente, es mayor que el *ángulo de refracción*, $N' I R'$, constituido por el rayo refractado y la normal.

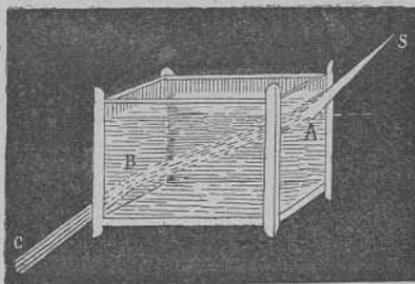


FIGURA 192.—Refracción de la luz.

Por el contrario, si el rayo incidente, sea ahora $R' I$, pasa de un medio más refringente á otro que lo sea menos, el rayo refractado, $I R$, se desvía de la normal $N N'$

siendo menor el ángulo de incidencia que el de refracción.

La figura 192 nos muestra el fenómeno de la refracción, en la cámara oscura, haciendo caer oblicuamente un rayo de sol $S A$ sobre una de las superficies del agua que se contiene en una cubeta de cristal; al pasar por este medio el rayo refractado se acerca á la normal.

Por la refracción nos parece que los objetos

colocados bajo el agua se hallan á mayor altura de la que tienen en realidad. Efectivamente, si en una cubeta de paredes opacas, vacía, se coloca una moneda, de modo que sólo veamos una parte del canto de esta, (fig. 193) y, después echamos agua, con precaución, para que aquella no se mueva, llegará un momento en que, sin haber variado

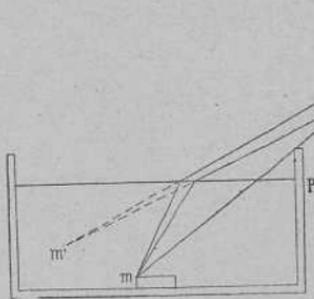


FIGURA 193.

de posición el observador, verá la moneda por completo, es decir, la imagen de la moneda, más elevada que aquella, porque los rayos que parten de *m*, al refractarse se desvían en dirección á *o*, y el observador verá la imagen del objeto en el lugar en que concurren las prolongaciones de dichos rayos.

Por la misma razón un bastón que se introduce en parte en el agua, parece como que se quiebra en el punto de contacto con la superficie.

Leyes de la refracción.—

1.^a El rayo incidente, el refractado y la normal se hallan en el mismo plano, perpendicular á la superficie refringente.

2.^a Si sobre los rayos incidente y refractado se toman longitudes iguales,

y desde estos puntos se trazan perpendiculares sobre la normal, la relación entre estas perpendiculares es un número constante.

A esta relación constante se la denomina índice de refracción del segundo medio con respecto al primero. El índice de refracción del agua con relación al aire, es: $\frac{4}{3}$.

Las leyes de la refracción pueden ser demostradas experimentalmente por medio del aparato de Silbermann, semejante al empleado para comprobar las de la reflexión.

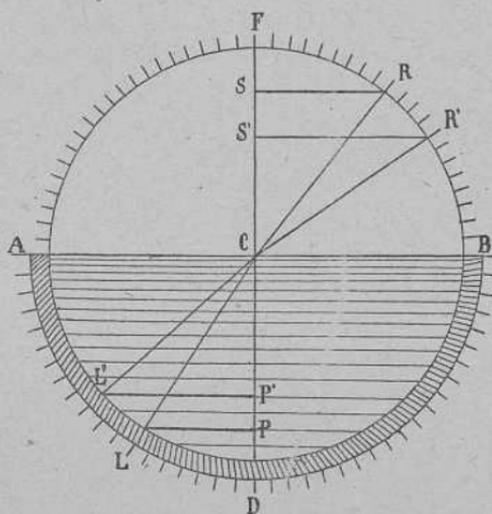


FIGURA 194.—Demostración de las leyes de la refracción.

En esencia (fig. 194) consta de un círculo graduado, vertical, $A D B F$ que rodea á un gran vaso semicircular $A D B$, al cual se le llena de agua hasta la altura de su centro C , que coincide con el del círculo. En la cámara oscura, dirijamos oblicuamente sobre la superficie del agua un rayo lumínico; éste se refracta acercándose á la normal. Con una regla graduada y por detrás del limbo, tomemos horizontalmente las longitudes de las perpendiculares á la normal, $R S$ y $L P$; la relación entre ambas estará representada por un número n por ejemplo. Si ahora hacemos que el rayo incidente llegue en otra dirección, $R' C$, se refractará á su vez, en la CL' y si hallamos, del

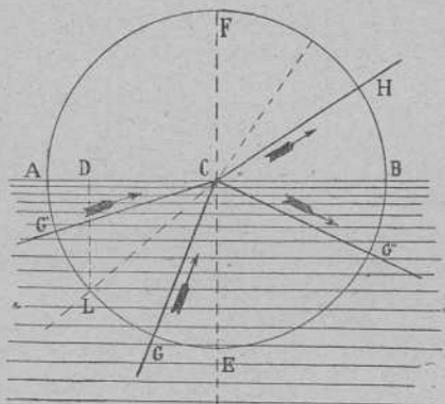


FIGURA 195.

mismo modo que antes, la longitud de las perpendiculares $R' S'$ y $L' P'$ hallaremos que la relación entre ambas es también n .

Comprobada la segunda ley, la primera queda demostrada atendiendo á la construcción del aparato en un mismo plano vertical, paralelamente al

cual se mueven el rayo incidente y el refractado, situados ambos de la misma manera en un plano perpendicular á la superficie del agua.

El aparato descrito está además sobre tres tornillos que aseguran su verticalidad, lleva dos alidadas móviles, para marcar la dirección de los rayos incidente y refractado, y una regla horizontal graduada, que puede ser colocada á diversas alturas. Con éstas y otras disposiciones especiales se facilita la comprobación experimental de dichas leyes.

Angulo límite.—*Reflexión total.*—Cuando un rayo luminoso $G C$ pasa de un medio más refringente á otro menos refringente al refractarse se separa de la normal.

Ahora bien, cuando el rayo incidente $L C$ tiene una dirección tal que el refractado $C B$ sale paralelamente á la superficie refringente, formando con la normal un ángulo recto, el ángulo de incidencia toma el nombre de *ángulo límite*, porque todo rayo incidente $G' C$ que forme con la normal un ángulo de incidencia mayor que aquél, no se refracta, sino que se refleja en la superficie, no pasando del medio transparente, y produciendo una reflexión interior $C G''$, que se denomina *reflexión total*, porque la luz es reflejada por completo (fig. 195).

Por esto colocando un objeto en un vaso con poca agua y mirando oblicuamente, por debajo, á la superficie, se percibe en ésta la imagen del objeto.

Espejismo. — Es un fenómeno curioso y frecuente, siquiera sea de escasa duración, en las llanuras cálidas y arenosas de Egipto, Arabia y otros países. Por él, el

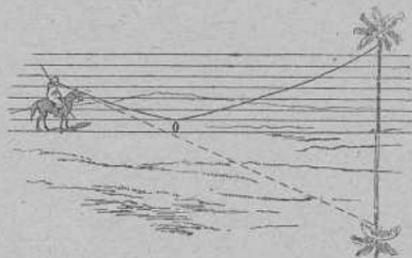


FIGURA 196. — Espejismo.

observador ve invertidos los objetos, árboles, construcciones, etcétera, como si se reflejaran en la superficie de un lago tranquilo. Según Monge, es debido á la reflexión total. Cuando el suelo se halla excesivamente calentado por los rayos del Sol las capas inferiores de aire lo están más que las superiores, aunque sólo un momento por su menor densidad; en estas condiciones los rayos incidentes al atravesar las capas de aire, de las más densas, ó sea las más superiores, á las menos densas, van separándose gradualmente, aumentando el ángulo de incidencia, hasta que, adquiriendo su valor límite, se reflejan totalmente, siguiendo una dirección semejante é inversa, por lo que el observador los recibe como si proviniesen directamente de la imagen, la cual se pinta, bajo el suelo, invertida y simétrica al objeto.

PRISMAS

Prismas.—En Óptica se denomina así á todo cuerpo transparente limitado por dos planos que se cortan.



FIGURA 197.—Prisma.

Arista, es la línea recta formada por la intersección de ambos planos, opuesta á la *base* B C (figura 198); *ángulo de refringencia* es el ángulo diedro B A C constituido por dichos planos; la *sección principal* B A C resulta de cortar el prisma perpendicularmente á su arista.

En Óptica los prismas empleados son verdaderos

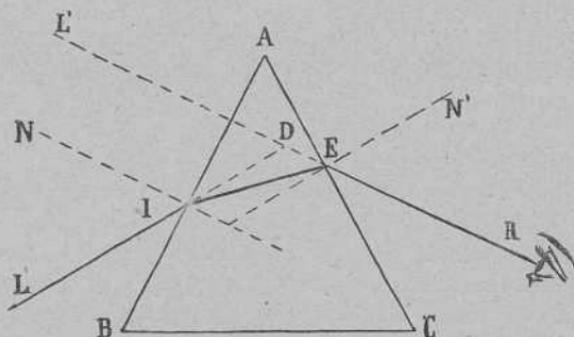


FIGURA 198.—Refracción de la luz en los prismas.

prismas geométricos, cuya sección principal es un triángulo (fig. 197).

Refracción de la luz en los prismas.—Hagamos incidir un rayo de luz L I (fig. 198) sobre una cara de un prisma de cristal: al atravesarle, por ser el cristal medio más denso que el aire, se refracta I E acercándose á la normal, y al salir al aire, medio menos

denso, por la cara opuesta, se refracta de nuevo, E R, separándose de la normal y acercándose á la base (1). El observador que recibe los rayos emergentes, verá la imagen virtual del punto L, en L' donde se unen las prolongaciones de dichos rayos. Así, un objeto visto á través de un prisma aparece más alto que lo está en realidad.

Se llama *desviación* de un prisma al ángulo L D R que forman el rayo incidente y el emergente.

Causas que modifican la desviación.—

Experimentalmente se puede comprobar que la desviación varía: 1.º Con la naturaleza del prisma. Según que el índice de refracción de la sustancia que lo constituye sea mayor ó menor, la desviación aumenta ó disminuye. Para demostrarlo se emplea el *poliprisma*.

2.º Con el ángulo de refringencia del prisma, que aumenta la desviación cuando el ángulo es más grande, y viceversa.

Cuando un rayo de luz atraviesa oblicuamente una lámina transparente de caras paralelas (fig. 199), como el ángulo de refringencia es nulo, no se produce desviación y el rayo emergente toma una dirección paralela á la del rayo incidente.

3.º Con la inclinación con que la luz incide en la cara del prisma; pero en todo prisma hay una posición en que la desviación es *mínima*, traspasada la cual la desviación aumenta de nuevo. Esta posición corespone á aquella en

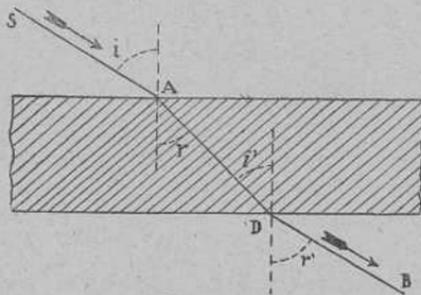


FIGURA 199.

(1) La experiencia debe ser hecha en la cámara obscura, haciendo pasar á través del prisma luz de un sólo color, por ejemplo, la luz del Sol teñida por un cristal rojo.

que los rayos incidente y emergente forman ángulos iguales con sus normales respectivas.

Reflexión total en los prismas.— Si un rayo luminoso

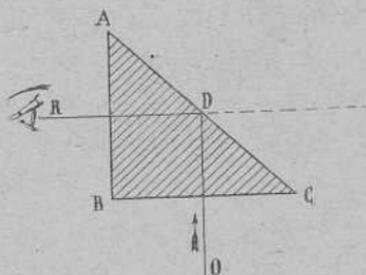


FIGURA 200.

OD (fig. 200) incide normalmente en la cara BC de un prisma de cristal, cuya sección sea un triángulo rectángulo ABC, no se refracta al penetrar en él, y cae en la cara AC, formando un ángulo de incidencia (45°) superior al ángulo límite, por lo que no sale al exterior, sino que se refleja totalmente en la dirección DR, normal-

mente también a la cara AB, por lo que tampoco se refracta al salir al aire, y el observador situado en R verá la imagen en O'.

Aplicaciones.— Los prismas forman parte de gran número de aparatos de Óptica, siendo los de reflexión total empleados con gran frecuencia en sustitución de los espejos por la mayor claridad y perfección de sus imágenes.

LENTES ESFÉRICAS

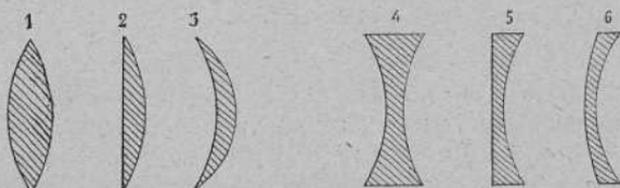
Lentes.— Están constituídas por un cuerpo diáfano limitado por superficies curvas.

Las más importantes son aquellas cuyas caras son, cada una, porciones de una esfera, y llevan el nombre de *lentes esféricas*. Generalmente son de *crown-glass* ó de *flint-glass* (1).

(1) El *flint-glass* es un cristal con más plomo y más refringente que el *crown-glass*.

Centros de curvatura de una lente son los centros de las esferas de que sus caras son parte; *eje principal* es la recta que une estos dos centros; *sección principal* es la que resulta de cortar la lente con un plano que pasa por el eje principal. Se denomina *centro óptico* al punto donde se cortan el eje principal y una recta trazada desde los extremos de dos radios de curvatura paralelos entre sí.

Distinguiremos dos grupos de lentes: 1.º *Lentes convergentes* (*biconvexa* 1, *plano-convexa* 2, y *cóncavo convexa* ó *menisco-convergente* 3, fig. 201). En ellas los rayos emergentes tienden á reunirse en un punto, y son más gruesas por el medio que en los



Lentes convergentes. FIGURA 201. Lentes divergentes.

bordes. 2.º *Lentes divergentes* (*bicóncava* 4, *plano-cóncava* 5, y *convexo cóncava* ó *menisco divergente* 6), en las cuales los rayos emergentes se separan, y son más gruesas en los bordes que en su parte media.

Lentes convergentes.—En las lentes convergentes las imágenes pueden ser *reales*, *invertidas* y *mayores* ó *menores* que el objeto, según la distancia á que éste esté situado de la lente, ó *virtuales*, *mayores* y *en la misma posición* si el objeto está muy cerca de la lente.

Focos.—Imagen de un objeto.—Supongamos una lente biconvexa, de débil espesor y escasa abertura, y un punto luminoso situado en el eje principal. Examinemos los



principales casos que pueden ocurrir, semejantes en todas las lentes convergentes.

1.º A.—*El punto luminoso está en el infinito* (fig. 202).

Los rayos llegan paralelamente sobre la lente, pasan por ella (medio más denso) acercándose á la normal, se

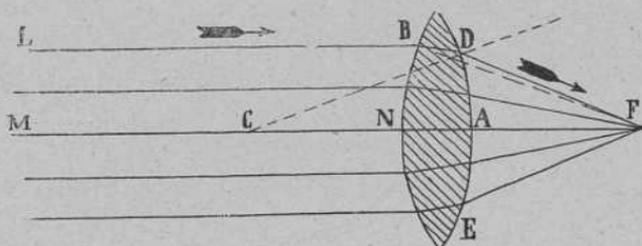


FIGURA 202.

refractan de nuevo al salir al aire (medio menos denso) reuniéndose en un punto F, al otro lado de la lente, que es su *foco principal*. La distancia desde éste á la lente es la *distancia focal*, la cual depende del índice de refracción

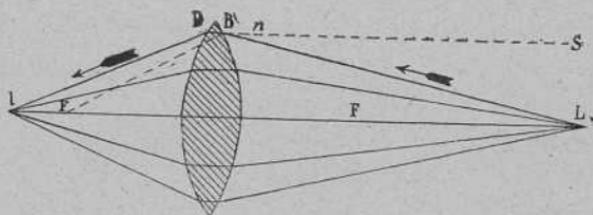


FIGURA 203.

de la sustancia que la constituye y de la curvatura de las caras.

Si, en vez de considerar un punto, consideramos un objeto, el Sol por ejemplo, la imagen aparece en el foco principal, *real, invertida y más pequeña*. Este es el procedimiento que se emplea para determinar el foco principal de una lente.

B. — Recíprocamente si el punto luminoso está en el foco principal F , los rayos, refractándose también dos veces salen paralelos entre sí.

La imagen, pues, de un objeto que se halla en el foco principal, estará en el infinito y será infinitamente grande.

2.º A.—El punto luminoso L (fig. 203) está entre el infinito y el foco principal. Un haz cónico de rayos luminoso cae sobre la lente, y al emerger estos convergen para cortarse en l situado también entre el infinito y el foco principal, al otro lado de la lente. Este

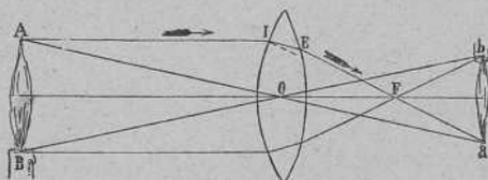


FIGURA 204.

punto l se halla tanto más cerca del foco principal cuanto más lejano está el punto L de que procede; siendo l el foco conjugado de L .

Si, en idénticas condiciones (fig. 204), consideramos un objeto AB , la imagen ab , al otro lado de la lente, se pintará *real, invertida y más pequeña* que el objeto. Si éste está muy lejano aquella será muy pequeña y cercana al

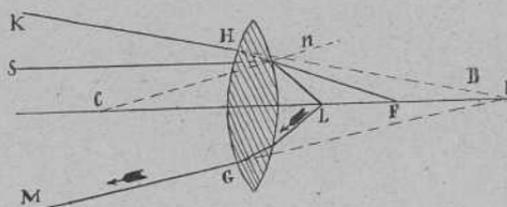


FIGURA 205.

foco principal. Si distase de la lente el duplo de su distancia focal, la imagen, siempre al otro lado, estará á la misma distancia y tendrá el mismo tamaño que

el objeto. Si éste estuviese á mayor distancia de la focal y menor que el duplo de ella, la imagen será mayor.

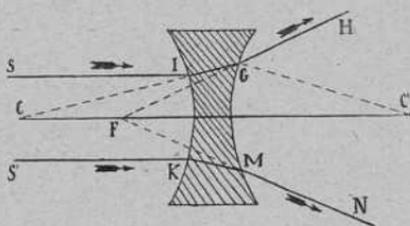
B.—Recíprocamente si el punto luminoso fuese l los rayos emergentes se cortarían en L .

3.º El punto luminoso L se halla entre el foco principal y la lente (fig. 205). Los rayos emanados de él al atravesar la lente y emerger después, divergen, es decir, se separan

cada vez más, por lo que no pueden cortarse, pero sí sus prolongaciones en F , *foco virtual*, situado al mismo lado que L .

Si consideramos un objeto en tales condiciones la imagen es *virtual*, apareciendo del mismo lado que el objeto, *más grande que él y en su misma posición*.

PUNTO LUMINOSO SITUADO EN UN EJE SECUNDARIO.—La



experiencia nos muestra que cuando el punto luminoso se halla sobre un eje secundario las imágenes se pintan según ya hemos explicado, pero con relación á este eje secundario.

FIGURA 206.

Lentes divergentes.

Las imágenes de los objetos en las lentes divergentes son siempre *virtuales*, pues los rayos que las atraviesan tienden siempre á separarse, no encontrándose, pues, más que sus prolongaciones.

Focos.—Imágenes de los objetos.—Supongamos un punto luminoso situado en el eje principal.

1.º *El punto luminoso está en el infinito* (fig. 206). Los rayos SI, SK llegan paralelos, se refractan según IG, KM al atravesar la lente,

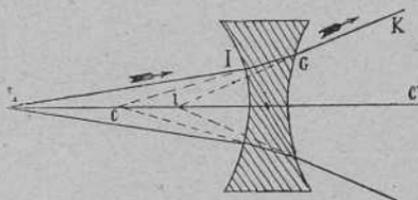


FIGURA 207.

y vuelven á refractarse GH, MN al emerger, separándose, por lo que no se cortan, pero sí sus prolongaciones en F , su *foco principal*, que es *virtual*.

2.º *El punto luminoso L se halla entre el infinito y la lente* (fig. 207). Los rayos caen divergiendo sobre la lente, separándose aún más en las dos refracciones sucesivas que experimentan, y sus prolongaciones vendrán á cortarse,

aún más cerca de la lente en l, que es el *foco conjugado* del punto L. Este foco se aproxima tanto más á la lente cuanto más se aproxima el punto luminoso.

Si éste es sustituido por un objeto A, resultará una imagen A' virtual, más pequeña y en la misma posición que el objeto, situada entre el foco principal y la lente.

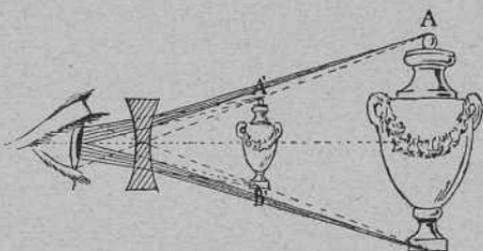


FIGURA 208.

Aberración de esfericidad.—Es el defecto que presentan la mayor parte de las lentes, tanto convergentes como divergentes, por el cual no todos los rayos que por ellas

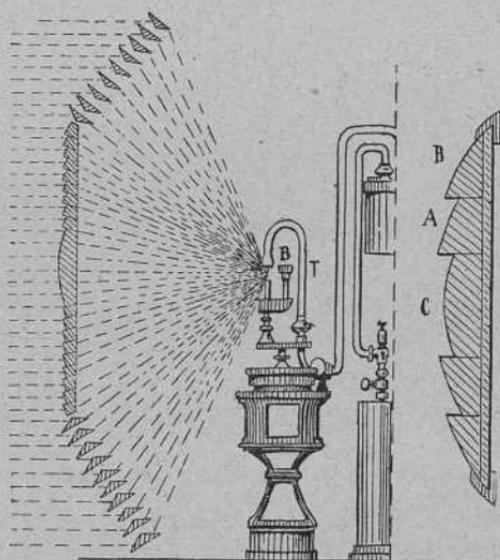


FIGURA 209.—Corte esquemático de un faro.

A la derecha corte de una lente de escalones.

pasan se cortan en el mismo punto. Esto es debido á que los rayos que pasan cerca de los bordes se desvían más que los centrales, y de aquí que se corten más pronto.

Para evitar ó aminorar la aberración de esfericidad se hace uso de lentes, muy delgadas, denominadas *aplanáticas*, ó se emplea *diaframas*, que

mediante un pequeño orificio, detienen los rayos periféricos, dejando pasar únicamente los centrales.

Á evitar los defectos de aberración responde también el empleo de las *lentes de escalones*, en los faros.

Aplicaciones.—Las lentes tienen en Óptica gran número de aplicaciones, que iremos señalando en los momentos oportunos.

Faros.—Los faros tienen por objeto prevenir á los navegantes, durante la noche, de la proximidad de las costas.

Para esto un potente foco luminoso, situado en el foco principal de una lente plano-convexa, envía sus rayos paralelamente, después de atravesarla, en dirección al mar. Para evitar la aberración y la pérdida de luz consiguiente, que resultaría del empleo de lentes de grandes dimensiones, se ha ideado las *lentes de escalones*, debidas á Fresnel. Consisten éstas en una lente plano-convexa central, á la que rodean ocho anillos, que son también lentes plano-convexas, cuyas caras planas corresponden con la de la central y las esféricas están dispuestas de modo que sus focos respectivos coinciden con el de la primera.

En algunos faros una serie de prismas de reflexión total, recogiendo los rayos que escaparían á la lente, coadyuvan al efecto de la misma.

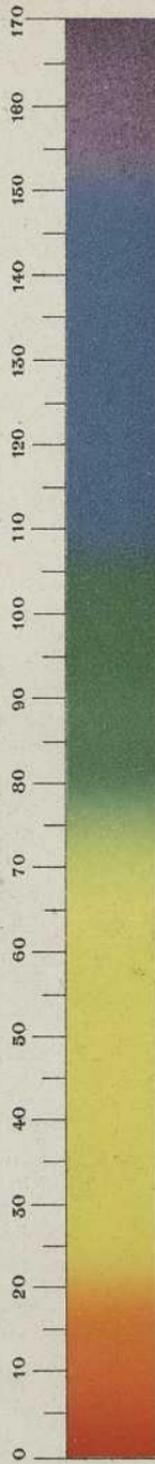
El conjunto, mediante un aparato de relojería, se mueve para iluminar por intervalos sucesivos todos los puntos del horizonte.

En los buques, principalmente en los de guerra, se emplea proyectores semejantes á los de los faros.

DISPERSIÓN DE LA LUZ

Descomposición de la luz blanca. Espectro solar luminoso.—Cuando, en la cámara oscura, (figura 210) la luz solar pasa á través de un prisma, no sólo se desvía como ya hemos estudiado; se produce además el fenómeno denominado *dispersión de la luz*, por el cual ésta se descompone en diversas clases de luces de color distinto, presentando sobre una pantalla una serie de rayos desigualmente

Espectro CONTINUO



Espectro SOLAR



Espectro del HIDRÓGENO



Espectro del SODIO



Espectro del BARIO



desviados y de brillantes colores, á cuyo conjunto se da el nombre de *espectro solar luminoso*.

Aparece dicho espectro como una larga banda en la que se muestran gradualmente, fundiéndose los unos en los otros, no aislados, los siete colores: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado*, comenzando por el menos desviado de la dirección del rayo incidente y concluyendo por el que se desvía más.

Newton explica la formación del espectro, afirman-

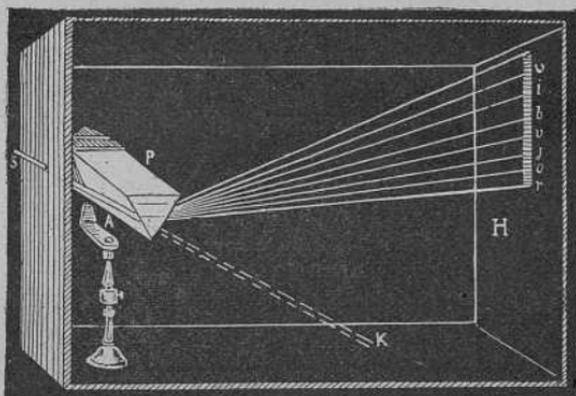


FIGURA 210.—Formación del espectro.

do que la luz blanca no es simple, sino compuesta por colores distintos, simples, que por tener diferente índice de refracción se separan unos de otros al atravesar un prisma.

Los colores del espectro son simples.—Hagamos caer (fig. 211) un espectro sobre una pantalla *b* que tenga una pequeña abertura *a*, de modo que uno de los colores, el rojo, por ejemplo, pase por dicha abertura. Si detrás interponemos otro prisma, veremos que al atravesarle, los rayos del color rojo se desvían, pero no se descomponen, pues recogidos en una pantalla aparecen con la misma

coloración. Hagamos girar el prisma de modo que por la abertura pasen ahora los rayos del color violado; estos se desvían aún más pero aparecen también con su color propio.

Esto nos demuestra que ambos colores, como todos los demás del espectro, son simples, indescomponibles en otros de distinto matiz

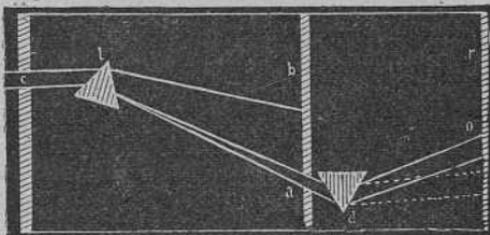


FIGURA 211.—Los colores del espectro son simples.

Los colores del espectro son desigualmente refringibles.—Si en la experiencia

anterior observamos la desviación de los rayos rojo y violado de la dirección del rayo incidente, tendremos que la del color violado es mayor que la del rojo, lo que basta para comprobar su distinta refrangibilidad.

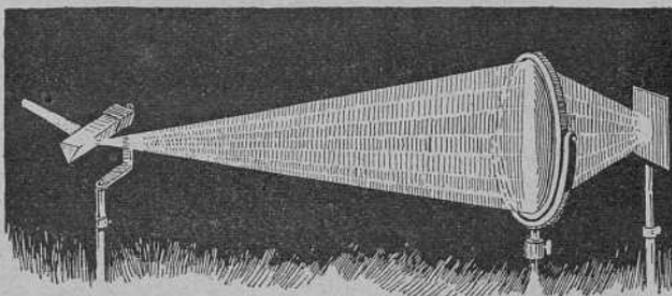


FIGURA 212.—Recomposición de la luz blanca.

Recomposición de la luz blanca.—La *síntesis* ó recomposición de la luz blanca se puede obtener por la superposición de los diversos colores del espectro.

La demostración experimental puede hacerse de distintas maneras.

1.º Recibiendo un espectro sobre una lente convergente (fig. 212). Al pasar por ésta los rayos se refractan, convergiendo, para reunirse en el foco correspondiente, donde se puede recoger la imagen blanca sobre una pantalla.

De modo semejante puede operarse sustituyendo la lente por un espejo cóncavo.

Un segundo prisma colocado inversamente al primero

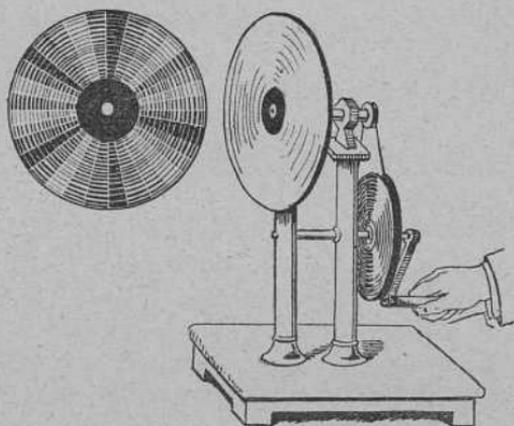


FIGURA 213.—Disco de Newton.

produce un efecto contrario al de éste, recomponiendo la luz blanca.

El *disco de Newton*, (fig. 213) es un disco de cartón, dividido en sectores, proporcionales a la longitud de cada uno de los colores del espectro que en ellos van pintados. Haciéndole girar rápidamente aparece como si todo el disco tuviese un color uniforme blanco agrisado.

Por la rapidez del movimiento, los colores distintos impresionan nuestra retina, antes que haya desaparecido la impresión de los anteriores, superponiéndose en ella para producir, la sensación de un color blanco agrisado, porque los colores artificiales no son nunca iguales a los del espectro.

Colores complementarios.—Si dos colores combinados producen la luz blanca, se les denomina *complementarios*, aunque esta luz blanca, descompuesta por un prisma, no dé un espectro completo.

El *verde* es color complementario del *rojo* y viceversa, el *añil* del *anaranjado*, el *violado* del *amarillo*.

Color de los cuerpos.—El color de los *cuerpos opacos*, proviene de la luz que reciben, ó resulta de los distintos rayos que reflejan.

En efecto, una hoja de papel es blanca á la luz del Sol, roja, amarilla, verde, etc., cuando es iluminada únicamente por una luz roja, amarilla ó verde.

Por otra parte todos los cuerpos opacos absorben una parte de la luz que los ilumina, reflejando, con reflexión difusa, la restante en todas direcciones. Si la absorción fuese completa el cuerpo resultaría negro, es decir, carecería de color, pero si, la absorción es parcial, por ejemplo, de todos los colores menos el azul, éste será reflejado en todas direcciones y el color del cuerpo aparecerá azul. Y claro está que si se ilumina dicho cuerpo con una luz que carezca de rayos azules estará desprovisto de color, por absorber todos los demás.

En los *cuerpos transparentes* ocurren idénticos fenómenos. Un cristal es rojo, porque absorbe todos los colores de la luz blanca menos el rojo, para el cual es únicamente transparente.

El vidrio común, incoloro, deja pasar igualmente todos los colores sin alteración alguna; por eso los objetos vistos á través de dicho cuerpo presentan sus colores propios. En cambio si los observamos con un cristal rojo, los blancos aparecerán rojos, por haber sido absorbidas todas las demás radiaciones, los rojos presentarán su color, pero los amarillos, los verdes, los azules, parecerán negros, porque el vidrio rojo es opaco para tales colores, que absorbe completamente.

Debe advertirse que, en la práctica nunca son absolutamente exactas estas experiencias, porque no hay ningún cuerpo, opaco ó transparente, que difunda ó deje pasar solamente una única clase de rayos de un único color.

Aberración de refrangibilidad de las lentes.—La *aberración cromática* ó *de refrangibilidad* es el defecto que

presentan las lentes, por el cual sus imágenes aparecen coloreadas, *irisadas* en sus cortornos.

Esto es debido á que no refractándose por igual todos los rayos del espectro solar, por ser distintos sus índices de refracción, no coinciden todos exactamente en el mismo punto.

En el centro de la imagen, en que se superponen los distintos colores, la luz no pierde sus condiciones propias, pero en los bordes, en que esta superposición es incompleta, aparecen las irisaciones, por presentarse separados los colores extremos.

Acromatismo.—El *acromatismo* consiste en la supresión de la aberración de refrangibilidad, mediante el empleo de las *lentes* denominadas *acromáticas*. Estas están constituidas por dos lentes de sustancias de desigual refringencia (*crown-glass* y *flint-glass*) yuxtapuestas, y cuyas curvaturas están combinadas convenientemente para que todos los focos de los diversos rayos coincidan, evitando las irisaciones, que perjudican á la exactitud y claridad de la imagen.



FIGURA 213.
Lente
acromática.

VISION

Visión.—El aparato de la vista está formado por los dos *ojos*. Debemos, para su estudio, considerar cada uno compuesto de *partes accesorias* que le protegen ó le mueven, y de *partes esenciales* que constituyen el *globo del ojo*.

PARTES ACCESORIAS.—Cada ojo se halla alojado en la *órbita* correspondiente, cavidad formada por varios huesos de la cara y que por su forma defiende á aquel de los choques exteriores. Los *párpados* y las *pestañas* le protegen de los polvos atmosféricos; las *cejas* detienen el sudor de la frente; el *aparato lagrimal*, que esencialmente consta de una glándula que segrega las *lágrimas*, le mantiene constantemente

húmedo; por último, *seis músculos motores* producen en él los diferentes movimientos.

GLOBO DEL OJO.—Es el órgano fundamental de la visión, de forma aproximadamente esférica, se halla, como ya hemos dicho, alojado en la cavidad de las órbitas.

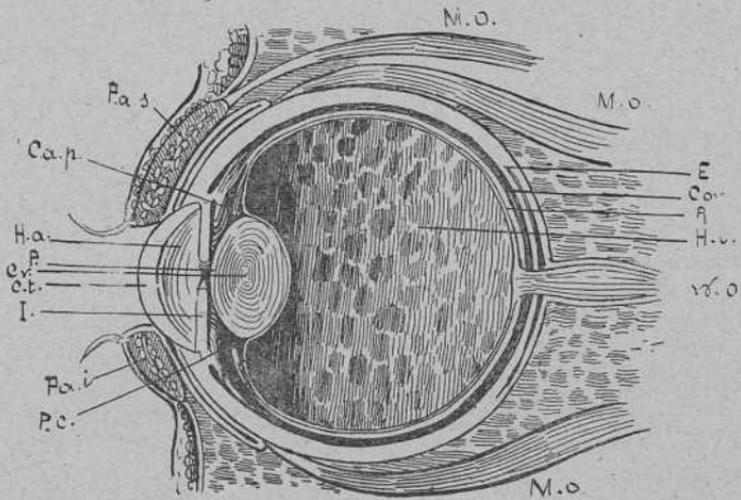


FIGURA 215.—Corte vertical del ojo.

Pa. s. Párpado superior; Ca. p. Cámara posterior; H. a. Humor acuoso; P. Pupila; Cr. Cristalino; C. t. Córnea transparente; I. Iris; Pa. i. Párpado inferior; P. C. Procesos ciliares; M. O. Músculos del ojo; E. Esclerótica; Cor. Coróides; R. Retina. H. v. Cuerpo vítreo; N. O. Nervio óptico.

Está constituido por *membranas y medios transparentes*.

Las membranas son, contando de fuera á adentro: la *esclerótica*, la *coroides* y la *retina*; los medios transparentes la *córnea*, el *humor acuoso*, el *crystalino* y el *cuerpo vítreo*.

Esclerótica.—Es la túnica exterior del ojo, blanca, gruesa y resistente; por detrás, da paso al nervio óptico y por delante, presenta la *córnea*, de mayor curvatura.

Coróides.—Contenida en la anterior, está íntimamente unida á la retina. Está formada por tres capas de las que la media está provista de numerosos vasos sanguíneos y la más profunda está constituida por células llenas de pigmento negro. Por delante se continúa por la *región ciliar* y por el *iris*.

Iris.—Es circular, y presenta una abertura central, *pupila ó niña del ojo*. Hace el oficio de diafragma que puede contraer ó dilatar la pupila para evitar el exceso ó defecto de luz. Está situado entre la córnea y el cristalino, y separado de la primera por el humor acuoso.

Retina.—Es la membrana sensible del ojo. Formada por varias capas procedentes de la expansión del nervio óptico, se aplica uniforme é íntimamente á la coróides y ocupa, yendo de atrás adelante, la mayor parte de la superficie interior del ojo.

La retina es la membrana sensible, receptora de las impresiones de la luz que el nervio óptico transmite al cerebro.

Este entra en el ojo de un modo oblicuo.

MEDIOS DEL OJO.—Son transparentes; yendo de adelante á atrás, los encontramos en el siguiente orden:

Córnea.—Es, como ya hemos dicho, una continuación transparente de la esclerótica, en la parte anterior de ésta y que presenta una mayor curvatura.

Humor acuoso.—Entre la córnea y el cristalino, existe un espacio, que el iris divide en dos, llamados *cámaras anterior y posterior del ojo*, llenas de un líquido perfectamente límpido, que se conoce con el nombre de *humor acuoso*.

Cristalino.—Es una pequeña lente biconvexa, transparente, cuya cara anterior puede aumentar su convexidad, situada tras el iris, coincidiendo su

centro con el de la pupila, delante del cuerpo vítreo y rodeada de una finísima membrana (*crystalóides*).

Cuerpo vítreo.—Desde la cara posterior del cristalino á la retina ocupa el espacio del ojo una masa clara y gelatinosa, que se contiene en una membrana (*hialóides*).

Formación de las imágenes en el ojo.—Se ha comparado el ojo con una máquina fotográfica, pues no sólo concentra los rayos luminosos para producir una imagen sobre una pantalla (*retina*), sino que se impresiona también por la acción de los mismos.

Los rayos luminosos de los objetos exteriores

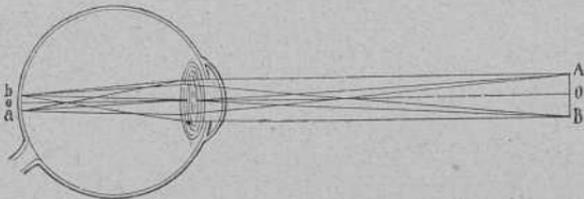


FIGURA 216.—Formación de las imágenes en el ojo.

atravesando la córnea, pasan por el humor acuoso, sufriendo una primera desviación hacia el eje del ojo. Los muy separados son detenidos por el iris, que hace el efecto de un diafragma, y los centrales pasan por el cristalino, refractándose de nuevo en el mismo sentido, y por último, á través del cuerpo vítreo, convergiendo sobre la retina, donde la imagen de aquellos objetos se forma real, invertida y muy pequeña.

A pesar de ésto, nosotros vemos los objetos en su verdadera posición, quizá porque los elementos nerviosos de la retina tienen propiedades tales que nos hacen referir á la posición de los objetos la de la imagen que nos impresiona.

Acomodación.—Visión distinta.—El ojo está constituido para la *visión distinta*, clara y más ó menos detallada de los objetos, á diversas distancias.

Si á través de una gasa situada á unos 30 centímetros de nuestra vista miramos un objeto más lejano, podremos ver los detalles de éste al par que la gasa aparece vaga é indefinida, pero si nos fijamos en las mallas de ésta gasa el objeto se verá de un modo confuso.

El ojo se acomoda á la distancia á que se halla el objeto observado, para que la imagen se forme exactamente en la retina. Esta *acomodación* se produce por la mayor curvatura de la cara anterior del cristalino, que lo hace más convergente, cuando se mira á objetos más próximos.

La facultad de acomodación no es ilimitada; los ojos normales (*ojos emétopos*) perciben con claridad, sin acomodación, las imágenes de los objetos lejanos, pero si estos se aproximan bastante, tienen que acomodarse para verlos claramente, siendo la *distancia mínima de la visión distinta* la de unos 20 á 30 centímetros.

A menor distancia las imágenes se pintarían detrás de la retina, percibiéndose de modo muy confuso.

Defectos en el aparato de la visión.—La *Miopía* proviene de un exceso de curvatura de los elementos ópticos del ojo, por lo cual las imágenes de los objetos lejanos se pintan, aún con acomodación, delante de la retina, resultando confusas. Los miopes ven en cambio á distancias mucho menores de la mínima normal.

La *miopía* se corrige con anteojos formados por lentes divergentes.

La *Hipermetropía* es un defecto contrario en sus efectos y proviene de que, siendo el ojo muy corto ó la curvatura de los medios refringentes muy escasa, las imágenes se forman detrás de la retina, apareciendo confusas.

Se corrige este defecto con el empleo de lentes convergentes.

La *presbicia* ó *vista cansada* se manifiesta porque, viéndose con bastante claridad los objetos lejanos, es preciso alejar los próximos por haber aumentado la distancia mínima de la visión distinta, efecto de que, por un aplanaamiento ó falta de flexibilidad del cristalino para la adaptación, se producen las imágenes detrás de la retina.

La presbicia aumenta y se produce con la edad (40 á 45 años en adelante) y se corrige con el empleo de lentes convergentes.

El *astigmatismo* es causado por una deformidad del globo del ojo, en el que, falto de simetría, las curvaturas de sus medios no corresponden, produciendo imágenes borrosas. El uso de cristales cilíndricos apropiados corrige este defecto.

El *daltonismo* consiste en la falta de aptitud del ojo para la percepción de alguno ó algunos de los colores.

Persistencia de la impresión luminosa en la retina.—La impresión de los objetos luminosos persiste aún algún tiempo en la retina, después de haber desaparecido aquellos ó cambiado de lugar. Así, cuando con un carbón encendido trazamos rápidamente una circunferencia en el aire, aparece como una línea de fuego. La experiencia del disco de Newton nos demuestra la persistencia de la impresión de los colores.

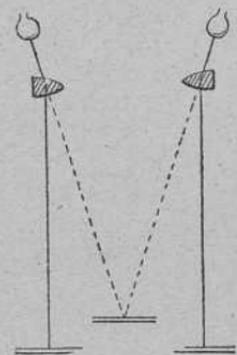


FIGURA 217.
Visión de las imágenes en el estereoscopio.

El valor de la duración de esta persistencia es variable para los diversos individuos, y según la intensidad de la impresión, pero se calcula en 0'1 á 0'5 segundos.

La ilusión del movimiento en el *cinematógrafo* es debida á esta persistencia.

Visión binocular ó visión doble.—Siendo dos los ojos, las imágenes del objeto que miramos son dos también, pero sin embargo nosotros no percibimos más que un objeto. Según parece este fenómeno es debido á que las imágenes se forman en puntos simétricos de ambas retinas.

Por la visión doble apreciamos la distancia de los objetos y el relieve de los mismos, por yuxtaposición de ambas imágenes, que no son iguales, por la distinta manera de verse un objeto con cada ojo, debido á la diferente situación de cada uno de ellos.

Estereoscopio.—Es un aparatito con el que se demuestra estos hechos, obteniendo la ilusión del relieve por la superposición de dos imágenes planas, representadas tal como se verían con cada ojo (figura 217).

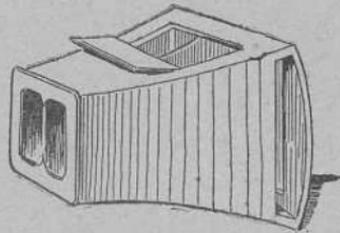


FIGURA 218.—Estereoscopio.

Consiste en una cajita rectangular (fig. 218) dividida por un tabique, la cual lleva en su parte anterior dos lentes, para conseguir que ambas imágenes parezcan proceder de un mismo punto. Estas imágenes, que son pruebas positivas tomadas con máquinas fotográficas especiales, de dos objetivos, denominadas *estereoscópicas*, son colocadas en el fondo de aquel aparato.

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

Definición y división.—Los instrumentos ópticos son combinaciones de lentes, espejos y prismas, y están destinados á auxiliar la observación de los objetos.

Se les divide en: 1.º **Instrumentos de proyección**, por los que se consigue la formación de las imágenes de los objetos sobre una pantalla, (*Cámara obscura, Linterna mágica y Aparatos de proyección, Microscopios solar y fotoeléctrico*, etcétera: 2.º **Instrumentos de amplificación**, que dan imágenes aumentadas de los objetos diminutos (*Microscopios*) y 3.º **Instrumentos de aproximación**, que tienen

por objeto la observación de los objetos lejanos (*Antejos, Telescopios*).

Instrumentos de proyección.—**CÁMARA OSCURA.**—La *Cámara obscura sin objetivo* es en esencia una caja, con un pequeño orificio por donde penetra la luz, pintándose la imagen de los objetos, invertida, sobre una pantalla convenientemente dispuesta.

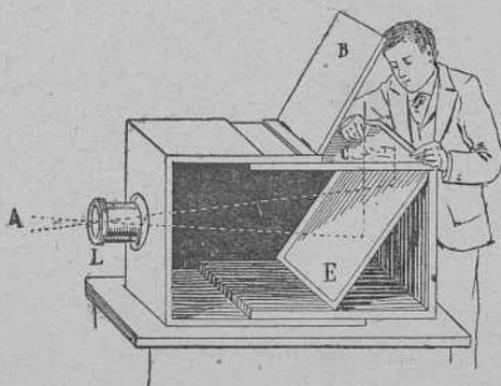


FIGURA 219.—Disposición para dibujar las imágenes.

Para aumentar el brillo y claridad de las imágenes se usa la *Cámara obscura con objetivo*, en la que el orificio, mucho mayor, lleva una lente ó un sistema de lentes convergentes. La imagen de los objetos se forma real, invertida y más pequeña sobre un vidrio deslustrado, que puede avanzar ó retroceder hasta conseguir la imagen con todo detalle, operación que se denomina *enfocar*.

Quando se trata de copiar las imágenes en la cámara obscura se emplea la modificada por Porta (fig. 219) en la que los rayos son interceptados por el espeje E donde se reflejan, no pintándose la imagen en el fondo, sino en el vidrio deslustrado C, sobre el que se les puede calcar más cómodamente.

Realmente, éste y otros análogos procedimientos de copia han caído en desuso por el gran desarrollo y perfeccionamiento de la Fotografía.

Linterna mágica.—APARATOS DE PROYECCIÓN.—Consta de una caja rectangular (fig. 220) con una luz en el foco de un reflector cóncavo. Los rayos reflejados llegan á una lente C convergente, *condensador*,

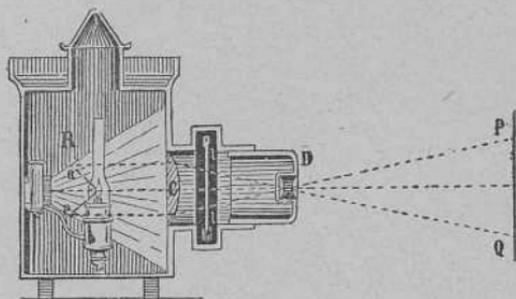


FIGURA 220.—Linterna mágica.

situada en la base del tubo D. Dicho condensador concentra los rayos luminosos sobre las figuras I I pintadas ó fotografiadas sobre vidrio, las cuales colocadas en la ranura I I, quedan intensamente iluminadas. Al continuar los rayos su camino por el tubo encuentran una nueva lente convergente D que produce una imagen de aquellas figuras real, invertida y muy ampliada, sobre una pantalla blanca, debiendo ocupar dicha imagen y el objeto, si aquella ha de ser clara y brillante, dos focos conjugados de la lente. Con este fin, el tubo está formado por dos, uno de los cuales, el que lleva el objetivo, enchufa en el otro, de modo que acercando ó alejando el objetivo del objeto se obtenga aquella precisa condición. Para que la imagen pueda ser vista derecha, se coloca el objeto invertido.

Los modernos *aparatos de proyección*, indispensables hoy para la enseñanza de casi todas las ciencias, no son sino un perfeccionamiento de la linterna

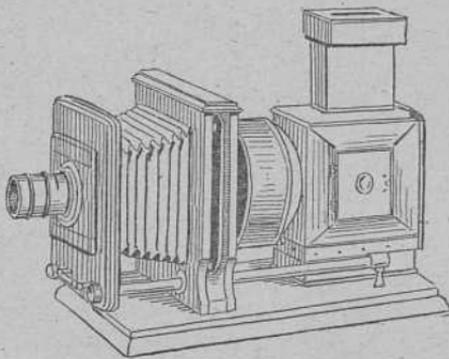


FIGURA 221.—Aparato de proyección.

mágica. En ellos, la construcción esmerada de todas sus partes tiende á producir una imágen clara, exacta é intensa del objeto de observación, por lo que los objetivos están formados por lentes acromatizadas, pudiendo moverse por medio de una cremallera, y los focos luminosos empleados son de una gran potencia (*mecheros Aüer, luz Droumond, arco voltáico, etc.*)

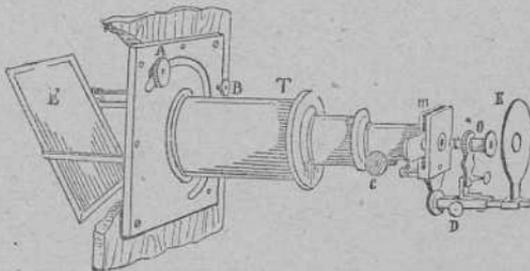


FIGURA 222.—Microscopio solar.

Microscopio solar.—Es un aparato de proyección (figura 222) que no difiere esencialmente de los anteriores, más que en el modo de iluminación, pues en él se emplea la luz del Sol.

El tubo T del microscopio, adaptado al orificio *ad hoc* de una ventana de una habitación obscura, recibe los

rayos del Sol que le envía (fig. 223) el espejo E de un porta-luz, situado al exterior. Estos rayos se concentran al pasar por una primera lente convergente *l* (*colector*) y nuevamente al atravesar la lente *C* (*condensador*) colocando el objeto diminuto *m* entre dos cristales en el punto de reunión. Intensamente iluminado éste y situado cerca del foco de un sistema de lentes *X*, se produce sobre la pantalla una imagen *b* a muy ampliada de dicho objeto. Por diversos mecanismos *C*, *D*, se obtiene el enfoque, así como con *A*, *B* los movimientos del porta luz, etc.

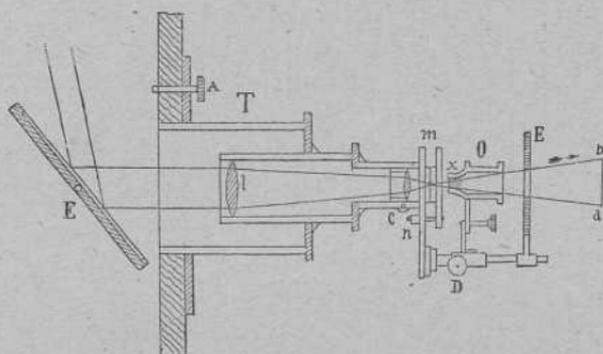


FIGURA 223.—Corte esquemático del microscopio solar.

El microscopio solar tiene grandes inconvenientes pues se necesita una habitación bien orientada y es necesario variar á cada instante la posición del porta-luz, por exigirle así el constante cambio de dirección que sufren los rayos solares.

Microscopio fotoeléctrico.—Es semejante al anterior, pero en él la luz del Sol ha sido sustituida por la luz eléctrica, lo que hace más práctico su empleo.

Medida de la amplificación de un aparato de proyección.—Se puede determinar colocando, como objeto, una placa de vidrio en la cual se ha trazado de antemano una graduación en milímetros.

Midiendo sobre la pantalla, en milímetros, el intervalo entre dos divisiones sucesivas de la imagen ampliada y dividiendo por el intervalo verdadero, el cociente representa el aumento ó amplificación lineal del aparato.

La amplificación superficial es el cuadrado del número que representa la lineal.

Microscopios.—Son aparatos empleados en la

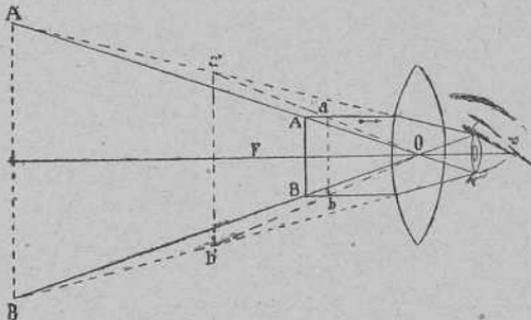


FIGURA 224.—Marcha de los rayos en el microscopio simple.

observación de objetos muy pequeños, que sería imposible ver á simple vista, y de los cuales producen una imagen virtual muy ampliada.

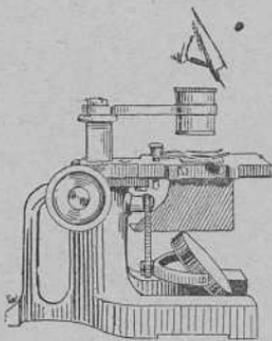


FIGURA 225.
Microscopio simple.

MICROSCOPIO SIMPLE.—Llamado también *lente de mano* ó *lupa*, es una lente convergente sobre una montura. Colocado el objeto AB entre el foco principal F y la lente se obtendrá, como ya hemos dicho, una imagen virtual $A'B'$, mayor y en la misma posición del objeto (fig. 224).

La perfecta claridad de la imagen se obtiene por tanteo, y la distancia del objeto á la lente ha de ser, por lo menos, igual á la distancia mínima de la visión distinta del observador, debiendo estar el ojo muy próximo á la lente.

El nombre de *microscopio simple* se aplica más bien á una lente convergente de corta distancia focal, montada sobre una armadura (fig. 225), de forma diversa según los usos á que se destina.

MICROSCOPIO COMPUESTO.—Es un instrumento que produce imágenes mucho más amplificadas que el microscopio simple. Está constituido esencialmente por un tubo, que lleva en cada extremo una lente convergente. La que mira al objeto (*objetivo*), es de foco corto y pequeño diámetro, la más próxima al ojo (*ocular*) es de menor convergencia y foco más largo.

Colocado el objeto *b* a (fig. 226), poco alejado del foco principal del objetivo *C*, se forma una imagen *a' b'* real, invertida y mayor que el objeto. El ocular hace el oficio de lupa con respecto de *a' b'*, obteniéndose una imagen virtual de ella *A B*, mucho más amplificada, en la misma posición é invertida con relación al objeto, siendo esta la única percibida por el observador.

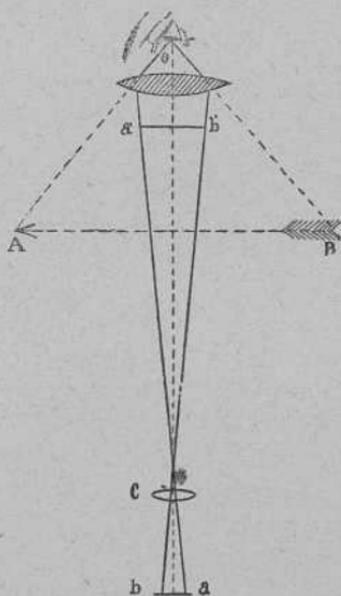


FIGURA 226.—Marcha de los rayos en el microscopio compuesto.

El valor de la ampliación de un microscopio es el producto de los aumentos del objetivo y del ocular.

La figura 227 representa un microscopio moderno. El tubo, unido á un pie que lo soporta, está formado

por dos cuerpos, que encajan uno en otro, llevando el ocular y el objetivo, y puede acercarse al objeto ó alejarse de él, con movimiento rápido, mediante un tornillo de cremallera ó, con movimiento lento, por un *tornillo micrométrico*. El objeto, preparado sobre un

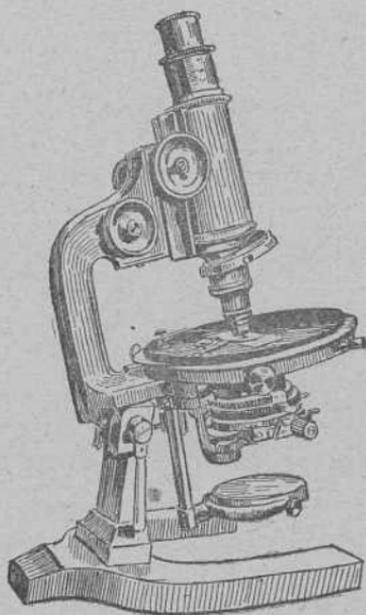


FIGURA 227.—Microscopio compuesto.

cristal (*porta-objetos*) y cubierto con otro más fino (*cubre-objetos*), se coloca sobre la abertura circular del soporte denominado *platina*, la cual está dotada de diversos movimientos. Un espejo cóncavo concentra y envía los rayos de un foco luminoso (luz del día ó artificial), iluminando intensamente el objeto, que se ve por transparencia. Sobre el espejo, un *diafragma* regula la cantidad de luz á voluntad del observador, y cuando

se necesita una gran iluminación, se coloca bajo la platina un *condensador*, formado por un sistema óptico muy convergente, que concentra sobre el objeto gran cantidad de rayos luminosos.

Para poder obtener con un mismo aparato distintos aumentos, que pueden pasar de mil veces el tamaño del objeto, los microscopios tienen varios oculares y objetivos; estos últimos van dispuestos á veces, sobre una montura giratoria (*revólver*), que permite substituir uno por otro con

facilidad. Los objetivos no son casi nunca simples sino compuestos de un sistema de lentes convergentes acromatizadas, cuya convergencia equivale á la suma de las convergencias de las lentes simples que lo componen. Los oculares suelen estar formados por dos lentes plano-convexas con las caras planas hacia el interior del tubo que las lleva (*porta-ocular*). Con estas disposiciones se corrige las aberraciones de esfericidad y refrangibilidad del microscopio.

APLICACIONES.—El microscopio es uno de los instrumentos que más poderosamente han contribuído al desarrollo actual de las ciencias. El conocimiento de los séres infinitamente pequeños, invisibles á simple vista, y de la estructura íntima de los cuerpos, ha venido á ser punto de partida de nuevas teorías y descubrimientos en Medicina, Zoología, Botánica, Mineralogía, Química, etc., así como en la Industria, la Agricultura, etc. La Microbiología nos ha enseñado la causa de muchas enfermedades, el origen de las fermentaciones y el por qué de ciertas transformaciones, base de la renovación ó fijación de muchos productos fertilizantes de los terrenos. Por el microscopio se descubre las alteraciones y adulteraciones de los productos comerciales, etc., etc.

Instrumentos de aproximación.—Están destinados á la observación de objetos lejanos, singularmente de los astros. Se les denomina *anteojos* y *telescopios*. Los primeros, empleados algunos en la observación de objetos terrestres, están exclusivamente formados por lentes; los segundos son combinaciones de lentes y espejos.

Anteojos astronómicos.—En esencia es un largo tubo, (figura 228) ennegrecido interiormente, que lleva en cada extremo un sistema óptico convergente: un *objetivo* Ob grande, para recibir la mayor cantidad de luz posible, y de foco largo, por su gran radio de curvatura, y un

ocular O, de corto foco y menores dimensiones. Este último está situado en un segundo tubo, que, enchufando en el primero, puede aumentar ó disminuir á voluntad la distancia entre ambas lentes, para poder enfocar, obteniendo la perfecta claridad la imagen, según la distancia del objeto y la vista del observador.

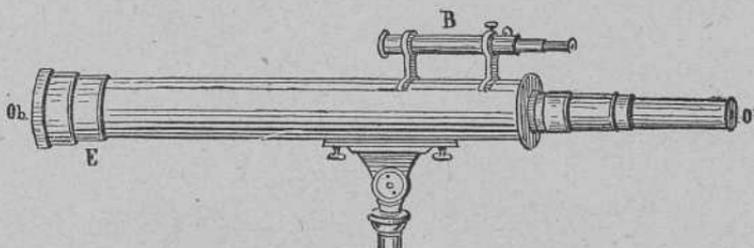


FIGURA 228.—Anteojo astronómico.

El campo ó espacio visible del anteojo disminuye con la amplificación de éste, haciéndose difícil encontrar directamente el objeto de observación. Para esto lleva un segundo anteojo, *buscador*, B de poca amplificación, con el que se puede explorar un mayor espacio. La imagen situada en el centro del buscador coincide con el del anteojo astronómico.

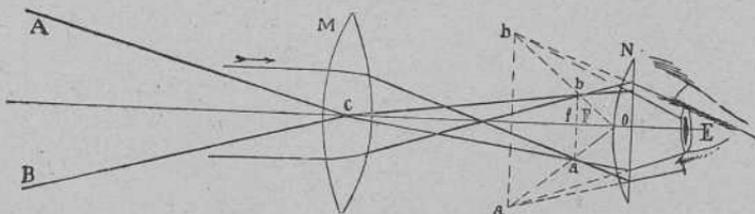


FIGURA 229.—Marcha de los rayos en el anteojo astronómico.

Los objetivos y oculares no son simples sino compuestos de lentes, dispuestas de modo, que se evite las aberraciones de esfericidad y refrangibilidad. Además un *retículo*, formado por dos hilos de araña cruzados en ángulo recto, cuyo punto de intersección coincide con el centro óptico del objetivo, sirve para fijar la posición de los objetos.

La marcha de los rayos luminosos en el anteojo astronómico (fig. 229) es idéntica á la que se verifica en el

microscopio. Los rayos emanados del objeto $A B$, supuesto en el infinito, después de converger, al atravesar el objetivo M , producen una imagen real, invertida y muy pequeña $a b$. El ocular N hace el oficio de microscopio simple, con respecto á ella, resultando para el observador una imagen virtual $b' a'$, muy ampliada de $a b$, invertida con relación al objeto.

El *aumento de un antejo* es la relación entre el diámetro aparente de la imagen vista en él y el diámetro del objeto visto á simple vista.

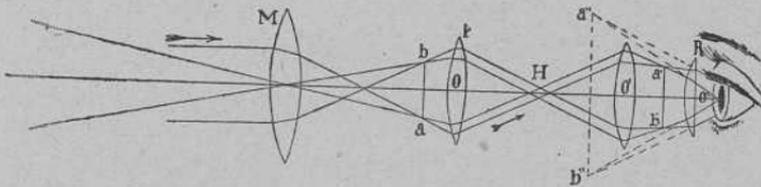


FIGURA 230.—Marcha de los rayos en el antejo terrestre.

Los antejos astronómicos están montados sobre un pie y se hallan dotados de movimientos diferentes debidos á distintos mecanismos, según sus condiciones y los usos á que se les destina.

Antejo terrestre ó de larga vista.—Está destinado á la observación de los objetos terrestres lejanos, y se diferencia del anterior en que el observador ve las imágenes de los objetos en la posición de ellos.

Para esto (fig. 230) hay dos lentes convergentes O y O' (*vehículo*), en el tubo del ocular, que conservan siempre la misma distancia de éste. Los rayos de la imagen real é invertida $a b$, dada por el objetivo M , al atravesar la lente O , convergen, se cruzan, y al pasar por la O' forman una imagen $a' b'$ real é invertida, con respecto á la $a b$, pero en la verdadera posición del objeto. El ocular R , actuando de lupa, sobre $a' b'$ ofrece una imagen $a'' b''$ virtual, derecha y muy aumentada.

Antejo de Galileo.—Está formado por un objetivo convergente y un ocular divergente en los extremos de un tubo corto, ennegrecido interiormente.

Los rayos que emanan del objeto lejano $A B$ convergen al atravesar el objetivo O y formarían una imagen

(figura 231) real, invertida y más pequeña, en $b a$, pero interpuesto el ocular O' , al pasar por él, se refractan, divergiendo, por lo que el observador, colocado en su foco f , verá una imagen $A' B'$ virtual, derecha y muy ampliada, en la prolongación de aquellos rayos.

Los *gemelos de teatro* son dos anteojos de Galileo, unidos y dispuestos paralelamente para ver con los dos ojos.

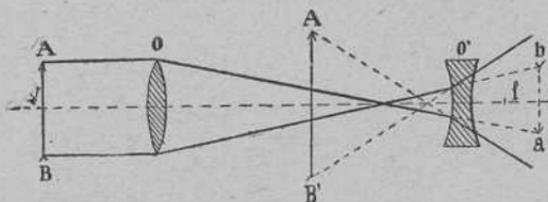


FIGURA 231.—Marcha de los rayos en el anteojo de Galileo.

Un tornillo puesto entre ambos, separa ó acerca los oculares de los objetivos, para el enfoque.

Anteojos prismáticos.—Actualmente se construye, para substituir á los anteojos terrestres, anteojos gemelos prismáticos, así llamados porque los rayos antes de llegar del objetivo al ocular sufren cuatro reflexiones totales en dos prismas, colocados de modo que las imágenes aparecen en su verdadera posición.

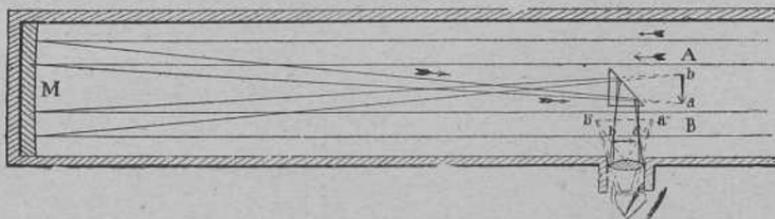


FIGURA 232.—Marcha de los rayos en el telescopio de Newton.

Aplicaciones de los anteojos.—Tienen por objeto la observación de los objetos lejanos. Forman parte de algunos instrumentos de Geodesia, Topografía, etc., como el *Sextante*, los *Teodolitos*, etc.

Telescopio de Newton.—Consiste esencialmente en un gran tubo en cuyo fondo hay un espejo cóncavo M , que sustituye al objetivo, pues los rayos del astro observado

reflejándose en él, formarían una imagen $a b$, real invertida y más pequeña, en su foco principal, si no fuesen detenidos dichos rayos reflejados por un prisma de reflexión total ó espejito plano, formando un ángulo de 45° con el eje principal, y situado antes de aquel foco. Reflejándose en el espejo perpendicularmente á su primera dirección, la imagen se forma en $b'a'$; en donde se observa con el ocular convergente o , que da la imagen $a'' b''$ muy ampliada.

El Telescopio de Newton fué modificado por Foucault, sustituyendo los espejos esféricos por otros parabólicos, con lo que se disminuye la aberración de esfericidad, y utilizando espejos de cristal con una capa fina de plata reducida, fácilmente sustituible, para evitar la oxidación de los espejos metálicos.

Existen otros *telescopios*, en cuya descripción no entramos por no traspasar los límites de este libro, todos ellos aparatos potentes y voluminosos, para cuyo movimiento y estabilidad se necesita mecanismos y construcciones especiales.

RADIACIONES

Radiaciones.—La luz del Sol no sólo nos produce la sensación de la luz, sino también la del calor, y si colocamos ante ella un papel fotográfico lo ennegrece, por reducir la sal de plata que forma parte principal de él. Esto nos demuestra que las radiaciones que aquel emite tienen propiedades luminosas, caloríficas y químicas, cuya identidad de cualidades prueba que no son sino efectos distintos de una misma causa. Las radiaciones emitidas por los focos caloríficos ó luminosos son originadas por los movimientos vibratorios moleculares rapidísimos, transmitidos en todas direcciones por el éter, pero estas diferentes radiaciones caloríficas, luminosas y químicas no difieren entre sí más que por la diferente longitud de onda de la vibración y por su distinta refrangibilidad.

Radiación del calor.—Hemos dicho (pág. 196) que el calor se propaga por radiación á través de los medios transparentes sin que estos se calienten de un modo sensible. Así se comprende que las altas regiones atmosféricas estén intensamente frías, á pesar de ser atravesadas por

las radiaciones caloríficas del Sol, que nosotros percibimos á su contacto con el suelo.

PROPAGACIÓN.—*Como la luz, el calor radiante se propaga en línea recta y en todas direcciones.* La demostración puede hacerse colocando ante un foco calorífico una pantalla con un orificio, tras el que ponemos un termómetro muy sensible, el cual nos marca una elevación de temperatura cuando el termómetro, el orificio y el foco se hallen en línea recta.



FIGURA 233.

Y si repetimos el experimento en distintas posiciones quedará demostrada la segunda parte de aquella ley.

El calor radiante, como la luz, se propaga en el vacío.

Runford lo demostró tomando un tubo barométrico muy ensanchado en su parte superior, formando un balón, que lleva un termómetro en su interior (fig. 233). Hecho el vacío en el balón, de la misma manera que para un barómetro, y cerrando después el tubo al soplete, tendremos el termómetro rodeado del vacío más perfecto que se puede obtener. Sumergiendo después el balón en agua caliente la columna termométrica sube con rapidez: lo que prueba la propagación del calor en el vacío.

VELOCIDAD.—*La velocidad con que se propaga el calor radiante es la misma que la de la luz.* El efecto calorífico y luminoso de un rayo de Sol es simultáneo, así se com-

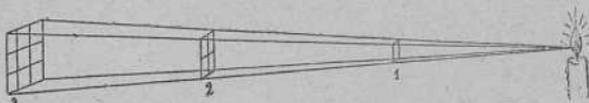


FIGURA 234.

prende la sensación de frío que se experimenta durante un eclipse de Sol y la reaparición del calor al mismo tiempo que la luz, cuando aquel termina.

INTENSIDAD.—*De la misma manera que para la luz, la intensidad del calor recibido por radiación sobre una superficie determinada varía, 1.º, con la intensidad del foco calorífico;*

2.º *en razón inversa del cuadrado de las distancias*, pues efecto de la propagación rectilínea del calor, la misma cantidad de calor emanada de un punto, y que á la distancia de un metro (fig. 234) calienta una superficie determinada, 1, á dos metros calentará una superficie cuatro veces mayor, 2, y á tres metros se repartirá entre una superficie nueve veces más grande, etc., etc.

REFLEXIÓN.—*El calor se refleja del mismo modo y según las mismas leyes que la luz.* Si recibimos los rayos del Sol sobre un espejo cóncavo, podemos encender una cerilla colocada en su foco principal. Si colocamos uno enfrente de otro dos espejos cóncavos de modo que sus ejes principales coincidan, y en el foco principal de uno de ellos situamos una esfera metálica fuertemente calentada, los rayos caloríficos, al reflejarse lo hacen paralelamente, caen sobre el segundo espejo y se reflejan, para reunirse en el foco principal de éste, donde un termómetro sensible, nos muestra una elevación de temperatura.

DIFUSIÓN.—*Cuando un rayo calorífico cae sobre una superficie no pulimentada se difunde de la misma manera que la luz.*

Refracción.—*El calor radiante y la luz se refractan del mismo modo*, pues si sobre una lente biconvexa recibimos los rayos del Sol, los caloríficos y los luminosos se concentran en el mismo foco principal, donde podrá inflamarse un cuerpo combustible.

DISTINTAS RADIACIONES DEL ESPECTRO

Diferentes radiaciones del espectro. La existencia de las tres clases de radiaciones, luminosas, caloríficas y químicas se comprueba claramente haciendo pasar un rayo de Sol, en la cámara oscura, á través de un prisma de sal gema. Manifiéstase, á primera vista, un espectro luminoso, cuya mayor intensidad está en el amarillo y la mínima en el violado.

Si ahora colocamos un aparato termométrico muy sensible (1) sobre cada uno de los colores del espectro se nos

(1) Los termómetros ordinarios son aparatos poco sensibles, para estas experiencias: aunque algunas veces son empleados, recubiertos de

mostrará la presencia de las radiaciones caloríficas, que, como las luminosas, atravesarán el prisma desviándose. La mayor temperatura está en el rojo, la menor en el violado; pero si corremos el termómetro por bajo del rojo, éste nos indicará todavía la existencia de radiaciones caloríficas, *invisibles*, denominadas *radiaciones infrarrojas*.

Ahora bien, proyectemos el espectro sobre una placa fotográfica, en la cual hay una sal de plata descomponible por la acción de las radiaciones químicas. Revelada la placa, para hacer patente aquella acción, se observa la desigual intensidad de la acción química de los diversos colores del espectro. Esta acción es nula en los rayos infrarrojos, casi nula en los rojo, anaranjado, amarillo y verde, y es ya considerable, ascendiendo gradualmente en intensidad, en el azul, el añil y el violado. Pero además la placa ha sido impresionada más allá del violado, fuera de los límites del espectro luminoso, lo que nos hace notar la presencia de radiaciones químicas, *invisibles*, que han recibido el nombre de *radiaciones ultravioletadas*.

Emisión de las radiaciones.—Los cuerpos emiten constantemente radiaciones, que cuando aquellos se calientan se manifiestan con mayor intensidad en forma de radiaciones caloríficas oscuras, y si la temperatura se eleva más, hacia unos 600°, comienzan á presentarse las luminosas; apareciendo las radiaciones químicas, con las caloríficas y luminosas, á una más elevada temperatura, á unos 1250°.

Poder emisivo de un cuerpo es la cantidad de calor que emite por unidad de superficie y tiempo. El cuerpo de poder emisivo más elevado es el *negro de humo*.

Absorción de las radiaciones.—La radiación que cae sobre una superficie de un cuerpo, no es absorbida por completo: una parte se refleja ó difunde, otra parte pasa á través de aquél, si es transparente para la radiación, y el resto es absorbido.

Poder absorbente es la relación entre la cantidad de calor recibida por un cuerpo y la absorbida; siendo los cuerpos de mayor poder emisivo los que tienen mayor poder absorbente, como el *negro de humo*.

negro de humo, se les sustituye casi siempre con otros aparatos más precisos como un bolómetro, una pila termo-eléctrica, etc., etc.

Poder reflector, difusivo y diatermano de un cuerpo son las relaciones entre la cantidad de calor recibido y la *reflejada, difundida y transmitida*, á través suyo, respectivamente.

Diatermancia es la propiedad que tienen algunos cuerpos (*diatermanos*) de dejarse atravesar por las radiaciones caloríficas. Los que no las transmiten se llaman *atermanos*.

No todos los cuerpos son igualmente transparentes para toda clase de radiaciones; la *sal gema* transmite igualmente el calor y la luz; el vidrio es opaco para el calor oscuro, pero es diáfano para el luminoso; la disolución concentrada de *Iodo en el Sulfuro de Carbono* deja pasar fácilmente las radiaciones caloríficas é intercepta las luminosas.

Diversas clases de espectros.—Como la luz del Sol, la de cualquier otro foco puede producir un espectro cuando se la hace pasar á través de un prisma.

El espectro producido por los *cuerpos sólidos ó líquidos* en ignición (luz eléctrica, platino fundido, luz Droumond etc.) es continuo; los diversos colores aparecen fundiéndose unos en otros, sin solución de continuidad, sin estar separados por intervalos oscuros.

Los *gases en ignición* producen un espectro discontinuo, formado por rayas brillantes entre grandes intervalos oscuros. Así el espectro producido por un mechero Bunsen en el que se quema vapores de Sodio, produce una raya única, brillante, en el amarillo; el del Potasio presenta rayas rojas, amarillas, verdes, azules y violadas, entre espacios oscuros.

Las rayas de los espectros de cada gas ó vapor presentan siempre la misma posición y número, circunstancia que permite reconocer la sustancia de que proviene. En estos hechos está fundado el análisis espectral, ideado por Kirchoff y Bunsen, por el que se ha podido comprobar en el Sol y otros astros la existencia de la mayor parte de los elementos químicos existentes en la Tierra. Valiéndose del análisis espectral se ha llegado al descubrimiento de ciertos metales nuevos, tales como el *Cesio, Rubidio, Indio, Talio*, etc.

Rayas de absorción.—Si producimos uno al lado del otro y simultáneamente dos espectros, uno continuo, de luz Droumond por ejemplo y otro discontinuo, de vapores de



Sodio v. gr., observaremos que la raya brillante, que caracteriza al segundo, corresponde exactamente con el color amarillo del espectro continuo. Pero si delante del haz luminoso que ha de producir el espectro continuo colocamos la llama del mechero donde se queman los vapores de Sodio, aparecerá un espectro único con una banda oscura, que ocupa exactamente la posición que correspondería á la brillante del Sodio.

Esta experiencia nos muestra que, cuando una luz capaz de producir un espectro continuo pasa por una llama de vapores metálicos, éstos absorben precisamente las radiaciones que ellos son capaces de emitir, dejando libre paso á las demás, para las cuales no tienen poder emisor ni absorbente, formándose un espectro, atravesado por rayas oscuras, que corresponden á las características de dichos vapores metálicos, y que estos producirían brillantes si sus espectros se hubiesen formado aislados.

Rayas del espectro solar.—Si se observa atentamente un espectro solar, obtenido con ciertas precauciones, se nota un gran número de rayas oscuras, perpendiculares á la arista del prisma, que llevan el nombre de *rayas de Fraunhofer*, el cual designó las principales con letras: A B C que se hallan en el rojo, D en el anaranjado, E en el verde, F en el azul, G entre el azul y el violado, H al final del violado.

Estas rayas oscuras no son sino rayas de absorción. Por esto se supone que el Sol está constituido por un núcleo central, sólido ó líquido, incandescente, cuyas radiaciones atraviesan una atmósfera de vapores metálicos, de elevadísima temperatura. En el espectro de absorción que forman se ha podido comprobar por el análisis espectral la existencia en la atmósfera solar del Hidrógeno, Sodio, Calcio, Magnesio, Hierro, Cromo, Zinc, etc.

ESPECTROSCOPIO.—Las experiencias de obtención de espectros en la cámara oscura, son demasiado deficientes para el estudio completo de éstos, por lo que se verifican siempre con un aparato denominado *Espectroscopio*, en cuya descripción no podemos entrar, dada la índole elementalísima de este tratado.

Fosforescencia y Fluorescencia.—*Fosforescencia* es la propiedad que tienen algunos cuerpos, llamados *fosforescentes*, de emitir luz en la oscuridad después de haber

estado expuestos á la luz solar. Son cuerpos fosforescentes los *Sulfuros de Calcio, Bario y Estroncio*, el *Diamante*, el *Espato de Islandia* y otros.

La *Fluorescencia* se manifiesta por el resplandor blanquecino de que parecen rodeados los cuerpos *fluorescentes* sometidos á la acción de la luz. Es una fosforescencia pasajera que cesa casi simultáneamente con la causa que la origina. Existen gran número de cuerpos fluorescentes, como el *Fluoruro de Calcio (Fluorina)*, la disolución de *Sulfato de Quinina*, la *Eosina*, etc.

La fosforescencia y la fluorescencia son fenómenos, aún no bien explicados, de transformaciones de las radiaciones, principalmente de las ultravioletadas, que al ser absorbidas se transforman en vibraciones más lentas, emitiendo luz.

Fotografía.

Fotografía.—Es el arte de fijar las imágenes de los objetos, obtenidas en la cámara oscura, por la descomposición que las sales de plata sufren por la acción de la luz.

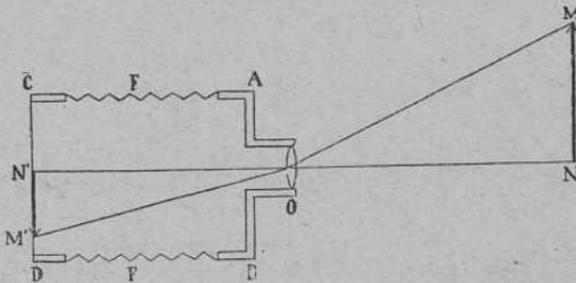


FIGURA 235.—Corte de una cámara fotográfica.

Los primeros procedimientos fotográficos, sobre el betún de Judea, son debidos á Niepce, á quien después se asoció Daguerre, inventando el procedimiento, hoy abandonado del *daguerrotipo*. La base de los métodos actuales fué descubierta por Talbot en Inglaterra hacia 1837.

Las operaciones fotográficas necesarias para la obtención de una prueba positiva, puede reducirse a dos grupos. 1.º *Obtención del clisé ó prueba negativa.* 2.º *Obtención y fijación, sobre el papel, de una imagen positiva del objeto.*

Obtención de la prueba negativa.—

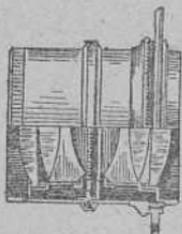


FIGURA 236.
Objetivo.
fotográfico.

APARATO FOTOGRAFICO.—Es éste una cámara oscura, cuyas dos partes A B y C D, constituidas por dos tablas verticales, pueden separarse ó acercarse convenientemente, para lo cual están unidas por una pieza plegable de tela ó piel, llamada *fuella* F. En la cara interior de la C D se ha de recibir la imagen M' N' real é invertida de un objeto M N, cuyos rayos pasan por el objetivo O.

Este objetivo está constituido por uno ó varios sistemas de lentes convergentes, y la cantidad de luz que se debe recibir se regula por medio de *diafragmas*, con los que se puede obtener distintas aberturas.

Un *obturador* cierra el aparato ante el objetivo, evitando todo acceso de luz al interior de la *cámara fotográfica*, hasta el momento oportuno.

La parte posterior C D lleva un vidrio deslustrado para poder *enfocar*, es decir, para servir de pantalla que recoja, con el objetivo abierto, la imagen del objeto, avanzando ó retrocediendo, en el lugar de su formación exacta. Hecho ésto, inmovilizado todo el aparato, se cierra aquel, y se sustituye el vidrio deslustrado por una *placa fotográfica* al gelatino bromuro de plata (1). Esta va contenida en un *chassis*, especie de caja muy plana, que la resguarda de la luz hasta el momento

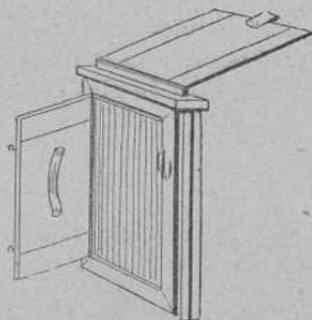


FIGURA 237.—Chassis.

(1) Generalmente es una lámina de vidrio, con una ligera capa de gelatina, íntima y finamente mezclada con bromuro de plata, sal muy sensible á la acción de la luz, por sus condiciones propias y por el estado de división en que se halla.

oportuno, para lo cual lleva una tapa á modo de cortinilla, que se levanta, un poco antes de la *exposición*, dejando la placa al descubierto, con la superficie impresionable mirando hacia al objetivo, cerrado por el obturador.

En estas condiciones, ábrese el obturador: los rayos emanados de los objetos, atraviesan el objetivo, y pintan una imagen invertida sobre la placa, en la que actúan durante un tiempo corto, pero variable, de *exposición*.

Cerrado el obturador, ciérrase también la cortinilla del chasis, con lo que la placa, ya *impresionada*, queda preservada de nuevo de toda luz. De este modo puede ser trasladada al laboratorio donde á la *luz roja*, única que no tiene acción alguna sobre la placa, se procede al *revelado* de la imagen, pues, aunque la placa ha sido impresionada, no presenta señal ninguna, siendo necesaria la acción de ciertos reductores enérgicos, (*Acido pirogálico*, *Hidroquinona*, *Paramidofenol*, etc.) para que aparezca y para obtener la intensidad necesaria. Bañada en los líquidos *reveladores*, la imagen comienza á mostrarse gradualmente, pero invertida: las partes muy iluminadas del objeto, representadas por negros intensos de plata metálica reducida; las sombras del mismo aparecen en claro, pues la sal ha sido en ellas poco ó nada descompuesta.

Cuando se ha obtenido la intensidad apetecida, con la aparición de todos los detalles, se pasa la placa, después de lavada, á un baño de *Hiposulfito sódico* que disuelve el bromuro de plata no descompuesto, quedando solamente, formando la prueba negativa, la plata reducida, la cual es insensible á la acción de la luz. Esta operación se denomina *fijado* de la imagen. Basta ya lavarla bien, para eliminar todo el hiposulfito sódico, que la placa pudiera retener, y secarla después.

De la prueba así obtenida, denominada *negativa* ó *clisé*, puede obtenerse después cuantas pruebas positivas se desee.

Obtención de la prueba positiva.—El *papel sensible*, que se emplea más comunmente, está formado por una capa de *gelatina*, *celoidina*, etc., con una sal de Plata (*nitrato*, *cloruro*, *citrato*, etc.) que se ennegrece por la acción de la luz, por reducción de dicha sal.

Colócase la prueba negativa en la *prensa*, especie de bastidor que la sostiene por los bordes, con la cara de

gelatina hacia el interior. Sobre ésta se pone el papel sensible, la cara de gelatina sobre la de la negativa, cerrando después por detrás con una plancha de madera, formada por dos puertecillas, la cual asegura el contacto del papel y la placa en todos sus puntos. Expónese á la luz por el lado del cristal; al poco tiempo, la luz atravesando fácilmente las grandes transparencias del clisé, impresiona y ennegrece las partes correspondientes del papel, quedando nada ó poco impresionadas las que están en contacto

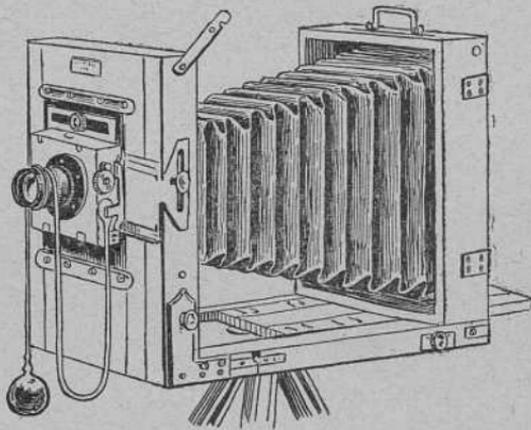


FIGURA 238.—Cámara fotográfica.

con los grandes negros de la negativa, por no poder atravesarlos la luz ó hacerlo con menor intensidad. Para poder retirar á tiempo la prueba positiva, cuando la imagen haya adquirido la intensidad apetecida, se sigue la aparición de ésta, levantando de vez en cuando una de las puertecillas.

La operación denominada *virado* tiene por objeto cambiar el color rojizo desagradable que presenta la prueba. Se la sumerge, á este fin, en un *baño de virado*, constituido por sales alcalinas y *Cloruro de Oro*, que reducido por la Plata, se deposita en forma pulverulenta, sustituyéndola por completo.

Fijase después con Hiposulfito Sódico, para eliminar toda la sal argéntica no impresionada, y se procede á un

lavado abundante, que asegura la conservación de la prueba. Después se deja secar.

Fotografía á la luz artificial.—Puede obtenerse fotografías de los lugares á donde la luz solar tiene difícil acceso, como cavernas, criptas, iglesias, teatros, etc., empleando la luz artificial (*arco voltáico, magnesio, etc.*) que impresiona también las placas al gelatino bromuro de plata, gracias á la extrema sensibilidad de las mismas.

Ampliaciones fotográficas.—Cuando se quiere obtener grandes pruebas positivas con elisés pequeños se hace uso de un aparato de proyección (*amplidora*). Colocado el elisé como para la proyección y obtenida la imagen detallada y amplificada sobre la pantalla, se coloca sobre ésta un papel sensible al gelatino bromuro de plata, el cual es impresionado proyectando la imagen sobre él, y revelándole después de la exposición conveniente.

Fotografía micrográfica.—Es la fotografía ampliada de los objetos microscópicos. Se realiza mediante la adaptación á un microscopio de una cámara fotográfica especial. No necesitamos encarecer la importancia de esta aplicación de la fotografía en el estudio de las Ciencias naturales, de la Medicina, en el análisis de los productos alimenticios é industriales, etc., etc.

Microfotografía.—En otro sentido, por la Microfotografía se obtiene pruebas muy diminutas de objetos ordinarios, que es preciso ampliar después con el auxilio de aparatos de proyección, como las positivas sobre vidrio hechas con este objeto, ó con el auxilio de lentes, como las fotografías microscópicas de algunos objetos de bisutería.

Fotografía instantánea.—Gracias á la extrema sensibilidad de las placas fotográficas modernas y con el auxilio de objetivos de una gran transparencia, se ha conseguido la fotografía *instantánea* de los objetos en movimiento, en la cual el tiempo de exposición es tan corto que puede reducirse á una mínima fracción de segundo. Con ella se ha logrado sorprender las diversas actitudes de la marcha en el hombre y los animales, del vuelo de las aves, etcétera, etc.

Cinematógrafo.—El *Cinematógrafo* reproduce en movimiento las escenas animadas sorprendidas, mediante una serie de pruebas instantáneas sucesivas, tomadas con cortísimos intervalos (15 pruebas en un segundo) sobre una

banda de celuloide (*película*), que es una verdadera placa fotográfica. De esta negativa se obtiene una película positiva, que es la utilizada en la proyección.

En esencia, es el cinematógrafo un aparato de proyección, con el que se van proyectando sobre una pantalla, rápidamente y durante un tiempo muy corto, semejante al empleado en la obtención de las negativas, las pruebas correlativas de la película positiva. Como estas representan sucesivamente las diversas fases de una escena real y se sustituyen unas á otras, empleando menos tiempo que el que tarda en borrarse la impresión producida en la retina, estas impresiones se alcanzan en ella, se superponen, dándonos la sensación del movimiento.

Impresiones fotomecánicas.—Entre las aplicaciones industriales más importantes de la fotografía debe citarse la de las impresiones fotomecánicas. Las diversas industrias que se dedican á este objeto tienen por fin la reproducción positiva de las pruebas fotográficas por medio de las tintas grasas, obteniendo, de dichas pruebas, clisés en relieve, ya sobre placas metálicas de Zinc, Cobre, etc. (*fotograbado*), ya sobre gelatina endurecida por la acción de la luz en la gelatina bicromatada (*fototipia ó fotogelatinografía*), ó sobre la piedra litográfica (*fotolitografía*), etc., etc.

Fotografía de los colores.—Los diferentes procedimientos ideados por Lumière, Lippmann, etc., para la fotografía de los objetos, reproduciendo en la prueba positiva los colores propios de aquellos, si bien son ensayos muy notables, dignos de estudio, no han entrado todavía en el terreno de la práctica.

INTERFERENCIAS DE LA LUZ.—DIFRACCIÓN

Interferencias luminosas.—Es el fenómeno que se manifiesta cuando dos rayos de luz, de un solo color (*monocromáticos*) y del mismo origen, se encuentran formando un ángulo muy agudo. Por él aparecen en los puntos de unión franjas oscuras alternando con franjas brillantes.

Repitiendo las experiencias de Fresnel puede observarse fácilmente las interferencias luminosas. Sobre dos espejos E O y O E', (fig. 239), que forman un ángulo muy obtuso,

se hace caer, en la cámara oscura, dos rayos de luz roja LI y LI' los cuales forman entre sí un ángulo muy agudo, cortándose en N. Si en este punto colocamos una pantalla aparecen sobre ella franjas oscuras y rojas alternando; pero si se intercepta uno de los rayos, las franjas oscuras desaparecen.

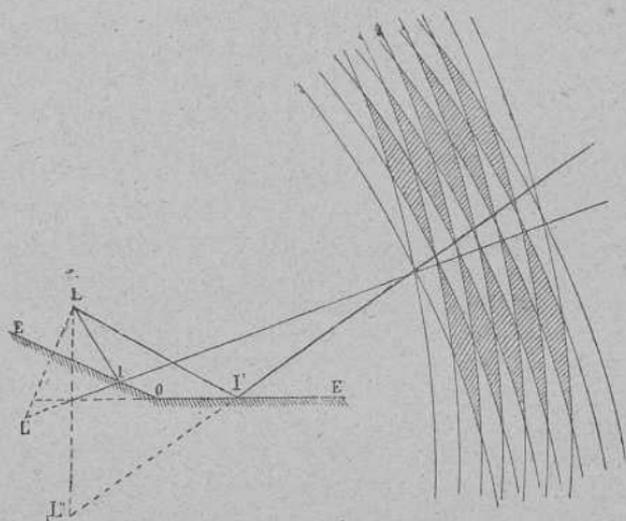


FIGURA 239.—Interferencias de la luz.

Cuando se opera con luz violada, por ejemplo, se nota el mismo fenómeno; pero las franjas son más estrechas, y tanto más cuanto más refrangible es el color.

Con la luz blanca, solamente la parte central aparece de este color, y desapareciendo las franjas oscuras, son sustituidas por otras estrechas con casi todos los colores del espectro.

Explicase las interferencias, porque, siendo la luz un movimiento vibratorio del éter, si dos ondas luminosas se encuentran en fases opuestas de vibración, al chocar dos semiondas de dirección contraria se anulan (*franjas oscuras*), pero si se encuentran con dirección igual sus velocidades se juntan aumentando la amplitud de la vibración (*franjas brillantes*).

El estudio de las interferencias es importantísimo, pues por sí solas constituyen una demostración de la teoría

ondulatoria. Con su auxilio se ha logrado medir la longitud y velocidad de las ondas en cada color del espectro etcétera, etc. El notable procedimiento de Lippman para la fotografía de los colores, está fundado en las interferencias luminosas.

Difracción de la luz.—Cuando ante un foco de luz monocromática se interpone un cuerpo muy delgado, un cabello por ejemplo, ó se hace pasar aquella luz por una hendidura ú orificio muy estrecho, puede comprobarse, sobre una pantalla, que se forman franjas alternativas brillantes y oscuras ó una série de anillos de las mismas condiciones. Si la luz fuese

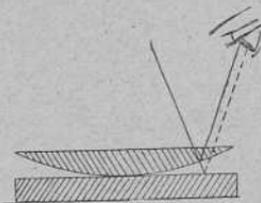


FIGURA 240.

blanca las bandas ó anillos serían irisados.

La difracción de la luz resulta de la interferencia de los rayos directos del foco luminoso con los que se originan por reflexión al ser aquellos interceptados en parte.

Anillos coloreados de Newton.—

Si se mira por reflexión, sobre una lente plano-convexa, colocada sobre un cristal plano é iluminada con una luz monocromática, se observa una mancha negra en el punto de contacto y anillos oscuros y brillantes, alternando, al rededor. Con la luz blanca todos los anillos aparecen irisados.

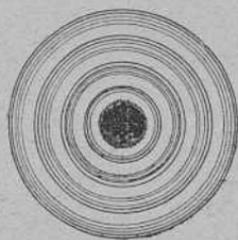


FIGURA 241.
Anillos coloreados.

Estos anillos tienen por origen la interferencia de los rayos reflejados por la superficie de la lámina de vidrio y por la cara plana de la lente.

En las láminas muy delgadas también se producen fenómenos semejantes, como lo muestran las irisaciones del nácar, de las burbujas de jabón, de las plumas de colores vivos de las aves, etc., etc.

DOBLE REFRACCIÓN

Cristales birrefringentes.—La mayor parte de los cuerpos cristalizados transparentes, excepto los del sistema cúbico, presentan en mayor ó menor grado el fenómeno de la *doble refracción*. Consiste ésta en el desdoblamiento que sufre un rayo de luz al refractarse á su paso por uno de aquellos cuerpos, llamados *birrefringentes*, originándose dos rayos refractados.

Si á través de un cristal de *Espato de Islandia* (*Carbonato cálcico romboédrico*) miramos una línea recta trazada

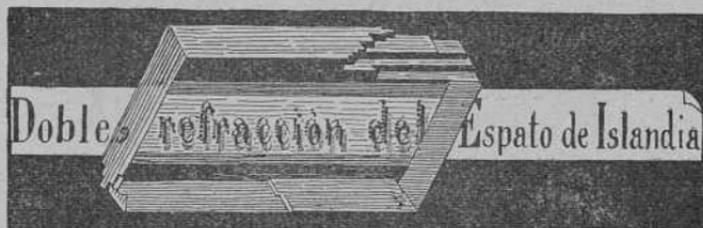


FIGURA 242.

sobre un papel ó un renglón escrito (fig. 242) veremos imágenes dobles, por efecto de la doble refracción.

Cristales uniáxicos y biáxicos.—En ciertos cristales birrefringentes (*Espato de Islandia*, *Cuarzo*, *Turmalina*, *Esmeralda*, etc.) hay una dirección determinada, llamada *eje óptico del cristal*, en la que no se produce la doble refracción; y se les da el nombre de cristales *uniáxicos*, ó de un solo eje. En otros cristales (*Aragonito*, *Cerusita*, *Topacio del Brasil*, *Mica*, etc.) la doble refracción no se produce en dos determinadas direcciones, por lo que se les denomina *biáxicos* ó de dos ejes.

Rayos ordinario y extraordinario.—De los dos rayos refractados uno sigue la dirección correspondiente á las leyes de la refracción sencilla y se le llama *rayo ordinario*, y *ordinaria la imagen* que produce. Al segundo rayo se le denomina *extraordinario* y á la *imagen* correspondiente *extraordinaria*.

Causa de la doble refracción.—La causa de la doble refracción es la falta de homogeneidad en la estructura molecular de los cristales birrefringentes, como lo prueba el hecho de que los cuerpos cristalizados en el sistema cúbico, el vidrio ordinario, etc., pueden ser birrefringentes cuando se les ha hecho sufrir compresiones ó dilataciones desiguales, que varíen la uniformidad de la distribución molecular de su masa.

POLARIZACIÓN DE LA LUZ

Polarización de la luz.—Es el fenómeno por el cual un rayo luminoso reflejado ó refractado en determinadas condiciones no puede reflejarse ó refractarse de nuevo. El rayo que posee esta propiedad se dice que está *polarizado*, para diferenciarlo de los de la luz natural que se reflejan ó refractan en todas direcciones.

La luz es polarizada *por reflexión*, *por refracción sencilla* y *por refracción doble*.

Polarización por reflexión.

—Si sobre un espejo de cristal negro E cae un rayo de luz AB, formando un ángulo de $35^{\circ} 25'$, el rayo reflejado BF queda polarizado, y si éste incide, formando un ángulo igual, con el espejo F, situado paralelamente

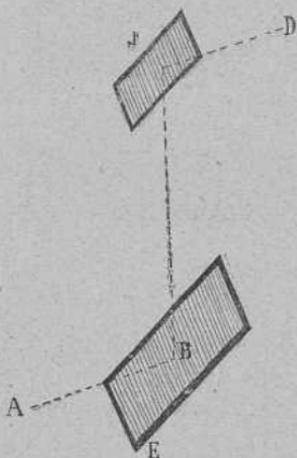


FIGURA 243.

al E, se refleja en la dirección F D. En este caso el plano de la primera incidencia A B F y el de la segunda B F D coinciden. Si ahora hacemos girar el espejo F al rededor de B F, sin variar la inclinación que tiene, la intensidad del rayo F D va disminuyendo, hasta que habiendo girado el espejo 90° el rayo alcanza su mínima intensidad, obscureciéndose. Los planos de ambas incidencias forman ahora un ángulo de 90° , siendo perpendiculares. Continuemos el giro del espejo F: la intensidad luminosa del rayo F D aumenta progresivamente hasta llegar á los 180°

en que adquiere su intensidad máxima. Entonces los planos coinciden de nuevo. Siguiendo el giro del espejo vuelve á disminuir el rayo considerado hasta que, á los 270° , adquiere otra vez su intensidad mínima, hallándose ambos planos de incidencia perpendiculares; y, por último, si la vuelta continúa, el aumento comienza otra vez gradualmente hasta los 360° primitiva posición en que consideramos el espejo.

Como se ve cuando los dos planos citados están perpendiculares el rayo polarizado no se refleja, pero cuando coinciden la polarización es nula.

El ángulo que el rayo incidente ha de formar con la superficie reflectora para que salga polarizado por completo es el *ángulo de polarización*, y su valor es variable para las diversas sustancias, tales como la *Obsidiana* ($33^\circ 20'$), *Cuarzo* ($32^\circ 28'$), *Agua* ($37^\circ 15'$), *Vidrio* ($35^\circ 25'$), etc., etc. En las superficies metálicas la polarización es inapreciable ó nula.

Cuando la incidencia del rayo luminoso no es la correspondiente al ángulo de polarización la luz se polariza pero incompletamente.

Polarización por refracción sencilla.—Si un rayo de luz natural cae sobre una lámina de vidrio de caras paralelas, formando un ángulo de incidencia igual al de polarización ($35^\circ 25'$), en parte se refleja y en parte se refracta polarizada, estando los planos de polarización y de reflexión situados perpendicularmente.

La polarización es solamente parcial á través de una sola lámina, por lo que se suele usar una *pila de cristales*, formada por varias de aquellas, paralelamente superpuestas.

Polarización por refracción doble.—Los dos rayos en que se descompone un rayo de luz natural incidente al atravesar un cuerpo birrefringente, al emerger, están polarizados en planos perpendiculares entre sí.

En efecto, si hacemos caer un rayo luminoso natural sobre un romboedro, de espato de Islandia, é interceptamos el rayo extraordinario, haciendo que el ordinario caiga sobre un espejo negro, incidiendo según el ángulo de polarización, este no se refleja cuando el plano del espejo y la sección principal (1) del espato forman un ángulo de

(1) Sección principal es la que resulta de cortar el cristal por un plano perpendicular á una de sus caras, pasando por su eje óptico.



90°, lo que nos demuestra que este rayo ordinario está polarizado en la sección principal. Si interceptamos ahora el rayo ordinario y recogemos el extraordinario sobre el espejo negro, pierde su intensidad luminosa cuando el plano del espejo y la sección principal forman ángulo de 0° ó 180° por lo que éste se polariza en un plano perpendicular á aquella.

Propiedades de la luz polarizada.—Las propiedades de los rayos polarizados no se manifiestan por cambios de dirección, sino para variaciones de intensidad, como hemos visto, ó por cambios de color.

Si un rayo natural cae sobre un espejo negro según el ángulo de polarización correspondiente, al reflejarse, sale polarizado, habiendo perdido la propiedad de reflejarse nuevamente al caer sobre otro espejo, si el plano de esta incidencia es perpendicular á aquel en que está polarizada la luz.

Si un rayo polarizado atraviesa una sustancia birrefringente sólo forma una imagen cuando el plano de incidencia y la sección principal del cristal son perpendiculares ó paralelos. En otra posición aparecen las dos imágenes correspondientes con intensidad que varía con aquella.

Si se le hace caer sobre una lámina de turmalina, de modo que el plano de incidencia sea paralelo al eje de cristalización, no pasa á través de ella, pero sí lo efectúa con tanta mayor intensidad cuanto más se acerca á la posición perpendicular.

Aparatos de polarización.—Los aparatos de polarización, están constituidos por un *polarizador*, que imprime á la luz las propiedades particulares de la polarización, y un *analizador*, con el cual se reconoce si un rayo está polarizado y su plano de polarización. En esencia unos y otros son idénticos.

Los principales analizadores, son:

Un espejo de vidrio negro en el cual no se refleja la luz polarizada según las condiciones ya explicadas.

Una lámina de Turmalina, tallada paralelamente á su eje de cristalización. La Turmalina es opaca para toda luz polarizada cuyo plano de polarización sea paralelo á su eje de cristalización; así, si colocamos entre el ojo y el rayo que se trata de analizar una placa de Turmalina y la hacemos girar lentamente en su propio plano, si la

intensidad de aquel varía con el giro de la lámina, es prueba de que la luz está polarizada; pero si esta intensidad se mantiene constante, la luz será natural.

El *prisma de Nicol* es el analizador preferido no sólo por su transparencia, sino además porque polarizando completamente la luz, solamente deja pasar un rayo polarizado, en la dirección de su eje.

Consiste en un cristal de *Espato de Islandia* A B C D (figura 244), cortado por un plano que pasa por las diagonales

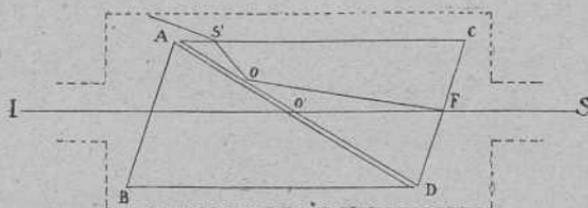


FIGURA 244.—Prisma de Nicol.

menores A D. Ambas partes del cristal están unidas después con *bálsamo del Canadá*, cuyo índice de refracción es intermedio entre los del rayo ordinario y el extraordinario del cristal. Al entrar en el prisma un rayo S F se refracta doblemente, y el rayo ordinario F O sufre la reflexión total al llegar al bálsamo, saliendo al exterior en la dirección O S'; el rayo extraordinario pasa al otro lado en la dirección F O I.

Si el rayo que se analiza está polarizado cambia de intensidad á medida que se hace girar el prisma.

Para el estudio de los fenómenos de la polarización de la luz se utiliza varios aparatos, como el de Noremburg, en cuya descripción no podemos entrar.

Polarización rotatoria.—Algunas sustancias, llamadas activas para la luz, tienen la propiedad de desviar el plano de polarización de un rayo polarizado que las atraviese, sin que por éste se despolarice. A este fenómeno se le da el nombre de *polarización rotatoria*.

El cuerpo que mejor se presta á los fenómenos de polarización rotatoria es el *Cuarzo*, tallado en lámina perpendicularmente á su eje de cristalización.

De estas sustancias unas hacen girar el plano de polarización hacia la derecha del primitivo, y se las denomina *dextrogiros* (*esencia de limón, disoluciones de azúcar de caña, etc.*), otras hacia la izquierda, y se las califica de *levogiras* (*agua de laurel, azúcar de uvas, etc.*). Pero hay algunos cuerpos que son dextrogiros ó levogiros, según las circunstancias, como el mismo *Cuarzo*, el *ácido tartárico*, etcétera.

Sacarímetros.—Una de las más importantes aplicaciones de la polarización rotatoria es la que tiene por objeto

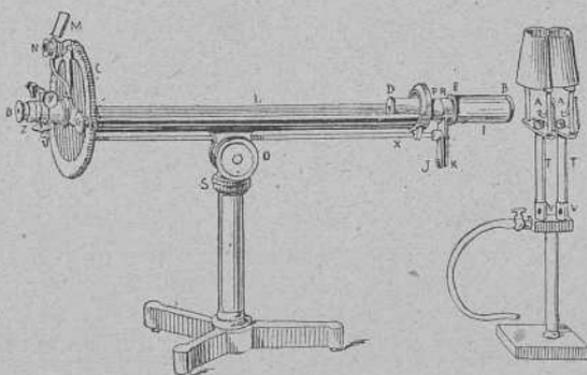


FIGURA 245.—Sacarímetro de Laurent.

la determinación del valor comercial de los azúcares, mediante los aparatos denominados *sacarímetros*.

La *Sacarimetría óptica* está basada en la siguiente ley, formulada por Biot: *El giro del plano de polarización que la solución de una sustancia activa produce es proporcional á la cantidad de sustancia disuelta en la unidad de volumen del disolvente neutro y á la longitud del tubo en que se observa.*

SACARÍMETRO DE LAURENT.—Es este uno de los más usados en las fábricas de azúcar, en las aduanas, etc. Consta esencialmente de una armadura en cuyos dos extremos hay dos tubos, entre los cuales se ha de colocar el tubo de vidrio que contiene la disolución azucarada (figs. 245 y 246). El tubo más cercano á la luz contiene: 1.º Un *diafragma*, tras el que hay un *cristal de bicromático potásico* destinado á retener todos los rayos no amarillos; 2.º Un *prisma de*

Nicol, que actúa de polarizador; 3.º Una *lámina de Cuarzo*, tallada paralelamente al eje de cristalización, cuyo espesor corresponde á una media onda para la luz amarilla del Sodio, que es la empleada. Esta lámina está interceptando solamente la mitad de una abertura circular p. En el otro tubo va: 1.º Un *prisma de Nicol*, analizador, que puede girar en unión de una alidada, provista en su ex-

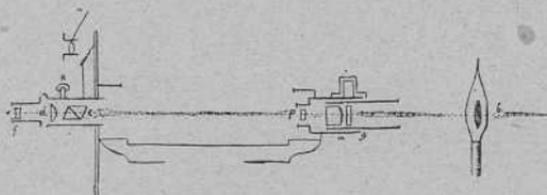


FIGURA 246.—Esquema del Sacarímetro de Laurent.

tremo de un *nonius*, cuyas divisiones corresponden á las de un *círculo graduado*, fijo al resto del aparato; 2.º Una lente convergente y otra divergente, que forman un anteojo de Galileo, que sirve para enfocar. En el espacio que queda entre ambos tubos, sobre la montura, se coloca el de vidrio que contiene la solución á analizar.

La luz empleada es monocromática, amarilla; y se obtiene quemando en unas cucharillas de platino cloruro de Sodio fundido, sobre la llama de un potente mechero Bunsen.

Para que funcione el aparato en debida forma se empieza por colocar un tubo de vidrio, idéntico

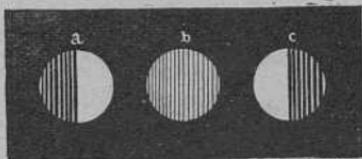


FIGURA 247.

al que se ha de emplear después, pero lleno de agua destilada; se observa con el ocular y se ve un disco dividido en dos mitades, que puede presentar el aspecto a ó c (figura 247) es decir una mitad amarilla y la otra gris amarillenta

Se enfoca con el ocular hasta que se detalle bien la separación de ambas mitades. Pónese el 0 del nonius coincidiendo con el 0 del círculo graduado, que está dividido en

360° y en milésimas de azúcar, por la parte interior, y mirando por el ocular se mueve el tornillo X hasta conseguir que las dos mitades del disco presenten la misma coloración é igual intensidad, como en b (fig. 247).

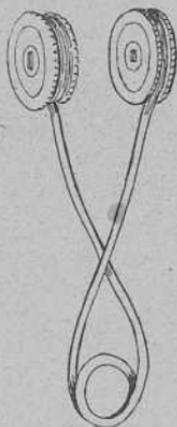


FIGURA 248.
Pinzas de
Turmalina.

Para analizar un azúcar, regulado así á 0 el sacarímetro, se sustituye el tubo del agua destilada por el que contiene la solución azucarada (1) descolorada y filtrada, mirando por el ocular se ve que las dos mitades del disco presentan distinta coloración, por haberse desviado el plano de polarización de la luz al atravesar aquella sustancia activa; se enfoca de nuevo, y se mueve la alidada hasta que ambos medios discos adquieran igualdad de tonos. Si el azúcar fuese químicamente puro el nonius indicaría 100 sobre la división en centésimas de azúcar, si fuese comercial la indicación del nonius daría su riqueza.

La división en grados permite comprobar la polarización rotatoria en cualquier cuerpo.



FIGURA 249.

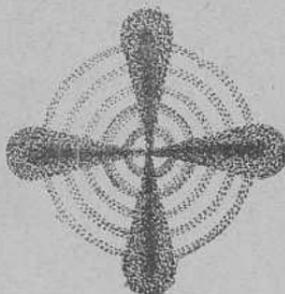


FIGURA 250.

Los Sacarímetros, como el de *Soleil*, *Cornu*, *Laurent*, *Mitcherlich*, etc., son empleados principalmente en la

(1) 16 gr. 2 de azúcar disueltos en 100 c. c. de agua destilada en tubo de 20 centímetros.

valoración de los azúcares comerciales ó en la determinación de la que contiene la orina de los diabéticos.

Polarización cromática.—Es el fenómeno que se manifiesta con la aparición de colores variados, cuando una luz blanca polarizada pasa á través de láminas delgadas de cuerpos birrefringentes.

Si entre dos placas de Turmalina, talladas paralelamente á su eje, y colocadas en dos discos, sujetos por una armadura de alambre (fig. 248) á modo de pinzas (*pinzas de turmalina*), se coloca una lámina de un cuerpo birrefringente, cuando los ejes de las citadas placas de turmalina están paralelos, mirando á través la luz del día, se observa en el cristal brillantes anillos coloreados interceptados por una cruz blanca (fig. 249), cambiando ahora la posición de las turmalinas de modo que sus ejes estén perpendiculares, la cruz aparece negra (fig. 250).

Las pinzas de turmalina son empleadas en reconocer si un cristal es de roca ó es vidrio común. Para esto se mira á través de la turmalina la luz del día y se hace girar una de ellas, hasta que se oscurezca por completo; entonces se coloca entre ambas el cristal que se va á reconocer observándose franjas coloreadas si es de roca, mientras que si es de vidrio no aparece cambio alguno.

X

ELECTRICIDAD

Electricidad estática.

Electricidad.—Es un agente físico que se manifiesta por fenómenos diversos: mecánicos, térmicos, lumínicos, químicos, fisiológicos, etc.

Para su estudio se la divide en *Electricidad estática*, con referencia á la



FIGURA 251.—Atracción de los cuerpos ligeros.

acumulada en los cuerpos, y *Electricidad dinámica*, que es la parte de su estudio que se refiere á los fenómenos que se producen en la transmisión de ella.

Tales de Mileto, filósofo griego, descubrió, 600 años antes de Jesucristo, la propiedad que el *ambar amarillo* (1) adquiría, después de haberle frotado, de atraer los cuerpos ligeros; barbas de pluma, pajitas, pedazos de papel, etc., observando con ésto los primeros fenómenos eléctricos. Mucho después, en el siglo XVI, Gilbert, en Inglaterra, demostró que aquella propiedad la presentan también otros cuerpos: *azufre, vidrio, resina*, etc. Hoy se sabe que todos los cuerpos pueden ser electrizados por frotamiento.

(1) La palabra *electricidad*, proviene del nombre griego del ambar amarillo: *electron*.

Electricidad por frotamiento.—PÉNDULO ELÉCTRICO.—El *péndulo eléctrico* está constituido por un soporte con pie de vidrio, del que pende un hilo de seda, que sostiene una bolita de médula de sauco. Es un sencillo *electroscopio*, que sirve, como todos ellos, para comprobar si un cuerpo está ó no electrizado.

Si frotamos contra un paño, una barra de lacre, por un extremo, y lo acercamos luego al péndulo eléctrico, la bolita de médula de sauco es *atraída* rápidamente y *repelida* después del contacto con la barra.

Si repetimos la experiencia con una varilla de vidrio, azufre, ambar, etc., el fenómeno se manifiesta de un modo idéntico.

Cuerpos buenos y malos conductores.—Son *cuerpos*

buenos conductores de la electricidad los que tienen la propiedad de transmitir á toda su superficie la producida en una parte de ellos, (*metales, ácidos, disoluciones salinas, agua, organismos animales, etc.*) *Cuerpos malos conductores* son aquellos en que la electricidad no se propaga, aislándola en el sitio de su producción, por lo que se les denomina también *aisladores*. (*Vidrio, Resina, Seda, Parafina, óxidos metálicos, aceites, Aire y gases secos, etc., etc.*)

En efecto, si una barra de vidrio electrizada por frotamiento en un extremo se la acerca al péndulo eléctrico por el extremo opuesto, no hay repulsión ni atracción

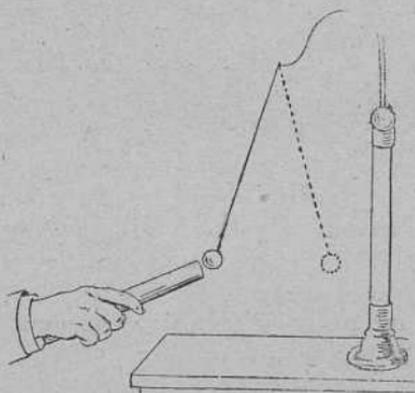


FIGURA 252.—Péndulo eléctrico.

alguna, pero sí, si se aproxima el extremo frotado. Esto nos demuestra que la electricidad que se desarrolló en un extremo de la varilla no pudo propagarse á toda la superficie de la misma, por ser *el vidrio cuerpo mal conductor de la electricidad*.

Si ahora frotamos una varilla metálica, fija á un mango de vidrio, por el cual se la tiene asida, y la acercamos al péndulo eléctrico, por cualquiera de las partes del metal, los fenómenos eléctricos se manifiestan, pues la electricidad desarrollada en una parte de la varilla se comunicó á toda su superficie, por ser los metales cuerpos buenos conductores, quedando *aislada* por el mango de vidrio. Aún mucho mejor podemos demostrar la buena conductibilidad de los metales, si tomamos la misma varilla, desprovista de su mango de vidrio, y la frotamos fuertemente, acercándola después al péndulo eléctrico; la bolita de médula de sauco permanece indiferente, porque la electricidad, que se producía por frotamiento en la varilla, iba perdiéndose al mismo tiempo, por ser transmitida al cuerpo humano y de éste á la Tierra.

La buena ó mala conductibilidad de los cuerpos es relativa, pues todos la conducen más ó menos y todos oponen una mayor ó menor resistencia á su propagación. De esto se deduce que no hay ningún cuerpo completamente aislador, por lo que todo el que está electrizado va descargándose poco á poco, y aún más si el aire está humedo y el vapor acuoso se condensa en él por ser el agua cuerpo buen conductor de la electricidad.

Electricidades contrarias.—La electricidad se transmite de un cuerpo á otro por simple contacto. Ahora bien, si acercamos al péndulo eléctrico una barra de resina ó lacre previamente electrizada, la bolita es atraída, toca á la barra, se electriza y es repelida inmediatamente, manteniéndose separada de aquella. Si en estas condiciones acercamos una varilla de vidrio, frotada de antemano, la esferita de médula de sauco, cargada de la electricidad de la resina, es atraída rápidamente. La electricidad del vidrio produjo, pues, un efecto contrario á la de la resina.

Operando á la inversa, primero con el vidrio y después con la resina, se producen idénticos fenómenos.

La experiencia puede hacerse aún mejor con dos péndulos. Electrízanse las dos esferillas con la resina ó con el vidrio y después se las acerca; ambas se repelen, manteniéndose á distancia; pero si una es tocada con la resina y la otra con el vidrio, al acercarlas, se precipitan una sobre otra, enérgicamente atraídas.

De aquí se dedujo que hay dos clases de electricidades; una que se denominó *positiva ó vítrea* por ser desarrollada por fricción en el vidrio, y otra *negativa ó resinosa*, producida en la resina.

Debe advertirse, para evitar confusiones, que en realidad no hay más que una sola clase de electricidad, subsistente unas veces al *estado positivo*, otras al *negativo*.

Como consecuencia de las anteriores experiencias, diremos que: 1.º *Dos cuerpos cargados de la misma clase de electricidad, se repelen*; 2.º *Dos cuerpos cargados uno de electricidad positiva y otro de electricidad negativa, se atraen*.

Las dos electricidades son producidas simultáneamente.—Para demostrarlo, tomemos dos discos: uno de vidrio y el otro de madera, forrada de franela; frotamos uno contra otro, y, al separarlos, podremos comprobar que el de vidrio está electrizado positivamente y negativamente el de madera (figura 253). Bastará para ello acercarlos á un péndulo cargado de electricidad conocida.

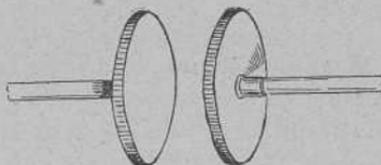


FIGURA 253.

Un mismo cuerpo puede cargarse de electricidad positiva ó negativa, según la materia con que se le frote. Los cuerpos que se citan á continuación se electrizan negativamente frotados con el que le antecede y positivamente con el que le sigue: *Piel de gato, vidrio pulimentado, tejido de lana, plumas, papel, seda, goma laca, colofonia, vidrio esmerilado.*

Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.—

Las atracciones y repulsiones eléctricas se producen según las siguientes leyes formuladas por Coulomb, y demostradas por medio de la *balanza de torsión* del mismo: 1.º Las fuerzas de atracción ó de repulsión que se ejercen entre dos cuerpos electrizados están en razón inversa del cuadrado de las distancias; 2.º Las fuerzas de atracción ó de repulsión, entre dos cuerpos electrizados, á una distancia constante son proporcionales á los productos de las cantidades de electricidad puestas en presencia.

Masa eléctrica.—Es la cantidad de electricidad ó carga eléctrica de un cuerpo.

La unidad de carga ó *masa eléctrica* es la que poseería una esferita que colocada á la distancia de un centímetro de otra con la misma carga ejerciese una acción representada por una fuerza de una dina.

En la práctica se substituye esta *unidad absoluta* por el *culombio*, que vale 3×10^9 unidades absolutas.

Hipótesis sobre el origen y naturaleza de la electricidad.—Las más importantes son las siguientes:

Symmer, admitió que la electricidad, existente en todos los cuerpos, *electricidad neutra*, estaba constituida por la combinación de dos flúidos eminentemente sutiles, *vítreo* (positivo) y *resinoso* (negativo), que podían ser separados uno de otro por el frote, apareciendo entonces con sus caracteres propios.

Franklin supuso la existencia de un solo flúido eléctrico, en cantidad determinada sobre cada cuerpo, que en este caso no presentaba ninguna manifestación eléctrica. Pero si por una causa cualquiera

presentaba exceso ó defecto de dicho fluído, se hallaba entonces positiva ó negativamente electrizado, manifestándose las cualidades características de estas clases de electricidad (1).

El padre Secchi explica modernamente la naturaleza de la electricidad por la acumulación ó disminución del éter en la superficie de los cuerpos, causa que da lugar á las manifestaciones positivas ó negativas eléctricas.

Por último, en la actualidad, empieza á creerse que la electricidad sea originada por movimientos vibratorios del éter, semejantes á los que producen el calor y la luz.

DISTRIBUCIÓN DE LA ELECTRICIDAD

La electricidad reside en la superficie de los cuerpos.—Para demostrarlo experimentalmente nos valemos de una esfera metálica, hueca, con una abertura en la parte superior, y sostenida por un soporte aislador (fig. 254). Electrizada por medio de una máquina eléctrica, se introduce, hasta tocar con las paredes internas, un pequeño disco de metal, aislado, *plano de prueba*, el cual es acercado después á la esferilla de un péndulo eléctrico, sobre la cual no ejerce acción alguna, lo que nos demuestra que la esfera metálica no estaba electrizada en su interior. Tócase después con el plano de prueba en la superficie externa de la esfera, y al aproximarle á la bolita

(1) Para facilitar la comprensión de los fenómenos eléctricos, se emplea actualmente con frecuencia las denominaciones de electricidad positiva y negativa, que de otro modo no tendrían razón de ser dentro de las modernas hipótesis.

de médula de sauco, ésta es atraída rápidamente, por estar electrizado aquel por su contacto con la superficie externa de la esfera metálica, que es donde se hallaba localizada la electricidad.

La misma experiencia puede hacerse con un cilindro de tela metálica (fig. 254) en que la superficie es discontinua, con un tubo, etétera.

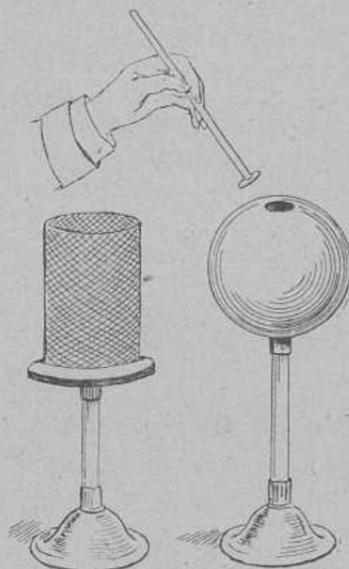


FIGURA 254.

Igualmente puede ser demostrada la distribución superficial de la electricidad por medio de la *manga de Faraday*. Consta ésta de un aro metálico, sobre un pie aislador, con una manga de muselina, semejante á las que se usa para cazar insectos. En su vértice lleva un largo hilo de seda, que es como el eje del cono que forma aquella. Electrizado el aro y con él la manga se puede comprobar la existencia de electricidad en la superficie externa y la carencia de ella en la inter-

na, por medio de un plano de prueba. Si mediante el hilo de seda la volvemos, estando electrizada, la electricidad pasará á la cara ahora externa, que era la interna anteriormente.

Para explicar estos hechos se dice que la electricidad se acumula en la superficie de los cuerpos, formando una capa, sumamente delgada, de espesor proporcional á la carga eléctrica existente en cada punto.

Si esta carga aumentase ó disminuyese, permaneciendo invariable el espesor, aumentaría ó disminuiría la *densidad eléctrica*, que es la *cantidad de electricidad existente en la unidad de superficie*, suponiendo una distribución uniforme.

Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos de distintas formas.—La capa eléctrica, en equilibrio, de la superficie de un cuerpo no presenta un espesor igual en todas sus par-

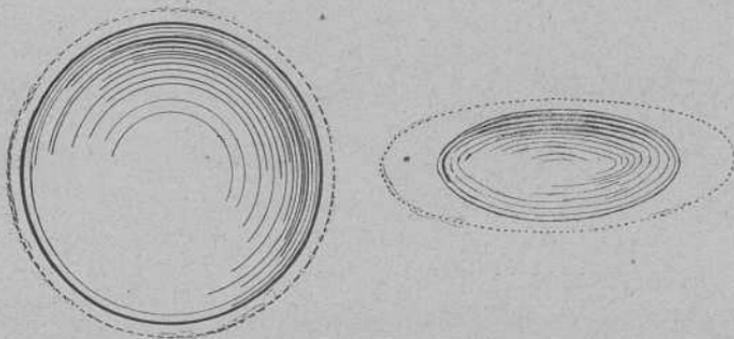


FIGURA 255.

tes, más que cuando este cuerpo es una esfera (figura 255). Si el cuerpo es ovoide, por ej., hay mayor acumulación en los extremos que en el centro, tanto más cuanto más agudos son aquellos.

Entonces la *tensión electrostática* aumenta, siendo ésta la tendencia de la electricidad á abandonar el cuerpo sobre el que se halla.

Poder de las puntas.—Como la electricidad se acumula considerablemente en las partes salientes de los cuerpos, su tendencia á escapar se acentúa más cuanto más delgados son aquellos. Así en las puntas la tensión es tan enorme que, venciendo la resistencia del aire, la electricidad escapa por ellas, descargándose el conductor ó produciéndose una corriente

continúa de electricidad si dicho conductor la está recibiendo también continuamente.

Esto sucede cuando en un conductor de la máquina eléctrica colocamos una aguja. Por más que se haga funcionar la máquina no se carga de electricidad, pues ésta escapa por la punta de la aguja. Si ante ésta ponemos una

bujía encendida, la llama se dirige al lado contrario, obligada por una corriente de aire, que se produce por la electrización de las moléculas aéreas con electricidad igual á la de la punta, siendo repelidas por lo tanto.

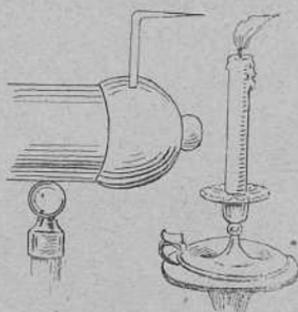


FIGURA 256.—Poder de las puntas.

Pérdida de la electricidad.—Un cuerpo por bien aislado que se halle, pierde poco á poco la electricidad de que estaba cargado.

Esto es debido á que los cuerpos aisladores no lo son en absoluto.

Además las moléculas del aire y de los vapores ó los corpúsculos que contienen en suspensión, y que rodean próximamente al cuerpo electrizado, se cargan de electricidad del mismo nombre, siendo repelidas, viniendo á ocupar su puesto otras nuevas moléculas que actuando de la misma manera acaban por descargar completamente al cuerpo electrizado.

ELECTRIZACIÓN POR INFLUENCIA

Influencia electrostática.—Un cuerpo al estado neutro, puede ser electrizado por *influencia* ó *inducción* acercándole á otro cargado de electricidad (*inductor*).

Aproximando un cilindro metálico, *aislado*, (figura 257) á un cuerpo electrizado positivamente, también *aislado*, estando aquel provisto en cada extremo de un péndulo eléctrico, se observa que inmediata-

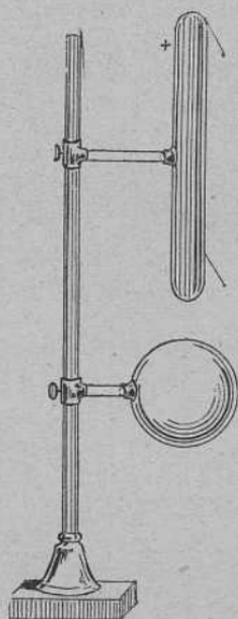


FIGURA 257.

mente se separan las dos esferillas, por haberse cargado de electricidad igual á la que poseen en aquel instante los extremos del cilindro.

Si ahora acercamos al péndulo inferior una varilla de vidrio, electrizada por frotamiento sobre un trapo de lana, la esferilla de médula de sauco se precipita sobre el vidrio, demostrando que estaba electrizado negativamente, pues la electricidad del vidrio era positiva. Repitiendo la experiencia con el péndulo superior, al aproximar la varilla á la bolita se separará más, por estar cargada de electricidad positiva, como el vidrio.

Como se ve, los dos extremos del cilindro están cargados de electricidad de distinto nombre, de donde se deduce que, la electricidad positiva de la esfera inductora descompuso al fluido neutro del cilindro inducido, atrayendo la electricidad negativa hacia el extremo más próximo á ella y repeliendo á la positiva, que va á localizarse en el más apartado. La carga va disminuyendo progresivamente hasta la región central (*línea neutra*) donde no aparecen manifestaciones eléctricas, como puede comprobarse acercando un péndulo, que permanece indiferente.

Separando ahora la esfera inductora desaparecen las manifestaciones de electricidad libre en el cilindro, por haberse vuelto á combinar ambas electricidades, al cesar la inducción, volviendo al estado neutro.

Pero si, en vez de tener aislado el cilindro conductor, lo tenemos en comunicación con la tierra, tocándole con el dedo en un punto cualquiera, la electricidad del mismo nombre que la del cuerpo inductor, la positiva en el caso presente, es repelida y pasa á la Tierra (*depósito común*). Si ahora separamos el dedo y, después, el cilindro inducido del cuerpo inductor, dicho cilindro queda cargado de electricidad negativa (en esta experiencia), no ya en el extremo que estuvo más cerca del inductor, sino en toda su superficie.

Un cuerpo inducido puede electrizar por influencia á otro puesto en presencia de él, y éste á su vez á otro y así sucesivamente.

La cantidad de electricidad producida por influencia depende no sólo de la carga del inductor y de la superficie puesta en presencia de él por el inducido, sino también de la distancia entre ambos.

Chispa eléctrica.—Cuanto menor es la distancia mayor es la electrización producida, originándose una mayor tensión, que si la distancia es muy corta, puede vencer la resistencia del aire, determinándose la combinación brusca de las electricidades contrarias de los cuerpos inductor é inducido, formando una *chispa eléctrica*, acompañada de luz y originando un chasquido, por la agitación del aire interpuesto.

Campo eléctrico.—Se denomina así al espacio que rodea á un cuerpo electrizado y en el cual es prácticamente sensible la influencia eléctrica.

Influencia sobre un conductor que rodea completamente al inductor.—Si consideramos una esferita aislada

y cargada de electricidad positiva, por ej., en el interior de un tubo metálico, éste se carga por influencia de electricidad negativa en su superficie interna, en cantidad igual á la carga del inductor, y, en la superficie exterior, de electricidad positiva, en cantidad igual también.

Pantallas eléctricas.— En el caso de que el tubo conductor estuviese aislado podrá su carga exterior ejercer influencia sobre los cuerpos que le rodean; pero si se halla en comunicación con la Tierra, la electricidad exterior, la positiva en este caso, pasa al depósito común y toda influencia exterior desaparece, actuando como una *pantalla eléctrica*, que impide toda inducción del interior al exterior ó viceversa.

De la misma manera un tubo metálico, influido exteriormente y en comunicación con la Tierra, es una pantalla eléctrica para los cuerpos no electrizados encerrados en su interior. Estas pantallas pueden ser discontinuas, sin inconveniente alguno, formadas por un tubo ó cilindro metálico agujereado ó de tela metálica, sin que por eso dejen de conducirse en la forma indicada.

Dieléctricos.— A diferencia de los cuerpos conductores, las acciones eléctricas se verifican á través de los cuerpos aisladores, llamados *dieléctricos* por esta razón, no pudiendo formar por tanto pantallas eléctricas.

Explicación del movimiento de los cuerpos ligeros en presencia de un cuerpo electrizado.— Imaginemos un péndulo eléctrico. Al acercarse una varilla de vidrio, electrizada positivamente, la esferilla se electriza por inducción, descomponiéndose la electricidad neutra que posee, repeliendo á la del mismo nombre que la del vidrio y atrayendo á la de distinta clase ó sea la negativa; prodúcese entonces una viva atracción, hasta que tocando al vidrio la citada esferilla, la electricidad negativa se neutraliza con parte de la del vidrio, quedando electrizada positivamente, por lo que se origina una inmediata repulsión.

Electroscopios y electrómetros.—Son aparatos destinados á poner de manifiesto la clase de electricidad de un cuerpo electrizado.

Uno de los más sencillos es el *péndulo eléctrico*, ya descrito.

ELECTROSCOPIO DE PANES DE ORO.—Está constituido por un vástago metálico, terminado en su parte superior por una bola, y llevando en la parte inferior dos laminillas de pan de oro (fig. 258). Sirvele de soporte una campana de cristal, que, á su vez, se apoya en un pie metálico con dos columnitas de latón, esféricas en su extremo.

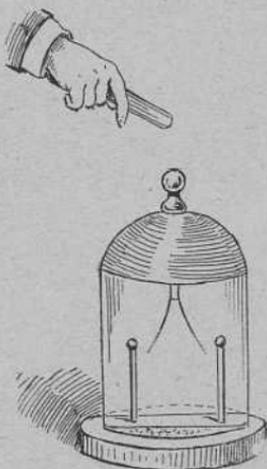


FIGURA 258.—Electroscopio de hojas de oro.

Cuando queremos averiguar de qué clase de electricidad está cargado un cuerpo, comenzamos por electrizar el electroscopio con una electricidad conocida.

Para ésto acercamos lentamente una barra de resina, previamente frotada con lana (electricidad negativa) á la esfera del vástago, el cual se carga por influencia; la electricidad positiva ó sea la contraria en este caso, se acumula en la esfera. la negativa va á las laminillas de oro, que se separan. Tocando ahora con el dedo en la esfera, esta electricidad del mismo nombre que la del inductor, se pierde á través del cuerpo en la Tierra, y las hojuelas de oro vuelven á su posición natural, por seguir acumulada en la esfera la electricidad positiva. Separemos el dedo y la barra de resina, la electricidad positiva, de que queda cargado el

aparato, se extiende por toda su superficie y, naturalmente, los panes de oro se separan de nuevo.

En estas condiciones, acerquemos lentamente el cuerpo cuya electricidad libre queremos determinar; si las hojuelas de oro se aproximan es señal de que aquel está cargado de electricidad negativa, puesto que las láminas, en este caso, lo están positivamente; si se separan aún más, la electricidad del cuerpo será del mismo nombre que la del electroscopio.

Este instrumento es muy sensible, aumentando esta cualidad las columnitas del soporte, que electrizadas por la influencia de las hojas de oro, actúan sobre éstas favoreciendo su divergencia.

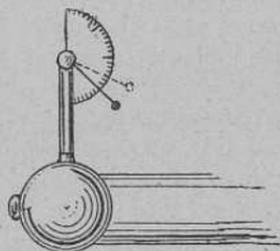


FIGURA 259.—Electroscopio de Henley.

Electroscopio de Henley.—

Se le denomina generalmente *Electrómetro de Henley*, pero en

realidad, es un aparato imperfecto que no da más que una idea muy relativa de la carga de un conductor, por las desviaciones del péndulo eléctrico que lo constituye. Consta de una varilla de madera con un semicírculo graduado de marfil en uno de sus lados; en el centro del círculo gira una varilla de ballena con una esferilla de médula de sauco en su terminación.

ELECTRÓMETROS.—Son instrumentos destinados á medir las cargas eléctricas. Entre los más principales están los de *Hankel*, *Branly*, *Thomson*, etc., etc., pero la índole de este libro y la complicación de alguno nos vedan entrar en su descripción.



POTENCIAL ELÉCTRICO.—CAPACIDAD ELÉCTRICA

Noción experimental.—Tomemos un cuerpo electrizado y aislado, de forma ovoide, por ejemplo, y coloquémosle á distancia suficiente de un electroscopio de hojas de oro, de modo que entre ambos no pueda haber influencia alguna. Si unimos después el conductor electrizado con el electroscopio por medio de un largo y fino alambre, las hojas del electroscopio divergen, y esta divergencia no aumenta ni disminuye aun cuando el extremo del alambre que toca al cuerpo se aplique á los extremos del conductor, donde el espesor eléctrico es mayor, ó en el centro, donde es casi nulo, ó aun en el interior, si aquel fuese hueco. Esta divergencia nos indica que ha habido paso de electricidad del conductor al electroscopio, hasta establecerse un equilibrio eléctrico entre ambos; y la constancia de aquella, al variar los puntos de aplicación del alambre, nos demuestra que dicho *equilibrio es independiente de la densidad ó espesor eléctricos.*

Si tomamos ahora dos esferas conductoras, una electrizada, la otra al estado neutro, ambas aisladas y de diferente tamaño, colocadas á distancia para evitar toda influencia, y las reunimos por un alambre de las mismas condiciones, de igual modo que antes hay paso de electricidad de la primera á la segunda, hasta que se establece entre ambas también un equilibrio eléctrico. Sin embargo, después de levantar la comunicación, podemos comprobar, mediante un electrómetro, que las cantidades de electricidad existentes en cada una de las esferas son distintas entre sí. Esto nos hace ver que *el equilibrio eléctrico no depende de la igualdad de las cantidades de electricidad.*

A la causa determinante del equilibrio eléctrico se ha denominado *potencial ó nivel eléctrico*, el cual, como hemos visto, es independiente de la carga ó masa eléctricas, ni depende tampoco de la densidad ó espesor. Se dice que *el potencial es la tendencia á escapar de la electricidad en todos los puntos de un conductor*; y está caracterizado por el valor de la carga que adquiere una esferilla ó bola de

prueba, puesta en comunicación lejana con el conductor electrizado.)

Dos cuerpos electrizados están á un mismo potencial ó nivel eléctrico, cuando reunidos por un hilo metálico, á la distancia conveniente para que no pueda haber entre ambos influencia alguna, no hay paso de electricidad del uno al otro. En el caso en que haya paso de electricidad, *los conductores están á un potencial diferente*, y, al establecerse el equilibrio eléctrico, alcanzan un mismo potencial de valor intermedio entre sus potenciales primitivos, puesto que unidos no constituyen más que un solo conductor.

La diferencia de potencial, es denominada *fuerza electromotriz*, y es la causa determinante del paso de electricidad de un conductor á otro.

Potencial de la Tierra. Potenciales positivos y negativos.—Un electroscopio puesto en comunicación con la Tierra no presenta manifestación eléctrica alguna, por lo que se ha convenido en fijar en 0 el valor del *potencial de la Tierra*. El *potencial* eléctrico de un cuerpo es *positivo*, cuando puesto éste en comunicación con la Tierra por un hilo conductor hay paso de electricidad positiva á ella, en el caso en que el cuerpo pierda electricidad negativa el *potencial es negativo*.

Comparación del potencial eléctrico con el nivel hidrostático.—Para la mejor comprensión del concepto de potencial ó *nivel eléctrico* suele comparársele con el nivel del agua en vasos comunicantes.

Sopongamos dos vasos, uno vacío y el otro lleno de agua. Si los hacemos comunicar por un tubo, el agua pasará en parte al vaso vacío, hasta que las superficies libres del líquido en ambos se hallen en el mismo plano horizontal; estableciéndose, pues, el equilibrio, cuando están al mismo nivel. Este paso de agua es independiente del punto en que se aplique el tubo de comunicación al vaso con agua, y el nivel alcanzado por ambos es el mismo, aunque el tamaño sea mayor el del uno que el del otro, siendo por lo tanto mayor la cantidad de agua que en aquel se contiene. Así, si en el vaso más pequeño, suponiendo á los dos con agua, el nivel estuviese más elevado que en el mayor, al establecer la comunicación, pasaría el líquido de aquél á éste, hasta que ambos ocupasen el mismo nivel. Y si en ambos vasos el líquido alcanzase el mismo nivel, al

ponerlos en comunicación no habría corriente líquida de uno á otro.

De lo antedicho deducimos que el nivel ó potencial eléctrico se presenta en condiciones semejantes, puesto que puestos en comunicación, como hemos dicho, dos cuerpos de distinto potencial hay paso de electricidad hasta que ambos adquieren el mismo nivel eléctrico.

Unidad práctica de potencial.—Para medir la diferencia de potencial se ha adoptado como unidad práctica el *voltio*, que es, sobre poco más ó menos, la diferencia de potencial que se establece entre los metales zinc y cobre en un elemento de la pila de Volta, que estudiaremos en su lugar oportuno.

Capacidad eléctrica de un cuerpo conductor.—Es la cantidad de electricidad que se necesita para elevar su potencial de 0 á 1.

La capacidad eléctrica, á diferencia de la calorífica, es independiente de la naturaleza del cuerpo, dependiendo sólo de su forma y dimensiones.

Unidad de capacidad eléctrica.—Es la capacidad de un conductor que cargado con un culombio adquiere el potencial de un voltio. Esta unidad, denominada *faradio*, es muy elevada, por lo que en la práctica se usa el *microfaradio*, que es la millonésima parte de la primera, resultando muy grande también, puesto que corresponde á la capacidad eléctrica de una esfera de 9 kilómetros de radio.

En todo lo anteriormente expuesto suponemos que el conductor ó conductores están completamente aislados y libres de toda influencia, pues en caso contrario la capacidad eléctrica variaría, según las circunstancias.

MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Máquinas eléctricas.—Son aparatos productores de electricidad estática á un alto potencial.

Se las divide en dos grupos principales: *Máquinas eléctricas de frotamiento* y *máquinas eléctricas de inducción*. En realidad esta división no es absolutamente exacta, pues en las de las dos clases se utiliza el frotamiento y

la inducción, aunque en unas ó en otras prepondere una de estas acciones.

En todo generador ó máquina eléctrica se producen las dos clases de electricidad: llamándose *polos*, *positivo* ó *negativo*, á las partes donde se acumulan las electricidades positiva ó negativa respectivamente.

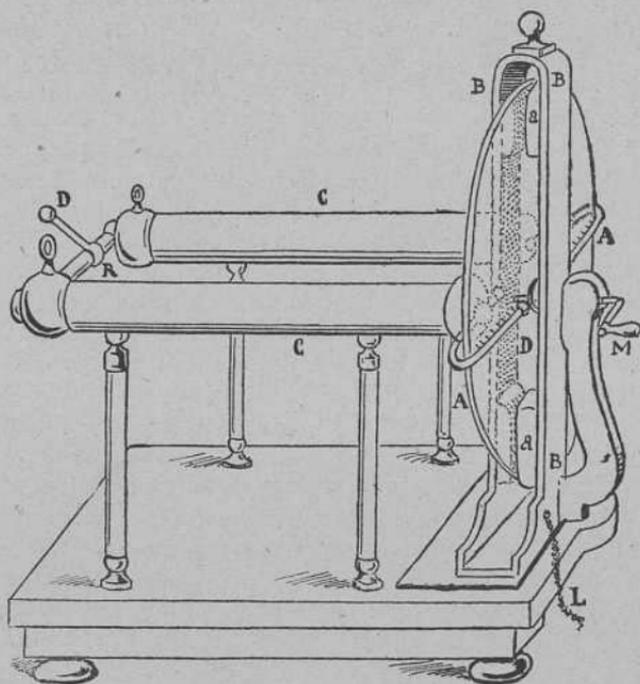


FIGURA 260.—Máquina de Ramsden.

Máquina de Ramsden.—Esta máquina tiene hoy día solamente un interés histórico. Sobre dos montantes de madera se apoya el eje, provisto de un manubrio M, de un disco de vidrio D, que, al girar roza con dos pares de almohadillas, a a. El disco, al rozar con las almohadillas, es el órgano *productor* de la electricidad. Dos gruesos tubos de latón CC (*colector de la máquina*), sostenidos por columnas aisladoras de vidrio y unidos entre sí por otro de menor diámetro R, llevan en sus extremos libres dos piezas A A, en forma de herradura, que abrazan en parte al

disco de vidrio, y están armadas interiormente de puntas á modo de peines metálicos.

Al girar el disco de vidrio, la electricidad neutra de los puntos que rozan con las almohadillas se descompone por la frotación, cargándose aquellos de electricidad positiva y las almohadillas de electricidad negativa. Al pasar dichos puntos por los peines, los colectores se cargan por influencia de electricidad positiva, por ser descompuesta la neutra existente en ellos, pasando la negativa á combinarse con la positiva del vidrio. Al pasar, repetidas veces y sucesivamente, los diversos puntos del disco por las almohadillas y después por los peines, van sustrayendo constantemente nuevas cantidades de electricidad negativa á los colectores; aumentándose esta producción por estar las almohadillas en comunicación con la Tierra, depósito común, por medio de una cadena metálica.

La carga que puede adquirir una máquina eléctrica no es ilimitada; y su límite teórico se manifiesta cuando salta la chispa entre los peines y las almohadillas, lo cual sucede rara vez por las múltiples pérdidas de electricidad que se originan por efecto de diferentes causas; la humedad principalmente.

La cantidad práctica de electricidad suministrada por una máquina, depende de la superficie de los conductores, de la del disco de vidrio y de la naturaleza de éste, de la velocidad con que gire, de las condiciones de las almohadillas, que debe hacérselas mejores conductoras frotándolas previamente con sebo y bisulfuro de estaño (*oro musivo*) etcétera, etc.

Electróforo.—Es la máquina eléctrica más sencilla. Está constituido por una torta resinosa R, sobre la que se puede colocar un disco E de madera, cubierto de papel de estaño, provisto de un mango aislador M.

Frotando la torta resinosa con una piel de gato se electriza negativamente. Si ahora sobre ella se coloca el disco, la electricidad neutra de éste se descompone, por influencia, siendo atraída la positiva á la parte inferior de dicho disco, y repelida la negativa á

la parte contraria. Las electricidades negativa y positiva de la torta y del disco no se combinan entre sí por la mala conductibilidad de la resina y porque su superficie es áspera y poco igual. En estas condiciones, tócase en la parte superior del disco con un dedo: su electricidad negativa va al depósito común. Quitando el dedo y levantando el disco por el mango aislador, queda cargado de electricidad positiva, como

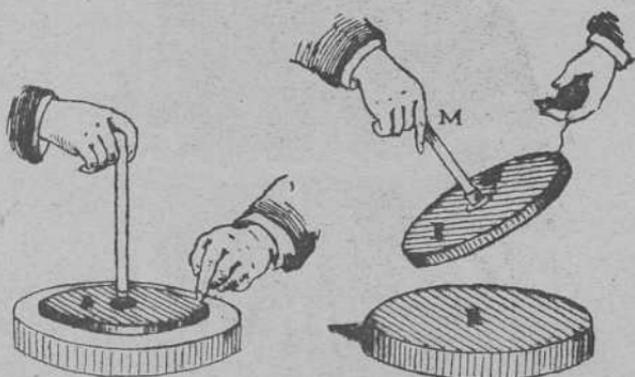


FIGURA 261.—Electróforo.

se puede demostrar acercando un dedo, cuya aproximación provoca una chispa.

Puede renovarse la electricidad del disco operando del mismo modo, pero sin necesidad de frotar nuevamente la resina, cuya electrización se conserva bastante tiempo, si la atmósfera está seca, á causa de la mala conductibilidad de aquella.

Máquina de Wimshürt.—Consta de dos discos de ebonita, ó mejor de vidrio, provisto cada uno, en sus caras externas, de sectores metálicos S, cercanos á la circunferencia, en el sentido de sus radios. Ambos discos pueden girar en dirección contraria uno de otro, simultáneamente, rozando con las escobillas

metálicas P, dispuestas en los extremos de dos varillas de metal, una para cada platillo ó disco, diametralmente situadas, formando un ángulo de 45° con el horizonte, pero perpendiculares entre sí. Dos conductores en forma de herradura P' P', provistos de

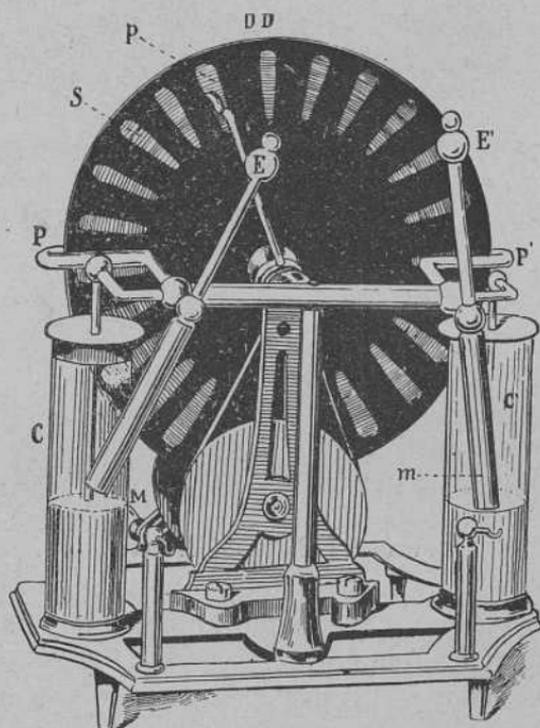


FIGURA 262.—Máquina de Whimshürri.

peines en su interior, abrazan horizontalmente á los discos y recogen la electricidad producida. Dichos conductores comunican con los polos de la máquina, de los que parten dos varillas ó arcos de metal terminados por dos esferitas de descarga E E', las cuales pueden ser aproximadas ó separadas, mediante los mangos de ebonita M m, de las varillas.

Los conductores están en comunicación con dos condensadores C C á fin de aumentar la capacidad de aquellos y obtener chispas de considerable longitud.

La máquina de Wimshürt es hoy casi exclusivamente empleada en los gabinetes de Física, por su fácil manejo y por la gran carga que puede adquirir, la cual puede ser aumentada considerablemente, aumentando también el número de discos y el diámetro de los mismos. Posee dos polos que se cargan, uno con electricidad positiva, el otro con electricidad negativa.

La teoría de su funcionamiento, por no estar aún bien explicados los fenómenos que en ella se producen, es bastante compleja, por lo que nos abstenemos de estudiarla en el curso de estas nociones de Física.

Lo mismo hacemos con la descripción de otras máquinas eléctricas, como las de Van Marum, Nairne, Winter, Holtz, Carré, Berchs, etc., etc., de escasa aplicación en la actualidad.

CONDENSACIÓN DE LA ELECTRICIDAD

Condensación.—Si se pone un conductor, al estado neutro y aislado, en comunicación con una máquina eléctrica, y se la hace funcionar, hay paso de electricidad de ésta al conductor, que toma el nombre de *colector*. Este paso de electricidad cesa cuando el colector ha adquirido el mismo nivel ó potencial eléctrico que la máquina, adquiriendo la carga correspondiente á su capacidad eléctrica en aquel momento.

Si aproximamos ahora al colector un segundo conductor, llamado *condensador*, puesto en comunicación con la Tierra, éste se electriza por influencia, con

electricidad contraria á la del colector, pues la del mismo nombre es repelida al depósito común. Su carga influye, á su vez, sobre la del colector, determinando en él un descenso de su nivel eléctrico, por lo que aumenta su capacidad. Por esta razón hay nuevo paso de electricidad al colector, si la máquina sigue funcionando, hasta que ambos adquieren el mismo nivel ó potencial, pero con una carga más considerable en el colector, por lo que se dice que la electricidad se ha condensado en él.

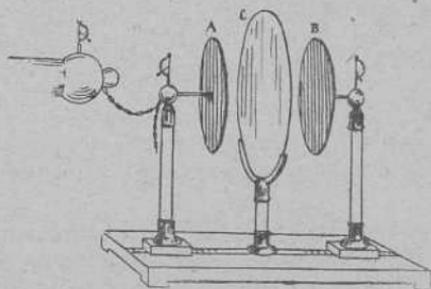


FIGURA 263.—Condensador de Aepinus.

Condensadores electrostáticos.—Son aparatos formados por un sistema de conductores, dispuesto de modo que se aumente considerablemente la capacidad eléctrica

de uno de ellos, acumulando grandes cantidades de electricidad.

Los condensadores electrostáticos constan en general de dos cuerpos conductores; uno de ellos en comunicación con una máquina eléctrica (*colector ó armadura colectora*) y otro en contacto con la Tierra (*condensador ó armadura condensadora*). Entre ambos hay una *lámina aisladora*, que puede ser de aire, vidrio, resina ó goma laca, etc.

Condensador de Aepinus.—Como indica la figura 263, *colector*, A, y *condensador*, B, son dos platillos metálicos circulares, aislados por pies de vidrio, que pueden ser aproximados ó alejados, y teniendo entre ambos una lámina aisladora de vidrio, C.

Colector y condensador llevan cada uno en sus caras opuestas, un péndulo eléctrico que nos indica su estado eléctrico respectivo.

En los condensadores podría suprimirse la lámina aisladora de vidrio (*condensadores de lámina de aire*) pero el vidrio permitiendo disminuir considerablemente la distancia entre ambos platillos, aumenta la *fuerza condensante*, que es la relación existente entre la carga del colector después de la condensación y la que adquiere, en comunicación con la máquina, sin la presencia del condensador.

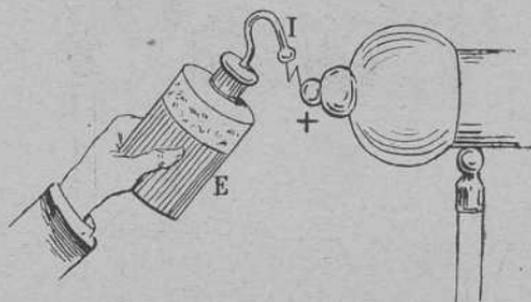


FIGURA 264.—Carga de una botella de Leyden.

Botella de Leyden.—Es un condensador, de forma distinta á los anteriores, usado muy frecuentemente en los gabinetes de Física. Está constituido por un frasco cubierto exteriormente de papel de estaño, pero dejando libre el tercio superior del mismo. Esta hoja metálica, E, hace el papel de condensador. Interiormente el frasco está lleno de hojas de papel de estaño ó de panes de oro, que representan al colector. El tapón de corcho que cierra al frasco está atravesado por un grueso alambre de latón, I, que interiormente está en contacto con las hojas de oro ó estaño, y exteriormente presenta forma de cayado, terminado por una esferilla, metálica también.

Para cargar una *botella de Leyden* se aplica la esfera de la varilla de latón á la máquina eléctrica, teniendo la botella asida con la mano por la armadura exterior, lo que la pone en comunicación con la Tierra.

Los fenómenos de condensación que en ella se verifican son idénticos á los de los demás condensadores, cargándose las armaduras, interior (hojas de

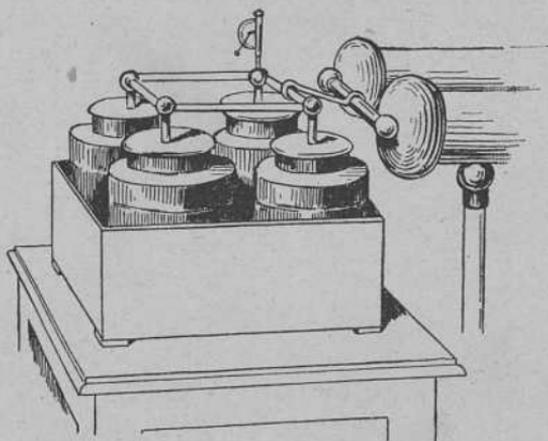


FIGURA 265.—Carga de una batería eléctrica.

estaño ó panes de oro) y exterior (lámina de estaño) de electricidades contrarias.

Baterías eléctricas.— Tienen por objeto la acumulación de grandes cantidades de electricidad, y están constituidas por varias botellas de Leyden de gran tamaño, cuyas armaduras interiores están unidas entre sí, lo mismo que las armaduras exteriores. Cada una está formada por un gran frasco de boca ancha: su armadura interior es una hoja de papel de estaño pegada á las paredes internas y al fondo; sobre éste cae una cadenita metálica en que termina el vástago metálico que atraviesa al tapón. Todos los vástagos de la batería están unidos entre sí por

varillas de latón. La armadura exterior está formada por una hoja de papel de estaño, y todas las de la batería comunican entre sí, por estar en contacto con una banda metálica, de que está forrada la caja que contiene la batería. Esta banda está unida al asa de la caja, y de ella pende una cadena para establecer el contacto con la Tierra.

Para cargar una batería se pone en comunicación las armaduras interiores con la máquina eléctrica y las exteriores con el depósito común. Su capacidad será proporcional á la superficie total de las armaduras internas, por lo que esta capacidad es más considerable euanto mayor es el tamaño y número de las botellas.

Descarga de los condensadores.—Puede hacerse lenta ó instantáneamente.

Para lo primero, después de haber levantado la comunicación del colector y el condensador con la máquina y la tierra respectivamente, se toca con el dedo ú otro buen conductor á uno de ellos, el colector, por ej., con lo que se provoca una chispa, perdiendo aquel una parte de su electricidad, lo que nos indica su péndulo, que tiende á ocupar la vertical. Como la influencia del colector ha disminuído, queda libre cierta cantidad de electricidad en el condensador por lo que su péndulo diverge. Si ahora establecemos el contacto con el condensador, parte de su electricidad pasa al depósito común, su péndulo cae, y por las mismas razones que antes diverge el del colector. Quedan, pues, colector y condensador en su estado primitivo, pero con menos carga; mas si repetimos los contactos alternativamente, descargados aquellos de toda su electricidad, se consigue poner el aparato al estado neutro.

Instantáneamente se descarga un condensador uniendo las dos armaduras, ya tocándolas, á la vez,

con ambas manos, procedimiento que puede ser peligroso, ya, mejor, por medio de un excitador. La descarga se verifica por la combinación de las dos electricidades contrarias de las armaduras á través del conductor que las une.

El excitador (figura 266) está constituido por dos

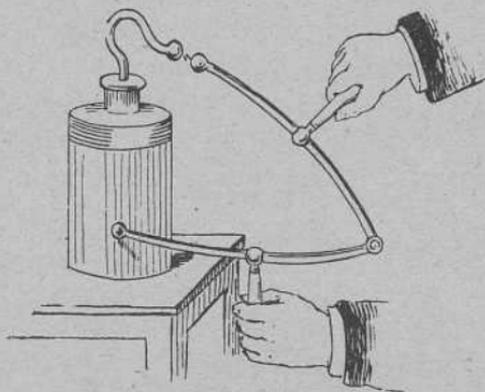


FIGURA 266.—Descarga Instantánea de una botella de Leyden.

varillas metálicas arqueadas, provistas de mangos aislados, por los que se las maneja, unidas por uno de sus extremos y redondeadas por el opuesto.

Por el momento parece que un condensador descargado instantáneamente lo ha sido por completo; sin embargo, si al cabo de un corto tiempo volvemos á acercar el excitador salta una nueva chispa, más débil que la primera, y lo mismo si repetimos la experiencia tras otros breves intervalos de reposo, lo que nos demuestra que existían todavía cortas cargas eléctricas en el condensador, que toman el nombre de *cargas residuales*.

neamente lo ha sido por completo; sin embargo, si al cabo de un corto tiempo volvemos á acercar el excitador salta una nueva chispa, más débil que la primera, y lo mismo si repetimos la experiencia tras otros breves intervalos de reposo, lo que nos demuestra que existían todavía cortas cargas eléctricas en el condensador, que toman el nombre de *cargas residuales*.

Localización de la electricidad en los condensadores.—La electricidad acumulada en los condensadores reside principalmente en las superficies del cuerpo aislador. Para demostrar este hecho se usa una *botella de Leyden de armaduras movibles*. Se compone ésta de un vaso cónico de latón C, en el cual puede encajar otro de vidrio B (1), el cual puede contener, á su vez, una armadura de latón D. Estas diversas partes encajadas unas en otras A forman la

(1) Por error de dibujo, en la fig. 267 aparece B mayor que C, cuando éste es contenido por B, que es la armadura externa y C el aislador.

botella de Leyden completa. Cargada ésta como de ordinario se coloca sobre una torta de resina ó una lámina de vidrio ó parafina. Con una varilla aisladora se saca la ar-

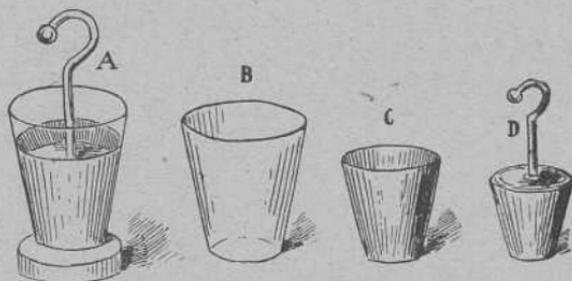


FIGURA 267.—Botella de Leyden de armaduras móviles.

madura interior y el vaso de cristal con la mano. Tocando ahora las dos armaduras con la mano, pierden su electricidad y pasan al estado neutro, por lo que no presentan manifestación eléctrica alguna. Pero si recomponemos de nuevo la botella, y se aplica el excitador á ambas armaduras salta una chispa viva, lo que nos prueba que la mayor parte de las electricidades del condensador estaban localizadas en las superficies del cuerpo aislador y no en las de los conductores.

Electroscopio condensador de Volta.—Es un electroscopio muy sensible, destinado á poner de manifiesto pequeñas cantidades de electricidad y la clase de ésta.

Es un electroscopio de hojas de oro, en el que la esfera del vástago ha sido sustituida por un platillo metálico circular, cuya cara superior está barnizada con goma laca. Otro platillo idéntico,

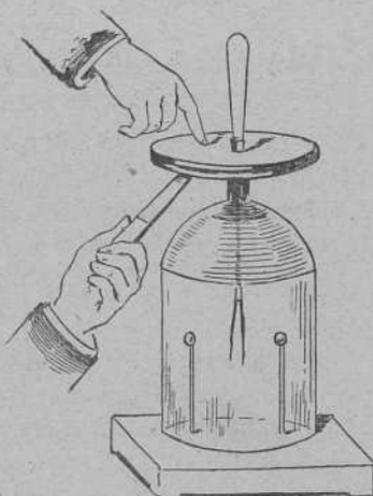


FIGURA 268.—Electroscopio condensador de Volta.

provisto de un mango aislador, completa el aparato. Para usar este instrumento, puesto el platillo superior sobre el inferior, se apoya un dedo sobre el primero, para hacerle comunicar con el depósito común; al mismo tiempo se toca al platillo inferior con el cuerpo electrizado. Fácil es comprender que entre ambos platillos ocurren fenómenos de condensación, actuando el inferior como colector, y el superior como condensador, siendo la fuerza condensante muy considerable por el débil espesor de la lámina aisladora de goma laca. Si se levanta ahora el platillo superior, por el mango aislador, después de separar el dedo, la electricidad del platillo inferior, libre ya de la influencia de aquél, se reparte por todo el electroscopio, y las hojas de oro de éste divergen.

Para determinar la clase de electricidad que carga al electroscopio, basta acercar un cuerpo electrizado con electricidad conocida.

EFFECTOS DE LA DESCARGA ELECTROSTÁTICA

Distintos efectos de la electricidad estática.

—Por la naturaleza de los fenómenos que producen, se dividen en: *efectos mecánicos, caloríficos, luminosos, químicos y fisiológicos.*

Efectos mecánicos.—Se manifiestan principalmente por atracciones y repulsiones, por la rotura de los aisladores á través de los cuales se verifica la descarga, etc.

Ejemplo sencillísimo de los primeros es el movimiento impreso al péndulo por la presencia de un cuerpo electrizado.

En la experiencia del campanario eléctrico, una bolita metálica, que cuelga de un hilo de seda, choca alternativamente con un timbre, en comunicación con una máquina eléctrica y con otro en comunicación con el suelo. La electricidad neutra de la esferita metálica es descompuesta por la influencia del timbre electrizado, que lo está, por ejemplo, positivamente, originándose una atracción; al tocar

al timbre dicha esferita, la electricidad negativa de ésta se combina con la del timbre, cargándose de electricidad positiva, por lo que es repelida, hasta que toca al otro timbre que, por estar en contacto con la Tierra, la conduce al estado neutro, repitiéndose de la misma manera las atracciones y repulsiones de un modo sucesivo. El choque de la esferilla de metal sobre los timbres produce sonidos que han dado nombre á esta experiencia.

En las experiencias del *granizo eléctrico*, la *danza eléctrica*, etc., se muestra el movimiento de trozos de médula de sauco: bolitas, muñequillos, etcétera, entre dos platillos metálicos, uno en contacto con una máquina eléctrica y el otro con la Tierra.

Cuando la descarga eléctrica se verifica á través de un mal conductor, este cuerpo es horadado ó roto.

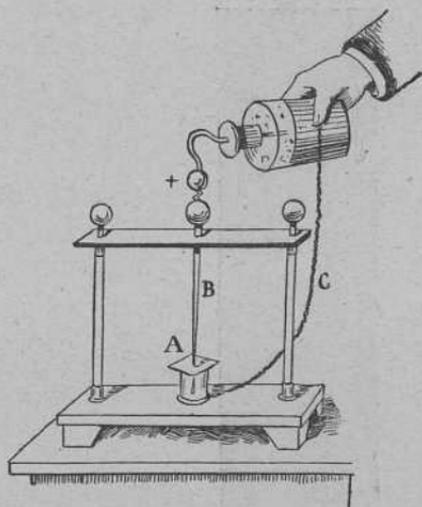


FIGURA 269.—Taladra-tarjetas.

Así, si entre dos puntas metálicas, dispuestas de modo semejante á como indica la figura 269, colocamos una lámina de cristal ó una tarjeta, y unimos con una cadenita la punta inferior á la armadura exterior de una botella de Leyden, y tocamos la punta superior con la armadura interior de la misma botella, se produce una descarga entre ambas puntas, horadando el cristal ó la tarjeta. Un trozo de madera, se deshace en pedazos.

Efectos caloríficos.—La descarga eléctrica va acompañada de una intensa producción de calor.



Una chispa eléctrica que se produce á través de materias inflamables (*pólvora, éter, alcohol, etc.*) provoca la inflamación de éstas.

Descargando una batería eléctrica á través de un alambre corto y delgado de hierro, la temperatura de éste se eleva al rojo blanco, fundiéndose el alambre.

Si fuese de Plata, Oro, Platino, etc., llegaría á volatilizarse. En esto está fundada la experiencia del *retrato de Franklin*.

La mayor parte de estos experimentos son hechos con el intermedio de un *excitador* especial, denominado *universal*.



FIGURA 270.
Chispa eléctrica.

Efectos luminosos.—La *chispa eléctrica* es una manifestación luminosa de la descarga eléctrica, acompañada además de un ruido seco, producido por la violenta agitación del aire.

Su forma es rectilínea cuando es muy corta, pero si es larga se presenta zigzagueante y ramificada.

La combinación de las dos electricidades contrarias, productora de la chispa eléctrica, es casi instantánea, pues no llega á una diezmilésima de segundo; su duración aparente es debida á la persistencia de las impresiones luminosas en la retina.

La distancia máxima á la cual puede producirse la chispa eléctrica varía con la diferencia de potencial eléctrico entre los conductores, con la forma de éstos, y con la naturaleza del cuerpo aislador cuya resistencia tiene que vencer.

Su coloración, generalmente violada, es variable también, según la materia de los conductores ó la naturaleza

del gas ó gases en cuyo seno se produce; así en el Anhidrido carbónico es verdosa, purpurina en el Hidrógeno, azulada en el Nitrógeno.

Fenómenos semejantes, muy hermosos, se producen en los *tubos de Geissler*, que son tubos de vidrio, cerrados, que contienen diversos gases rarificados, á través de los cuales se hace pasar las descargas eléctricas, mediante dos alambres de Platino que entran en el tubo por sus extremos.

El *Tubo* y el *Cuadro centelleantes* son experiencias clásicas de efectos luminosos de la electricidad, tan sencillos que no necesitan explicación una vez vistos en el gabinete de Física.

Descarga eléctrica en los gases enrarecidos.—La mayor condensación ó rarefacción de la atmósfera en que se origina hace variar también notablemente las condiciones de la chispa eléctrica. Para comprobar experimentalmente estos hechos se hace uso del *Huevo eléctrico*, que es un globo de cristal (fig. 271) de forma ovoidea, provisto, en sus extremos, de dos vástagos metálicos, terminados interiormente en esferas, los cuales pueden ser aproximados ó alejados. En la parte inferior lleva un pie, con una llave, para poder colocar el aparato en la máquina neumática y rarificar convenientemente los gases, en aquel contenidos. Lleno de aire seco el globo de vidrio, y puestos en comunicación los vástagos, el superior con una máquina eléctrica, y el inferior con la Tierra, se observa una chispa intensa y brillante, rectilínea ó en zig-zag, según la distancia; pero si la atmósfera aquella va siendo rarificada, con la máquina neumática, la descarga toma el aspecto de un penacho, ó aparecen bandas aún menos luminosas, correspondientes á una mayor rarefacción, entre ambas bolas, ó se observa sólo un vago resplandor que llena el globo, cuando la atmósfera del mismo está muy enrarecida.

Con otros gases los fenómenos descritos se presentan en la misma forma, pero con coloraciones distintas según la naturaleza de aquél.

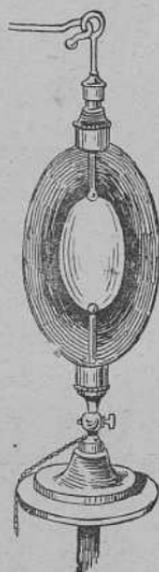


FIGURA 271.
Huevo
eléctrico.

Penachos.—Cuando un conductor electrizado á un alto potencial se halla de otro conductor á una distancia superior á la indispensable para que se produzca la chispa eléctrica, la descarga toma el aspecto de un penacho, de luz pálida.

Efectos químicos.—Consisten en combinaciones y descomposiciones químicas de los cuerpos sometidos á la acción de la descarga eléctrica.

El *gas Amoniaco* es descompuesto en sus dos elementos Nitrógeno é Hidrógeno, por una serie de chis-

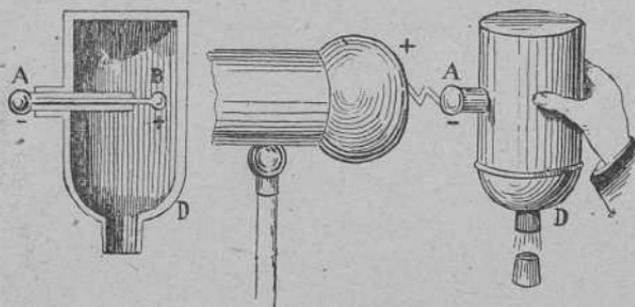


FIGURA 272.—Pistoleta de Volta.

pas eléctricas; el Anhidrido carbónico se descompone en Óxido de Carbono y Oxígeno; por la misma causa el Oxígeno, pasa á convertirse en Ozono, que es un estado alotrópico de aquel, etc., etc.

Otras descomposiciones y combinaciones químicas se producen más bien por los efectos caloríficos de la chispa eléctrica, así sucede por ejemplo en la experiencia del pistoleta de Volta.

El *Pistoleta de Volta* es un frasco de latón (figura 272) una de cuyas paredes está atravesada por un vástago AB, rodeado por un tubo de vidrio que le aísla del contacto con la pared del frasco. Dicho vástago termina en dos esferas; una interior B muy cercana á la pared opuesta, pero que no la toca, y otra exterior A. Introducidos en el pistoleta 2 volúmenes de Hidrógeno y 1 volumen de

Oxígeno, se cierra la boca con un tapón de corcho. Acérese después el vástago á una máquina eléctrica para provocar una chispa entre su esfera interior y la pared del pistolete, chispa eléctrica que determina la combinación del Hidrógeno con el Oxígeno para formar Agua, cuyo vapor adquiere una gran fuerza expansiva, por la gran elevación de temperatura, la cual origina la expulsión del corcho á distancia.

En Química se hace estas y otras experiencias de combinación con el *Eudiómetro*, que consta de un resistente tubo de vidrio, abierto por uno de sus extremos y atravesado en su parte superior por dos alambritos de platino, cuyos extremos interiores están muy cerca, sin tocarse. Entre ellos ha de verificarse la descarga.

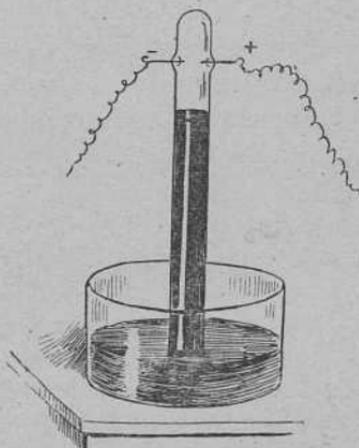


FIGURA 278.—Eudiómetro.

Efectos fisiológicos.—Cuando la descarga se produce á través del organismo, sus efectos se manifiestan por conmociones más ó menos violentas, cuyo valor depende de la diferencia de potencial y de la cantidad de electricidad puesta en movimiento.

Cuando una persona es electrizada lentamente sobre un banquillo aislador, en comunicación por una mano con el conductor de una máquina eléctrica, no siente más que un ligero cosquilleo; pero si otra persona acerca un dedo á cualquier parte del cuerpo de la primera, ambos sienten la conmoción de la descarga.

Varios individuos cogidos por la mano, en cadena, sienten al mismo tiempo la descarga que se produce teniendo el de un extremo, en la mano, una botella de Leyden, asida por su armadura exterior, y acercando el del otro extremo un dedo al vástago de la armadura interna.

Electricidad dinámica.

CORRIENTE ELÉCTRICA

Definición.—La *electricidad dinámica* estudia las *corrientes eléctricas*.

Corriente eléctrica.—*Corriente eléctrica* es el paso continuo de electricidad que se origina entre dos cuerpos en estado eléctrico diferente, es decir, á distinto potencial, unidos por un hilo metálico, cuando existe una causa capaz de mantener constante esta diferencia de nivel eléctrico, impidiendo que se establezca el equilibrio entre ambos cuerpos.

Si no existiera tal causa mantenedora de la diferencia de potencial, el paso de electricidad sería casi instantáneo, cesando en el momento de su producción. (*Chispa eléctrica ó descarga disruptiva*).

Experiencias de Galvani y Volta.—La electricidad dinámica tuvo su origen en las experiencias, fáciles de reproducir, de Galvani, profesor de la Universidad de Bolonia.

Se corta una rana por la región lumbar y se desuella sus patas; de este modo quedan al descubierto los nervios lumbares á los lados de la columna vertebral y los músculos crurales, en la pata. Se toma un arco, compuesto de dos varillas de Cobre y Zinc, unidos por un extremo; con los extremos libres se toca, con un metal, los nervios lumbares, con el otro los músculos de las patas. En el momento del contacto último las patas se contraen, conduciéndose del mismo modo cuantas veces se renueve los contactos.

Galvani afirmó que los fenómenos observados eran debidos al paso de electricidad por la rana; actuando ésta á modo de botella de Leyden, cuya armadura exterior representaban los músculos, la armadura interior los nervios lumbares, y el cuerpo aislador la grasa existente entre ambos. El arco metálico actuaba solamente como excitador.

Volta, profesor de la Universidad de Pavia, impugnó esta teoría, sosteniendo que *el contacto de dos metales diferentes daba lugar á producción de electricidad; positiva en uno, negativa en el otro; existiendo entre ambos una diferencia de potencial dependiente de su naturaleza y de su temperatura.*

Volta observó además que la producción de electricidad era mucho más considerable, cuando entre los dos metales se interponía un líquido, que como se ha visto después, reacciona químicamente sobre uno de aquellos.

Estas experiencias dieron lugar á la invención por Volta de la *pila* de su nombre, origen del portentoso avance del estudio de la electricidad dinámica.

Fabroni, afirmó por último que la electricidad se producía por *la acción química* del Acido sulfúrico de la pila sobre los metales.

En la actualidad se sabe que, si por el simple contacto de dos metales diferentes se establece una diferencia de potencial entre ambos, es innegable, que para que la corriente eléctrica se mantenga constante es necesario un gasto de energía equivalente á la que aquella puede desarrollar, energía que pueden suministrar las combinaciones químicas ó el calor.

PILAS ELÉCTRICAS

Pilas eléctricas.—Son aparatos destinados á producir una corriente continua de electricidad, originada, ya por las acciones químicas (*pilas hidroeléctricas*), ya por el calor (*pilas termoelectricas*).

De estas últimas trataremos más adelante.

Pilas hidroeléctricas.—Un *elemento de pila* ó *par voltáico* está constituido en términos generales por dos metales distintos, (*electrodos*) Zinc y Cobre (1) comunmente, sumergidos en un líquido (*electrolito*)

(1) El cobre es sustituido en muchas pilas por el *carbón Bunsen*, buen conductor, compacto y duro, por la compresión, y formado por una mezcla de polvo de cok y hulla.

constituído por agua acidulada con ácido sulfúrico, capaz de actuar químicamente sobre uno de ellos, (Zinc).

Los puntos extremos de los metales, donde se acumulan las electricidades contrarias, llevan el nombre de *polos*, *positivo* (Cobre ó metal inatacado) y *negativo* (Zinc ó metal atacado). A ellos se sujeta, por una lámina, tornillo, etc., un hilo metálico (*reóforo*) encargado de conducir la corriente.

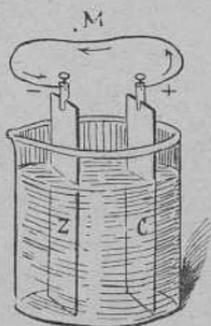


FIGURA 279.
Elemento de pila.

Formemos un elemento de pila, según lo indicado, con un vaso que contenga ácido sulfúrico, muy diluído en agua, y dos barras, ó láminas, una de Zinc y otra de Cobre; que sumergiremos en el líquido. En la reacción química que se establece entre el ácido y el Zinc, hay producción de electricidad; podemos demostrarlo poniendo en comunicación cada uno de los metales, sucesivamente, con

un espectroscopio sensible, el cual mostrará una divergencia de sus hojas de Oro, más amplia para el Cobre que para el Zinc. Al mismo tiempo podremos comprobar que el metal atacado, Zinc, se ha cargado de electricidad negativa, y que el metal inatacado, Cobre, se ha cargado de electricidad positiva

Si ahora unimos entre sí los dos metales, mediante un alambre conductor M (fig. 279), se establece un paso continuo de electricidad positiva, que por el hilo metálico vá del polo positivo al negativo, llamándose á esta dirección *sentido de la corriente*. Al mismo tiempo en el interior del líquido la electricidad negativa pasa del Zinc al Cobre.

Para mayor sencillez en la práctica nos referimos siempre á la corriente positiva.

De este modo la corriente recorre un *circuito cerrado*, en el caso de estar unidos ambos polos por cuerpos buenos conductores. En el caso en que dichos polos no estén unidos el *circuito* está *abierto*.

El Cobre, ó el cuerpo que haga sus veces, es indispensable, pues sin él la energía libre resultante de la acción del ácido sobre el Zinc, se transformaría en calor; con la presencia del Cobre origina electricidad.

Cuando los dos polos de un elemento están aislados se establece entre ambos una diferencia de potencial; al cerrar el circuito la corriente tiende á ponerlos al mismo nivel eléctrico, pero la fuerza electromotriz, causa de la diferencia de potencial, mantenida por la acción química, sostiene esta diferencia, oponiéndose al equilibrio, razón por la cual la corriente se establece de un modo continuo.

Zinc amalgamado.—El zinc del comercio, que no es puro, es atacado por el ácido á circuito abierto, gastándose inútilmente; para evitar este inconveniente, obteniendo al mismo tiempo una corriente más regular, se emplea el *Zinc amalgamado*, es decir, combinado con el Mercurio, que, como el Zinc químicamente puro, sólo es atacado cuando ambos polos están unidos.

Para amalgamar el Zinc, se le limpia perfectamente con Ácido sulfúrico y después se le sumerge en Mercurio, con lo que ambos se combinan en la superficie de aquél. Sácasele después y se le pulimenta frotándole fuertemente con una gamuza.

Polarización.—El *Acido sulfúrico* al atacar al *Zinc* forma *Sulfato de Zinc*, desprendiéndose *Hidrógeno libre*, que, arrastrado por la corriente eléctrica del interior del líquido, va á acumularse sobre el Cobre, constituyendo una capa que debilita la corriente

al cabo de corto tiempo, por la resistencia que opone á su paso. A este fenómeno que presentan muchas pilas (Volta, Wollaston, etc.), se da el nombre de *polarización de las pilas*.

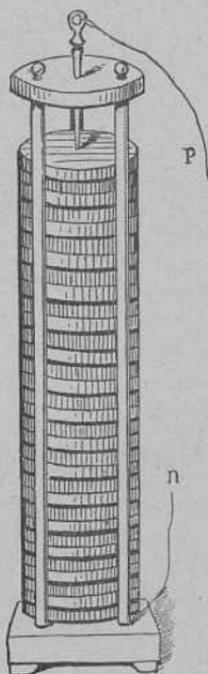


FIGURA 280.—Pila de Volta.

Pila de Volta.—Está constituida por discos de Zinc y Cobre, colocados por pares, unos encima de otros, y separado cada par del siguiente por una roldana de paño mojado en agua acidulada con Acido sulfúrico. Todos los pares forman una pila ó columna, sobre un pie de madera, sostenidos por tres columnitas de vidrio. La pila comienza por un disco de Zinc, con un reóforo n (polo negativo) y termina por un disco de Cobre, con su correspondiente reóforo P (polo positivo).

Pila de artesa.—La pila de Volta, que por otra parte no tiene hoy más que un interés histórico, presenta grandes inconvenientes, entre otras causas por su gran peso, que comprimiendo las roldanas de paño

las deseca prontamente, haciendo escurrir el líquido

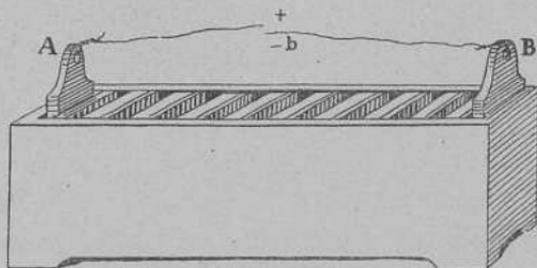


FIGURA 281.—Pila de artesa.

acidulado, lo que pone en comunicación los distintos pares.

Una de sus más primitivas modificaciones fué la *pila de artesa*, en la que los pares están colocados en el interior una caja con compartimentos (figura 281) que contiene agua acidulada.

Pila de Wollaston.—El par voltáico está constituido en esta pila por una delgada y ancha lámina de Cobre, en cuyo interior se halla otra más gruesa de Zinc, separadas ambas por trocitos de madera. Los distintos pares de la

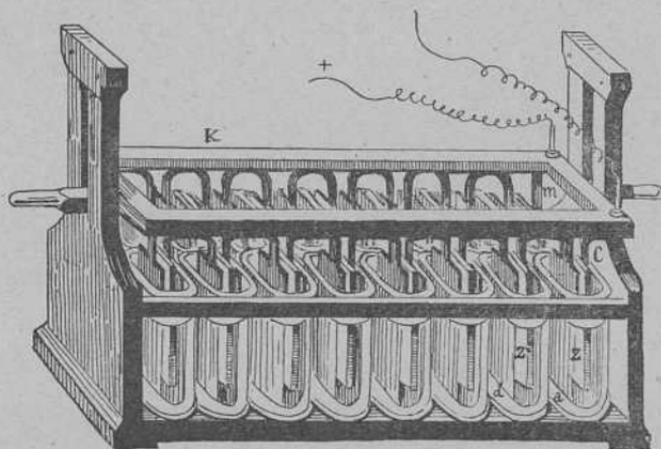


FIGURA 282.—Pila de Wollaston.

pila, reunidos el Zinc de uno con el Cobre del otro, están colgados de un listón de madera, que puede ser levantado ó bajado según convenga, para sacarlos ó introducirlos en los vasos, que los contienen uno á uno.

Estas y otras pilas semejantes tienen grandes desventajas, entre ellas la de que, á medida que la reacción avanza el líquido activo va perdiendo Acido sulfúrico, y con él la producción de electricidad. Pero además estas pilas *se polarizan* rápidamente, por lo que su uso ha decaído por completo.

Pilas de corriente constante.—Para evitar los fenómenos de polarización, que debilitan la corriente eléctrica en las pilas llamadas *de un solo líquido*, se

ha ideado otras *pilas* que producen una *corriente constante*, en las cuales, además de los líquidos activos hay otros cuerpos que actúan como *despolarizantes*.

Describiremos solamente las más principales.

Pila de Daniell.—Consta de un vaso, con agua acidulada con Acido sulfúrico (10 %), en la cual hay sumergida en su mayor parte una ancha lámina arrollada de Zinc (fig. 283).

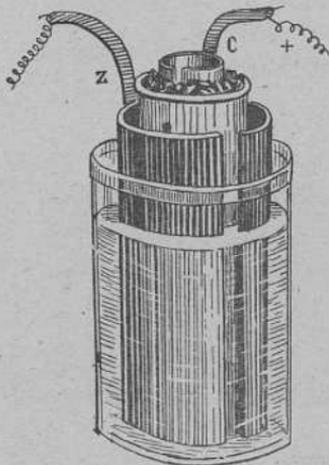


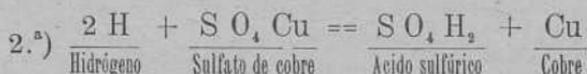
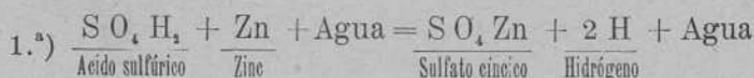
FIGURA 283.—Pila de Daniell.

El Zinc como en todas las pilas es el electrodo negativo. El electrodo positivo es otra lámina, también arrollada, de Cobre, que no está sumergida en el mismo líquido, sino en otro, contenido en un vaso poroso, cilíndrico y estrecho, de *biscocho de porcelana*, que contiene una solución saturada de Sulfato de Cobre. Este vaso se

halla colocado en el primero y bañado exteriormente por el agua acidulada. El Zinc Z, y el Cobre C, llevan una laminita de Cobre cada uno, para recibir la corriente, que han de transportar los reóforos.

Cerrado el circuito, el Acido sulfúrico atacando al Zinc, forma Sulfato de Zinc, dejando Hidrógeno libre. El Hidrógeno, atravesando las paredes del vaso poroso, al dirigirse al Cobre, reduce al Sulfato cúprico, regenerando el Acido sulfúrico gastado, y dejando Cobre libre que se deposita sobre la lámina de Cobre que forma el electrodo positivo. De este modo se

impide la polarización, pues el Hidrógeno no llega á la lámina de Cobre.



Como se ve la cantidad de Acido sulfúrico se mantiene próximamente constante, pero la solución

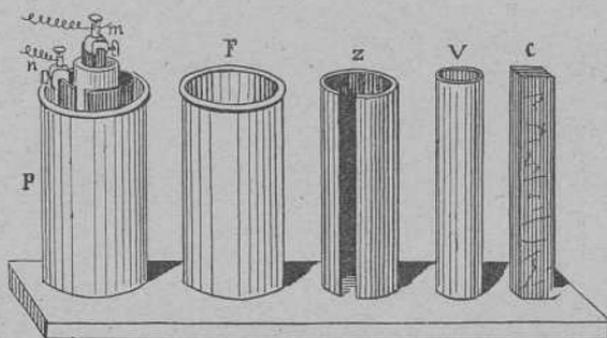


FIGURA 284.—Pila de Bunsen.

P. Pila; F. Vaso; Z. Zinc; V. Vaso poroso; C. Carbon.

de sulfato cúprico se debilitaría sensiblemente si no se tuviera cuidado de añadir gruesos cristales de dicha sal, que van disolviéndose, para mantenerla saturada, á medida que la solución tiende á diluirse.

La pila de Daniell produce una corriente constante y duradera, pero relativamente débil; su fuerza electromotriz es de 1,09 voltios. Usada en Telegrafía.

Las pilas de *Callaud*, *Minotto*, etc., son pilas de Daniell modificadas, con objeto de disminuir la resistencia interior del vaso poroso.

Pila de Bunsen.—Esencialmente se diferencia de la anterior en que el cuerpo despolarizante es el Acido nítrico y en que el Cobre es sustituido por un prisma de *carbón Bunsen*. Ambos están contenidos en un vaso poroso,

colocado en otro vaso con agua acidulada, en la que está sumergida una lámina de Zinc.

El Hidrógeno libre resultante de la acción del Acido sulfúrico sobre el Zinc (1), al dirigirse al Carbón reacciona sobre el Acido nítrico, que le cede Oxígeno, con el que se combina para formar Agua; desprendiéndose, al mismo tiempo vapores nitrosos, muy deletéreos, que son uno de los más graves defectos de esta pila.

La corriente que produce es intensa, su fuerza electromotriz es de 1,8 voltios pero se debilita prontamente, por el gasto de los dos ácidos, que es preciso renovar con cierta frecuencia. Muy usada, al aire libre, en los talleres de Electrotipia y Galvanoplastia.

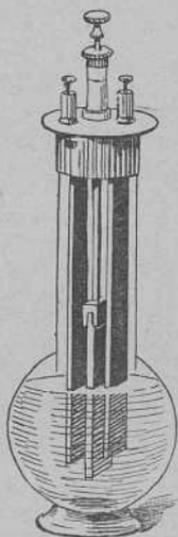


FIGURA 285.
Pila de Grenet.

Pila de Grenet ó de Bicromato potásico.—En esta pila los cuerpos activo y despolarizante son el Acido sulfúrico y el Bicromato potásico. Consta de un recipiente á modo de botella, de ancho cuello (figura 285) que tiene una solución de Bicromato potásico en agua (20 p. en 100) sobre la que se echa después Acido sulfúrico (20 p.) Esta botella está cerrada por una

tapa de *ebonita*, de la que penden interiormente, sumergiéndose en el líquido, dos láminas de carbón Bunsen, que comunican entre sí por una chapa de latón, con un tornillo.

Entre ambas láminas de carbón, pero sin tocarlas, está una de Zinc, de menor tamaño, que, mediante un vástago que sale al exterior, puede ser elevada,

(1) Suprimimos la expresión química de la mayor parte de estas reacciones por no acumular dificultades.

sacándola del líquido, cuando la pila no ha de funcionar. A los tornillos correspondientes al Carbón y al Zinc se adaptan los reóforos.

El Hidrógeno resultante del Acido sulfúrico con el Zinc, reacciona sobre el Bicromato potásico, que le cede parte de su Oxígeno, para formar Agua. El líquido se va transformando poco á poco en Alumbre de Cromo (Sulfato crómico potásico).

Esta pila es de gran intensidad, su fuerza electromotriz es de 2,1 voltios, y muy útil para experiencias de laboratorio y para aquellas industrias que no exijan un trabajo constante.

Pila Leclanché.—La característica de esta pila es el empleo de un despolarizante sólido, una pasta de Bióxido de Manganeso y Carbón de retortas, en granos gruesos. El electrodo positivo es una lámina de carbón rodeada por el despolarizante, y provista de un casquillo de plomo, en la parte superior, al que se aplica el reóforo positivo mediante un tornillo. El líquido activo es una solución de *Sal amoniaco* (*Cloruro amónico*) contenida en un frasco cuadrangular de boca ancha. El electrodo positivo es un cilindrito de Zinc, colocado en un ángulo del frasco.

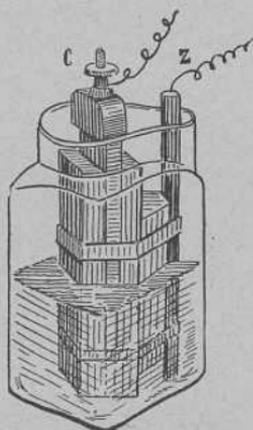


FIGURA 286.—Pila Leclanché.

Cuando el circuito está cerrado el Cloruro amónico y el Zinc reaccionan para formar Cloruro Zincico, Amoniaco que se disuelve en el agua é Hidrógeno libre. Este actúa, á su vez, sobre el Bióxido de Manganeso y toma parte del Oxígeno de éste, formando Agua.

La última reacción no es lo suficientemente rápida para que no se verifique la polarización á circuito cerrado

pero, tan pronto se abre el circuito, la pila se despolariza progresivamente.

Esta pila que es bastante intensa y de larga duración, siendo su fuerza electromotriz de 1,48 voltios, se emplea con grandes ventajas sobre otras en las instalaciones de timbres y teléfonos, en que su uso es intermitente.

No citamos otras pilas, como las de *Sulfato de Mercurio*, de *Cloruro de Sodio*, *pila seca* de Zamboni, etcétera por no hacer prolijo este capítulo.

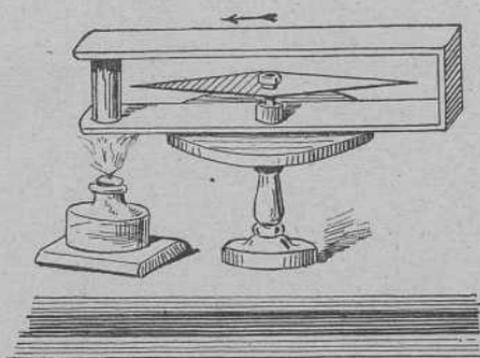


FIGURA 287.—Experiencia de Seebek.

Pilas termoeléctricas. — La electricidad no se produce sólo por el frotamiento y las acciones químicas: las corrientes denominadas *termoeléctricas* son origi-

nadas por la diferencia de temperatura entre dos metales soldados entre sí.

Para demostrarlo puede repetirse la experiencia de Seebek (fig. 287). Una lámina de Cobre, dos veces doblada, forma tres lados de los de un rectángulo, que se completa con una barra de Bismuto, que, soldada á los extremos de aquella, cierra el rectángulo por completo. En el interior de éste hay una aguja imanada, movable. Colocadas las láminas en la dirección del meridiano magnético la aguja queda paralela á éste. Caliéntase ahora con una lamparilla de alcohol una de las soldaduras del Bismuto; inmediatamente la aguja se desvía de su posición de equilibrio, indicándonos el paso de una corriente eléctrica, como veremos más adelante, tanto más intensa cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras.

El tipo más sencillo de pilas termoeléctricas está constituido por una serie de barras de Bismuto y Antimonio, soldadas por sus extremos, en zigzag, como indica la figura 288. Calentando las soldaduras impares y dejando frías las pares se establece una corriente, que aumenta con el número de pares de la pila.

La *pila termoeléctrica de Nobili* está constituida por la asociación de varias pilas de esta clase, separadas entre sí por papel parafinado, y contenidas en un estuche.

Las pilas termoeléctricas, poco intensas, pero constantes, tienen escasas aplicaciones prácticas, pero se las utiliza para experiencias científicas de medida de temperaturas. Las más usadas son las de *Nobili*, el *par de Le Chatelier*, etc.

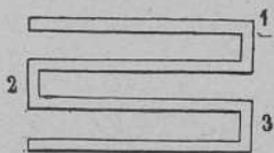
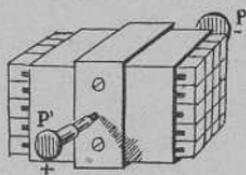


FIGURA 288.—Pila de Nobili.

En la parte inferior esquema de los pares termoeléctricos.

INTENSIDAD DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS

Intensidad.—Es la cantidad de electricidad que pasa por una sección del circuito exterior en un tiempo dado.

Se mide por el *amperio*, que es la unidad práctica de intensidad, equivalente á la *intensidad de una corriente que transporta 1 culombio en 1 segundo*.

La intensidad de una corriente depende principalmente de la *fuerza electromotriz* del generador y de la *resistencia* que los conductores oponen al paso de aquella.

Resistencia.—Es la mayor ó menor oposición que los conductores presentan al paso de la corriente.

Esta resistencia varía con la naturaleza del cuerpo que constituye el conductor, con la longitud de éste y con el área de su sección.

Cada cuerpo posee un coeficiente de resistencia (*resistencia específica*), tanto menor cuanto mayor es su conductibilidad. Así los metales ofrecen una resistencia escasa



comparada con la de los líquidos; y, entre los metales, la Plata y el Cobre, son los de menor resistencia por ser los mejores conductores.

Para un mismo cuerpo conductor, á una mayor longitud corresponde una mayor resistencia, y, por el contrario, una mayor área de sección del hilo conductor es causa de una resistencia menor.

La unidad de resistencia eléctrica es el *ohmio*, ó sea la resistencia que ofrece al paso de la electricidad una columna cilíndrica de Mercurio de 106 centímetros de longitud por 1 milímetro cuadrado de sección á la temperatura de 0°.

Ley de Ohm.—Hemos dicho que la intensidad de una pila depende de su fuerza electromotriz y de la resistencia

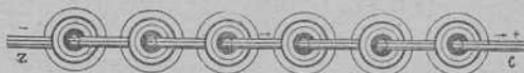


FIGURA 289.—Asociación de elementos en serie.

del circuito al paso de la corriente; así para una misma fuerza electromotriz la intensidad aumenta cuando la resistencia disminuye y viceversa; y, para una misma resistencia dada, la intensidad es proporcional á la fuerza electromotriz.

Ohm formuló estas variaciones diciendo, que: *la intensidad de una corriente, que no produce ningún efecto químico ni mecánico exterior, es igual al cociente que resulta de dividir la fuerza electromotriz por la resistencia total del circuito.*

Asociación de los elementos de pila.—La mayor resistencia en el circuito de una pila es la que opone el líquido de la misma, pero esta puede ser disminuída aumentando la superficie de los electrodos y disminuyendo la distancia entre ellos, según demuestra la experiencia, obteniéndose por lo tanto una corriente de mayor intensidad.

Con este objeto, cuando se dispone de varios elementos de pila, se los asocia, de modo distinto según el efecto que se busca. Los dos modos de asociación principales son: *en serie ó tensión y en batería ó cantidad*, empleándose á veces la *asociación mixta*.

La *asociación en serie* se obtiene uniendo, mediante una chapa ó hilo metálico, el polo positivo del primer elemento con el negativo del segundo, el positivo de éste con el negativo del tercero, y así sucesivamente, quedando libres solamente el polo negativo del primer elemento y el positivo del último.

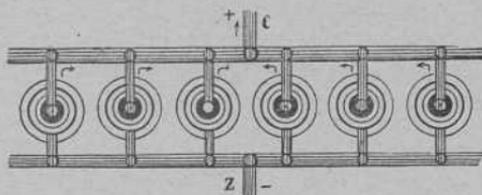


FIGURA 290.—Asociación de elementos en batería.

Este modo de asociación no tiene ventajas más que cuando la resistencia exterior es grande en relación con la interior, en Telegrafía por ejemplo.

La *asociación en batería ó en cantidad* se verifica reuniendo entre sí todos los polos positivos de todos los elementos y, de la misma manera, entre sí también todos los polos negativos. De esta manera viene á constituirse un solo elemento cuyos electrodos tienen una superficie igual á la suma de las superficies de todos los electrodos de los elementos reunidos, por lo que resulta que para la misma fuerza electromotriz la resistencia es tantas veces menor como elementos aislados la constituyen.

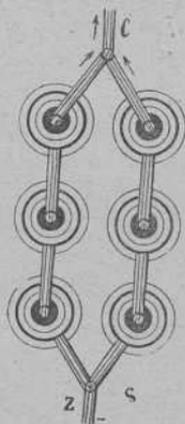


FIGURA 291.
Asociación mixta.

Este sistema tiene grandes ventajas cuando el circuito exterior presenta una débil resistencia, en Galvanoplastia, por ejemplo.

En la *asociación mixta*, como lo indica su nombre, varios elementos están agrupados en serie y todas estas series están después reunidas en batería.

ELECTROLISIS

Descomposiciones químicas originadas por las corrientes.—El paso de la corriente eléctrica á través de los líquidos conductores, ácidos, bases y sales, disueltos ó fundidos, provoca una descomposición que ha recibido el nombre de *electrolisis*. *Electrólito* es la sustancia descompuesta. Las superficies

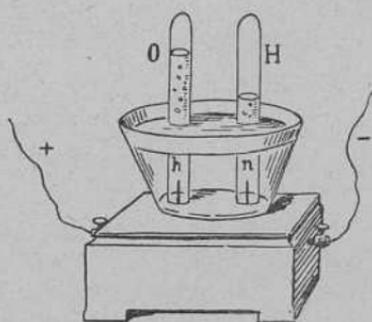


FIGURA 292.—Voltámetro.

de las láminas ó alambres que sumergidas en el líquido hacen pasar la corriente por él, son los *electrodos*: *electrodo positivo* ó *ánodo*, el que está unido al polo positivo del generador, *electrodo negativo* ó *cátodo*, el que lo está al polo negativo.

Los productos resultantes de la descomposición electrolítica son denominados *iones*: *aniones*, que se dirigen al ánodo y *cationes* que lo hacen al cátodo. Su aparición se verifica siempre sobre los electrodos, y jamás en el líquido que no los rodea directamente.

Electrolisis del agua.—Se verifica con un aparato denominado *Voltámetro*. Es un vaso de vidrio por cuyo fondo penetran dos alambres aislados de Platino. En el vaso se pone agua acidulada con Acido sulfúrico, y sobre cada alambre una campanita de vidrio llena de agua también acidulada. En estas condiciones se hace comunicar los dos alambres de Platino con los polos de una pila (dos ó tres elementos

Bunsen ó Grenet, por ejemplo). En la superficie de los alambres de Platino comienzan en seguida á formarse burbujas gaseosas, que, al desprenderse, se acumulan en la parte superior de las campanas.

El agua, formada por 2 volúmenes de Hidrógeno y 1 de Oxígeno, H_2O , ha sido descompuesta en sus elementos, acumulándose el Hidrógeno (catión) en la campana del cátodo, donde ocupa un volumen *doble* que el del Oxígeno (anión) que se halla en la campana del ánodo.

En verdad, en esta experiencia no es el agua la que se descompone, sino el ácido, que antes se creía no desempeñaba otro papel que el de hacer conductora á aquella. El Acido sulfúrico $SO_4 H_2$ por la acción de la corriente eléctrica se descompone en Hidrógeno $2H$ que se desprende en el cátodo y en el residuo halogénico SO_4 . Pero SO_4 no puede existir al estado libre y, reaccionando sobre el agua, regenera el Acido sulfúrico y desprende Oxígeno en el ánodo: $SO_4 + H_2O = SO_4 H_2 + O$.

Electrolisis de los ácidos y de las bases.—Se verifica por reacciones semejantes á las que acabamos de describir.

La electrolisis de la *Potasa cáustica*, verificada por primera vez por Davy en 1807, fué el punto de partida para el descubrimiento de los metales alcalinos y alcalino-térreos. Sobre una lámina de Platino (*ánodo*) en comunicación con el polo positivo de una pila se coloca un pedazo de Potasa cáustica (KOH) humedecido, en comunicación, á su vez, con el polo negativo de aquella. Al paso de la corriente vése al rededor del cátodo globulitos brillantes, que se inflaman inmediatamente, al combinarse con el Oxígeno del aire. Para recoger el metal se excava en la Potasa una pequeña cavidad donde se pone Mercurio; al quedar libre el Potasio por la acción de la corriente, se une al Mercurio, constituyendo una amalgama de Potasio, de la que se le puede separar por destilación.

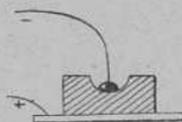


FIGURA 293.
Electrolisis
de la Potasa
cáustica.

Electrolisis de las sales.—**CON UN ÁNODO INSO-**
LUBLE.—Tomemos como ejemplo una solución satu-
 rada de Sulfato de cobre ($\text{SO}_4 \text{Cu}$) contenida en un
 tubo en U ó en un vaso, en el cual se sumergen dos
 alambres ó láminas de Platino, electrodos sobre los
 cuales no tiene acción alguna el electrólito. Puestos

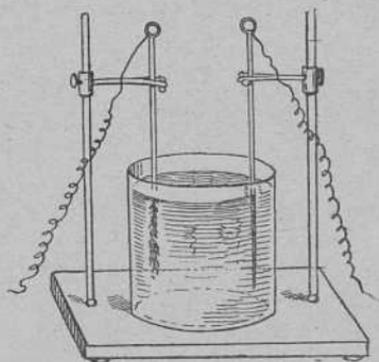


FIGURA 294.—**Electrolisis del**
Sulfato de Cobre.

en comunicación, uno
 de ellos (*ánodo*) con
 el polo positivo de una
 pila y el otro (*cátodo*)
 con el negativo, se
 establece la corriente,
 y á su paso la descom-
 posición de la sal co-
 mienza; el cátodo se
 recubre de un depósi-
 to rojizo de cobre me-
 tállico; el residuo halo-
 génico SO_4 se dirige
 al ánodo, donde, ac-
 tuando sobre el agua, forma Acido sulfúrico, con des-
 prendimiento de Oxígeno. $\text{SO}_4 + \text{H}_2 \text{O} = \text{SO}_4 \text{H}_2 + \text{O}$.

Esta formación de Acido sulfúrico puede ser puesta en
 evidencia por el color rojo que tomaría la tintura de tor-
 nasol, si se hubiera añadido de antemano.

CON UN ÁNODO SOLUBLE.—Hasta ahora hemos em-
 pleado ánodo y cátodo de una sustancia incapaz de
 reaccionar con los productos de la descomposición.
 Descompongamos ahora, por la corriente, una solu-
 ción de Sulfato de Cobre, empleando un electrodo
 positivo de Cobre también. Las reacciones se verifi-
 can como acabamos de explicar, pero el Acido sulfú-
 rico regenerado actúa sobre el ánodo de Cobre, le
 ataca, y forma nuevo Sulfato de Cobre, manteniendo

constante, de este modo, la concentración del líquido. Es decir que, el ánodo cede una cantidad de Cobre igual á la depositada sobre el cátodo.

La *Galvanoplastia* es una feliz aplicación á las artes de la electrolisis de las sales metálicas con el empleo de un ánodo soluble.

Ley cualitativa de la electrolisis.—De los ejemplos anteriores deducimos que: *en las descomposiciones electrolíticas de los ácidos, bases y sales el Hidrógeno básico ó el metal se dirige siempre al cátodo y el resto de la molécula al ánodo.*

A veces, aunque sólo de un modo aparente, parece no ser así, por producirse ciertas acciones secundarias.

Supongamos que en un tubo en U, sometemos á la acción de la corriente una solución de Sulfato sódico ($\text{SO}_4 \text{Na}_2$). La descomposición se verifica como siempre ($\text{SO}_4 \text{Na}_2 = 2 \text{Na} + \text{SO}_4$); el metal Sódio se dirige al cátodo, pero, no pudiendo permanecer al estado libre, en presencia del agua, se combina inmediatamente con ella ($2 \text{Na} + 2 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{Na O H} + 2 \text{H}$), dejando Hidrógeno en libertad. A su vez el ión S O_4 se combina con el agua ($\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_4 \text{H}_2 + \text{O}$) para formar Acido sulfúrico y Oxígeno libre.

Para hacer patentes estas reacciones conviene teñir la solución con tintura de violetas, la cual en la rama negativa del tubo se enverdece por la acción de la Sosa cáustica formada, y en la rama positiva se enrojece.

Elementos electropositivos y electronegativos.—Los elementos químicos que en la electrolisis se dirigen al electrodo positivo se denominan *electronegativos*, los que van al electrodo negativo se llaman *electropositivos*. Esta propiedad no es, sin embargo, absoluta, pues un elemento químico puede ser electropositivo ó electronegativo en relación con cuerpos distintos; así, por ejemplo el Azufre, es electro positivo con relación al Oxígeno y electronegativo respecto de un metal.

Leyes de Faraday.—1.^a *La cantidad de electrólito descompuesto por una corriente en un tiempo dado, es proporcional á la intensidad de la corriente.*

Si hacemos pasar una misma corriente por varios voltímetros, de distinto tamaño y forma, con agua acidulada, la cantidad de Hidrógeno recogida es igual en todos ellos.

De la experiencia anterior se deduce que: *la intensidad de la corriente es igual en todos los puntos del circuito; y que, la cantidad de Hidrógeno producida en un tiempo dado en el voltímetro puede servir para determinar dicha intensidad.* De aquí el nombre de voltímetro.

La unidad de medida de cantidad de electricidad, el *culombio*, puede definirse ahora prácticamente diciendo que es la cantidad de electricidad que en un voltímetro pone en libertad 0 mgr. 0103 de Hidrógeno.

La unidad de medida de intensidad, *el amperio*, es la intensidad de una corriente que produce esta acción en un segundo.

2.^a *Los pesos de los elementos separados en varios electrolitos, por la acción de una misma corriente en igual tiempo, son proporcionales á sus equivalentes químicos.* Los números que los representan son sus equivalentes electroquímicos, los cuales son iguales al peso atómico del metal, si éste es monovalente, ó á la mitad del peso atómico si es bivalente, etc.

Si hacemos pasar una misma corriente por varios voltímetros, uno con Agua, el segundo con una solución de Sulfato de Cobre, el tercero con otra de Nitrato de Plata, etcétera, etc., interpuestos en el circuito de una pila, tendremos que por 1 gramo de Hidrógeno puesto en libertad, lo han sido 31,5 de Cobre, 108 de Plata, etc. El número 108 es el peso atómico de la Plata (monovalente), el 31,5 es la mitad del peso atómico del Cobre (bivalente); ambos son sus respectivos equivalentes electroquímicos.

APLICACIONES DE LA ELECTROLISIS

Galvanoplastia.—La *Galvanoplastia*, descubierta casi simultáneamente en 1836 por Jacobi en Rusia y Spencer en Inglaterra, es el arte de moldear los metales precipitándoles de sus disoluciones salinas sobre un molde adecuado, mediante la corriente eléctrica.

Está fundado este arte, en que la corriente al atravesar una solución de una sal metálica la descompone, y el metal precipitado se deposita sobre el electrodo negativo formando una capa que se acomoda exacta y finamente al relieve de la lámina ú objeto que lo constituye.

Si el electrodo negativo es un molde de un objeto el depósito ó capa formados por el metal, que debe separarse fácilmente del molde, reproduce á dicho

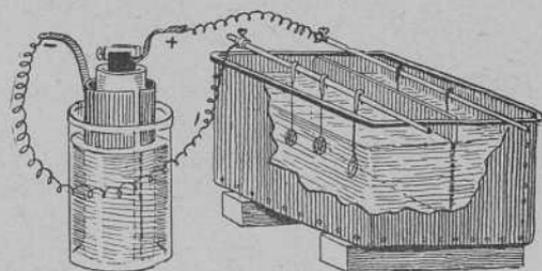


FIGURA 295.—Cubeta galvanoplástica.

objeto (*Galvanoplastia propiamente dicha*). A veces se busca el recubrir el objeto con un metal, el cual ha de formar entonces un depósito adherente, (*Metalización; Dorado, Plateado, Niquelado galvánicos*).

Aparatos empleados.—Los generadores empleados son las pilas hidroeléctricas (Daniell, Bunsen, etc.), los acumuladores ó las máquinas dinamoeléctricas.

La cuba galvanoplástica es una cubeta rectangular de forma adecuada al trabajo á que se la dedica.

En ella se pone la solución de la sal (Sulfato de Cobre, por lo común) cuyo metal ha de ser precipitado. Sobre los bordes de la cubeta descansan dos varillas de latón, en comunicación, una de ellas con el polo positivo del generador, la otra con el negativo. De esta se cuelga, quedando sumergidos, los objetos que han de metalizarse ó los moldes, que hacen el oficio de cátodo; de la varilla positiva pende

una lámina del metal de la sal (Cobre) que es el ánodo. Por esta disposición, al precipitarse el metal de la sal, por la corriente eléctrica, el ánodo soluble lo restituirá en cantidad igual, manteniendo constante la concentración del electrólito.

Galvanoplástia propiamente dicha.—Cuando se trata de reproducir un objeto, una medalla, por ejemplo, se comienza por preparar un molde negativo del objeto, es decir, un molde cuyos relieves estén invertidos con relación á los de aquel. La sustancia que lo constituye debe adaptarse bien á los menores detalles del objeto, no adherirse á él y conservarse después dura é inalterable en el baño.



FIGURA 296. — Molde galvanoplástico.

Entre las muchas sustancias empleadas (*Yeso, Estearina, etcétera*) la más usada es la *Gutapercha*, ya sola, ya mezclada con cortas proporciones de otras materias (sebo, cera, aceite de linaza, etc.). El molde se obtiene aplicándola sobre el objeto, ya ablandada por el calor ó fundida con aceite de linaza, habiendo tenido cuidado de untar aquél con una ligera capa de

aceite ó jabón blando para evitar la adherencia..

Obtenido el molde se procede á hacerle conductor, recubriéndole con una capa de *Plombagina (Grafito)* extendida con un cepillito fino.

Metalizado el molde de esta manera se le suspende de la varilla negativa por medio de alambres de cobre ó de latón, que comuniquen bien con la superficie metalizada, sumergiéndole después en el baño de Sulfato de Cobre, adicionado de un poco de Acido sulfúrico. En la otra varilla se cuelga, también por medio de alambres conductores, la lámina de Cobre, que debe contener una mayor cantidad que la que se ha de depositar de la sal.

Se establece la corriente; débilmente al principio, más intensa después: el depósito galvánico comienza á formarse poco á poco, finamente, con reproducción exacta de

los detalles del molde, hasta que obtenida una capa del espesor, solidez y resistencia necesarios, se la saca del baño, se la separa del molde y se la lava abundantemente.

En la generalidad de los casos se emplea *aparatos sencillos* que son más prácticos en muchas ocasiones. En un vaso de vidrio, que contiene solución saturada de Sulfato cúprico, se coloca un vaso poroso, en cuyo interior hay una lámina de Zinc, que ha de ser bañada al ponerse en funcionamiento, por una débil solución de Acido sulfúrico en agua. La lámina de Zinc sobresale un poco y sobre ella hay dos varillas de latón, cruzadas, de las que penden los moldes, los cuales quedan sumergidos en la solución salina que contiene el vaso de vidrio.

Como se ve, el aparato no es más que una pila Daniell, al revés, en la que los moldes desempeñan el papel de la lámina de Cobre de aquella pila. Para que la solución cúprica no se debilite poco á poco se sumerge en ella un saquito conteniendo cristales de Sulfato de cobre.

Metalización de los objetos.—Consiste en el depósito de capas metálicas adherentes y finas de un metal, inoxidable ó de aspecto más bello, sobre la superficie de otro metal ó de un objeto conductor. Las más importantes aplicaciones de estos *depósitos adherentes* son el *Dorado*, *Plateado* y *Niquelado galvánicos*.

Para que la adherencia del depósito galvánico sea perfecta, es indispensable que el objeto que lo ha de recibir esté completamente limpio, sin óxido alguno y bien desengrasado. Con este objeto úsase varios procedimientos, según la naturaleza del objeto. Para uno de Cobre, por ejemplo, las operaciones son: destrucción de las materias orgánicas por el calor, desengrasado en una solución de Potasa hirviendo, disolución del óxido que se haya podido formar, por inmersión del objeto en agua acidulada con Acido sulfúrico, nueva y corta inmersión en Acido nítrico y lavado abundante. En estas condiciones llévase al baño apropiado, según el metal que lo ha de recubrir, y se le coloca colgando de la varilla negativa de la cubeta.

Para el *Plateado galvánico*, se emplea un baño de Cianuro de Plata y de Potasio. El electrodo soluble es una lámina de Plata fina.

En el *Dorado galvánico*, el baño está esencialmente formado por Cianuro de Oro y de Potasio. El ánodo soluble es una lámina de Oro. El baño debe mantenerse á una temperatura constante de unos 70°.

Si el objeto que se trata de dorar ó platear no es de Cobre, por ej. de Zinc, Plomo, Hierro, Estaño, etc., es preciso cubrirlo primero de un depósito de Cobre, procediéndose después á su dorado ó plateado.

El *Niquelado galvánico* se hace en un baño de Sulfato de Niquel y Amoniaco. El electrodo positivo ó ánodo soluble es una lámina de Niquel puro.

Para el *Cobreado galvánico* se usa un baño más complejo que en Galvanoplastia, pues el Zinc, Hierro, etcétera, son atacados por el Acido sulfúrico. Se compone aquel baño principalmente de Cianuro cúprico potásico ó de soluciones neutras ó alcalinas de Tartrato ó de Oxalato de Cobre.

Cuando se trata de cobrear objetos de gran tamaño, una estatua de fundición por ej. el procedimiento anterior sería muy caro, por lo que se emplea la solución de Sulfato de Cobre; pero entonces es preciso cubrir de antemano las piezas con un barniz inatacable por los ácidos, metalizarlas después con la plumbagina y proceder en seguida á obtener el depósito galvánico.

Aplicaciones industriales de la galvanoplastia y de la metalización de los objetos.—Estas aplicaciones son innumerables. Por la *galvanoplastia* se hacen reproducciones bellísimas de objetos artísticos, relieves, estatuas, medallones, etc., con notable economía sobre los demás procedimientos. Por ella se puede obtener gran cantidad de copias, de un grabado en madera ó cobre, que no se quiere someter al deterioro de la tirada (*Galvanotipia*).

El *Dorado y Plateado galvánicos* han sustituido á los antiguos y malsanos procedimientos de dorado y plateado á fuego; su principal objeto es dar mayor belleza á objetos de ornamentación, ó hacer inofensivos ó inatacables por el aire á ciertos utensilios de uso diario, etc.

Ventajas parecidas se obtiene del *Niquelado y Cobreado*. Aquel por su hermoso color, pulimento é inalterabilidad es empleado en recubrir piezas de máquinas, ó de aparatos distintos á los que se quiere preservar de la oxidación. El cobreado se destina principalmente á cubrir objetos

artísticos, como candelabros, estatuas, etc., de fundición, á veces de colosales proporciones.

Otras aplicaciones de la electrolisis.—Para el dosado de los metales de sus minerales, Cobre y Oro principalmente, se utiliza procedimientos electrolíticos con grandes ventajas sobre los procedimientos químicos. La afinación de los metales Cobre, Niquel, etc., la obtención de la Plata de los plomos argentíferos, la del Oro (por cianuración), de sus minerales, la del Aluminio, etc., por electrolisis, constituyen procedimientos industriales, importantísimos hoy, de beneficio de los metales (*Electrometalurgia*). Por la acción de la corriente eléctrica se obtienen hoy en la Industria, el Cloro, los Hipocloritos, la Sosa cáustica, los Cloratos, etc., etc.

CORRIENTES SECUNDARIAS.—ACUMULADORES.

Corrientes secundarias.—Electrolicemos el agua acidulada por medio de dos láminas de Platino, unidas cada una á un polo de una pila. Al paso de la corriente se desprende Oxígeno é Hidrógeno, pero los dos electrodos quedan *polarizados* al cabo de cierto tiempo, por haber absorbido respectivamente Hidrógeno y Oxígeno. Si retirada la pila y levantada la comunicación con ella, unimos entre sí los dos electrodos, mediante un alambre de Platino, se produce una corriente inversa, *corriente secundaria*, debida á la recombinación de aquellos elementos.

La corriente inicial, *primaria*, provocó una reacción química; al cesar la corriente, la reacción inversa produjo una corriente eléctrica, *secundaria*, igual en cantidad á la de la corriente primaria.

Acumuladores.—Fundándose en estos hechos se construye los aparatos denominados *acumuladores* ó *pilas secundarias*, que tienen por objeto almacenar la energía que reciben para devolverla después en forma de corriente, en el momento que se necesite.

El tipo primitivo es el *acumulador Planté*. Los electrodos son dos láminas de Plomo, arrolladas en espiral y separadas una de otra por trozos de madera barnizada ó caucho; ambos están sumergidos en agua acidulada con

Acido sulfúrico al 10 %. Unidos, cada uno á un polo de un generador eléctrico, el paso de la corriente determina la formación de Oxígeno, que actúa sobre el Plomo positivo, formando Bióxido de Plomo, y de Hidrógeno que se acumula en el Plomo negativo, polarizándose los electrodos.

Cuando el aparato ha sido así *cargado*, lo que se nota por

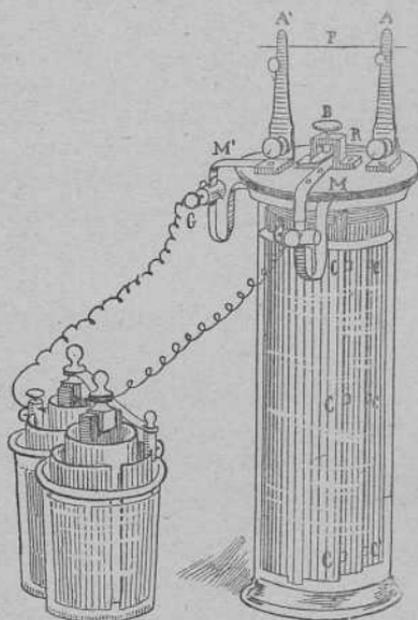


FIGURA 297.—Acumulador Plante.

un abundante desprendimiento de burbujas gaseosas, se levanta la comunicación con la pila. Si reunimos ahora los dos polos del acumulador, por un alambre, pasará por él una corriente inversa con relación á la corriente primaria, debida á la reducción del Bióxido de Plomo por el Hidrógeno, el cual se recombina con el Oxígeno, dejando en libertad Plomo metálico, es decir, por producirse fenómenos inversos á los acaecidos con el paso de la corriente primera.

Para obtener el mayor rendimiento posible es preciso primera-

mente, *formar* el acumulador. Esto se consigue cargándole y descargándole repetidas veces, é invirtiendo, por intervalos sucesivos el sentido de la corriente durante la carga. De este modo se logra peroxidar la lámina positiva y reducir la lámina negativa lo más profundamente posible, lo que facilita las acciones posteriores.

Para favorecer la rápida formación del acumulador, Faure recubrió la lámina de Plomo con una capa de *Minio*, y hoy se les da, por lo común, una forma enrejada para que presenten una gran superficie de oxidación.

En todos los modelos industriales *Faure, Valls, Tudor*, etcétera, etc., derivados fundamentalmente del de Planté,

se ha buscado con más ó menos éxito reunir las siguientes condiciones: 1.º *Poco volumen y peso, gran acumulación de electricidad y débil resistencia*; 2.º *Conservación de la carga durante mucho tiempo*; 3.º *Devolución, en el grado posible, de toda la energía acumulada*.

Aunque á pesar de los grandes progresos realizados no se ha conseguido todavía el tipo ideal de acumulador, los existentes prestan, sin embargo, muy útiles servicios en la tracción, galvanoplastia, alumbrado, como generadores de corrientes ó reguladores de las mismas, etc., etc.

Electromagnetismo.

Electromagnetismo.—Es la parte de la *Electricidad* que estudia las acciones mútuas de las corrientes entre sí, y de las corrientes y los imanes.

En esta parte estudiaremos: 1.º las propiedades de los imanes: *Magnetismo*; 2.º las acciones de las corrientes eléctricas sobre los imanes y viceversa: *Electromagnetismo* y 3.º las acciones de las corrientes sobre las corrientes: *Electrodinámica*.

MAGNETISMO

Imanes naturales y artificiales.—Algunos ejemplares de *Oxido ferrosférico* ú *Oxido magnético* ($\text{Fe}_3 \text{O}_4$) presentan la propiedad llamada *Magnetismo* de atraer al Hierro, conociéndoseles con el nombre de *imanes naturales* ó *pedra imán*.

Estos imanes pueden comunicar al Acero templado esta propiedad atractiva, con lo que adquiere idénticas condiciones, quedando convertido en un verdadero *imán artificial*. En la práctica son casi exclusivamente empleados los imanes artificiales por su imanación más regular é intensa.

Cuerpos magnéticos son los que obedecen á la acción de los imanes, como el Hierro, Niquel, Cobalto, etc., aunque en realidad todos los cuerpos son magnéticos por la acción de imanes poderosos. *Cuerpos diamagnéticos* son aquellos que, como el *Bismuto*, el *Plomo*, el *Azufre*, el *Cobre*, el *Carbón*, etc., no son atraídos como la limadura de hierro, sino rechazados al acercarlos á un polo de un imán. Estos

cuerpos, sin embargo, no dejan por eso de ser magnéticos.

Polos y línea neutra.—La fuerza atractiva de un imán se ejerce con mayor energía en sus extremos, *polos del imán*, siendo nula en el centro, *línea neutra*.

Para demostrarlo echemos sobre un imán limaduras de hierro; en los extremos ó polos se acumula la lima-

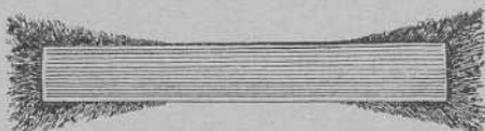


FIGURA 298.—Polos y línea neutra.

dura á modo de penachos, apareciendo desprovisto de ellas el centro ó línea neutra.

La dirección en que obra el imán se demuestra aún más claramente, colocando sobre un imán una cartulina y dejando caer desde cierta altura, á través de un tamíz, una fina lluvia de limaduras de hierro; éstas se agrupan, como indica la figura 299, formando líneas arqueadas di-

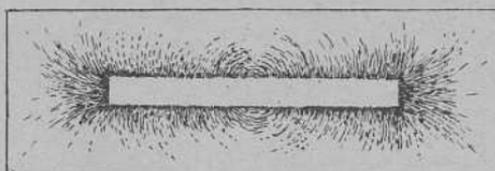


FIGURA 299.—Espectro magnético.

vergentes, (*líneas de fuerza*), que muestran aproximadamente la dirección en que obra el imán. La figura así obtenida se denomina *espectro magnético*.

En algunos imanes se observa pequeños centros de atracción, independientes de los polos, á los que se denomina *puntos consecuentes*.

Acción de la Tierra sobre los imanes. Aguja imanada.—La *aguja magnética* es un rombo A B



muy alargado, de acero imanado, sostenido horizontalmente en equilibrio en la punta de un estilete, sobre la cual puede girar con facilidad.

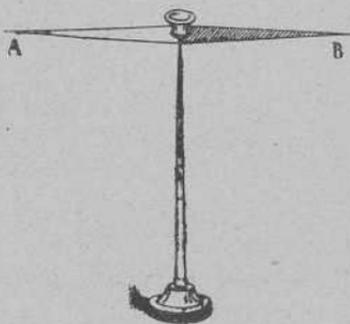


FIGURA 300.—Aguja imantada.

Abandonada á sí misma, toma, después de varias oscilaciones, una posición fija que es, aproximadamente, la de Norte á Sur. La parte de la aguja que mira hacia el Norte se denomina *polo Norte* de la aguja (1), la opuesta se llama *polo Sur*.

Un imán cualquiera, que pudiese girar libremente, tomaría del mismo modo la indicada posición Norte Sur; esto nos prueba que la Tierra ejerce una acción sobre los imanes que los obliga á orientarse en tal sentido.

Pero esta acción de la Tierra es meramente directriz; pues si colocamos la aguja sobre un corcho, y éste en agua tranquila, la aguja oscila, se orienta, pero no camina hacia el Norte ni hacia el Sur.

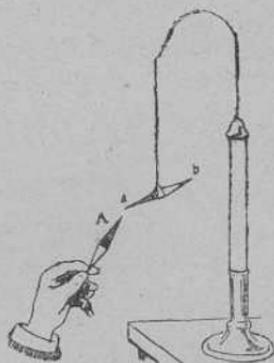


FIGURA 301.—Acciones mutuas de los polos.

Acciones mútuas de los polos.—En los imanes *los polos de nombre contrario se atraen, los del mismo nombre se repelen.*

(1) Para diferenciarlos los constructores dan un tinte azulado á la mitad norte de la aguja.

Efectivamente, si acercamos al polo Norte de una aguja imanada el polo Sur de un imán, se observa una rápida atracción, pero si acercamos el polo Norte se manifiesta una viva repulsión. Del mismo modo el polo Sur sería atraído por el Norte del imán y rechazado por el polo Sur.

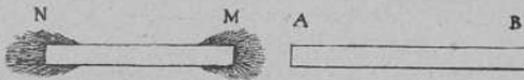


FIGURA 302.—Imanación por influencia.

Estas atracciones y repulsiones magnéticas se ejercen en razón inversa del cuadrado de las distancias.

Campo magnético.—Es el espacio al rededor del polo, que se considera, de un imán en el cual es prácticamente sensible su influencia magnética.

Imanación por influencia.—Colocando una barra N M de Hierro dulce á corta distancia de un imán A B, por la *influencia* de éste, se imana, es decir, adquiere las propiedades de un verdadero imán, como puede demostrarse por la limadura de hierro ó acercando los polos de una aguja imanada á los de la barra de Hierro, que mostrará las atracciones ó repulsiones correspondientes.

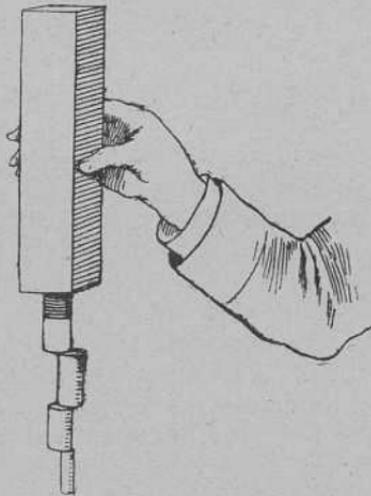


FIGURA 303.—Imanación por influencia.

Las limaduras de hierro se adhieren unas á otras, cuando se las proyecta sobre un imán, por imanarse unas á otras por influencia.

Si la distancia es muy corta y la barrita pequeña, ésta es atraída por el imán; si ahora acercamos á la primera una segunda barrita, ésta es atraída por aquella, y la segunda ejercerá á su vez una atracción sobre una tercera, etc.

Esto es debido á que la primera barrita fué imanada por influencia por el imán, la segunda por la primera, la tercera por la segunda y así sucesivamente (figura 303).

Pero si separamos ahora el imán, las barras se desunen, por perder todas sus propiedades magnéticas, lo que nos demuestra que *la imanación por influencia no es permanente en el Hierro dulce.*

Por el contrario, en el Acero templado, la imanación por influencia ó inducción es muy lenta, pero una vez imanado, las propiedades magnéticas persisten aunque se separe el imán. A esta oposición del Acero, á su imanación y desimanación por influencia se da el nombre de *fuerza coercitiva*. Llámase *magnetismo remanente* al que permanece en los cuerpos después de la imanación.

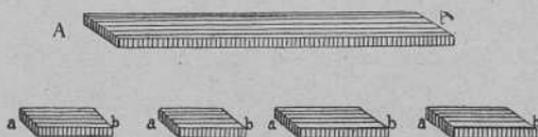


FIGURA 304.—Experiencia de los imanes rotos.

Hipótesis sobre la naturaleza del magnetismo.—Desconócese aún la naturaleza del magnetismo. Admitiase antes que era debido á la existencia de dos fluidos magnéticos que obraban por repulsión entre sus moléculas del mismo nombre, por atracción entre las de nombre contrario. El magnetismo se considera hoy como modo de manifestarse de las corrientes eléctricas, pero para el estudio se usa todavía de las denominaciones de los fluidos, *austral ó norte* y *boreal ó sur*, para facilitar la comprensión de los fenómenos magnéticos.

Constitución de los imanes.—**Experiencia de los imanes rotos.**—Tomemos una aguja de las de hacer media, imanada de antemano; si la rompemos por el centro, cada uno de los dos pedazos queda convertido en un imán cuyos polos se hallan en sus respectivos extremos y sus líneas neutras en sus centros. Si cada uno de estos pedazos es roto en la misma forma, los nuevos trozos son otros tantos imanes, con los caracteres propios del primero, y si continuamos la división, al mayor extremo posible, iremos

constituyendo un imán de cada pedazo, por insignificante que sea.

Dedúcese de aquí que cada molécula de un imán es un imán completo, elemental, cuyos polos están opuestos á los de las moléculas inmediatas, por lo que sus acciones contrarias se anulan, manifestándose solamente en los extremos, donde hay magnetismo libre.

Procedimientos de imanación.—Los imanes artificiales son todos de Acero, por la persistencia de su imanación, que aumenta con el temple.

La imanación puede verificarse *por la acción de los imanes, por la de la Tierra, ó por la de las corrientes eléctricas.*

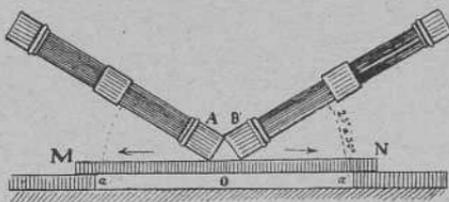


FIGURA 305.—Imanación por contacto separado.

Por el momento sólo nos ocuparemos de la imanación por medio de los imanes, la cual se obtiene frotando la barra de acero que se quiere imanar, con otro imán.

PROCEDIMIENTO DEL SIMPLE CONTACTO.—La barra que se quiere imanar es frotada con un imán *siempre en el mismo sentido* y varias veces.

La frotación se verifica partiendo de un extremo hasta el otro, aquí se levanta el imán, se apoya otra vez en el punto de partida y se repite la primera frotación, pero sin volver en sentido contrario. En el extremo por donde se comienza la frotación se origina un polo de igual nombre al del contacto del imán, el extremo opuesto adquiere magnetismo contrario. La imanación por este procedimiento es débil.

PROCEDIMIENTO DEL CONTACTO SEPARADO.—Consiste en frotar la barra de acero, con los polos opuestos de dos imanes partiendo á la vez, desde el centro, cada uno, hacia un extremo.

Se favorece la imanación de la barra colocándola apoyada por sus extremos en los polos contrarios de dos imanes vigorosos a y a'; los polos de los imanes que frotan hacia cada extremo deben ser del mismo nombre que los que sostienen la barra. En ésta se produce después de la imanación un polo Sur en la parte frotada por el polo Norte del imán y un polo opuesto en la contraria.

La imanación por este procedimiento es más rápida y enérgica que por el anterior.

PROCEDIMIENTO DEL DOBLE CONTACTO.—Produce una imanación más regular y enérgica. Dispuesta la barra sobre los polos opuestos de dos imanes, como en el método anterior, se coloca en su centro los polos opuestos de dos imanes, invariablemente unidos,

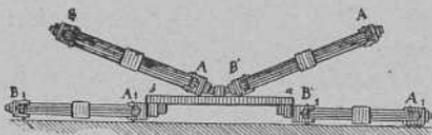


FIGURA 306.—Imanación por doble contacto.

pero separados por una cuñita de madera. La frotación se verifica llevándolos, primero hacia un extremo, partiendo del centro, después, sin levantarlos, hasta el extremo opuesto, y así sucesivamente hasta terminar en el punto de partida, de modo que las dos mitades hayan sido frotadas el mismo número de veces.

IMANACIÓN A SATURACIÓN.—Sea cualquiera el procedimiento empleado, en los primeros momentos siguientes, la imanación de un imán artificial disminuye progresivamente, hasta un punto en que su magnetismo permanece constante. Entonces *el imán está imanado a saturación*.

Formas de los imanes.—La imanación de una barra es proporcional á su superficie, por eso en la preparación de imanes artificiales se emplea láminas de acero (*hojas de sierra*).

Los *haces magnéticos* están formados por varias de estas láminas imanadas por separado, yuxtapuestas después, de modo que se hallen al mismo lado los polos del mismo nombre y sujetas por piezas de hierro dulce (*piezas polares*).

Estos haces constituyen imanes poderosos, ya rectos, ya en forma de herradura (*imanes Jamin*), si bien su fuerza es menor que la suma de las fuerzas magnéticas de todas las barras por separado.

Armaduras.—Para evitar su desimanciación, se provee á los imanes de piezas de hierro dulce, *armaduras*, puestas en contacto con los polos de nombre contrario de aquel. Supongamos un imán en forma de herradura; su armadura es una barra de hierro unida por cada extremo

á cada polo del imán. La armadura se imana por influencia, presentando frente á cada polo del imán, otro nombre contrario, que mantiene separados, por su influencia los *fluidos* magnéticos del imán.

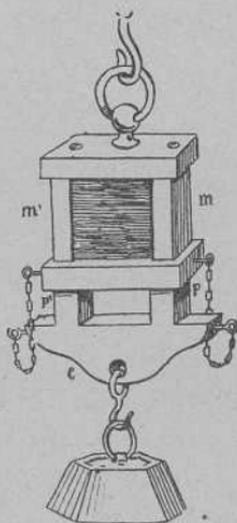


FIGURA 308.
Conservación de un imán natural.

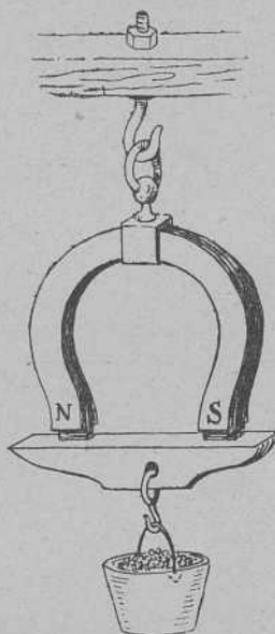


FIGURA 307.—Imán de herradura.

De este modo, no sólo se conserva el poder de los imanes sino que puede ser aumentado progresivamente, dentro de ciertos límites. Esto se demuestra añadiendo pesos, poco á poco, al primitivo que sostiene la armadura, pero, sobrepujado el peso máximo que puede llegar á soportar, la armadura se desprende y el imán vuelve de nuevo á su fuerza primitiva.

La conservación de un imán en herradura se obtiene con una armadura de hierro, que une sus polos opuestos.

Si los imanes son rectos se dispone paralelamente dos iguales, paralelamente, con los polos invertidos, y se les une por ellos con dos barras de hierro. A los imanes naturales se les conserva entre dos piezas de hierro dulce $m m'$, terminadas por dos talones $p p'$, y sujetas por dos chapas de latón. La armadura ó puente G , está aplicada á los prismas ó talones $p p'$.

La fuerza de los imanes se mide por el valor de los pesos que pueden sostener.

MAGNETISMO TERRESTRE

Meridiano magnético.—Una aguja imanada, horizontal, que pueda girar libremente, abandonada á sí misma, toma después de algunas oscilaciones una dirección aproximada de Norte á Sur. Al plano vertical que pasa por la dirección de esta aguja, se le denomina *meridiano magnético*, del lugar del Globo que se considera.

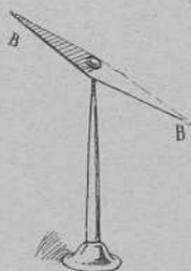


FIGURA 309.
Aguja de declinación.

Esta acción de la Tierra, ha hecho considerar á ésta, aunque hoy esté desechada esta teoría, como un inmenso imán, cuyos polos están cerca de los polos geográficos, y en cuyo *campo magnético*, llamado *terrestre*, la aguja, por estar solicitada igualmente por la acción de aquellos polos, se orienta en su misma dirección.

Efectivamente, si colocamos sobre una barra imanada, á cierta distancia, pero dentro de su campo magnético, una aguja magnética, ésta se coloca por sí misma en la misma dirección de la barra, pero sus polos estarán orientados en sentido contrario, por repelerse los de igual nombre.

Ahora bien, sometida la aguja á la acción de la Tierra toma la posición Norte Sur, pero el polo de la aguja que mira al Norte será el contrario al de la Tierra y del mismo

modo el que está orientado hacia al Sur. De aquí que se haya llamado *polo austral* de la aguja al polo que mira al Norte y *polo boreal* al que mira al Sur. Sin embargo, para evitar confusiones, se les da también los nombres de polo Norte y Sur de la aguja á los polos austral y boreal respectivamente.

Declinación.—El meridiano magnético no coincide con el geográfico, sino que se desvía un tanto formando con él un ángulo, que es la *declinación magnética* del lugar de la Tierra donde se considera.

BRÚJULA DE DECLINACIÓN.—Para medir la declinación, en un punto dado, se usa la *brújula de declinación*, que en esencia consta de una aguja imanada, horizontal, que descansa sobre un estilote vertical, situado en el centro de un círculo graduado. Un nivel y un anteojo astronómico completan el aparato;

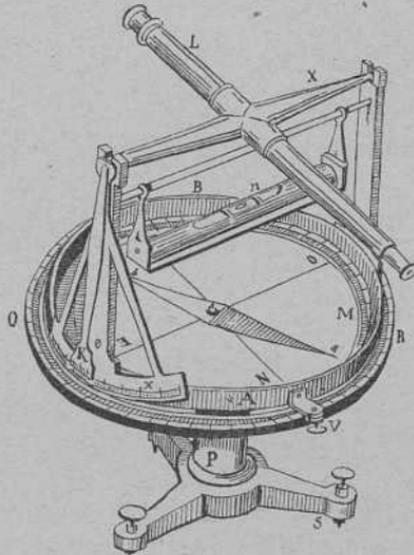


FIGURA 310.—Brújula de declinación.

siendo este último para determinar la dirección del meridiano geográfico. Hecho ésto se coloca el diámetro, que lleva el 0 de la graduación, coincidiendo con dicho meridiano, y entonces la punta de la aguja nos marca en el círculo graduado el valor de la declinación. Si el polo Norte (*austral*) de la aguja se halla al Este de la línea Norte Sur, la declinación

es *oriental* (*Asia y América*), en el caso contrario se llama *occidental* (*Europa y Africa*).

Inclinación.—Una aguja magnética colocada, no horizontalmente como hasta ahora hemos considerado, sino moviéndose sobre un eje horizontal en un plano vertical, que coincida con el meridiano mag-

nético, toma una posición fija, formando un ángulo con el horizonte.

A este ángulo que la mitad norte de la aguja forma con el horizonte, se da el nombre de *inclinación magnética*.

La inclinación es *positiva* si la mitad norte de la aguja está por bajo del horizonte, como sucede en nuestro he-

misferio, y *negativa* en el caso contrario, que es lo que ocurre en el hemisferio Sur.

Hacia el polo norte geográfico, hay lugares donde la inclinación es de 90° (*polos magnéticos*), después va decreciendo hacia el ecuador, siendo nula en muchos puntos de éste ó de su proximidad. Se llama *ecuador magnético*, á la línea que une todos estos puntos en que la inclinación es nula.

BRÚJULA DE INCLINACIÓN.—Este instrumento sirve para determinar la inclinación magnética en un punto del Globo. Consta de dos círculos graduados, uno horizontal y otro vertical; en el centro de éste se halla el eje, sobre el cual gira la aguja imanada.

Después de determinar el meridiano magnético, se hace girar el círculo vertical hasta que su plano, en el cual se

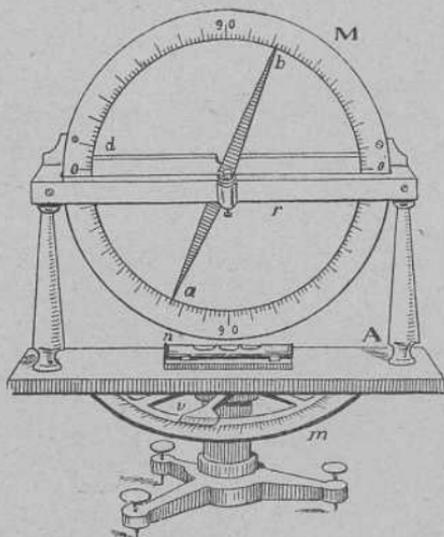


FIGURA 311.—Brújula de Inclinación.

mueve la aguja, coincida con aquél; el ángulo que la parte norte de la aguja forme entonces con la horizontal, nos da el valor de la inclinación magnética en el lugar en que se opera.

Variaciones de la declinación y de la inclinación.—En un punto dado la declinación y la inclinación no son constantes, por estar sujetas á variaciones *regulares*, diurnas y seculares, ó *accidentales*.

Las *desviaciones seculares* de la declinación, son desviaciones progresivas de la aguja imanada, ya hacia Oriente ya hacia Occidente que se verifican en el transcurso de varios siglos. En París en 1580 la declinación era oriental y su valor de $11^{\circ} 30'$, la aguja desviándose lentamente llegó á coincidir en 1666 con el meridiano terrestre; más tarde la declinación pasó á ser occidental, hasta que, en 1814, su valor fué de $22^{\circ} 34'$, desde entonces vuelve de nuevo hacia el Este.

Las variaciones accidentales son perturbaciones bruscas de la aguja, de corta duración, que pueden ser simultáneas, en ocasiones, en puntos muy distantes entre sí, habiéndose observado que coinciden con la aparición de las auroras boreales, con las erupciones volcánicas, etc., etc.

Aunque de menor importancia la inclinación magnética sufre también, como la declinación, variaciones regulares y accidentales.

Cartas magnéticas.—En una carta geográfica se puede señalar los lugares en que la declinación, la inclinación ó la intensidad magnéticas tienen el mismo valor, denominándose *cartas magnéticas*. Las líneas que unen los puntos de igual declinación, se llaman *isogonas*, las que unen los de la misma inclinación *isoclinas*, y las que se refieren á idéntica intensidad *isodinámicas*.

Brújulas.—Son aparatos destinados á determinar la dirección N. S. cuando se conoce la declinación de un lugar. Constan en esencia, como ya hemos dicho, de una aguja imanada, que puede moverse libremente sobre la punta de un estilete, situado en el centro de un círculo graduado. El aparato está contenido en una caja de madera ó metal, no magnético, con tapa de cristal.

Las aplicaciones de las brújulas son muy numerosas; en la navegación la *brújula marina* es indispensable para poder seguir una ruta determinada; forman parte de muchos instrumentos topográficos; en Electricidad tienen usos que estudiaremos más adelante, etc., etc.

ACCION DE LAS CORRIENTES SOBRE LOS IMANES

Experiencia de Oerstedt.—Si colocamos un hilo metálico conductor, sobre una aguja magnética, paralelamente á ella, y hacemos pasar la corriente de una pila, la aguja abandonando su posición de equilibrio tiende á ponerse en cruz, con la corriente (fig. 312).

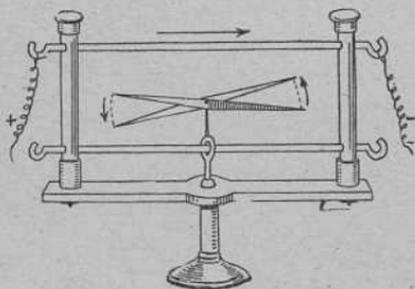


FIGURA 312.

Si el sentido de la corriente es de S. á N. el polo de la aguja se desvía hacia al Oeste; si cambiamos el sentido de la corriente haciéndola ir de N. á S. la desviación es hacia el Este. Si la corriente en vez de pasar sobre la aguja pasa bajo ella por un conductor inferior (fig. 312) si su sentido es S. N. la aguja se mueve hacia el Este; si va de N. á S. el cambio es hacia el Oeste. En todos los casos la aguja se desvía siempre hacia la izquierda de la corriente, entendiéndose por tal la izquierda de un observador (fig. 313) que se supone echado sobre el

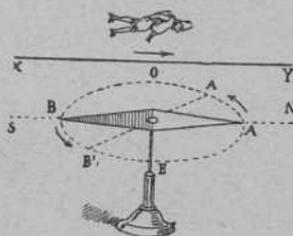


FIGURA 313.

conductor ó bajo el conductor, mirando hacia la aguja, de modo que la corriente entre por los pies y salga por la cabeza.

Regla de Ampere.—*Cuando una corriente rectilínea obra sobre un imán movable, éste tiende á ponerse en cruz con aquélla y su polo Norte ó austral se dirige á la izquierda de la corriente.*

Acción de los imanes sobre las corrientes.—Recíprocamente si el imán está fijo y la corriente es movable, es decir, que el conductor por el cual circula pueda girar libremente (fig. 314), por la acción del imán, la corriente (1) tiende á ponerse en cruz con aquel, quedando el polo norte siempre á la izquierda.

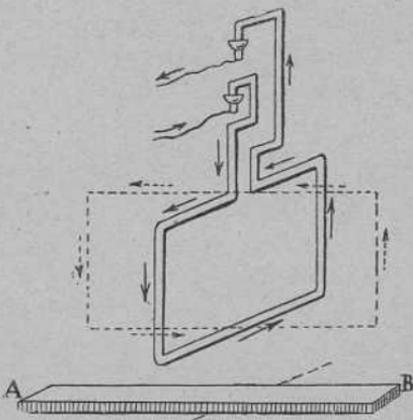


FIGURA 314.

Galvanómetros.

—La acción de la Tierra sobre la aguja imanada hace que ésta se coloque en la posición del meridiano magnético; la corriente que la desvía tiene que vencer esta acción, y la desviación de la aguja será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad de la corriente, suponiendo que obre á la misma distancia.

Los *galvanómetros* son instrumentos, fundados en este principio, destinados á medir y comparar inten-

(1) Debe advertirse que, para facilitar el estudio, se ha convenido en llamar corrientes á los conductores por los cuales circulan éstas; si estos conductores son fijos, movibles, rectangulares, circulares, sinuosos, etc., se dice que las corrientes son á su vez, fijas, movibles, rectangulares, circulares, sinuosas, etc., etc.

sidades de corrientes, por la desviación que, por su acción, experimenta una aguja imanada.

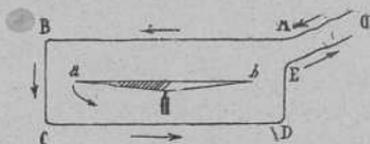


FIGURA 315.

coincidiendo con el meridiano magnético. Si por dicho alambre se hace pasar una corriente, en el sentido que marcan las flechas de la figura 315, las acciones ejercidas por los cuatro lados del rectángulo sobre la aguja son concordantes y, según la ley de Ampere, obligan al polo norte de la misma á desviarse hacia la izquierda, tanto más cuanto la corriente es más intensa.

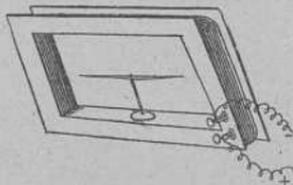


FIGURA 316.—Multiplificador.

MULTIPLICADOR DE SCHWEIGGER.—Generalmente las corrientes son débiles y la desviación escasa, por lo tanto, para amplificar sus efectos se hace uso del *multiplificador Schweigger* (fig. 316). Es éste un marco de madera, con una ranura exterior á la cual va arrollado, un gran número de veces, el alambre conductor, aislado con seda; en el centro del rectángulo va la aguja imanada. De esta manera la acción de la corriente queda multiplicada por el número de vueltas del conductor y la desviación de la aguja se hace muy

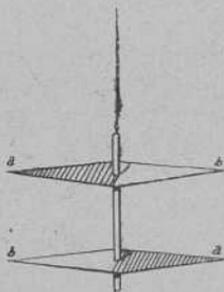


FIGURA 317.
Sistema astático.

sensible aun con corrientes muy débiles.

SISTEMA ASTÁTICO.—Se llama así á un sistema formado por dos agujas imanadas de igual tamaño y fuerza,

colocadas paralelamente en un mismo eje de madera ó cobre, suspendido de un hilo sin torsión; los polos de ambas agujas están cambiados, es decir, el polo Norte de la aguja superior se halla sobre el Sur de la inferior y viceversa. Por esta disposición la acción de la Tierra, que tiende á colocar dichas agujas en la dirección del meridiano magnético con los polos nortes mirando hacia al N, queda anulada, y el sistema permanece en equi-

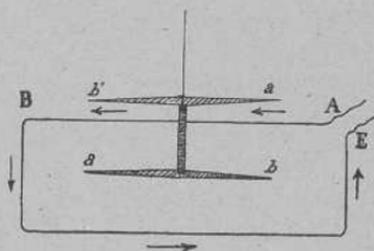


FIGURA 318.— Sistema semiestático.

brío en cualquier posición que se le coloque. En cambio el sistema se colocará perpendicularmente á un alambre, colocado entre ambas y paralelo á ellas, por el cual circule una corriente; en un todo conforme con la regla de Ampere.

Galvanómetro de Nobili.—En los galvanómetros, como el de Nobili, Ruhmkorff, etc., se hace uso de un sistema semiestático (figura 318). La aguja inferior a b queda en el interior de un multiplicador A B E, y sobre éste, y exteriormente, está la aguja superior a' b'. La corriente, que va en la dirección de las flechas, desvía la aguja inferior a b á su izquierda, hacia adelante de la figura. Sobre la aguja exterior a' b' la acción del lado A B es la misma, por lo que viene á aumentar la acción ejercida sobre la aguja a b, aunque los otros tres lados, influyan en sentido contrario sobre a' b', pues por

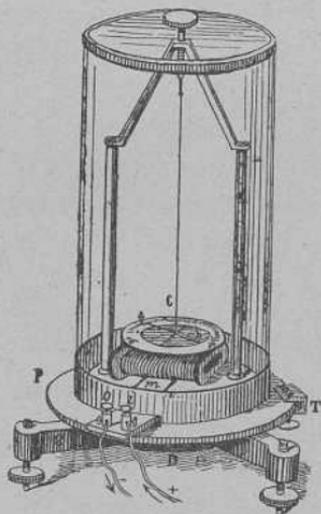


FIGURA 319.—Galvanómetro.

estar á mayor distancia sus efectos son poco apreciables.

En estos galvanómetros el valor de las desviaciones se indica por la aguja externa en un círculo graduado; el

sistema semiastático pende de un hilo de seda ó coco sin torsión; el instrumento está resguardado por un fanal de vidrio, y sobre tornillos que sirven para nivelarlo, haciendo que el eje de las agujas ocupe exactamente el centro del círculo. Hecho ésto, cuando se le va á usar, se procede á orientar el aparato, obligando á las agujas á tomar la dirección de las vueltas del alambre; en este momento la aguja marcará 0 en el círculo graduado. Dispuesto así el aparato, las desviaciones respectivas de la aguja nos darán la relación entre las intensidades de dos corrientes que se haga pasar por él, con tal que la de la mayor no exceda de unos 30°.

Existen otros modelos de Galvanómetros en cuya descripción no podemos entrar.

ACCIÓN DE LAS CORRIENTES SOBRE LAS CORRIENTES

Electrodinámica.—Es la parte de la Electricidad que estudia las acciones mútuas de las corrientes.

Sin detenernos á demostrarlas, enunciaremos las siguientes leyes porque se rigen dichas acciones, formuladas por Ampere. Pero debemos tener siempre presente que al hablar de corrientes fijas, movibles, etcétera, lo hacemos siempre en el sentido de que los conductores son fijos, movibles, etc.

Leyes fundamentales de la electrodinámica.—Pueden ser reducidas á tres principales: 1.^a CORRIENTES PARALELAS. *Dos corrientes paralelas, del mismo sentido, se atraen; dos corrientes paralelas de sentido contrario, se repelen.* 2.^a CORRIENTES ANGULARES. *Dos corrientes que forman ángulo, se atraen cuando ambas se acercan ó alejan del punto de cruce; pero se repelen, si una se aproxima á dicho punto, mientras la otra se separa de él.* 3.^a CORRIENTES

SINUOSAS. Una corriente sinuosa, tiene la misma acción que una corriente rectilínea igual á su proyección, siempre que la distancia á la cual ejerce su acción sea lo suficientemente grande con relación á la amplitud de las sinuosidades.

Acción de la Tierra.—Una corriente movable, de cualquier forma, alrededor de un eje vertical, abandonada á sí misma, gira hasta que su plano se coloca perpendicularmente al meridiano magnético, de modo que en la parte inferior, la corriente se dirige siempre de Este á Oeste. El polo Norte queda pues á la izquierda como hemos dicho al tratar de la acción de un imán fijo sobre una corriente móvil.

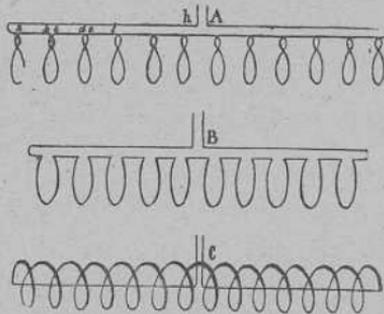


FIGURA 320.—Diversas formas de solenoides.

Solenoides.

Llámanse *solenóide* á un sistema de corrientes circulares, iguales, en el mismo sentido, sensiblemente paralelas y perpendiculares á una línea recta que pase por sus centros.

Se construye un solenóide, arrollando en espiral (figura 320) un alambre de Cobre, aislado con seda cuyos dos extremos vuelven en línea recta hacia el centro del cilindro que forman. Estos extremos están terminados por una aguja cada uno, que permite suspenderlos sobre las capsulitas con Mercurio de dos soportes; modo de suspensión que no impide los movimientos de giro del solenóide.

La corriente, penetrando por un extremo, circula en el mismo sentido por todas las espirales del sistema, saliendo por el extremo opuesto.



Analogía entre los solenóides y los imanes.

—ACCIÓN DE LA TIERRA.—Suspendido libremente un solenóide, y abandonado á sí mismo, gira hasta que la línea recta que pasa por sus centros, toma la direc-

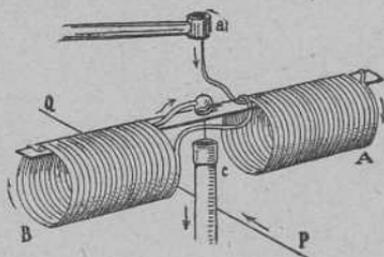


FIGURA 321.—Solenóide.

ción de la aguja imanada. Esto es debido á que la acción de la Tierra tiende á orientar cada espiral perpendicularmente al meridiano magnético, de tal manera, que, por la parte inferior, la corriente vaya de

E. á O., quedando el polo N. á la izquierda según la regla de Ampere.

Polo austral ó norte de un solenóide es la parte que mira al N. y polo boreal ó sur la contraria. Pero, claro está, que si variamos el sentido de la corriente, el solenóide gira invirtiendo su posición, pasando el polo austral de antes á ser boreal y viceversa.

ACCIONES MÚTUAS DE LOS IMANES Y LOS SOLENÓIDES.

—Acercando el polo norte de un imán al del mismo nombre de un solenóide se nota una viva repulsión; en el caso de que los polos fuesen distintos habría una atracción. Lo mismo sucede si el imán es movable y el solenóide fijo.

ACCIONES DE LOS SOLENÓIDES ENTRE SÍ.—Si en vez de acercar un imán á un solenóide acercamos otro solenóide fijo, las atracciones y repulsiones entre ambos se verifican de la misma manera.

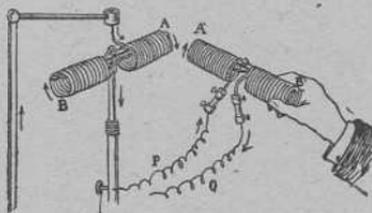


FIGURA 322.—Acción de los solenóides entre sí.

ACCIONES MÚTUAS ENTRE LOS SOLENÓIDES Y LAS CORRIENTES.—Las corrientes ejercen sobre los solenóides idénticas acciones que sobre los imanes; y los solenóides á su vez actúan de la misma manera que los imanes sobre las corrientes.

Teoría electrodinámica del magnetismo.—La identidad de las propiedades de los imanes y los solenóides condujo á Ampere á considerar á los imanes como verdaderos solenóides, explicando los fenómenos magnéticos admitiendo la existencia de corrientes eléctricas circulares, alrededor de cada partícula, en los cuerpos magnéticos. Cuando estos cuerpos, Hierro, Acero, etc., no están imanados, las corrientes existen, pero diversamente orientadas en todas direcciones, por lo que sus acciones se destruyen, sin manifestarse al exterior. Pero por la imanación estas corrientes son orientadas, obligándolas á circular en planos paralelos y en el mismo sentido, convirtiéndose, pues, el imán en un verdadero *haz de solenóides*, equivalente á un solenóide único, resultante del conjunto de todos ellos.

Magnetismo terrestre.—Las acciones magnéticas de la Tierra son explicadas con arreglo á la teoría de Ampere, considerando á la Tierra como un inmenso solenóide sureado por *corrientes*, llamadas *telúricas*, en la dirección Este Oeste, tal vez, originadas por la diferencia de temperatura entre las distintas regiones de nuestro planeta.

IMANACIÓN POR LAS CORRIENTES

Imanación por las corrientes.—Una varilla de Acero ó Hierro, dentro de un tubo de cristal, al cual se ha arrollado exteriormente un alambre de Cobre, se imana fuertemente cuando pasa la corriente, convirtiéndose en un imán permanente, si la varilla es de Acero, en un imán temporal, que cesa de serlo con la cesación de la corriente, si la varilla es de Hierro.

Dicha varilla, situada en el campo magnético de la corriente, se imana por la influencia de ésta, apa-

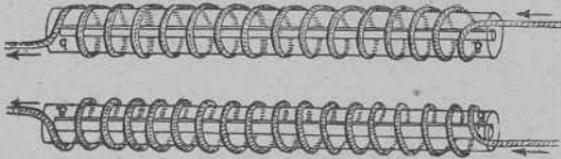


FIGURA 323.—Imanación por las corrientes.

reciendo en ella el polo austral á la izquierda de la corriente, el polo boreal á la derecha.

Electroimanes.—Están fundados en la imanación temporal de una barra de hierro dúctil colocada

en el eje de un carrete, al cual está arrollado en espiral un alambre de Cobre cubierto de seda.

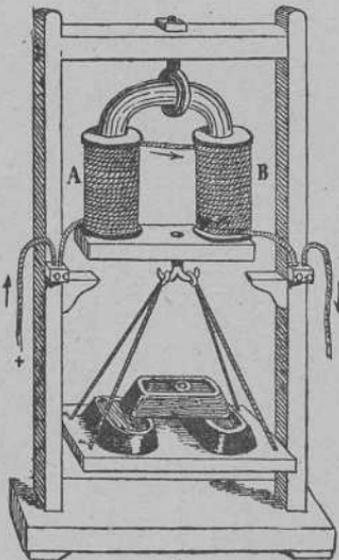


FIGURA 324.—Electroimán de herradura.

Para los usos industriales, los electroimanes han venido á sustituir, casi por completo, á los demás imanes, por poder soportar pesos mucho más considerables.

Los electroimanes rectos como el que acabamos de describir son poco usados; mayor aplicación tienen los electroimanes en forma de herradura, constituídos por una barra de Hierro, en herradura, cuyas dos ramas están rodeadas por un carrete,

en cada uno de los cuales se arrolla en sentido contrario un mismo alambre de Cobre, cubierto de seda. Más práctica es aún la forma en la que dos barras de Hierro,

rodeadas de sus carretes, están unidas por una platina gruesa del mismo metal; su fabricación es más sencilla y más fácil su empleo.

Magnetismo remanente en los electroimanes.—La desimantación de las barras de hierro no se produce instantáneamente al cesar la corriente, sino que siempre queda en ella, durante algún tiempo, algo de magnetismo remanente, que origina uno de los inconvenientes de los electroimanes en sus aplicaciones.

INDUCCIÓN

Corrientes de inducción.—Llámanse así á las corrientes que se desarrollan en determinadas con-

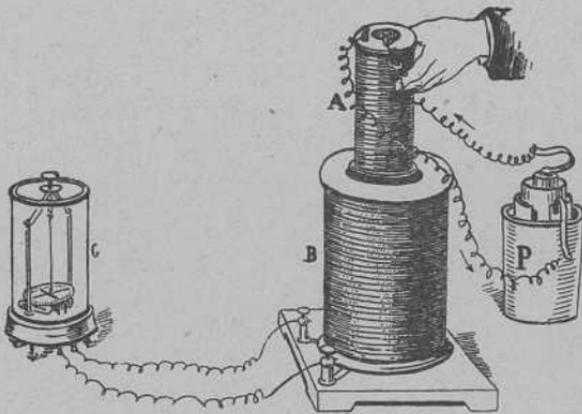


FIGURA 325.—Inducción por las corrientes.

diciones en un circuito cerrado (*inducido*), por la influencia de una corriente ó de un imán (*inductor*).

Inducción voltáica ó por las corrientes.—
 POR LA APROXIMACIÓN Ó SEPARACIÓN DE DOS CIRCUITOS.
 —Para demostrarla, tomemos dos carretes huecos B y A (fig. 325) de los cuales A puede ser introducido en el otro. Cada uno lleva arrollado, en gran

número de vueltas, un alambre de Cobre, aislado. El carrete B, está en comunicación con un galvanómetro G por los dos extremos de su alambre; los de A se hallan unidos á los polos de una pila. Introduzcamos rápidamente el carrete A en B; la aguja del galvanómetro se desvía inmediatamente, lo que nos acusa el desarrollo de una *corriente inducida*, por la influencia de la *corriente inductora* del circuito P A. El sentido de la desviación de la aguja, nos indica que, la corriente inducida es *inversa*, es decir, de sentido contrario al de la inductora. Además esta corriente es *instantánea* puesto que la aguja vuelve inmediatamente al 0 del cuadrante y, en él continúa mientras el carrete A permanece en reposo dentro de B.

Levantemos ahora rápidamente el carrete A; la aguja del galvanómetro se desvía otra vez, pero en sentido contrario á su primera desviación, volviendo en seguida al 0. Esto nos muestra que la corriente ha sido instantánea y *directa*, es decir, del mismo sentido que el de la corriente inductora.

POR ESTABLECERSE Ó CESAR LA CORRIENTE INDUCTORA.—Repitamos la experiencia de otro modo. El carrete pequeño A sin comunicar con la pila, se halla dentro del grande B. Pongamos á A en comunicación con los polos de la pila, al establecerse el circuito, se produce inmediatamente en B una corriente inducida, *instantánea é inversa*, acusada por el galvanómetro. La aguja vuelve en seguida al 0. Levantemos entonces la comunicación, al cortarse el circuito, una nueva desviación de la aguja nos muestra la presencia de una corriente inducida, *directa*, ó sea, del mismo sentido que el de la inductora.

POR VARIAR LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE INDUCTORA.—Hagamos una tercera experiencia. El carrete A, comunicando con la pila, se halla dentro de

B, que comunica con el galvanómetro, cuya aguja ha vuelto al 0 después de su primera desviación. Si aumentamos la intensidad de la corriente de A, añadiendo, por ejemplo, un poco de Acido sulfúrico á la pila en B se produce una corriente inducida *inversa*; si disminuimos dicha intensidad, por ejemplo levantando un poco el Zinc, se produce en B una corriente inducida *directa*.

De las experiencias anteriores deduciremos que: 1.º *Las corrientes inducidas son instantáneas*; 2.º *Una corriente que se acerca, nace ó aumenta de intensidad, produce en un circuito cerrado, dentro de su campo inductor, una corriente inducida inversa*; 3.º *Una corriente que se aleja, se corta ó disminuye de intensidad, produce en aquel circuito una corriente inducida directa*.

Autoinducción.—Cada vez que se abre ó cierra el circuito de una pila por ejemplo, se producen *en el mismo alambre conductor* corrientes inducidas, por obrar la corriente de la pila por influencia sobre las partes próximas. Estas corrientes inducidas han recibido el nombre de *extracorrientes* ó de *inducción propia*. Las originadas al cerrarse el circuito son inversas y, oponiéndose á la corriente un instante, la debilitan; las de apertura del circuito, son directas y, sumándose á la corriente primaria que termina, aumentan su intensidad bruscamente. Por esto al juntar los dos extremos de los reóforos de una pila, no se produce chispa alguna y sí en el momento en que se separan. Los efectos de la autoinducción, muy débiles en los alambres rectilíneos, son muy considerables en los carretes por la inducción de las vueltas del alambre unas sobre otras.

Inducción magnetoeléctrica ó por los imanes.—Al introducir en el carrete B, unido á un galvanómetro, un imán permanente A, el galvanómetro nos indica haberse producido una corriente,

inducida en B instantánea é inversa. Al separar rápidamente el imán se produce una corriente inducida directa.

Si en vez del imán ponemos una barra de hierro dúctil, no imanada por lo tanto, al aproximar á ésta un imán permanente, que la imana por inducción, se produce en el

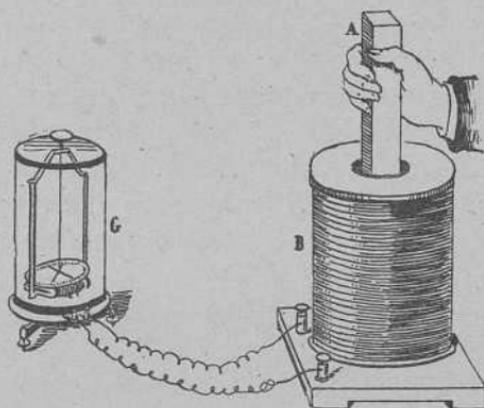


FIGURA 326.—Inducción por los imanes.

circuito B una corriente inducida inversa; al separar el imán y desimanarse la barra la corriente que se produce es directa.

Así pues: *Todo imán que se acerca, nace ó aumenta, produce en un circuito cerrado próximo una corriente inducida inversa; pero si se aleja, termina ó disminuye en intensidad, la corriente inducida que se produce es directa.*

Uso del hierro dulce para aumentar la inducción.—

La intensidad de la corriente inducida, aumenta considerablemente, cuando en el interior del carrete inductor se coloca una barra de hierro dulce ó mejor un manojo de alambres del mismo metal, aislados entre sí; pues imanándose al paso de la corriente primaria, la acción magnetoeléctrica de aquél se suma á la inducción voltáica de la

corriente, originando en el galvanómetro (1.^a experiencia) una desviación mucho más amplia de la aguja.

Ley de Lenz.—*El sentido de una corriente de inducción producida en un circuito cerrado que se desplaza en el campo magnético de una corriente ó de un imán es tal que su acción sobre el inductor tiende siempre á oponerse al movimiento que la inicia.*

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN

Máquinas de inducción.—Son aparatos destinados á la producción de corrientes inducidas.

Pueden ser reducidos á dos grupos: 1.^o *Transformadores eléctricos* en los que se transforma una corriente en otra de condiciones distintas, ya sea de mayor fuerza electromotriz y menor intensidad, ya, por el contrario, de gran intensidad y menor fuerza electromotriz, como el *Carrete Ruhmkorff*. 2.^o *Máquinas magneto y dinamoeléctricas*, que son generadores de corrientes de inducción, por la acción de los imanes ó los electroimanes.

Carrete de Ruhmkorff.—Es un transformador de una corriente de escasa fuerza electromotriz en otra de gran fuerza electromotriz y poca intensidad, al contrario de lo que sucede en los transformadores usados en la Industria.

Esencialmente consta de un *carrete inductor*, otro *inducido* y un *interruptor* (fig. 327).

El *carrete inductor* es un cilindro hueco de madera; en el interior lleva un manojó de alambres de hierro dulce; en su parte exterior se arrolla, formando dos ó tres capas, un alambre de Cobre, aislado en todas sus partes, (1 á 2 mm. de diámetro, por 40 á 50 m. de longitud). Los extremos de este alambre inductor han de ser puestos en comunicación con los polos de una pila.

El *inducido* es un carrete formado por un delgado y largo alambre de Cobre (0,25 mm. de diámetro como máximo, pudiendo pasar de 50 kilómetros de longitud) el cual se arrolla en gran número de vueltas, aisladas también, en un tubo de ebonita ó vidrio, que rodea directamente al carrete inductor. En este alambre se producen las corrientes inducidas, y sus extremos, reóforos del carrete, empalman en las

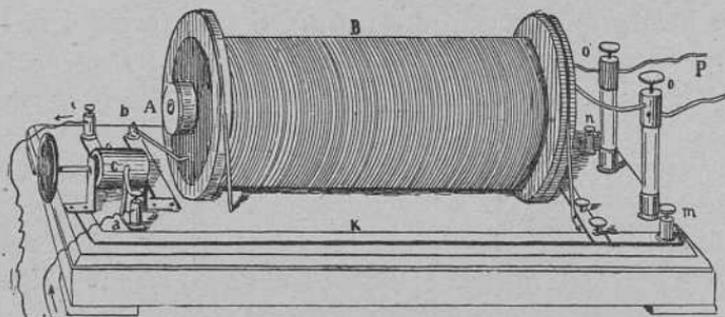


FIGURA 327.—Carrete de Ruhmkorff.

columnas O , O' , con dos alambres más gruesos p p' que han de conducir la corriente inducida.

El conjunto del aparato es el de un grueso carrete comprendido entre dos discos de vidrio.

Al poner en comunicación el carrete inductor con los polos de una pila, se produce una corriente inducida instantánea en el momento de iniciarse la corriente *primaria* ó del inductor; al cortar el circuito se produce otra corriente *secundaria* ó inducida. Ahora bien, si, alternativamente y por intervalos cortísimos, cerramos y abrimos el circuito primario, se producirán en el alambre inducido corrientes inducidas inversas y directas respectivamente á cada establecimiento ó interrupción de la corriente inductora.

Estas alternativas se obtienen mejor por medio de un *interruptor*, que cierra y corta el circuito automáticamente, con cortísimos intervalos.

Uno de los más usados es el que representa la figura 328. Es este un mazo o de hierro dulce, articulado á la columna i en comunicación con un extremo s del alambre inductor. Cuando el macito está en reposo, su cabeza se apoya en el yunque h, el cual está fijo á la lámina k, unida al otro polo de la pila. Por esta disposición todas las piezas del interruptor forman parte del circuito de la pila. Sobre la cabeza del mazo, á muy corta distancia, sobresale un extremo A del manjo central de alambres.

Veamos ahora cómo funciona el carrete de Ruhmkorff (figuras 327 y 328)

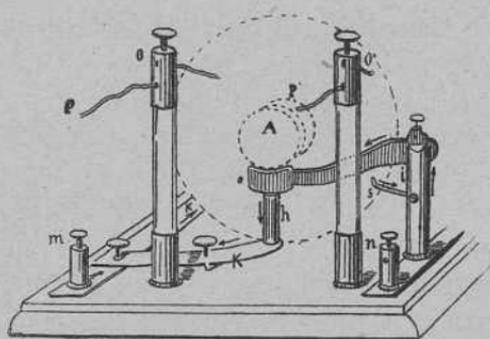


FIGURA 328.—Interruptor.

El réoforo positivo de la pila, fijo al tornillo a, hace llegar la corriente, de varios elementos Bunsen por ejemplo, al conmutador C. Este es un aparatito accesorio que permite variar el sentido de la corriente á voluntad. Desde el conmutador, la corriente pasando por el tornillo b, entra en el alambre inductor, viniendo á salir por el extremo S, al macito O, de aquí pasa al yunque h, luego á la lámina k, que se halla en comunicación, por intermedio del conmutador, con el réoforo negativo de la pila. Pero, al llegar la corriente al macito, el manjo central A de alambres se imana, atrayendo la cabeza O, que, al abandonar al yunque, corta el circuito primario, interrumpiendo la corriente. Por esta razón el citado manjo se desimana entonces y el mazo, por su peso, vuelve á caer sobre al yunque, cerrando de nuevo el circuito; con ésto viene un nuevo paso de la corriente y la consiguiente imanación de A, y

así sucesivamente. Como ya hemos dicho, por estas rapidísimas alternativas, de establecimiento y cesación de la corriente en el circuito primario, se producen en el circuito cerrado, secundario, corrientes inducidas, instantáneas, inversas y directas, es decir, de sentido contrario.

CONDENSADOR.—En la plataforma de madera del aparato hay un condensador, formado por hojas de Estaño, cuyas armaduras comunican con el circuito inductor. Su oficio principal es el de disminuir los efectos de la auto-inducción, favoreciendo al propio tiempo la rápida des-
imanación del manajo central de alambres.

Efectos del carrete de Ruhmkorff.—Cuando, por medio de un conductor, se unen los dos polos del inducido, se produce una sucesión de corrientes contrarias, correspondientes al cierre y apertura del circuito primario. Separados aquellos polos y roto por lo tanto el circuito secundario, si la distancia es conveniente, se produce la descarga disruptiva, siempre de un alambre al otro, pues la resistencia del aire es solamente vencida por la corriente inducida directa, originada por la ruptura del circuito primario, por ser la fuerza electromotriz de la corriente inducida inversa mucho más débil.

Los efectos del carrete de Ruhmkorff son idénticos á los de la electricidad estática. Con él puede ser fundido un alambre de hierro interpuesto entre sus polos, puede determinarse la inflamación de las materias explosivas de un barreno, puede romperse bloques de vidrio de corto espesor, etc., etc. La longitud de la chispa eléctrica varía con el tamaño de los modelos, pudiendo pasar de 1 metro. Sus efectos fisiológicos son vivísimos y, á veces, mortales. Con los carretes de inducción se puede cargar las baterías eléctricas.

Los efectos luminosos de la chispa eléctrica en los gases enrarecidos son muy notables y semejantes

á los producidos por la electricidad estática, si bien más brillantes por la continuidad de la chispa del carrete.

Rayos catódicos.— Cuando en los tubos de Geissler ó mejor en los *tubos* especiales denominados *de Crookes*, se lleva el enrarecimiento á una millonésima de atmósfera próximamente y se hace pasar la descarga de un carrete de Ruhmkorff, los fenómenos luminosos se modifican, con manifestaciones notables: un espacio obscuro rodea al cátodo é invade todo el tubo, al mismo tiempo que el vidrio, sobre todo en la parte opuesta al cátodo, adquiere una viva fluorescencia.

Para explicar estos fenómenos, estudiados por Crookes, se admite hoy la existencia de ciertas radiaciones especiales, denominadas *rayos catódicos*, que parten del cátodo en línea recta, normalmente á la superficie que las emite. Los rayos catódicos, pueden asimismo hacer fluorescentes á otros cuerpos; piedras preciosas, sulfuro de Zinc, sulfuros alcalinotérreos, etc., etc., y, entre otras, presentan además la propiedad de ser desviados de su dirección rectilínea por la acción de los imanes.

Rayos X ó rayos Röntgen.— Röntgen, físico alemán, descubrió que, en las partes fluorescentes del tubo de Crookes, donde chocaban los rayos catódicos, tenían origen otras radiaciones, de propiedades muy notables á los que llamó *rayos X*. Los rayos X se propagan en línea recta, atravesando muchos cuerpos opacos para la luz ordinaria, papel, madera, tegidos orgánicos blándos, etc., etc., no se reflejan ni refractan; no producen sensación de luz en la retina, pero producen fluorescencia en ciertos cuerpos, como el Platinocianuro de Bario, el Tungstato de Calcio, el Sulfuro de Zinc, etc., impresionan las placas fotográficas, no son desviados por los imanes, descargan los conductores electrizados que hallan á su paso, etc., etc. Sobre el organismo, la acción continuada de los rayos X produce inflamaciones de la piel y otros trastornos más ó menos profundos.

RADIOSCOPIA Y RADIOGRAFÍA.— Una pantalla de vidrio, recubierta con Platinocianuro de Bario, adquiere, en la cámara oscura en presencia de un tubo productor de rayo

Röntgen, una viva fluorescencia. Si entre ambos interponemos una mano con un anillo en un dedo, por ejemplo, se dibuja sobre dicha pantalla la sombra de los huesos y del anillo, por ser opacos para aquellos rayos, los huesos y los metales, acompañando á la primera la débil sombra de los

músculos y de la piel, que son más transparentes para dichas radiaciones.

Se comprende, pues, la gran utilidad que la Medicina y la Cirugía obtienen de los rayos X para fijar la posición de un cuerpo extraño, un proyectil, por ejemplo, en el cuerpo humano, ó para determinar el lugar de una fractura ó en otros casos análogos.

Por la *Radiografía* se fijan las imágenes, obtenidas sobre la pantalla de Platinocianuro de Bario, sustituyendo ésta por una placa fotográfica, contenida en un chasis de madera ó

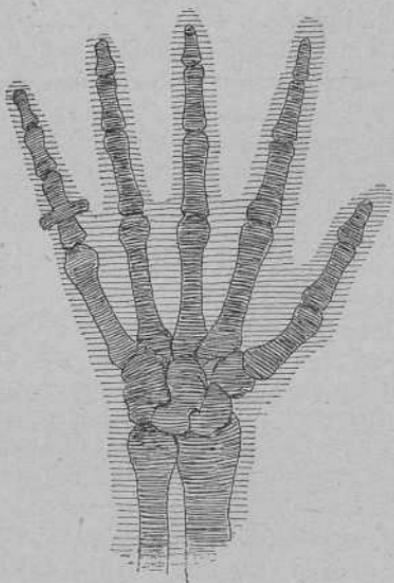


FIGURA 329.—Radiografía de una mano.

forrada de papel negro, sustancias transparentes para las radiaciones de Röntgen.

Otras radiaciones han sido descubiertas y estudiadas muy modernamente, *rayos Lenart, Golstein, Sagnac*, cuyo estudio no cabe en este libro.

Radioactividad.—Becquerel, en el Uranio y sus compuestos, y más tarde Schmidt, en los compuestos de Torio, descubrieron la propiedad que tienen dichos cuerpos de emitir espontáneamente radiaciones, que sin ser de origen eléctrico presentan cualidades parecidas á las de los rayos X, si bien son en parte desviados por la acción de los imanes.

Por último, los esposos Curie, han descubierto en la Pechblenda (Óxido uranosouránico) dos metales nuevos,

el *Polonio* y el *Radio*, á los que debe añadirse el *Actinio* descubierto en 1900 por Debierne. Sus compuestos emiten radiaciones mucho más intensas que las del Uranio, y ejercen acciones químicas importantes.

Se ha llamado cuerpos *radioactivos* á los que presentan la propiedad de emitir estas radiaciones, denominada *radioactividad*, la cual puede ser transmitida *por inducción* á los cuerpos inertes, siquiera no sea duradera.

Los cuerpos radioactivos emiten calor, y sus radiaciones tienen acciones químicas muy notables. En sus propiedades se asemejan en parte á los rayos X.

MÁQUINAS MAGNETOELÉCTRICAS Y

DINAMOELÉCTRICAS

Máquinas magnetoeléctricas y dinamoeléctricas.—Son aparatos destinados á producir corrientes inducidas en un circuito cerrado que se mueve en un campo magnético.

Constan esencialmente de: 1.º un *sistema inductor*, constituido *por imanes* (*maq. magnetoeléctricas*) ó *electroimanes* (*maq. dinamoeléctricas*); y 2.º un *sistema inducido* movible, alrededor de un eje, en el campo magnético del inductor.

Estas máquinas pueden ser: de *corriente continua* cuando el sentido de la corriente en los conductores exteriores es siempre el mismo; de *corriente alternativa* cuando el sentido de la corriente cambia por intervalos iguales.

Máquina magnetoeléctrica de Gramme.—El sistema inductor está constituido por un poderoso imán A B en herradura, entre cuyos polos, provistos de armaduras A B de hierro dulce, gira rápidamente un circuito cerrado a, que es el sistema inducido. La rotación de este circuito, constituido por el *anillo de*

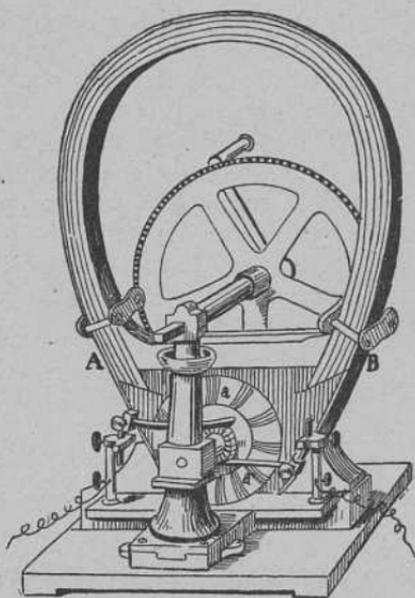


FIGURA 330.—Máquina magnetoeléctrica de Gramme.

Modelo de experiencias.

en comunicación entre sí por estarlo con una pieza de Cobre m n. Estas piezas, en forma de escuadra y colocadas alrededor del eje de giro del anillo, están aisladas entre sí por placas de ebonita, formando en conjunto una especie de cilindro (*colector*) r, que sobresale del anillo. Sobre dos puntos diametralmente opuestos m p del colector (figura 332), se apoyan en él dos piezas metálicas, llamadas *escobillas*, que transportan la electricidad.

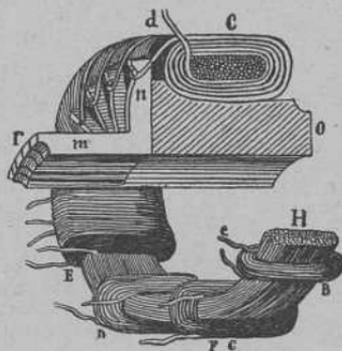


FIGURA 331.—Disposición del anillo de Gramme.

Gramme, se obtiene mediante un sistema de ruedas dentadas.

El *anillo de Gramme* (fig. 331) está formado por un haz de alambres, aislados y soldados, de hierro dulce H, sobre el cual se arrolla uno tras otro, en el mismo sentido, una serie de carretes B C D F de alambre de Cobre, convenientemente aislado. El principio del alambre de cada carrete y el extremo final del alambre del carrete anterior están

Consideremos particularmente uno de los carretes B, por ejemplo, de la figura esquemática 332, y hagamos girar el anillo en la dirección de la flecha superior. Cuando dicho carrete B se acerca al polo I' se produce en aquél una corriente inducida inversa, de intensidad creciente, que se opone á esta aproximación. Al alejarse del polo I' nace una nueva corriente inducida que se opone á este alejamiento, pero como en este momento el carrete presenta su cara opuesta, el sentido de la corriente es el mismo, decreciendo su intensidad, hasta que traspasada la línea X Y, por Y, se origina, por la acción de I, una nueva corriente, creciente, de sentido contrario; sigue en este mismo sentido al

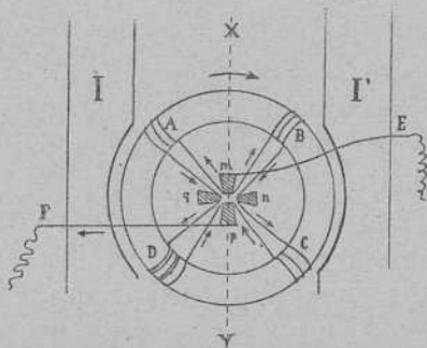


FIGURA 332.

alejarse de I, pero decreciendo, hasta que traspasada la línea X Y, por X, vuelve á cambiar el sentido de la corriente en la dirección primera que hemos considerado.

Los carretes del anillo son muy numerosos, y se comprende que los situados, en un momento cualquiera del giro del anillo, á un mismo lado de la línea X Y, están atravesados por corrientes del mismo sentido, como indican las flechas de la figura, y los del lado opuesto por corrientes de igual sentido entre sí, pero contrarias á las del lado opuesto. Y como las corrientes contrarias de cada lado suman sus efectos, al ser recogidas por las escobillas, producen una sola corriente en el circuito exterior. Ambas

mitades del inducido pueden ser, pues, consideradas como dos pilas asociadas en batería, en las cuales los conductores m E y p F hacen el papel de reóforos.

La *corriente* resulta *continua* porque siendo muy numerosas las piezas de Cobre del colector, una por cada carrete, las escobillas no abandonan nunca el contacto con una sin haberlo establecido con la que la sigue; aumentando la intensidad de aquella con la velocidad de giro.

El haz de alambres, núcleo del anillo, tiene por objeto, imanándose á su vez, concentrar el campo magnético entre él y los polos del imán, para aumentar su acción sobre los carretes.

Las máquinas magnetoeléctricas producen corrientes poco intensas, por lo que en la Industria son sustituidas por las *dinamos*, pero en los Laboratorios puede hacerse con ellas la mayor parte de las experiencias, que exigirían un número considerable de elementos voltáicos.

Máquinas dinamoeléctricas.—En las máquinas dinamoeléctricas, los imanes han sido sustituidos por *electroimanes*, cuyo campo magnético es mucho más intenso.

Existen gran número de máquinas dinamoeléctricas, modificaciones de la máquina de Gramme; con ellas se obtiene una gran energía eléctrica que las hace aptas para los usos industriales.

Generalmente están movidas por un motor de vapor ó hidráulico, pero para que la máquina comience á funcionar no es preciso desarrollar al magnetismo en el electroimán inductor (*excitación*) con una corriente eléctrica extraña, como sucede en algunos escasos tipos; basta su magnetismo remanente para iniciar la inducción; después, como el alambre del electroimán se halla en estas máquinas en el circuito de la corriente inducida, esta imanación aumenta rápida y progresivamente con la rapidez del giro del anillo.

Alternadores.—Se llama así á las máquinas dinamo-eléctricas de corrientes alternativas. En ellos el inducido está fijo; por lo general, los electroimanes son los que se mueven. La corriente que alimenta á los inductores, es suministrada por una dinamo de corriente continua. Menos usadas que éstas, los alternadores son sin embargo muy útiles para el alumbrado por *arco voltáico*.

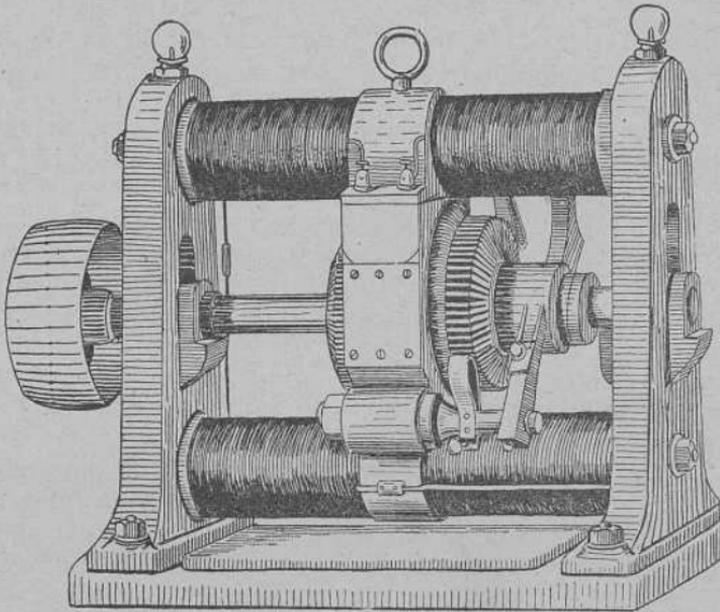


FIGURA 333.—Máquina dinamoeléctrica industrial de Gramme.

Aplicaciones.—En las máquinas dinamoeléctricas, el trabajo mecánico que las mueve (salto de agua, máquina de vapor, etc.), se transforma en energía eléctrica, que ha de ser después empleada en multitud de usos varios, alumbrado eléctrico, Galvanoplastia, electrometalurgia, transporte de la fuerza á distancia, etc., etc.

Motores eléctricos.—Acabamos de exponer, que en las dinamos, la energía mecánica es transformada en energía eléctrica; de la misma manera la

energía eléctrica puede producir un trabajo mecánico; así si hacemos pasar por los carretes inducidos de una dinamo, la de Gramme, por ejemplo, una intensa corriente eléctrica, la máquina se pone en movimiento, pudiendo ser utilizada como motor.

Esta *reversibilidad* de las dinamos ha sido utilizada para la construcción de motores industriales, empleados en las fábricas, automóviles, tranvías, trenes eléctricos, etc., etc.

Transporte de la energía á distancia.—Las corrientes eléctricas pueden transportar la energía á grandes distancias. Supongamos una energía mecánica, un salto de agua, por ejemplo, que quiere ser aprovechado en una fábrica situada á distancia de dicho salto. Una dinamo *generadora* de electricidad, situada en la proximidad de esta fuente natural de energía mecánica y accionada por ella, produce la corriente, que podrá después poner en movimiento un motor eléctrico ó dinamo *receptora* situada en la fábrica, siempre que sus hilos estén unidos por conductores formando un circuito.

Aparatos industriales de medida.—En la Industria para la medida de la fuerza electromotriz y de la intensidad de las corrientes eléctricas se hace uso de galvanómetros especiales, denominados *voltímetros* y *amperímetros* respectivamente, que, interpuestos en el circuito exterior, indican directamente en *voltios* y *amperios* el valor de la corriente, que por él circula.

EFFECTOS CALORÍFICOS Y LUMINOSOS DE LAS CORRIENTES

Efectos caloríficos en los conductores.—

El paso de una corriente eléctrica de suficiente intensidad por un alambre conductor, determina una elevación continua de temperatura que puede llegar á enrojecerlo, fundirlo y aún volatilizarlo.

Este calor depende de la intensidad de la corriente y de la resistencia del conductor; así, la misma corriente

que puede fundir un alambre de Platino apenas calienta un alambre de Cobre, por la menor resistencia que éste opone al paso de la corriente. La longitud del alambre no influye en el calor que en él se produce, pero si su diámetro, calentándose más cuanto más delgado es.

Estos efectos son utilizados en la práctica para determinar á distancia la explosión de barrenos, torpedos, etc.; en Medicina en el aparato denominado *Galvanocauterio*; en las instalaciones de alumbrado eléctrico en los *cor-tacircuitos* ó *taponos fusibles*, que son alambres de *Plomo*, de diámetro apropiado, para que se fundan por la elevación de temperatura que en ellos produciría el paso de una corriente de mayor intensidad que aquella para que están calculados, etc., etc.

Alumbrado eléctrico.—LÁMPARAS DE INCANDESCENCIA.—Cuando la corriente eléctrica pasa por un hilo delgado de un cuerpo poco fusible y de gran resistencia específica, el calor desprendido puede convertirlo en un cuerpo luminoso.

Fundadas en este hecho, las *lámparas de incandescencia* constan, por lo general, de un delgado filamento curvo de carbón de bambú, cuyos dos extremos se hallan unidos, cada uno, á un hilo de Platino, y aislados uno de otro por una capa aisladora, contenida en una rosca de latón, sobre la cual se halla una bombilla ó globo de vidrio, en el cual se hace el vacío, para que, no existiendo aire, el filamento de carbón no pueda arder. La rosca de latón encaja en otra que sirve de soporte á la lámpara, al par que establece el contacto de los dos alambres de Platino con los alambres de Cobre que transportan la corriente.

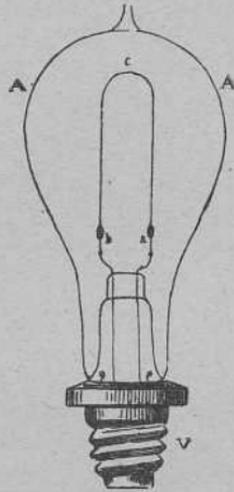


FIGURA 334.
Lámpara incandescente de Edison.

La mayor parte de las lámparas incandescentes usadas en la actualidad pertenecen al tipo de Edison, que acabamos de describir rápidamente.

ARCO VOLTÁICO.—Cuando dos barras de carbón especial, conductor, en comunicación cada una con un polo de un generador eléctrico, se ponen en contacto por sus extremos, al dar paso á la corriente, estos extremos se hacen incandescentes; pero si se los separa un poco en este instante, se produce una chispa continua en forma de media luna á la cual se ha dado el nombre de *arco voltáico*, cuya longitud varía con la distancia entre los carbonos y la intensidad de la corriente.

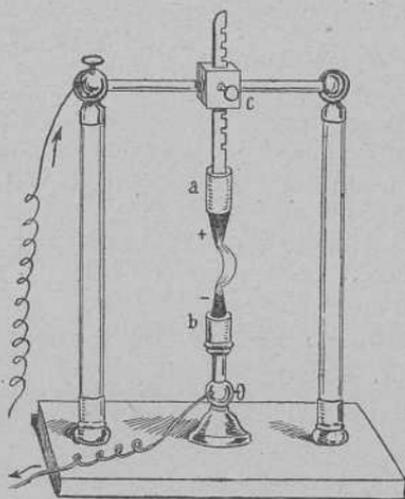


FIGURA 335.—Producción del Arco voltáico.

La luz vivísima y deslumbradora del arco voltáico es debida principalmente á la incandescencia de las puntas de los carbonos, sobre todo de la positiva, y, en el arco, á la incandescencia y combustión de las partículas de carbón, efecto de la elevada temperatura (3.500°) que adquiere la punta positiva, partículas que son arrastradas por la corriente del carbón positivo al negativo.

Ambos carbonos se gastan, pero, por este transporte, el carbón positivo lo hace dos veces más deprisa que el negativo. No así cuando se emplea máquinas de corrientes alternativas. En aquel caso la punta positiva se ahueca, en forma de *cráter*, al paso que la negativa aumenta de volumen y se afila.

Por razón de este desgaste de los carbonos, si ambos estuviesen fijos, la distancia iría aumentando entre ambas

puntas, hasta llegar un momento en que el arco se extinguiría. Para evitar este grave inconveniente se hace uso en las *lámparas de arco voltaico*, de *reguladores*, cuyas clases son muy numerosas, por medio de los cuales se mantiene aproximadamente constante la distancia entre los carbones, por su aproximación á medida que se desgastan.

Bujía Jablochhoff.—

En este sistema de lámparas de arco los carbones están paralelos, y aislados por una mezcla

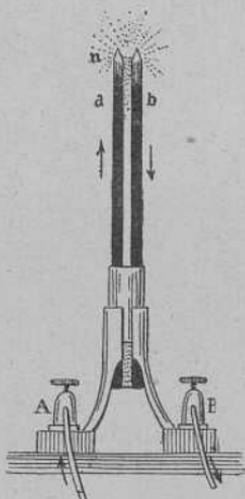


FIGURA 337.
Bujía Jablochhoff.

endurecida de yeso y kaolin que se va fundiendo á medida que se gastan los carbones. Ambas puntas de los carbones están unidas por una barrita de carbón conductor, que facilita la producción del arco.

Estas lámparas tienen que ser usadas con corrientes alternativas para que ambos carbones se gasten por igual, pues con corriente continua, siendo el gasto del carbón positivo dos veces mayor, la distancia aumentaría pronto considerablemente, extinguiéndose el arco.

Aplicaciones de la luz eléctrica.—El alumbrado eléctrico presenta grandes ventajas sobre los



FIGURA 336.—Aspecto de los carbones en el arco voltaico.

demás métodos de iluminación empleados hasta el día. En efecto, la composición de la luz eléctrica, sobre todo en el arco voltaico, es muy semejante á la de la luz solar, siendo muy rica en rayos químicos, por lo que se emplea con frecuencia en Fotografía y en las artes de ella derivadas; su poder iluminante es muy considerable; no desprende vapores nocivos, no calienta apenas los locales cerrados donde se usa; los riesgos de incendios, explosiones, etc., son casi nulos con ella, y el precio á que se puede suministrar compete, ventajosamente en algunos casos, con el de la mayor parte de las materias iluminantes empleadas hasta el día.

Las lámparas de arco voltaico se utilizan principalmente cuando se quiere iluminar un gran espacio; en los faros, al aire libre, en grandes locales; las lámparas incandescentes son muy útiles sobre todo en el alumbrado particular.

Hornos eléctricos.—La elevada temperatura del arco voltaico ha sido utilizada con la invención de los hornos eléctricos, en los cuales, como en el de Moissan, se obtienen temperaturas de 3.500° , con las cuales se ha llegado á fundir y aun volatilizar los cuerpos más refractarios como la *Silice*, la *Cal*, el *Carbono*, etc.

En la Industria este calor es empleado en la soldadura autógena de los metales, en la obtención de ciertos metales, aleaciones y otros cuerpos (*Carburo de Calcio*) etc., etc.

TELEGRAFÍA ELÉCTRICA

Telegrafia eléctrica.—Tiene por objeto la comunicación entre dos puntos distantes, mediante la electricidad.

Esta comunicación puede obtenerse empleando conductores metálicos que unan á las dos estaciones

telegráficas: *Telegrafía*, ó sin conductores metálicos: *Telegrafía sin hilos*.

Telegrafía con conductores.—SU FUNDAMENTO.—Supongamos una pila P N (fig. 337) situada en Madrid, por ejemplo, y un electroimán A instalado en Barcelona. Ambos aparatos están unidos por un alambre que, partiendo del polo positivo P de la pila, va á arrollarse en el electroimán A, volviendo después á unirse al polo negativo N de dicha pila. Delante del electroimán hay una laminita H de hierro

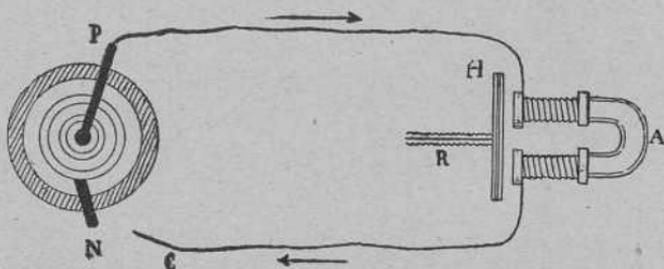


FIGURA 337.—Fundamento de la Telegrafía con conductores.

dulce, que se mantiene á cierta distancia de aquel, mediante un débil resorte R. Supongamos que en Madrid establecemos el contacto C N, cerrando el circuito, la corriente por el alambre positivo va á Barcelona y por el negativo vuelve á Madrid; pero á su paso por el electroimán, la laminita H de hierro dulce es atraída, por la imanación de aquel al paso de la corriente. Si cortamos el circuito, como está indicado en la figura, la corriente se interrumpe, el electroimán se desimana, y la laminita H no atraída ya, retrocede obligada por el resorte. Estos dos movimientos, avance y retroceso, de la lámina H pueden ser consideradas en Barcelona como dos señales hechas en Madrid. Si de antemano se ha convenido una significación para cada uno de estos movimientos

tos ó serie de ellos, dándoles una correspondencia con las letras del alfabeto, se comprende que una persona situada en Madrid podría comunicar con otra que se hallase en Barcelona.

Partes esenciales de un telégrafo eléctrico.

—De lo dicho se deduce que las partes esenciales de un telégrafo eléctrico, son: 1.º Un *generador de corriente*; 2.º Un *manipulador* que puede establecer ó interrumpir á voluntad la comunicación; 3.º una

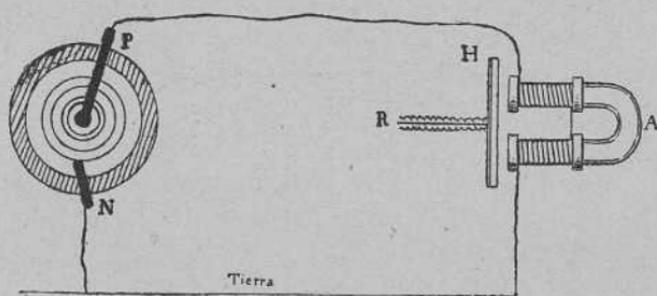


FIGURA 338.—Supresión del alambre de vuelta.

línea telegráfica, constituida por los alambres conductores que unen las estaciones; 4.º un *receptor*, que en esencia es el electroimán y la lámina que hemos descrito.

Generadores de corrientes.—Es generalmente una pila Daniell, Callaud ú otra semejante, de corriente constante, constituida por varios elementos, según la distancia entre las estaciones. En los grandes centros tienden á ser reemplazadas por acumuladores.

Línea telegráfica.—En todos los sistemas el alambre de vuelta ha sido sustituido por la Tierra, con lo cual se consigue una menor resistencia, causa de aumento en la intensidad y de un notable ahorro en el coste en la instalación. Con este objeto se pone el

polo negativo de la pila en comunicación con la Tierra, por un alambre de Cobre, unido á una ancha placa de lo mismo enterrada en el suelo, haciendo comunicar, del mismo modo, con la Tierra al aparato receptor.

Las líneas telegráficas pueden ser: *aéreas*, *subterráneas* y *submarinas*.

En las *líneas aéreas* el alambre es generalmente de *hierro galvanizado*, para preservarle de la oxidación, de unos 4 mm. de

grosor, y está sostenido por *aisladores* (figura 339) de porcelana, fijos á *postes*, empotrados en el suelo.



FIGURA 340.
Cable y
su sección.

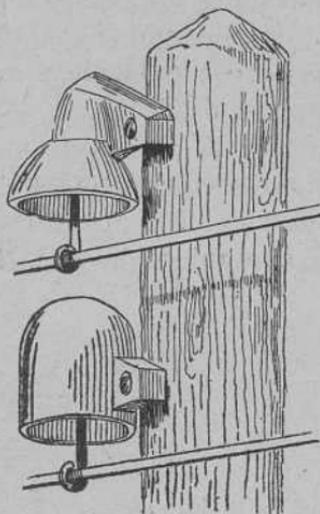


FIGURA 339.—Aisladores.

Las *líneas subterráneas* y *submarinas* (*Cables*) están constituidas (fig. 340) por varios alambres de Cobre, arrollados en una amplia espiral, aislados por gutapercha (*alma del cable*), recubiertos después por otras capas protectoras, de distinta naturaleza, según los lugares en donde han de ser tendidos (*tierra*, *alcantarillas*, *agua*, etc.) Esta protección, es, en los cables submarinos, de alambres de Hierro y Acero en espiral, y fibras de cáñamo y estopa embreadas; su objeto es hacerlos resistentes á la tracción, á los roces y á los agentes destructores á que han de estar expuestos en el fondo del mar.

Telégrafo de Morse.—MANIPULADOR.—Sobre una base de madera M (fig. 341) hay una pieza

metálica, soporte del eje, sobre el que puede oscilar la palanca K. En un extremo lleva esta palanca un agarrador P y en el opuesto un tornillo de tope V, que, cuando el aparato está en reposo, se halla en contacto con la pieza metálica a, por levantar á la palanca, del lado opuesto, el resorte r. En la parte inferior de dicha palanca hay una punta t, que coincide con el tope metálico b del cual está separada cuando el aparato no funciona. El tope b está en comunicación por B con el polo positivo de la

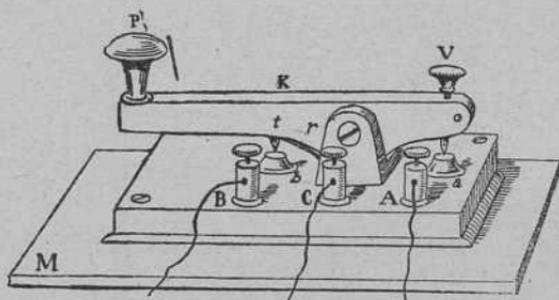


FIGURA 341.—Manipulador Morse.

pila; la palanca por C con el hilo de la línea. El tornillo A comunica con el receptor.

Si oprimiendo el agarrador empujamos hacia abajo la palanca, la punta t se pone en contacto con el tope b y la corriente pasa por B b t C al hilo de la línea; cuando la presión cesa el resorte r levanta la palanca y el circuito se interrumpe. Un contacto *breve* ó *largo* origina una duración menor ó mayor del paso de la corriente, acusada por el receptor.

RECEPTOR.—El primitivo receptor de Morse consiste en un electroimán vertical E (fig. 342), en comunicación con el hilo de la línea y con Tierra, cuya armadura A está unida á una palanca D, movable sobre el eje O. Un extremo de esta palanca termina

en una punta V; el otro extremo está contenido en el espacio de los tornillos f y g, que limitan sus movimientos. Por medio de un aparato de relojería, se mueven en sentido contrario los dos cilindros a y b, haciendo pasar á una tira de papel sobre la punta V, sin que ésta la toque, cuando no hay paso de corriente por el receptor, porque el resorte r se opone á dicho contacto, teniendo al mismo tiempo separados la armadura A y el electroimán.

Pero supongamos que la corriente llega, el elec-

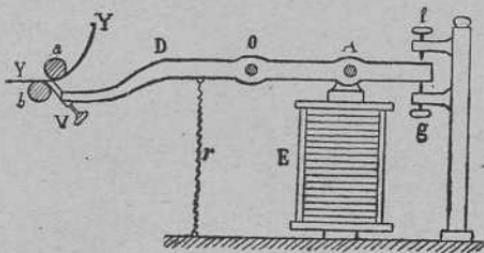


FIGURA 342.—Esquema del receptor Morse.

troimán, imanándose, atrae á A, y por consecuencia la palanca se eleva del lado de la punta, la cual toca en la tira de papel, dejando en él una huella rectilínea tanto más larga cuanto mayor ha sido la duración del paso de la corriente, duración, claro está, correspondiente á la duración del contacto del manipulador. Al cesar la corriente, el electroimán se desimana, y abandonada la armadura, merced al resorte r, la palanca vuelve á su posición primitiva de reposo.

Si por el contacto instantáneo del manipulador se envía al receptor una corriente instantánea, el contacto de V sobre el papel será también instantáneo, quedando marcado un punto; si, por el contrario, fuera largo la huella en el papel del receptor sería

una línea. Como los contactos pueden hacerse á voluntad breves ó largos, puntos ó rayas en el receptor, por combinaciones de estos dos signos, siguiendo un *código de señales* establecido de antemano, la comunicación entre dos estaciones resulta fácil.

En el receptor Morse, empleado hoy, las huellas

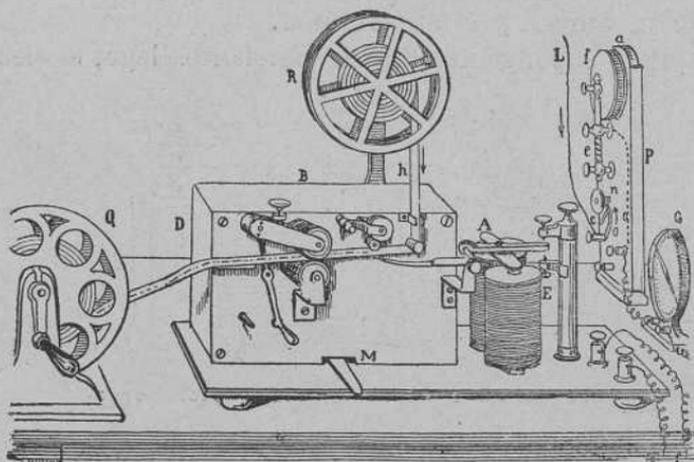


FIGURA 343.—Receptor Morse.

de la tira de papel quedan impresas en tinta, pues la punta V al ponerse en contacto con la banda de papel la oprime contra el borde agudo, impregnado de tinta, de una rueda que gira con el mismo aparato de relojería que mueve los rodillos.

El telégrafo Morse, empleado en casi todos los países, tiene grandes ventajas: es sencillo, barato, de fácil conservación, y deja impreso el despacho; presenta sin embargo como inconvenientes el ser lento para la transmisión y el tener que emplear un alfabeto convencional.

El alfabeto Morse es el siguiente:

A --	J	S	1
B	K	T --	2
C	L	U	3
D	M --	V	4
E .	N	W	5
F	O	X	6
G	P	Y	7
H	Q	Z	8
I . .	R	0	9

Disposición elemental de una línea telegráfica.—Para que las dos estaciones puedan recibir y transmitir despachos, ambas tienen los mismos aparatos, más el generador

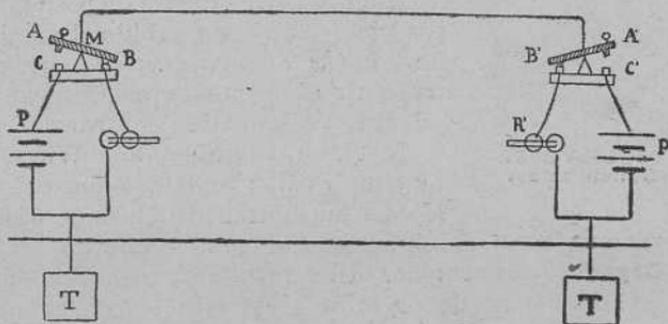


FIGURA 344.—Esquema de la disposición de una línea telegráfica.

correspondiente, unidos entre sí como muestra teóricamente la figura esquemática 344. Supongamos que oprimiendo el manipulador M en A establecemos el contacto C; la corriente de la pila P, pasa por C M L M' B' al receptor R' y de aquí á la Tierra T. Si el manipulador que actúa es el de la otra estación, al establecerse el contacto C' la corriente de P' pasa á C' M M B, al receptor y á tierra.

Otros aparatos telegráficos.—Existen otros aparatos telegráficos en cuya descripción no podemos entrar.

El *telégrafo de cuadrante* ó de *Breguet* es de fácil manejo, de escasa complicación y poco coste, pero tiene el grave inconveniente de no dejar impreso el despacho. Aun

así es todavía usado para comunicarse entre las estaciones de las vías férreas.

Entre los telégrafos impresores, citaremos solamente el *telégrafo Hughes*, empleado casi exclusivamente en los grandes centros donde se precisan aparatos de rápida transmisión. Su complicación es grande, pero aparte ser de gran rapidez, presenta una ventaja real; la de dejar impreso con caracteres ordinarios el telegrama transmitido.

Telegrafía rápida.—La necesidad de transmitir gran número de despachos en las grandes líneas ha hecho progresar notablemente á la Telegrafía. Así hoy, por medio de aparatos denominados *distribuidores*, adaptados á cinco aparatos Hughes, Morse, etc., pueden ser expedidos cinco telegramas á la vez.

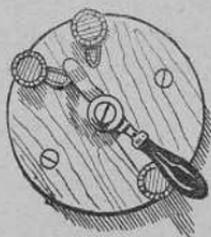


FIGURA 345.
Conmutador.

Es más, por medio de disposiciones especiales que han recibido el nombre de *duplex cuádruplex*, se consigue transmitir al mismo tiempo dos, cuatro telegramas en sentido contrario.

El telégrafo automático Wheastone, que es una modificación del de Morse, puede transmitir más de 500 telegramas, de á 15 palabras cada uno, en una hora.

Organos accesorios.—Una instalación tiene además un gran número de órganos accesorios, muy variables según los sistemas empleados.

Los *conmutadores* tienen por objeto cambiar la comunicación de una estación con una línea ó con otra de las que á ella concurren, según las conveniencias del servicio, ó bien pueden poner en comunicación dos líneas, dejando aislados al paso de la corriente los aparatos telegráficos de la estación.

El *pararrayos P* (fig. 343) preserva á los aparatos telegráficos de las descargas atmosféricas en tiempo de tempestad.

Los *renovadores de corrientes* tienen por fin aumentar la intensidad de la corriente cuando la que llega es débil para hacer funcionar los aparatos.

Los *timbres eléctricos* avisan al telegrafista la transmisión de un despacho desde otra estación, evitando así una atención continua del empleado. Estos timbres, empleados

también en las casas particulares y en los establecimientos públicos, constan de un electroimán *F*, cuya armadura de hierro *A* termina en un macito *M*, que puede golpear sobre el timbre *T*; el otro extremo de la armadura es una lámina elástica *m*, fija á un tornillo, la cual tiende á tener el mazo separado del timbre y le apoya contra el resorte *R*, que

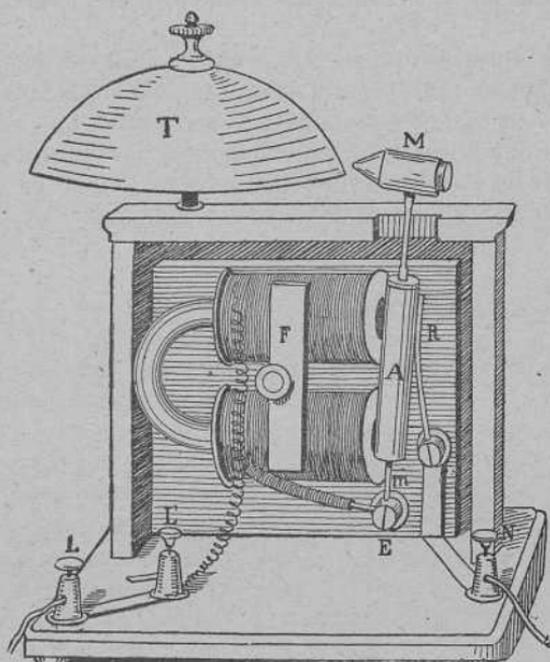


FIGURA 346.—Timbre eléctrico.

comunica con el botón *N*. El hilo del electroimán está unido al hilo de la línea que llega por *L L'* y termina en el tornillo *E*; el resorte *R* comunica con Tierra por el hilo de *N*.

Cuando la corriente llega por *L*, recorre el electroimán, pasa por la armadura *A*, al resorte *R*, de donde por *N* va á Tierra; pero al paso de dicha corriente el electroimán se imana, atrae á la armadura, cuyo mazo golpea al timbre, y, como se ha separado del resorte metálico *R*, el circuito queda cortado y la corriente interrumpida, con la consiguiente desimanación del electroimán. Entonces vuelve la



armadura á su primitiva posición, cerrando de nuevo el circuito, determinando los mismos fenómenos de un modo continuo, mientras la corriente llegue al aparato.

Telegrafía submarina.—En la Telegrafía submarina á causa de los fenómenos de condensación que se verifican en el cable é impiden la rápida trasmisión de las señales, no pueden ser utilizados los aparatos telegráficos ordinarios.

Los receptores de Telegrafía submarina son á modo de galvanómetros muy sensibles, en las cuales, las desviaciones de la aguja corresponden á los signos del alfabeto Morse. El denominado *sifón registrador* de Thomson tiene la ventaja de escribir sobre una tira de papel las desviaciones del órgano móvil del aparato receptor.

TELEGRAFÍA SIN HILOS

Ondas hertzianas.—La descarga de un carrete de

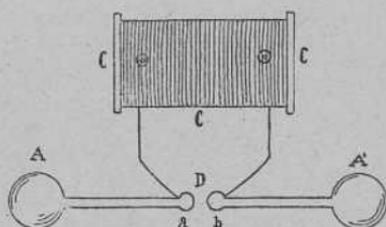


FIGURA 347.—Oscilador.

Ruhmkorff, sobre todo cuando se verifica á través de conductores gruesos y cortos, no es continua: se compone de una serie de descargas sucesivas, de intensidad decreciente, que van alternativamente de un polo al otro, con intervalos cortísimos,

de tan escasa duración, que, á veces, alcanza una millo-nésima de segundo.

Esta descarga, denominada oscilante, puede transmitirse en el espacio que la rodea en ondas sucesivas, llamadas *ondas eléctricas ó hertzianas*, del nombre de su descubridor, muy semejantes en sus propiedades á las ondas luminosas, pues se propagan con la misma velocidad, se reflejan, se refractan al atravesar los dieléctricos, etc.

Con el *oscilador*, representado en la figura 347, demostró Hertz la producción de las ondas eléctricas. El inducido de un poderoso carrete de Ruhmkorff, C, se halla en comunicación con dos varillas metálicas, terminadas en

sus extremos por dos esferas de muy distinto tamaño, a A y b B; entre las esferas pequeñas a y b, se efectúa la descarga oscilante, la cual produce efectos de inducción en los conductores próximos, como lo prueban las chispas que saltan en la cortadura de un aro metálico (*resonador eléctrico*) situado en el *campo oscilante* que crea dicha descarga.

Radioconductores.—Estos aparatos, ideados por Branly, ofrecen un medio muy sensible de comprobar las ondas eléctricas. Esencialmente, los *radioconductores* están constituídos por un tubo de vidrio ó ebonita V V (figura esquemática 349) en el que hay una columnita de limaduras metálicas L, ligeramente comprimidas. Puestas las limaduras en comunicación con los polos de una pila P, no hay paso de la corriente, por la gran resistencia que aquellas oponen; pero si se produce una descarga oscilante en un carrete de Ruhmkorff, aun á una distancia considerable, al recibir las ondas eléctricas la limadura se hace conductora, dando paso á la corriente, y conservando la conductibilidad por tiempo indefinido. Basta un choque sobre el tubo, con el mazo C, para que esta conductibilidad desaparezca. Un galvanómetro ó un timbre eléctrico E, intercalados en el circuito de la pila, nos acusan estos fenómenos.

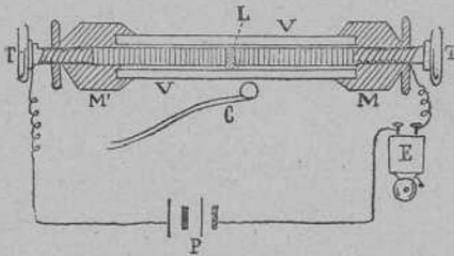


FIGURA 349.—Radioconductor.

Una nueva onda que llega, produce paso de la corriente de la pila, acusada por la aguja del galvanómetro ó por el timbre, un choque subsiguiente del mazo C, devuelve á la limadura su resistencia. El radioconductor es, pues, un receptor de las señales que á distancia le son transmitidas por medio de las ondas hertzianas. Este es el fundamento de la *telegrafía sin hilos*.

Telegrafía eléctrica sin hilos.—Se denomina así por que las estaciones no comunican entre sí, mediante

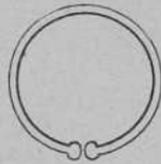


FIGURA 348.
Resonador eléctrico.

conductores metálicos, sino utilizando las ondas hertzianas. La gloria de haber puesto en práctica por primera

vez la trasmisión de señales por este sistema corresponde á Marconi.

Como en todo sistema telegráfico, hay que considerar un *trasmisor* y un *receptor* de las señales. El trasmisor está, en principio, constituido por un *excitador* ú *oscilador* E, (figura 350) productor de ondas eléctricas,

breves ó largas, á voluntad (*puntos ó rayas* en el receptor) mediante un manipulador M, semejante al de Morse, que puede abrir ó cerrar el circuito inductor I.

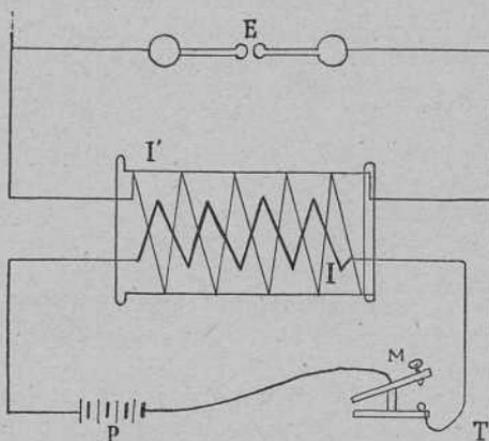


FIGURA 350.—Esquema de un trasmisor en Telegrafía sin hilos.

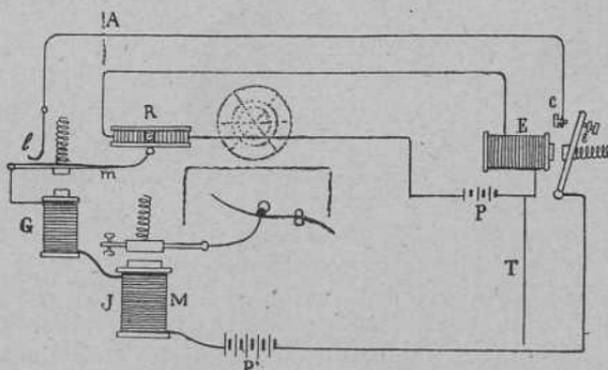


FIGURA 351.—Esquema de un receptor de Telegrafía sin hilos.

La figura 351, representa esquemáticamente los órganos más esenciales de un *receptor* de telegrafía sin hilos. En el circuito P R E de una pila P, se hallan un *radioconductor*

R y un *electroimán* E. Si una onda eléctrica llega, la corriente pasa, á través de la lamadura del radioconductor R, y el electroimán, imanándose, atrae á la lámina l de hierro dulce, que cierra en C el circuito C b G J P' C, de una segunda pila P'. La corriente al cerrarse dicho circuito acciona al receptor de Morse J M, de la misma manera que ya conocemos; pero, al mismo tiempo al pasar por el electroimán G lo imana, éste atrae al macito m, se interrumpe el circuito en b, por lo que el electroimán G se desimana, abandonando al macito m, que obligado por su resorte, da un golpe sobre el radioconductor, para devolverle su primitiva resistencia. Por esta razón, no pudiendo ya pasar la corriente de la pila P, el circuito del receptor queda de nuevo cortado en C, estando en este momento el aparato como antes de la llegada de la primera onda y en disposición de acusar la presencia de las siguientes.

Los signos convencionales empleados son los del telégrafo Morse.

Para la comunicación á grandes distancias transmisor y receptor están en comunicación con Tierra, por un extremo, y por el otro con un largo hilo metálico, vertical, denominado *antena*, que recoge las ondas eléctricas.

El problema de la Telegrafía sin hilos no está todavía completamente resuelto de un modo perfecto; sin embargo se han hecho notables experiencias de comunicación á grandes distancias, entre Europa y América, por ejemplo, y presta ya muy útiles servicios sobre todo para comunicar con los navíos, en el curso de sus viajes.

TELEFONÍA

Teléfonos.—Son aparatos destinados á transmitir los sonidos á distancia, utilizando las corrientes de inducción.

Teléfono de Bell.—El teléfono, inventado en 1876 por Graham Bell, está constituido por un *transmisor* y un *receptor* idénticos, unidos por dos alambres conductores. Consta el teléfono (fig. 352) de un estuche de madera M, ensanchado por una parte,

embocadura E, en el cual hay una plaquita de hierro dulce H, á poca distancia del extremo de un imán I, extremo rodeado de un pequeño carrete C, de alambre de Cobre, aislado con seda. Los extremos de este alambre se unen á otros dos alambres más gruesos, a y a' aislados también, que se continúan fuera del aparato, para ir á unirse en idénticas condiciones á otro aparato igual.

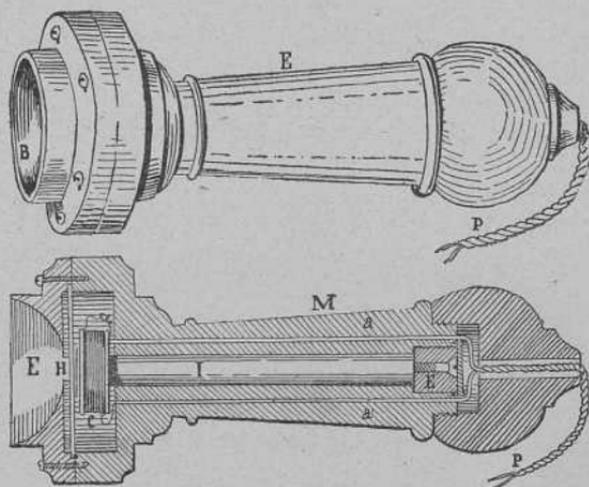


FIGURA 352.—Teléfono de Graham Bell.

Supongamos dos teléfonos puestos así en comunicación á distancia; si se emite un sonido en la embocadura de uno de los aparatos, las vibraciones del aire, hacen que la placa se acerque ó se aleje del imán, de modo semejante á como vibra la membrana del fonógrafo. La placa está imanada por la influencia del imán, así es que, á cada aproximación ó alejamiento de éste, su intensidad magnética aumenta ó disminuye, reaccionando á su vez sobre el magnetismo del imán, que aumenta también ó disminuye. Cada uno de estos cambios produce una corriente de

inducción, de sentido contrario, en el alambre del carrete, las cuales transmitidas por los conductores a y a' al carrete del otro teléfono, que actúa como receptor, influyen sobre su imán aumentando ó disminuyendo la intensidad de éste, lo que hace acercarse ó alejarse la placa de hierro, reproduciendo exactamente los movimientos de la placa del transmisor. Estos movimientos obligan al aire á reproducir, á su vez, las vibraciones que verificó en la embo-

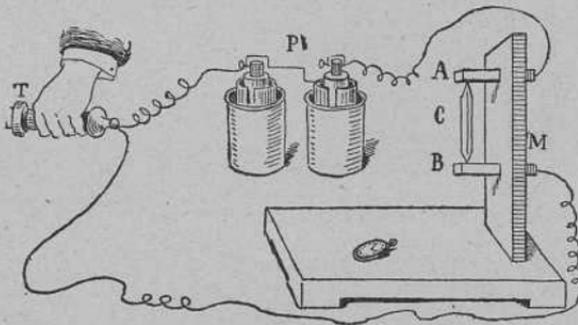


FIGURA 353.—Micrófono.

cadura del transmisor, repitiendo por consecuencia los sonidos originarios, que una persona puede percibir acercando el receptor á su oído.

En el teléfono Bell, un mismo aparato hace el oficio de transmisor ó receptor, según los casos.

Micrófono.—El mayor inconveniente del teléfono descrito, es su escasa sensibilidad; Hughes subsanó este defecto inventando el aparatito denominado *micrófono*, que sirve para reforzar considerablemente los sonidos en el teléfono.

El *micrófono* está constituido por dos piezas de carbón aglomerado A y B, fijas á una tabla vertical de madera M; una varilla del mismo carbón, C, se halla entre ellas, alojando sus extremos puntiagudos

en dos cavidades correspondientes de dichas piezas, pero tan débilmente apoyada que á la menor trepidación puede moverse. Ambas piezas, el carbón C y un teléfono T forman parte del circuito de una pila P.

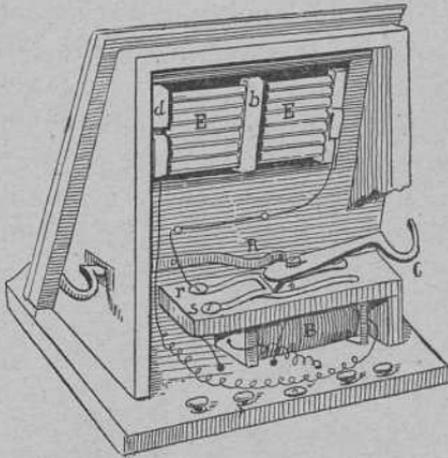


FIGURA 354.—Trasmisor de Ader.

Visto por la parte inferior.

contactos y por consecuencia su resistencia al paso de la corriente, cambios que influyen sobre la intensidad del imán del receptor, que, moviendo la placa de hierro, reproduce los sonidos.

Teléfono de Ader.—En éste, como en los demás aparatos telefónicos denominados *microteléfonos*, el transmisor es un micrófono, y el receptor un teléfono perfeccionado, semejante en esencia al de Bell.

El transmisor (fig. 354), es un micrófono formado por doce carbonos, sujetos á tres travesaños de lo mismo, colocados bajo una delgada chapa de madera, que constituye la tapa de una caja, de forma de pupitre, sobre la cual se habla cuando

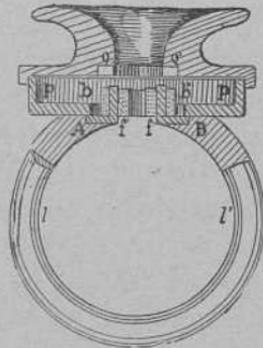


FIGURA 355.—Receptor de Ader.

se trata de comunicar con la estación receptora. Las vibraciones de esta chapa originan las de los carbones del micrófono, produciéndose los fenómenos ya estudiados, pero con una gran intensidad.

El receptor, que pudiera también servir de transmisor, es una modificación del de Bell, en el que el imán tiene forma de herradura, estando cada uno de sus polos rodeado por un carrete, que al ser atravesado por la corriente, originan una mayor amplitud en las vibraciones de la placa de hierro.

En otros micrófonos las varillas de carbón han sido sustituidas por una membrana de la misma materia. No podemos entrar en la descripción de todos los tipos.

Instalaciones telefónicas.—Son muy semejantes á las telegráficas y como en ellas debe considerarse el *transmisor*, la *línea* y el *receptor*. Los alambres de la línea son de Cobre fosforoso ó Bronce silicioso, sin que pueda ser suprimido el hilo de vuelta, donde, como sucede en las grandes poblaciones, pueden hallarse sometidos á la inducción de

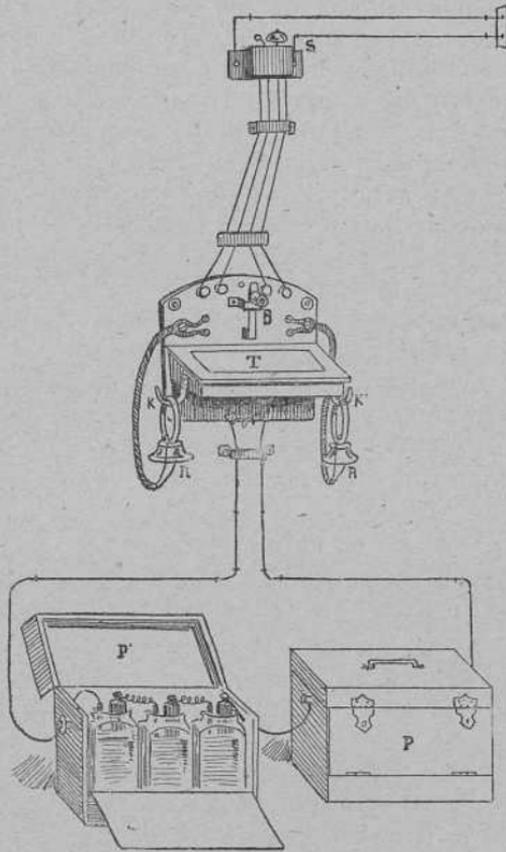


FIGURA 356.—Estación telefónica.

otras corrientes que circulen por los alambres de otras líneas próximas. Cada estación tiene un timbre de llamadas (fig. 356), puesto en comunicación con la línea, mediante una especie de conmutador K, cuando estando sin funcionar el teléfono, los dos receptores R de la estación cuelgan de los ganchos exteriores de dicho conmutador. Al descolgar los receptores, que obraban sobre aquel por su peso, la comunicación del timbre con el hilo de la línea queda cortada, estando ya el aparato en disposición de comunicar con la otra estación.

En los aparatos que han de transmitir la palabra á grandes distancias, se emplea un carrete de inducción, modificación debida á Edison, que ofrece positivas ventajas. El inductor del carrete, forma parte, con el trasmisor, del circuito de la pila local; el inducido constituye un segundo circuito con la línea y los receptores. Las variaciones de intensidad de la corriente de la pila, originadas en el trasmisor, dan lugar en el circuito secundario á corrientes de inducción de mayor intensidad, que obran en los receptores, para reproducir más exacta y claramente los sonidos.

XI

METEOROLOGIA.—CLIMATOLOGIA

Meteorología.—Es la ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos, á los cuales se da el nombre de *meteoros*.

Estos fenómenos presentan á veces, gran complejidad, por ser producto de diferentes causas, no pudiendo separarlas de un modo absoluto.

División de la Meteorología.—Puede ser dividida en dos importantes ramas: *Climatología* que estudia el estado habitual de los fenómenos ó elementos meteorológicos en un lugar determinado, y la *Meteorognosia*, que trata de la previsión del tiempo, parte importantísima de la Meteorología, que no ha adquirido aún el grado de desarrollo, que se trata de alcanzar, por efecto de las múltiples dificultades que se oponen á su fin.

Importancia de la Meteorología.—Basta definir la Meteorología para comprender la capital importancia de su estudio, pues tratando de los fenómenos físicos que acontecen en el medio en que vivimos, interesan sus enseñanzas al Agricultor, al Médico, á los navegantes, al naturalista, etc., etc.

Elementos meteorológicos.—Los *meteoros* pueden tener su causa en las variaciones de *temperatura* ó de la presión atmosférica (*meteoros térmicos*), ó ser producidos por la humedad ó vapor de agua atmosféricos (*meteoros acuosos*); originados por la luz solar (*meteoros luminosos*), ó por la electricidad (*meteoros eléctricos*).

Pero algunos meteoros son tan complejos, por ser efecto de varias de estas causas á la vez, que no puede ser admitida como absoluta la anterior clasificación.

TEMPERATURA

Máxima, mínima y media.—Como la temperatura del aire es de una importancia capital, hasta el punto de caracterizar á los *climas*, es necesario, considerar la *temperatura máxima*, la *mínima* y la *media* en el lugar y tiempo que se consideren.

La determinación de la temperatura se verifica por los termómetros ordinarios, por los de máxima, de mínima y por los registradores. En las instalaciones meteorológicas, que deben estar en el campo, ó en lugar elevado si se hallan dentro de la población, los termómetros, han de estar resguardados de la acción directa de los rayos del Sol, lejos de los cuerpos que por radiación puedan influir sobre ellos, y por lo tanto á cierta altura del suelo, dos metros próximamente, y colocados de modo que el aire pueda circular libremente á su alrededor. Para ciertas observaciones es necesario también saber la máxima al Sol.

La observación demuestra que en el día la temperatura aumenta desde el amanecer hasta las dos (invierno) ó las tres (verano) de la tarde, en que alcanza su *máximo*, desde estas horas comienza á disminuir hasta poco antes del amanecer del nuevo día, momento en que llega á su *mínimo*.

La *temperatura media* de un día se determina hallando el valor medio de las temperaturas observadas en las veinticuatro horas, para lo cual se suman aquellas temperaturas y la suma se divide por 24; pero generalmente, si no se precisa una gran exactitud, se halla la media, de modo aproximado, con los datos que suministran la máxima y la mínima del día y de la noche.

La *temperatura media mensual ó anual* es la media de las temperaturas medias de los días del mes, ó de los doce meses del año, respectivamente.

Causas influyentes sobre la temperatura del aire.—

La *latitud geográfica* de un lugar, influye notablemente en la temperatura de éste, pues cuanto mayor sea su latitud los rayos solares caerán con una mayor oblicuidad, disminuyendo por consiguiente sus efectos caloríficos.

La *altura* sobre el nivel del mar influye aún más considerablemente que la latitud, calculándose que por cada 180 metros de elevación, aproximadamente, la temperatura del aire disminuye un grado. Este descenso de temperatura es debido á la transparencia del aire para el calor, á su mala conductibilidad, al escaso poder absorbente del aire enrarecido y muy principalmente á no estar calentado por su contacto con el suelo.

En las montañas de cierta elevación, la *región de las nieves perpétuas* variable con la latitud, corresponde á los puntos en que, por su altitud, la temperatura es constantemente inferior á 0°.

Las *nubes* que cubren el cielo se oponen á los cambios bruscos de temperatura por impedir de día el paso de los rayos solares y por la noche las pérdidas de calor por las radiaciones de la Tierra.

Los *vientos* aumentan ó disminuyen la temperatura, según provengan de regiones más ó menos cálidas.

La *proximidad del mar* es causa que regula la temperatura, debido á la absorción de calor por las aguas durante las épocas calurosas, calor que restituyen después poco á poco, durante el invierno.

Por último, el *estado y naturaleza del terreno*, su *vegetación*, *situación en los valles ó en las faldas de las montañas*, su *orientación*, *proximidad á las grandes ciudades*, etc., etc., son causas que influyen en la temperatura, de un lugar.

Líneas isotermas.—Si la superficie terrestre fuese completamente homogénea y regular la temperatura disminuiría gradualmente del ecuador á los polos, pues solamente la latitud influiría en ella, y al unir en el mapa por medio de líneas todos los puntos del globo de la misma temperatura media anual, aquellas líneas seguirían sensiblemente el sentido de los paralelos geográficos. Pero, efecto de las diversas causas enumeradas, dichas *líneas*, llamadas *isotermas*, aparecen sinuosas é irregulares, sobre todo en los continentes.

Zonas.—Por sus condiciones de temperatura la Tierra ha sido dividida en cinco zonas: Una *Zona tórrida*, comprendida entre los trópicos; dos *Zonas templadas*, del Norte y del Sur, que comprenden respectivamente desde el Trópico de Cáncer al Círculo polar Artico, y desde el Trópico

de Capricornio al Círculo polar Antártico; y dos *Zonas glaciales, ártica y antártica* desde los círculos polares-ártico ó antártico, hasta el polo correspondiente.

Clima.—Al conjunto de las condiciones atmosféricas (temperatura, humedad, presión, nebulosidad del cielo, et- cetera) se da el nombre de *clima* de un país.

Siendo la temperatura el más importante de los elementos que caracterizan á los climas, se ha dividido á estos en: 1.º *climas constantes ó regulares*: cuando la diferencia entre las temperaturas medias del invierno y del verano no excede de 6º á 8º; son también llamados *climas marinos*, por corresponder á los mares, lugares próximos al mar, islas, etc.; 2.º *climas moderados ó variables* cuando la variación es sólo de 16º á 20º; y 3.º *climas excesivos ó continentales* cuando las oscilaciones de la temperatura pasan de 30º ó más; corresponden al interior de los continentes.

Temperatura á distintas profundidades en la Tierra.

—La temperatura de la superficie de la Tierra varía con la temperatura ambiente, pero á medida que se profundiza en el suelo, aunque sea escasamente, la influencia exterior desaparece, efecto de la mala conductibilidad de la Tierra para el calor. Por esta razón una cueva, el agua de un manantial, aunque no sean muy profundos, están más templados que el aire en el invierno y más frescos en el verano. Si se ahonda aún más se halla una capa, de profundidad creciente con la latitud, en que la temperatura permanece invariablemente constante. Desde dicha capa, se observa, al profundizar, un aumento progresivo de temperatura: de 1 grado por cada 30 metros próximamente, lo cual hace suponer, que, si este aumento continúa, debe existir en el centro del Globo una elevadísima temperatura, á la cual todas las materias deben de estar en ignición.

Temperatura de las aguas.—Las temperaturas de las aguas de los manantiales varían con las de las capas terrestres que recorren: así, se comprende que las *aguas termales* han debido de recorrer profundidades muy considerables antes de salir á la superficie. El agua de los *Geiseres de Islandia* brota á la temperatura de ebullición, las aguas termales de Caldas de Montbuy (Barcelona) á 69º, las de Archeda (Murcia) á 53º, etc.

En el fondo de los lagos profundos el agua presenta constantemente la temperatura de 4º, que es á la que

corresponde su mayor densidad; en la superficie varía con las variaciones del aire.

Esta constancia de temperatura no se verifica en las profundidades de los mares, fuera de los interiores, efecto de las corrientes que se establecen del ecuador á los polos y viceversa. En la zona tórrida las aguas de la superficie del mar son menos densas por hallarse, influenciadas por el ambiente, á una temperatura de 26 á 28°; en los mares glaciales la temperatura es mucho menor, y, en su consecuencia, sus aguas corren por el fondo hacia el ecuador, al paso que las del ecuador van por la superficie hacia las regiones polares. Como estas llevan una temperatura elevada, van templando á su paso los países que recorren. Su camino no es directo del ecuador á los polos, sino que se modifica notablemente por la rotación de nuestro planeta, por la dirección de los vientos, la configuración de las costas, etc., etc. La más importante de éstas es la *Corriente del Golfo*.

VIENTOS

Variaciones de la presión atmosférica.—La altura barométrica no permanece constante, pues efecto de la movilidad del aire, influenciado por el calor del Sol, la presión atmosférica varía, dando origen á la formación de los vientos.

Las variaciones de la presión atmosférica se miden por los *barómetros*.

Variaciones regulares, diurnas y anuales.—En el espacio de un día la columna barométrica sufre regularmente variaciones que presentan dos *máximos* y dos *mínimos*, correspondientes á las 7 de la mañana y las 10 de la noche los primeros y á las 5 de la tarde y 4 de la mañana los segundos. La causa de estas variaciones de la presión no están aún satisfactoriamente explicadas, aunque se supone sean debidas á los cambios de temperatura del día y de la noche.

Estas oscilaciones de la columna barométrica son casi imperceptibles en las regiones polares; en nuestros países apenas si llegan á 1 milímetro, en el ecuador alcanzan cerca de 3 milímetros, siendo tan regulares, que

podríamos valernos del barómetro, en estas regiones, como de un reloj.

Las *variaciones anuales* presentan también dos *máximos* y dos *mínimos*, que coinciden con el invierno y verano, y con la primavera y otoño respectivamente, y se supone, también, sean debidas á las variaciones de temperatura.

Variaciones accidentales.—Estas oscilaciones de la presión atmosférica que se producen irregularmente aumentando su frecuencia del ecuador á los polos, tienen una gran importancia, pues no sólo coinciden sino que anteceden á los cambios de tiempo, siendo un dato de gran valor para la previsión del mismo.

Distribución de las presiones en la superficie de la Tierra.—Líneas isobaras.—Para la comparación de las presiones atmosféricas en distintos lugares es preciso que todas se refieran á una misma altura determinada, que es el nivel del mar.

Las líneas que en el mapa unen los diversos puntos de igual presión media, diaria, mensual, etc., se denominan *líneas isobaras*.

Por ellas se ha averiguado que la presión atmosférica es más considerable en las regiones frías que en las cálidas, si bien hacia los polos la presión disminuye, por las grandes cantidades de vapor acuoso que se condensan en dichas regiones.

Vientos.—Son las corrientes de aire, que se establecen entre dos ó más regiones de la atmósfera, originadas por un desequilibrio de las presiones respectivas.

Este desequilibrio puede provenir principalmente de diferencias de temperatura ó de condensación ó formación brusca de vapor de agua.

Supongamos que por el calor solar el aire de una región cualquiera, á su contacto con el suelo, se calienta más que el de las regiones circunvecinas. Al elevarse su temperatura se dilata este aire, se hace menos denso, asciende por consecuencia, y tiende á hacer un vacío que corre á llenar el aire más frío y denso de las regiones cercanas, (*corrientes de aspiración*). El aire ascendente va enfriándose poco á poco, por lo que á cierta altura cesa de elevarse, y se dirige entonces horizontalmente, hasta caer sobre las regiones más frías, por haber aumentado su densidad (*corrientes de impulsión*). Al ascender ó al descender

disminuyó ó aumentó la presión en la región en que se verificó el fenómeno.

En pequeño, pueden ser evidenciadas estas corrientes, entreabriendo escasamente la puerta de comunicación de dos habitaciones, una fría y caliente la otra. Si se coloca una bujía en la parte inferior de la rendija, que forma la puerta con el marco, la llama se inclina hacia la habitación caliente, si se coloca en la parte más alta, la llama se dirige hacia la habitación fría; en ambos casos impulsada por la corriente que sopla del lado contrario.

Una brusca condensación del vapor de agua contenido en la atmósfera, en forma de lluvia, nubes, etc., es causa de una disminución de la presión, originando un vacío, que produce vientos de aspiración de las regiones circundantes. En cambio la rápida y considerable producción de vapor de agua, aumenta la presión atmosférica, al paso que la expansión del vapor obra sobre el aire que le rodea, para formar vientos de impulsión hacia las regiones próximas.

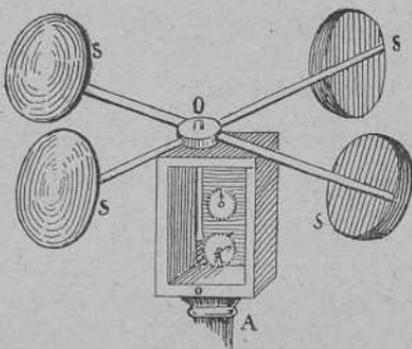


FIGURA 357.—Anemómetro.

Dirección del viento.—Se determina por medio de las *veletas*, que, esencialmente, son una chapa metálica, vertical, terminada por una varilla en forma de flecha, que es la que indica la dirección de donde viene el viento, cuando, impulsada por éste, gira la veleta sobre el eje que la sostiene.

El viento puede soplar de distintas direcciones, y para expresar éstas se usa la *Rosa náutica ó de los vientos*, muy usada en la navegación y en los observatorios, por la que se divide el horizonte en 32 rumbos distintos.

Velocidad del viento.—El número de kilómetros recorridos por el viento en un segundo, ó sea su velocidad, se mide con los *anemómetros*. Estos aparatos están formados por dos varillas, cruzadas perpendicularmente, que terminan en semiesferas huecas S (fig. 357), cuyas concavidades



se hallan en la misma dirección. El centro O de la cruz, está unido á un eje vertical, provisto en su parte inferior de un tornillo sin fin que engrana con una rueda dentada, la cual lleva una aguja, que jira sobre un cuadrante. El viento, impulsando las semiesferas, hace girar el aparato, con tanta más rapidez cuanto mayor sea su velocidad, y la aguja marca en el cuadrante las vueltas de la cruz en un segundo, dato del cual se deduce la velocidad del viento impulsor. Los anemómetros suelen llevar mecanismos especiales, como las mismas veletas, que registran gráficamente y de un modo automático las indicaciones para que están contruidos. Por su velocidad en metros por segundo, los vientos pueden ser clasificados en: *calma* de 0 á 0,5 metros; *suave* de 0,5 á 4; *moderado* de 4 á 7; *fresco* de 7 á 11; *fuerte* de 11 á 17; *borrascoso* de 17 á 28; *huracanado* de 28 en adelante.

Clasificación de los vientos.—Los vientos pueden ser *constantes*, que soplan siempre en una misma dirección; *periódicos*, los cuales en determinadas épocas ú horas, soplan en una misma dirección, pero que no son constantes; *variables ó accidentales*, los que sin causa constante conocida se producen sin época ni dirección fijas.

VIENTOS CONSTANTES.—Los más importantes son los *alisios* que soplan en las direcciones Norte Este, en nuestro hemisferio, y Sur Este, en el hemisferio austral, desde las regiones templadas hacia las ecuatoriales.

Su causa es debida á la elevada temperatura que el aire adquiere en estas últimas regiones, á su contacto con el mar ó con las abrasadas tierras de los continentes. Si la tierra no tuviese relieves ni girase alrededor de su eje, estos vientos soplarían del Norte en el hemisferio norte y del Sur en el hemisferio sur; pero los relieves de los continentes modifican la dirección de los vientos alisios, y, á más, el movimiento de rotación de la Tierra hace que los alisios al encontrar, en su avance hacia el ecuador, capas de aire que giran con una velocidad más grande que la suya, se vayan retrasando hacia el Oeste, tanto más cuanto más se acercan al ecuador, por lo que su dirección viene á ser NE. y SE. respectivamente para los hemisferios boreal y austral.

En las regiones más elevadas de la atmósfera, se producen dos corrientes inversas, denominadas *contra-alisios*,

que se dirigen del ecuador hacia los polos en las direcciones Sudoeste en el hemisferio Norte y Noroeste en el hemisferio Sur.

El conocimiento de los vientos alisios es importantísimo en la navegación á la vela, pues utilizándolos, como lo hizo Colón al descubrir la América, se puede acortar notablemente la duración de los viajes; mucho más cuanto que en algunos puntos los alisios y las corrientes oceánicas coinciden en su dirección.

VIENTOS PERIÓDICOS.—Cambian periódicamente de dirección y entre los principales están la *brisa del mar*, y los *monzones*.

La *brisa del mar* sopla durante el día, del mar á tierra, durante la noche de tierra al mar. Su causa es que la tierra se calienta de día, y se enfría de noche, más rápidamente que el agua del mar, y, por lo tanto, la brisa va de la región más fría á la más cálida.

Los *monzones* son importantes vientos periódicos de las costas meridionales del Asia, que, durante el verano se dirigen desde el mar hacia el continente, y en el invierno van del continente al mar.

En la India donde son muy marcados, el *monzón de verano*, originado por la gran elevación de temperatura de la vertiente meridional de la cordillera del Himalaya en dicha época, produce abundantes lluvias; el *monzón de invierno*, por el contrario, es seco y despoja de su excesiva humedad á las regiones porque pasa.

Vientos variables ó accidentales.—Estos vientos que soplan en distintas direcciones, por causas muy variables, tienen nombres especiales en los diversos países, como el *viento solano*, seco y sofocante, que sopla del S. E. de España; el *Simoun* de los desiertos de Asia y Africa, viento abrasador, que arrastra consigo las movedizas arenas de aquellos desiertos, devastando las comarcas que recorre; los *ciclones*, etc.

CICLONES Y ANTICICLONES.—Los ciclones, bastante raros en las zonas templadas, más frecuentes en las regiones ecuatoriales, son grandes torbellinos de aire, dotados de un movimiento de rotación, cuya velocidad de giro es á veces de más de 200 kilómetros por hora, al par que se trasladan con una velocidad que no pasa de unos 45 kilómetros por hora, como máximo.

El fenómeno tiene su origen en la producción de una gran depresión en una región rodeada de otras en que la presión es mucho más elevada, creciendo progresivamente. El aire se precipita hacia á aquel centro, formando veloces espirales, cuya violencia es debida no sólo al valor de la baja barométrica, que puede llegar á veces á 50 milímetros, sino también al corto espacio en que el meteoro se desarrolla, pues, por lo general, la depresión ocupa una región cuyo radio no excede de 250 kilómetros.

La dirección del giro de los ciclones en el hemisferio norte, es siempre contrario al sentido de la marcha de las agujas de un reloj, es decir de Este á Oeste. En el hemisferio sur la dirección de la rotación es la de las agujas de un reloj.

Estos fenómenos terribles por sus efectos devastadores, en el mar ó en la tierra, toman nombres distintos según los países donde suceden; así en los mares de la India y de la China se les denomina *tifones*, *tornados* en el Senegal, *huracanes* en la América, etc., etc.

ANTICICLONES.—Son un fenómeno semejante y opuesto al anterior que se verifica por la formación de un centro de presión máxima, al cual rodean regiones en que la presión decrece progresivamente del centro á la periferia. En este caso la dirección del giro, en los hemisferios norte y sur, es contrario al de los ciclones.

Depresiones ó borrascas.—Denominanse *depresiones ó borrascas* á grandes torbellinos atmosféricos, en cuya región central la presión es mínima, creciendo progresivamente las presiones del resto de la borrasca de un modo gradual. Ellas son la causa de los vientos variables.

Su extensión es muy variable pudiendo en ocasiones pasar de más de 2.000 kilómetros de diámetro.

La marcha del viento no es directa hacia el centro de baja presión, sino que, por efecto del movimiento de rotación de la Tierra, forma espirales, que se van acercando poco á poco hacia el centro de la depresión y cuya dirección es en el hemisferio boreal contraria á la marcha de las agujas de un reloj y en el hemisferio austral giran en el mismo sentido de las manecillas del reloj.

De aquí se deduce que por la dirección del viento podremos darnos cuenta de la distribución de las presiones

alrededor del punto en que el observador se halla, pues según la ley de Buis-Ballot «colocándose de espaldas al viento el centro de depresión queda á la izquierda y las altas presiones á la derecha» en el hemisferio boreal, y al contrario situándose de la misma manera, en el hemisferio austral.

La velocidad del viento es variable; y en el centro de la depresión el viento desaparece y sólo hay un movimiento insensible de ascensión vertical del aire, sin alcanzar una elevada altura.

Muy á menudo las depresiones persisten muchos días en la región en que se producen, pero más tarde cambian de lugar con una velocidad muy variable; ora caminan regular y lentamente, ora adquieren una gran velocidad de traslación, que pasa á veces de más de 100 kilómetros por hora.

Por este movimiento de traslación del centro de la depresión, (no de la masa de aire) la dirección del viento, considerada en un lugar sometido á la influencia de aquella, variará girando alrededor de dicho lugar. En efecto, en el hemisferio boreal, si suponemos que la depresión camina de Oeste á Este, cuando el punto considerado está al Este de la depresión, dentro de su área de influencia, el viento soplará del Sur; si más tarde, por la marcha de aquella, queda situado al Norte de la borrasca el viento vendrá del Este; cuando el centro de depresión vaya alejándose, quedando el lugar al Oeste de ella, el viento soplará del Norte.

El conocimiento de la marcha de las depresiones en un país es importantísimo, porque estos inmensos movimientos del aire, haciendo variar la dirección de los vientos, son la causa de los *cambios de tiempo*. Las depresiones que llegan á Europa, por lo general, caminan de Oeste á Este, vienen del Atlántico, y penetran en nuestro continente, unas veces por Islandia y Noruega, otras por Inglaterra, algunas por el golfo de Gascuña, avanzando por lo común del S O al N E. Durante las borrascas, más comunes en el invierno, se originan diversos meteoros, lluvias, nieves, tempestades, etc., etc., según la dirección del viento, la temperatura y la presión atmosférica.

Mapas del tiempo.—Estos mapas, que tienen una gran importancia en Meteorología práctica, para la previsión

del tiempo probable, se forman en una estación central, anotando en un mapa de la región que se considere los datos observados, en los diversos puntos de dicha región, en un mismo día y hora, referentes á la altura barométrica y á la velocidad y dirección del viento. La altura barométrica se escribe al lado de cada localidad, según la anunciada por telégrafo desde su reducida estación, al nivel del mar, y después se trazan las líneas isobaras correspondientes. Al mismo tiempo se indica por medio de flechas, y otros signos convencionales, la dirección y velocidad del viento.

Por los mapas del tiempo se ve que las isobaras se presentan en forma de curvas cerradas, irregulares, circulares ó elípticas, alrededor de un centro de baja presión (ó de alta presión), haciéndose menos frecuentes cuanto más se separan del centro. Si este centro de baja presión no existiera las isobaras serían casi rectilíneas, hallándose muy lejanas unas de otras.

La velocidad del viento es mayor cuanto más cercanas aparecen las líneas isobaras, por ser más considerable la diferencia de presión entre el centro y los puntos situados á cierta distancia.

Las flechas, indicadoras de la dirección del viento, son casi paralelas á las isobaras, especialmente en el mar, y su dirección es tal que el centro de baja presión, como ya hemos dicho queda á la izquierda, en nuestro hemisferio.

Por último, comparando el mapa del tiempo de una hora determinada, con el de otras horas ó con el del día siguiente, según las observaciones que se hagan, se observa que la depresión se traslada de un punto á otro sin modificar profundamente la posición y magnitud del conjunto de las líneas isobaras.

Previsión del tiempo.— Por los mapas del tiempo se prevee la aproximación de una borrasca, y como la marcha que estas siguen en su progresión y aun su velocidad son conocidas, de aquí, que, por telégrafo, pueda prevenirse del fenómeno. con alguna antelación, á los lugares por los cuales se supone ha de pasar la depresión. Estos podrán prevenirse contra los meteoros que probablemente se producirán en la región avisada, según su posición y las demás circunstancias que acompañen al fenómeno.

Desgraciadamente, como las borrascas llegan á Europa del Atlántico, donde no hay puestos meteorológicos próximos por estar casi desprovisto de islas dicho oceano, ó no tener estaciones las que existen á distancia conveniente, la resolución del problema tropieza con grandes dificultades, pues la mayor parte de las borrascas cuyo paso se anuncia desde los Estados-Unidos, donde los servicios meteorológicos están muy adelantados, no llegan á nuestro continente.

La previsión local del tiempo, á muy corto plazo, se hace también en cierta medida por la dirección y velocidad del viento, por el aspecto y marcha de las nubes, por la observación atenta de las oscilaciones de la altura barométrica, etc., etc. Por eso los barómetros comunes suelen llevar inscriptas las palabras «Lluvia, variable, buen tiempo, tiempo muy seco, etc.» al lado de la graduación con que coinciden por lo general en la región en que se observan.

HIGROMETRÍA

Higrometría.—Los meteoros acuosos tienen su origen en el vapor de agua ó estado de humedad del aire. La *Higrometría* determina las cantidades de este vapor que se contienen en la atmósfera.

Estado higrométrico del aire.—Sabemos que la atmósfera contiene siempre, en mayor ó menor cantidad, vapor de agua, procedente de la evaporación en los mares, lagos y ríos, etc., é indispensable á la vida de los seres que pueblan la Tierra. Pero la influencia del vapor de agua, en la formación de los meteoros á que da lugar, no depende de la cantidad ó de la tensión absolutas de los vapores de agua en el aire, sino de su *estado higrométrico*, entendiéndose por tal, á la *relación existente entre la tensión del vapor de agua contenido en el aire á una temperatura y en un momento dados, y la tensión máxima que corresponde á dicha temperatura*. De otro modo, el *estado higrométrico* es el cociente de dividir la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que podría contener, á la misma temperatura, si estuviese saturado.

Llámase también *fracción de saturación* por que su valor no llega casi nunca á la unidad. Si el estado higrométrico fuese igual á 1 el aire estaría completamente saturado; si fuera 0 su valor el aire estaría en absoluto desprovisto de vapor de agua. Cuando el estado higrométrico se aproxima á la unidad ó á 0 se dice que, el *aire es húmedo* ó *seco* respectivamente.

Fácilmente se comprende que, el aire puede ser seco ó húmedo con la misma cantidad de vapor, según que la temperatura sea mayor ó menor. Así supongamos que, en el aire, á 20° de temperatura la tensión del vapor de agua que en él se contiene es de 11 milímetros: como la tensión máxima á esta temperatura, según experiencias hechas de antemano, es de 17,4 milímetros, la humedad del aire sería escasa. Pero si la temperatura descendiese bruscamente á 10°, en la que la tensión máxima es de 9,17 milímetros, una parte del vapor, no pudiéndose contenerse en este estado en el aire, se condensaría, pasando al estado líquido y el resto quedaría saturando la atmósfera.

Higrómetros.—Son los aparatos destinados á medir el vapor de agua atmosférico,

HIGRÓMETRO QUÍMICO.—Es el más exacto, pero el menos usado en Meteorología, por la complicación de sus manipulaciones. El fundamento de este procedimiento está en hacer pasar un volumen determinado de aire por una sustancia ávida del agua, Acido sulfúrico, por lo general, pesado antes de comenzar la operación. Pesado de nuevo al terminarla, el aumento de peso nos indica el vapor de agua absorbido por dicho cuerpo, que es en suma el vapor que se contenía en el aire que se puso en contacto con él. Este higrómetro es el aparato de Boussingault, que se usa en Química con el mismo objeto.

HIGRÓMETROS DE ABSORCIÓN.—Están fundados en la propiedad que tienen muchas sustancias orgánicas, pelos, cuerdas de tripa, etc., de absorber la humedad, cambiando de dimensiones ó de forma. Sus resultados son poco exactos, porque las modificaciones de dimensión ó forma de las sustancias que los constituyen no son proporcionales á los estados higrométricos del aire, y porque, con el tiempo, se alteran, variando sus indicaciones. En cambio, tienen la ventaja de que dan una idea aproximada de la humedad del aire con gran sencillez en la observación.

Uno de los más importantes higrómetros de esta clase es el de *Saussure*, constituido por un cabello *C*, perfectamente desengrasado con éter, sujeto por un extremo á una pieza *A*, y arrollado por la parte opuesta á una polea *O*, y que permanece extendido mediante el peso *P* que cuelga de su extremo libre. La polea lleva una aguja, que se mueve sobre un limbo graduado. El aumento ó disminución de la humedad del aire produce un alargamiento ó un acortamiento del pelo *C*, y, por consecuencia, un movimiento en la aguja, que marcará una de las divisiones del cuadrante. Los puntos extremos de éste, 0 y 100, están determinados en una atmósfera completamente seca y en una atmósfera completamente saturada de vapor de agua, respectivamente; entre el 0 y el 100 el cuadrante está dividido en cien partes iguales.

El aparato no da directamente el estado higrométrico del aire, el cual es calculado, con arreglo á las indicaciones de aquél, por medio de tablas especiales.

HIGRÓMETROS DE CONDENSACIÓN.—En ellos, se provoca, por un descenso de temperatura, la condensación del vapor de agua sobre una superficie pulimentada.

El *higrómetro de Regnault* está formado por un tubo, cuyo fondo, á modo de dedal, es de plata bruñida. Dicho tubo tiene una tubulura lateral, que le pone en comunicación con un aspirador, y se halla cerrado por un tapón, con dos orificios por los que penetran un termómetro y un tubo acodado; ambos penetran casi hasta el fondo, en el que se contiene éter. Abriendo la llave del aspirador, por la caída del agua que contiene, se produce un vacío y con él la aspiración del aire exterior, que penetra al tubo, por la tubulura que comunica con el aire, donde pasa por el éter, activando su evaporación, la cual es causa de un descenso de temperatura, que enfría al dedal de plata, ó sea el fondo del tubo.

El operador observa desde lejos con un anteojo, hasta el momento en que el vapor de agua atmosférico se condensa

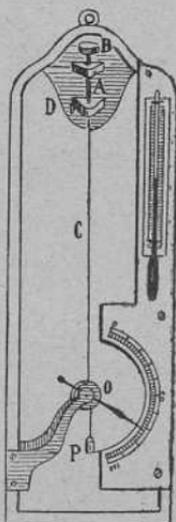


FIGURA 357.
Higrómetro de
cabello.

(*punto de rocío*); entonces se toma la temperatura que marca el termómetro, sea 10, por ejemplo, que es, naturalmente, la temperatura á la cual el aire se hallaba saturado. Consultando en las tablas correspondientes el valor (9,17) de la tensión máxima á dicha temperatura, este (9,17 mm.) será el valor de la tensión del vapor de

agua contenido en la atmósfera á la temperatura ambiente, 20° por ejemplo. Las mismas tablas nos indican que la tensión máxima del vapor de agua á 20° es 17,4, luego el estado higrométrico actual del aire era de $\frac{9,17}{17,4}$.

Un segundo tubo, idéntico al primero forma parte del aparato pero no contiene éter, y sirve para determinar, por comparación el momento preciso de la condensación en el contrario. Su termómetro nos indica la temperatura ambiente.

HIGRÓMETROS DE EVAPORACIÓN.— El estado de humedad del aire se mide en ellos por el descenso de temperatura que se produce en la evaporación del agua. Este enfriamiento es tanto mayor cuanto más rápida es la evaporación, lo que depende del estado de sequedad de la atmósfera, á una temperatura dada.

El *Psicrómetro de Augusto* está constituido por dos termómetros (fig. 358), uno de los cuales tiene el depósito rodeado por una tela de algodón, que se prolonga en forma de torcida sumergiéndose en un pequeño depósito de agua;

el otro termómetro está libre. Observando la temperatura de éste y la del primer termómetro, tanto más baja, cuanto la sequedad es mayor, por la mayor evaporación del agua que rodea al depósito, y sabida también la presión atmosférica, es fácil, consultando unas tablas, de antemano calculadas, hallar el estado higrométrico del aire.

Distribución de la humedad en la superficie del Globo.— Por la Higrometría se sabe que el estado higrométrico del aire aumenta del ecuador á los polos, que es

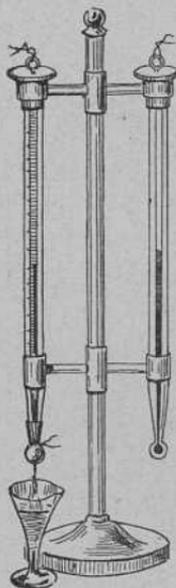


FIGURA 358.
Psicrómetro
de Augusto.

mayor en los mares que en los continentes, y en el invierno mayor que en el verano. En cambio la cantidad de vapor de agua va aumentando de los polos al ecuador, es también mayor en los mares, y es más considerable en el verano que en el invierno. Además, en un mismo día, el estado higrométrico es menor á la hora de más elevada temperatura, pero la cantidad de vapor es más considerable.

METEOROS ACUOSOS

Rocío.—Llábase *rocío* á las pequeñas gotas blanquecinas con que aparecen cubiertas á veces, sobre todo en las noches serenas y sin nubes, las plantas bajas, la superficie de la tierra, las hojas de los arbustos.

El rocío se produce por la condensación del vapor de agua atmosférico. Cuando al llegar la noche la radiación de la tierra es lo suficientemente intensa para que esta se enfríe mucho más rápidamente que el aire, si éste está húmedo, el que se halla en contacto con la superficie de la tierra, enfriándose con ella, se satura, condensando una parte del vapor de agua que contenía en forma de rocío. En las noches nubosas, bajo los cobertizos, etc., el rocío no se forma, porque éstos impiden en parte la radiación, y el enfriamiento necesario, de la superficie que abrigan.

Este meteoro es muy frecuente en la primavera y el otoño, y raro en el invierno.

Escarcha.—En las mismas condiciones que el rocío se produce con frecuencia la *escarcha*. En este meteoro las gotitas líquidas son sustituidas por finos cristales de hielo, por haber descendido la temperatura de la superficie terrestre á temperaturas inferiores á 0°.

Así como el rocío es altamente beneficioso, porque contribuye á humedecer la tierra y las plantas, en las grandes sequías, y porque al condensarse el vapor de agua desprende calor, protegiendo á las plantas contra un rápido enfriamiento nocturno, la escarcha ocasiona grandes daños, sobre todo en la primavera, cuando las hojas y las flores comienzan á formarse en las tiernas yemas.

Nieblas.—Las *nieblas*, que roban la transparencia al aire, se forman en las proximidades del suelo, por la condensación de parte del vapor de agua del aire, cuando la tierra está muy húmeda y más caliente que la atmósfera.

Están constituidas por finísimas gotitas, de tamaño casi inapreciable, y se verifican con más frecuencia en el otoño y el invierno, en los parages húmedos, cercanos á los ríos, lagos, etc.

Cuando se forman sobre los mares ó los grandes lagos, por causas idénticas, se les da el nombre de *brumas*.

Nubes.—Cuando el mismo fenómeno de condensación del vapor de agua contenido en el aire muy húmedo se produce á cierta altura sobre la superficie de la Tierra, constituye las *nubes*. Las nieblas, son pues, *nubes bajas*, en contacto con la tierra.

La aparente suspensión de las *nubes* en la atmósfera se explica por la lentitud con que caen sus ínfimas gotitas, á las cuales opone el aire una gran resistencia, y porque además al caer poco á poco, deshaciendo la *nube* por su parte inferior, encuentran capas más calientes de aire, que las evaporan de nuevo, ascendiendo otra vez y condensándose en la parte superior de la *nube*, regenerándola. A esto se deben los distintos aspectos que las *nubes* presentan si se las observa durante algún tiempo.

Las *nubes* muy elevadas, en regiones donde la temperatura es inferior á 0° están formadas por cristalitos de hielo.

Por la forma con que son vistas, las *nubes* se dividen en cuatro clases: *Cirros*, *Nimbos*, *Estratos* y *Cúmulos*.

Los *Cirros* son las *nubes* más elevadas, de 5.000 á 10.000 metros por lo general; son blancas, á modo de hilachas ó de lana cardada, y están constituidos por cristalitos de hielo ó copos de nieve. Cuando se presentan en abundancia suelen predecir un cambio de tiempo.

Los *Cúmulos* son *nubes* más bajas, que no pasan de 3.000 metros, las cuales aparecen como grandes masas blancas, redondeadas, amontonadas unas sobre otras, y menos elevadas que las anteriores. Son frecuentes, durante el día, en el verano, dispersándose al caer la tarde.

Los *Estratos* se presentan, á unos 600 ú 800 metros de altura en el horizonte, á modo de largas bandas horizontales. Se forman principalmente en el otoño á la caída de la

tardé, embelleciéndolos con vivos y brillantes colores los rayos del sol poniente.



FIGURA 359.—Cirros.

Los *Nimbos* son nubes bajas, á 800 hasta 1.600 metros de altura, de color gris oscuro, sin formas determinadas,



FIGURA 360.—Cámulos.

formadas por gruesas gotas. Son las *nubes de lluvia* que, á veces, ocupan grandes extensiones.

Causas que determinan la formación de las nubes.—
Las nubes se forman por la condensación de parte del



FIGURA 361.—Estratos.

vapor de agua, contenido en el aire, por efecto de un brusco enfriamiento. Este enfriamiento se produce, unas



FIGURA 362.—Nimbos.

veces, por llegar el aire á las altas regiones atmosféricas, mucho más frías; otras es originado por la dilatación de la masa ascendente de aire, dilatación que es causa de un

intenso descenso de temperatura; por último, cuando á una masa de aire frío se mezcla otra de aire caliente y húmedo, el enfriamiento que se produce es causa de la condensación de vapor de agua.

Lluvia.— Cuando las gotas resultantes de la condensación del vapor de agua caen sobre la tierra, constituyen la *lluvia*.

La lluvia no procede, muchas veces, de las nubes que vemos flotar en el espacio, sino que son el resultado de una brusca condensación del vapor de agua contenido en la atmósfera, debido á un descenso repentino de temperatura. Las lluvias de verano, de gruesas gotas, suelen ser producidas por el descenso de los cirros á la región de los cúmulos, en la que los cristales de hielo, se funden rápidamente.

La cantidad de agua llovida en un lugar, en un tiempo dado, se evalúa por la altura que adquiriría la capa de agua llovida si no se hubiese infiltrado ni evaporado después. Los aparatos destinados á este objeto son los *pluviómetros*. Los *pluviómetros* más usados consisten esencialmente en un recipiente cilíndrico M, cerrado por una tapadera de forma de embudo B, con un orificio pequeño en el centro, para que el agua caída pueda pasar al interior del recipiente, evitándose en lo posible las pérdidas por evaporación. Un tubo de vidrio A, dividido en milímetros, comunicante con el recipiente M, marca la altura del agua caída en el pluviómetro, altura que sería igual á la que hubiera formado aquella lluvia sobre la tierra si el agua no se evaporase ni se infiltrase.

Nieve.— La *nieve*, formada por cristallitos diminutos de agua helada, proviene de la condensación del vapor de agua á temperaturas inferiores á 0° .

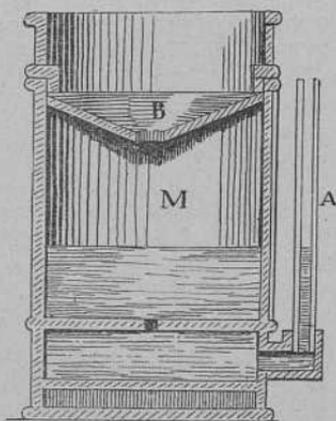


FIGURA 363.—Pluviómetro.

Estos cristales se presentan en agujas, y unidos en formas muy variables, aunque todas derivadas del prisma exagonal (fig. 364). Cuando la temperatura no es muy baja, sino próxima á 0°, caen medio fundidos, constituyendo *copos* de regular volumen.

Granizo.—Es la caída de pequeñas masas de hielo, duras, compactas y redondeadas, constituidas por capas concéntricas alrededor de un núcleo más blanco y esponjoso. El tamaño de los *granizos* es muy vario, llegando á adquirir, en los *pedriscos*, el grosor de un huevo de paloma, y más en muchas ocasiones.

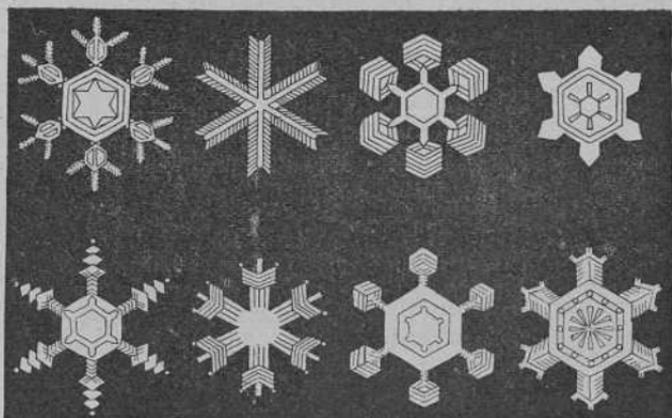


FIGURA 364.—Cristales de nieve.

Este meteoro, cuya producción no está aún bien explicada, es frecuente en la primavera y el verano, y precede por lo general á las tempestades.

Distribución de las lluvias.—Gran número de causas contribuyen á la distribución, más irregular que la de la temperatura, de las lluvias sobre la superficie de la Tierra. Entre las principales están la dirección y calidad de los vientos, húmedos ó secos, calientes ó fríos, la proximidad al mar, que aumenta la cantidad de las lluvias, la cercanía de las montañas, etc., y gran número de causas locales menos importantes, como la naturaleza y elevación del terreno, el estado de la vegetación, etc., etc.

En general la cantidad de agua que llueve en los países cálidos es más considerable que en los fríos; así en Madrid

la altura del agua llovida en un año es, por término medio, de 383 milímetros, al paso que en Tcherrapundji (India Inglesa) asciende á 12 metros y medio. Por último, en las épocas de calor, la cantidad de agua que cae es más considerable que en las épocas de frío, aunque en éstas las lluvias sean más frecuentes.

METEOROS LUMINOSOS

Color del aire.—El aire es incoloro en pequeñas masas, pero en grandes cantidades presenta un hermoso *azul de cielo*. La luz llega á nosotros por reflexión difusa sobre las partículas que el aire contiene en suspensión; y cuando éstas son sumamente pequeñas sólo pueden reflejarse en ellas, según Tindall, las radiaciones de menor amplitud de onda, correspondientes á las azules y las violadas, de aquí el azul característico de la atmósfera. Pero este color del aire varía según la naturaleza de las materias en suspensión ó del vapor de agua que contenga, obscureciéndose cuando está muy seco y tomando un aspecto ceniciento cuando se halla muy húmedo.

Crepúsculo.—Si el aire fuese completamente transparente, el día y la noche se sucederían bruscamente, pero como no lo es, por contener partículas sólidas ó líquidas en suspensión, los rayos del Sol que va á nacer ó del que acaba de ponerse, iluminan las altas regiones atmosféricas, en las que se reflejan para iluminar la tierra, aumentando ó extinguiéndose progresivamente. Este fenómeno se denomina crepúsculo, *matutino* al de la mañana, y *vespertino* al de la tarde.

Arco iris.—Este hermoso meteoro se presenta en forma de arco circular, constituido por bandas de los colores del espectro, cuando el observador de espaldas al Sol, tiene en frente una nube que se resuelve en lluvia. Este arco luminoso, de tamaño variable según la altura del Sol sobre el horizonte, presenta el color violado en su parte interna y el rojo en la externa.

A veces se ve un segundo arco iris, de mucha menor intensidad, concéntrico con el primero, pero presentando los colores invertidos.



Este fenómeno es debido á la descomposición que experimenta la luz á su paso por las gctas de agua, refractán-

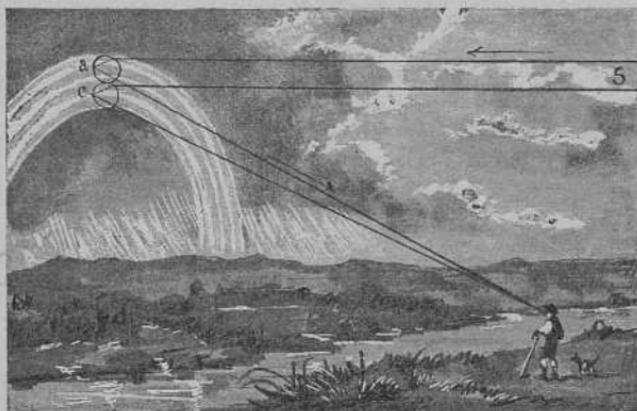


FIGURA 365.—Formación del arco iris.

dose primero, reflejándose después, y volviendo de nuevo á refractarse al salir al aire. Fenómenos más complejos, en

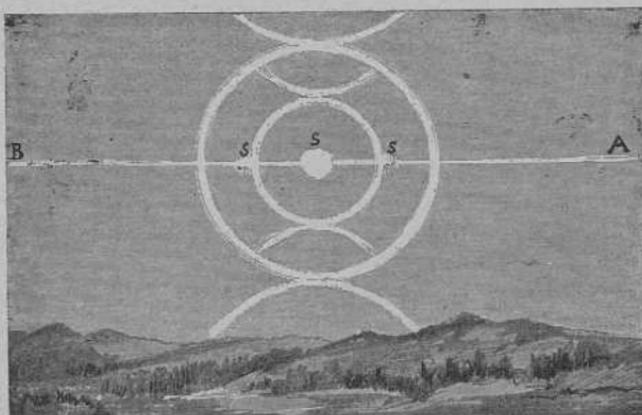


FIGURA 366.—Halos.

los que la luz sufre dos reflexiones totales, dan lugar al segundo arco.

Muchas veces se puede observar el arco iris en las cascadas, en los surtidores de las fuentes, etc., cuando la luz incide en condiciones favorables sobre las gotitas muy divididas.

Halos.—Se manifiestan en forma de uno ó dos círculos alrededor del Sol (poco visibles) ó de la Luna, concéntricos con ellos é irisados. Su causa es la reflexión y dispersión de la luz en los pequeños cristales de hielo de los cirros.

A los extremos del diámetro horizontal del halo menor ú ordinario, se presentan, muy brillantes, dos vagas imágenes s s del Sol (*parheliós*) ó de la Luna (*paraselenes*).

Coronas.—Son también círculos irisados alrededor de la Luna y el Sol, muy próximos á ellos, y que son producidos por fenómenos de difracción de la luz, cuando pasa por delante de aquellos astros, una nubecilla ligera, de gotas pequeñas y de igual tamaño.

METEOROS ELÉCTRICOS

Electricidad atmosférica—En la atmósfera, aun bajo un cielo sereno, existe siempre electricidad positiva, á partir de 1 $\frac{1}{2}$ á 2 metros, cuyo potencial aumenta con la altura. Pero el signo de la electricidad atmosférica puede cambiar por la presencia á ciertas distancias de las lluvias, la nieve ó el granizo.

Se comprueba la existencia de la electricidad atmosférica, entre otros medios, con un electroscopio de hojas de oro (fig. 367), cuyo vástago se continúa en una larga varilla metálica, terminada en punta, y colocada verticalmente. Inmediatamente se manifiesta una divergencia de las hojas de oro, que evidencian la presencia de la electricidad atmosférica, pudiéndose comprobar fácilmente su carácter de positiva.

Tempestades ó tormentas.—Son perturbaciones atmosféricas, originadas por nubes denominadas tempestuosas, en las que se producen descargas eléctricas,

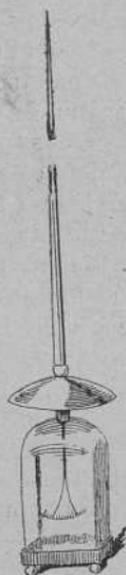


FIGURA 367.

acompañadas muy á menudo de copiosas lluvias, y á veces de granizo, nieve y fuertes vientos.

La causa productora de electricidad en las nubes tempestuosas no está perfectamente conocida. Se supone que la superficie terrestre posee una carga eléctrica de signo negativo, de débil intensidad, pero suficiente para producir fenómenos de influencia sobre las nubes que se hallan dentro de su campo eléctrico. En estas condiciones la nube debe cargarse de electricidad positiva en su parte inferior y de electricidad negativa en la superior. Si por una circunstancia cualquiera, el viento por ej., esta nube se partiese en dos, se habrían formado dos nubes cargadas de electricidades contrarias, entre las cuales podrían también verificarse fenómenos de inducción. Y si una se eleva, mientras la otra desciende, al separarse, como la influencia de la Tierra va haciéndose cada vez más escasa para la nube ascendente y más intensa para la descendente, que se acerca á ella, se establece entre ambas nubes una diferencia enorme de potencial, que puede vencer la resistencia del aire, originando la descarga eléctrica.

El frotamiento producido por el viento, ó de las gotas de agua con el aire, etc., son también causas que pueden producir ó aumentar la energía eléctrica de las nubes.

Las tempestades tienen su origen, según parece, en un brusco y violento desequilibrio de temperatura entre masas próximas de aire, el cual da lugar á una rápida corriente ascendente desde las capas atmosféricas en contacto con el suelo, que al llegar á elevadas regiones, donde la presión es mucho más escasa, se enfrían y enrarecen dando lugar, por consecuencia, si venían muy cargadas de humedad, á la condensación del vapor de agua con formación de las nubes tempestuosas.

La formación de esta corriente ascendente puede ser originada por el excesivo caldeoamiento del suelo y las capas de aire en contacto con él, dando lugar á las *tempestades de calor*, que se producen en las épocas más calurosas y en días en que el aire es poco agitado; ó bien son producidas por las grandes perturbaciones atmosféricas, por lo que se denominan *tempestades ciclónicas*, que se producen con tiempo revuelto, sobre todo en el invierno, y frecuentemente en las proximidades de las costas.

Relámpago.—La luz deslumbradora que se produce por la descarga eléctrica entre las nubes, durante la tempestad, se denomina *relámpago*. Aparece unas veces como una línea de fuego, en zig-zag, otras como un vivo resplandor sin contornos delineados, otras como un globo de fuego, que cae lentamente sobre la tierra, rebotando en ella, ó rompiéndose con explosión ó siguiendo el camino que le presentan los cuerpos buenos conductores.

Trueno.—Es el inmenso chasquido producido por la conmoción del aire, al saltar la chispa eléctrica, á veces, á distancia de algunos kilómetros. Trueno y relámpago son simultáneos, pero se les percibe muy separados por la gran diferencia de velocidad de propagación de la luz y del sonido. Así, cuando la descarga se produce cerca del observador, el ruido seco y corto del trueno sigue al resplandor del relámpago con un cortísimo intervalo de tiempo; si la tempestad está lejana este espacio de tiempo es mucho mayor.

La duración del trueno, que á veces pasa de 50'', es debida según unos á las diversas reflexiones que el sonido experimenta en la tierra y en las nubes; según otros, tiene su origen en que la descarga que produce el relámpago no es única, sino formada por una serie de chispas ó descargas parciales, de distinta intensidad, formadas en condiciones diferentes de distancia, densidad del aire en que se producen etc., etc.

Rayo.—Es la descarga entre una nube y la tierra. La descarga se produce generalmente entre la nube y los cuerpos buenos conductores de la tierra, los lugares elevados ó las puntas, en los que la electricidad negativa se va acumulando ó se escapa, por la influencia de la positiva de la nube.

Los efectos del rayo son idénticos á los de la electricidad estática, pero su energía es considerabilísima: puede ocasionar la muerte de los seres que halle en su camino, funde y volatiliza los metales, despedaza los cuerpos malos conductores, imana las barras de hierro y acero, altera á menudo los polos de la brújula, puede producir la inflamación de los cuerpos combustibles, incendiando bosques, construcciones, etc., etc. A su paso deja un olor característico, debido á la formación de *Ozono* en el aire, según parece.

Pararrayos.—Para evitar los efectos devastadores del rayo en los edificios, protegiendo de este modo á los habitantes, ideó Francklin los *pararrayos*, fundados en el poder que tienen las puntas de dar paso á la electricidad.

Un pararrayos está formado por una larga barra de hierro, terminada por una punta de cobre, colocada en la parte más alta del edificio. De la base de esta barra parte un cable de hierro galvanizado, que, á lo largo del edificio, desciende sin recodos bruscos, hasta penetrar en la tierra, rodeada en ella de cok machacado, para terminar en un pozo cuyas aguas permanentes bañan siempre su extremo deshilachado. Cuando no hay pozo el extremo del cable entra á una mayor profundidad y siempre rodeado de la capa buena conductora de cok.

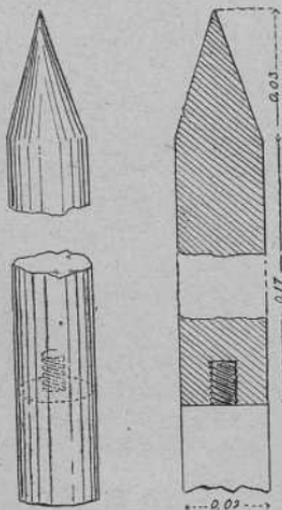


FIGURA 368.—Pararrayos.

Barra y punta.

Para que un pararrayos ofrezca una seria garantía de seguridad y no exponga á mayores peligros que si no existiese, es preciso que su instalación sea perfecta. La barra de hierro debe ser lo suficientemente gruesa para que no sea fundida; la punta ha de ser todo lo inoxidable posible; el contacto del con-

ductor con la barra y la tierra, por sus extremos, completo, sin que se note en él la menor solución de continuidad; y, por último, si el edificio contuviese grandes masas metálicas han de hallarse éstas en comunicación con el conductor.

La acción protectora del pararrayos se ejerce de dos maneras: cuando una nube cargada de electricidad pasa cerca del pararrayos, la de signo contrario de la tierra va á acumularse en él, por su elevación, escapando por las puntas, con lo que se neutraliza poco á poco la electricidad de la nube, impidiendo la formación de la chispa (*acción preventiva*). Si ésta lenta descarga de la nube no fuese suficiente, el rayo se produce, pero entre la nube y el

pararrayos, por la elevación de éste y mejor conductibilidad que los demás cuerpos que le rodean, defendiendo al edificio sobre que está instalado (*acción preservativa*).

El campo de protección de un pararrayos se extiende á un espacio circular de radio igual al doble de la altura de aquel.

Pararrayos Melsens.—Este sistema es más eficaz y económico. Está formado por alambres de Hierro ó Cobre, colocados á lo largo de todos los ángulos del edificio, perfectamente unidos entre sí, y en comunicación con el suelo por un gran número de puntos. Los extremos superiores están provistos de *puntas múltiples*, cortas y delgadas, de cobre. El sistema viene á constituir una pantalla eléctrica que protege de un modo seguro al edificio que cubre.

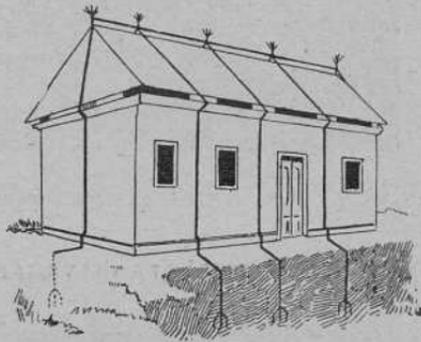


FIGURA 369.—Pararrayos Melsens.

Fuegos de San Telmo.—Son los penachos luminosos, de igual naturaleza que los estudiados en electricidad estática,

que se observa en las puntas metálicas elevadas, (velas, pararrayos, mastiles de los barcos, etc.) cuando la electricidad escapa por ellas, por la influencia de una nube electrizada.

Trombas.—Son meteoros de corta duración, pero de efectos, á menudo, desoladores, que á modo de violentos torbellinos, de poco radio (200 m.³ en ocasiones), se presentan dotados de un rápido movimiento de giro y de otro de traslación menos intenso, acompañados de un ruido semejante al de un trueno continuado. Se manifiestan por el alargamiento, en forma de cono, de una nube tempestuosa, al mismo tiempo que otro cono se levanta, de aire y polvo en la tierra, de agua en el mar, para unirse con el de la nube formando una columna que une la tierra ó el mar, donde son más frecuentes, con la nube. Las trombas van casi siempre acompañadas de lluvia ó granizo y de

manifestaciones eléctricas, como el relámpago y el rayo,

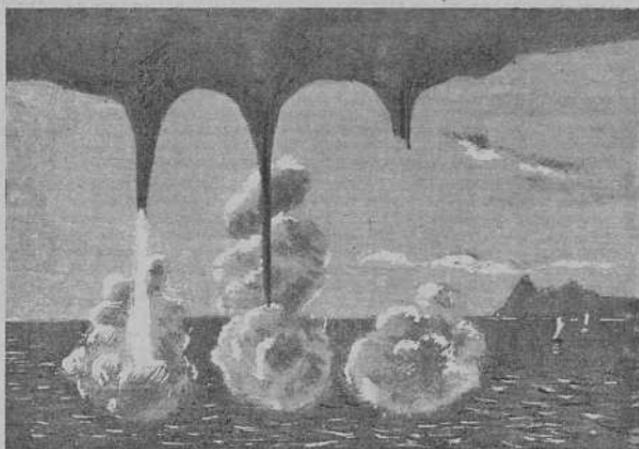


FIGURA 370.—Trompas.

y su violencia es tal que devastan cuanto á su paso en-

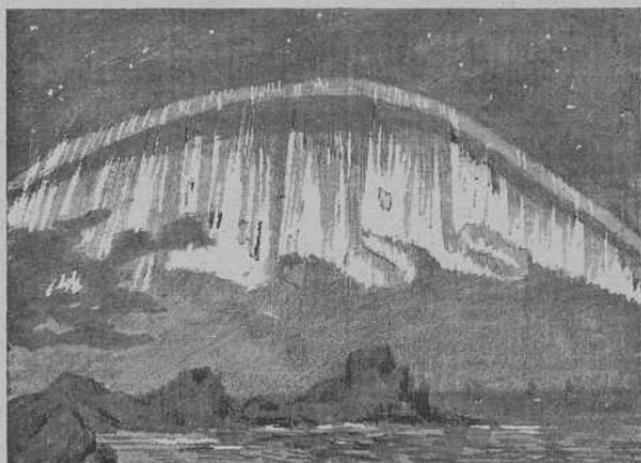


FIGURA 371.—Aurora boreal.

cuentran, bosques, viviendas, embarcaciones.

Auroras polares.—Son hermosos meteoros luminosos, frecuentes en las regiones polares, visibles á distancias muy considerables. Se presentan generalmente en forma de ancha faja luminosa violada, con repliegues, y presentan una dirección constante con respecto al meridiano magnético.

Por estas circunstancias y por la influencia que ejercen sobre los polos de la aguja imanada, se cree que las auroras polares tienen su origen en descargas eléctricas que se producen en el seno del aire enrarecido de las altas regiones atmosféricas.

Según que se produzcan en los polos Norte ó Sur las auroras polares se denominan respectivamente *auroras boreales* ó *australes*, las cuales coinciden por lo general.

FIN

INDICE DE MATERIAS

- I.—PRELIMINARES, 1; Física, 1; Fenómenos; físico y químico, 1; Materia, 2; Cuerpos, átomos, moléculas, 2; Estados de los cuerpos, 2; Leyes y teorías físicas, 4; Energía. Antiguos agentes físicos, 4; Eter, 4; Transformaciones de la energía, 5.
- II.—PROPIEDADES DE LOS CUERPOS, 6; Propiedades generales de los cuerpos, 6; Extensión, 6; Nonius ó vernier, 6; Tornillo micrométrico, 8; Impenetrabilidad, 8; Divisibilidad, 9; Porosidad, 10; Compresibilidad, 12; Elasticidad, 12; Movilidad, 13; Inercia, 14.
- Propiedades particulares de los cuerpos**, 15; Elasticidad por tracción, 15; Flesión, 15; y Torsión, 16; Tenacidad, 16; Ductilidad, 17; Maleabilidad, 17; Dureza, 18.
- MEDICIONES, 19; Unidades fundamentales, 19; Derivadas, 19; Derivadas, mecánicas, 20.
- III.—MECÁNICA DE SÓLIDOS.—ESTÁTICA.—**Fuerzas**, 21; Mecánica, 21; Su división, 21; Equilibrio, 21; Fuerza; Sus clases y elementos característicos, 21 y 22; Medida de las fuerzas, 22; Dinamómetros, 22; Composición y descomposición de fuerzas, 23; Fuerzas en línea recta, 24; Fuerzas concurrentes, 24; Fuerzas paralelas, 25; Par de fuerzas, 26.
- MAQUINAS, 27; Definición y división, 27; Palancas, 28; Poleas, 30; Torno, 32; Cabrestante, 33; Cric ó gato, 33; Cabria, 34; Sistemas de tornos, 34; Ruedas dentadas, 35; Grua, 35; Plano inclinado, 36; Tornillo, 37; Tornillo sin fin, 38; Cuña, 39; Resistencias pasivas. Rozamiento, 39.
- DINÁMICA 41; Definiciones, 41; Movimiento uniforme, 41; Movimiento variado, 42; Uniformemente variado, 42; Uniformemente acelerado, 42; Uniformemente retardado, 43; Movimientos curvilíneos, 43; Movimiento circular, 43; Fuerzas centrífuga y centrípeta, 44; Movimiento parabólico, 45; Movimiento de rotación, 45; Masa, 45; Cantidad de movimiento, 46; Trabajo mecánico, 46; Energía, 47; Conservación de la energía, 47.
- Choque**, 47; Directo, 47; Oblicuo, 49.
- IV.—ATRACCIÓN UNIVERSAL, 50, GRAVEDAD, 50; Plomada. Dirección de la gravedad, 50; Caída de los cuerpos, 52; Peso de los cuerpos, 53; Centro de gravedad, 54; Equilibrio; sus condiciones, 54; Clases de equilibrio, 54; Determinación empírica del centro de gravedad, 57.
- Peso de los cuerpos**, 58; Peso absoluto y relativo de los cuerpos, 58; Peso relativo; su determinación, 59; Balanza ordinaria, 59; Teoría

- de la balanza, 61; Precisión y sensibilidad de una balanza, 61; Balanzas de precisión, 62; Pesas, 63; Balanza de Roberval, 63; Modos de pesar, 64; Romana, 65; Báscula de Quintenz, 67.
- Péndulo**, 68; Movimiento oscilatorio, 68; Definición del péndulo, 68; sus leyes, 69; Péndulo de segundos, 70; Aplicaciones del péndulo, 70.
- V.—MECÁNICA DE LOS LÍQUIDOS.—HIDROSTÁTICA — **Presiones de los líquidos**, 72; Mecánica de los líquidos, 72; caracteres de los líquidos, 72; Principio de igualdad de presión ó de Pascal, 72; Prensa hidráulica, 74; Ascensores hidráulicos, 76; Horizontalidad de la superficie libre de los líquidos, 76; Aguas corrientes, Mares, 77; Vasos comunicantes, 77; Nivel de agua, 78; Abastecimiento de agua en las poblaciones, 79; Pozos artesianos 79; Manantiales, Pozos, 80; Esclusas, 80; Presiones de los líquidos sobre las paredes de los vasos que los contienen, 81; Presiones sobre el fondo de los vasos, 81; Presiones sobre las paredes laterales, 82; Empuje hidrostático, 84.
- Principio de Arquímedes**, 84; Su enunciación y demostración, 84; Determinación del volumen de un cuerpo insoluble, 86; Cuerpos sumergidos y flotantes, 86; Equilibrio de los cuerpos flotantes, 87; Líquidos superpuestos, 88; Nivel de aire, 89.
- Pesos específicos**, 89; Su concepto, 89; Pesos específicos: absoluto y relativo; densidades: absoluta y relativa, 87, 90, 91; Determinación de los pesos específicos ó densidades de los sólidos y los líquidos, 91; Método del frasco, 92; Método de la balanza hidrostática, 94; Corrección de temperatura, 95; Densidad del agua á diversas temperaturas, 95; Determinación del peso específico de los cuerpos solubles en el agua, 96.
- Areometría**, 96; Areómetros, 96; *Areómetros de volumen constante y peso variable*; Areómetro de Nicholson, 96; areómetro de Fahrenheit, 97; *Areómetros de peso constante y volumen variable*, 98; Areómetros de Baumé, 99 y 100; Areómetro universal, 100; Corrección de temperatura, 100; Areómetro de Cartier, 101; Alcohómetro centesimal de Gay-Lussac, 101; Corrección de temperatura, 102; Densímetros y volúmetros, 102; Areómetros de peso y volumen variables, 102; Densidades de algunos cuerpos, 103.
- Capilaridad**, 104; Hechos explicados por la capilaridad, 105; **Difusión**, 105; **Osmosis**, 106; Cuerpos cristalóides y colóides, 106; **Diálisis**, 106.
- Hidrodinámica**; su objeto, 107; Vena líquida, 107; Velocidad de la vena líquida, 107; Gasto de un orificio, 107; Salida constante de un líquido, 107; Tubos adicionales, 108; Salida por tubos largos, 108; Surtidores, 108; Reacción originada por la salida de un líquido, 109.
- VI.—NEUMÁTICA, 110; Neumostática y Neumodinámica, 110; Caracteres de los gases, 110; Gases y vapores, 111; Pesantez de los gases, 111; Principio de Pascal, aplicado á los gases, 112; Atmósfera, 112; Presión atmosférica, 113; Medida de la presión atmosférica, 114; Barómetros, 116; Barómetros, de cubeta, 116; normal, 117; de Fortin, 117; de sifón, 119; de cuadrante, 120; Correcciones barométricas, 120; Barómetros metálicos, 121; de Bourdon, 122; de Vidi, 122; Registrador de Richard, 122; Aplicaciones del barómetro, 123.
- Principio de Arquímedes, aplicado á los gases**; Su enunciación y demostración, 124; Peso aparente y real, 125; Cuerpos sumergidos en la atmósfera, 125; Globos aerostáticos, 125; Globos dirigibles, 127; Aplicaciones de los globos, 128.

- Fuerza elástica de los gases**, 129; Ley de Mariotte, 129; Manómetros, 130; de aire libre, 130; de aire comprimido, 131; Manómetros metálicos, 132; de Bourdon, 132; Unidades de medida de las presiones, 133.
- Aparatos fundados en las propiedades de los flúidos**, 133; Bombas, 133; aspirante, 133; impelente, 135; aspirante impelente, 136; de doble efecto, 137; contra incendios, 138; Aplicaciones de las bombas, 139; Pipeta, 139; Sifones, 140; Aplicaciones del sifón, 141; Fuentes intermitentes naturales, 141; Frasco de Mariotte, 142; Máquina neumática, 142; Máquina neumática primitiva, 142; Máquina neumática de dos cuerpos de bomba, 144; Trompas, 147; Experiencias y aplicaciones, 148; Máquinas de compresión, 149; Aplicaciones; 151; Corrientes gaseosas, 152; Fuelles, 152; Gasómetros, 154.
- VII.—CALOR. Su concepto, 156; Fuentes de calor, 156; Temperatura, 157; Efectos del calor, 157.
- Dilatación**, 158; Dilatación en los sólidos, 158; en los líquidos, 159; en los gases, 159; Termómetros, 160; Termómetros de Mercurio, 161; Graduación del termómetro. Escala centígrada ó de Celso, 161; Otras escalas termométricas: de Reamur, 163; de Fahrenheit, 163; Sensibilidad de los termómetros, 164; Variación del o del termómetro, 165; Termómetro de alcohol, 165; Termómetros de máxima y de mínima, 166; Termómetros de sólidos, 167; Termómetros de gases, 167; Termómetros registradores, 168; Pirómetros, 168; Aplicaciones de los termómetros, 168.
- Coefficientes de dilatación**. Definición, 169; Coeficiente de dilatación de los sólidos, 169; Efectos y aplicaciones de la dilatación de los sólidos, 170; Coeficiente de dilatación de los líquidos, 171; Dilatación del agua: su densidad máxima, 172; Coeficiente de dilatación de los gases, 172; Peso específico de los gases, 173.
- Cambios de estado**, 173; Fusión, 173; Disolución, 175; Mezclas frigoríficas, 176; Solidificación, 177; Subfusión, 178; Cristalización, 178; Sobresaturación, 179; Vaporización, 179; en el vacío, 179; en presencia de los gases, 181; Evaporación, 181; Descenso de temperatura en la evaporación, 182; Aplicaciones industriales, 183; Ebullición, 184; Causas que modifican el punto de ebullición; aplicaciones, 185; Calefacción de los líquidos, 188; Liquefacción, 188; Condensación de los vapores, 188; Destilación, 189; Liquefacción de los gases, 191.
- Propagación del calor**; Modos de propagación, 192; Por conductibilidad, 192; En los sólidos, 193; En los líquidos, 194; En los gases, 194; Convección, 194; Aplicaciones, 194; Radiación del calor, 196; Enfriamiento, 197.
- Calorimetría**; Definiciones, 197; Calor específico, 198; Determinación del calor específico, 198; Método de las mezclas, 199; Id. de la fusión del Hielo, 199; Id. del enfriamiento, 199; Calores específicos de algunos cuerpos, 200.
- Equivalencia del calor y el trabajo**, 200; **Máquinas térmicas**. Definición y clasificación, 202; Máquinas de vapor, 202; Calderas, 204; De hervideros, 205; semitubulares y tubulares, 205; Aparatos accesorios de las calderas de vapor; Explosiones, 206; Cuerpo de bomba y caja de distribución, 208; Condensador, 210; Expansión del vapor, 211; Transformación del movimiento rectilíneo del émbolo, 211; Reguladores, 211; Máquina de Watt, 212; Clasifica-

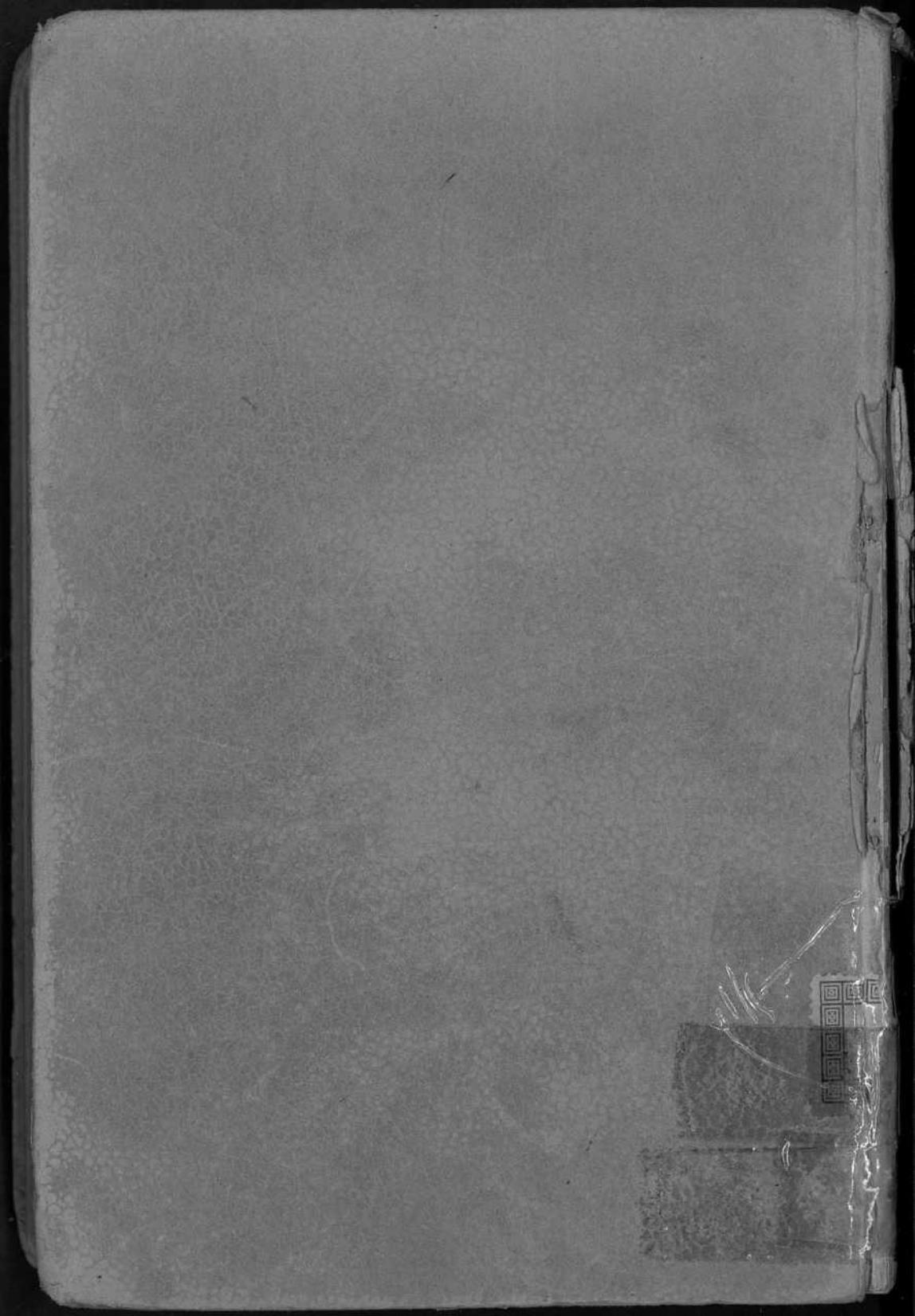
- ción de las máquinas de vapor, 212; Motores de gas y de vapores combustibles, 215; Motores de aire caliente.
- VIII.—ACÚSTICA; Definición, 217; Producción del sonido, 217; Propagación, 218; Velocidad, 218; Manera de propagarse el sonido, 219; Reflexión del sonido 220; Ecos y resonancias, 220.
- Cualidades del sonido;** Ruido; Sonido, 221; Intensidad del sonido, 221; Bocina; Trompetillas acústicas, 222; Tubos acústicos; Estetoscopio, 224; Tono de los sonidos, 223; Fonógrafo, 224; Límite de los sonidos perceptibles, 225; Teoría física de la música, 225 Intervalo, 225; Gama ó escala musical. 225; Sostenidos y bemoles, 226; Acordes, 227; Sonidos armónicos, 227; Número absoluto de vibraciones de las notas de la escala. «La» normal, 227; Diapasón, 227; Límite de los sonidos musicales, 227; Timbre de los sonidos, 227; Sonidos simples y compuestos, 228.
- Vibraciones de las cuerdas, varillas, placas, y membranas,** 228; Cuerdas sonoras, 228; Modo de vibrar las cuerdas, 229; Instrumentos de cuerda, 230; Vibraciones de las varillas, 230; Vibraciones de las placas y membranas, 230.
- Vibraciones del aire en los tubos;** Tubos sonoros, 231; Modo de vibrar el aire en los tubos, 232; Instrumentos fundados en los tubos sonoros, 232.
- Audición;** Aparato de la audición, 232; Audición, 234.
- IX.—OPTICA.—**Propagación de la luz,** 235; Definiciones, 235; Propagación de la luz, 235; Sombra y penumbra, 236; Imágenes á través de las pequeñas aberturas, 237; Velocidad de propagación de la luz, 238.
- Intensidad de la luz,** 238; Fotometría, 239.
- Reflexión de la luz,** 240; Reflexión regular de la luz. 240; Reflexión en la superficie de los cuerpos transparentes, 241; Difusión de la luz, 241; **Espejos,** 241; Imágenes, 242; Espejos planos, 242; Imágenes múltiples, 243; Aplicaciones, 243; Espejos esféricos, 244; Foco, 244; Espejos cóncavos, 245; Aplicaciones, 247; Espejos convexos, 248; Aplicaciones, 249.
- Refracción de la luz,** 249; Leyes de la refracción, 251; Angulo límite, 252; Espejismo, 253; **Prismas,** 254; Refracción de la luz en los prismas, 254; Causas que modifican la desviación, 255; Reflexión total en los prismas, 256; Aplicaciones, 256; **Lentes esféricas;** Lentes, 256; Lentes convergentes, 257; Focos Imagen de un objeto, 257; Lentes divergentes, 260; Focos; Imágenes de los objetos, 260; Aberración de esfericidad, 261; Aplicaciones. Faros, 262.
- Dispersión de la luz,** 262; Descomposición de la luz blanca; Espectro solar luminoso, 262; Los colores del espectro son simples, 263; Los colores del espectro son desigualmente refrangibles, 264; Recomposición de la luz blanca, 264; Colores complementarios, 266; Color de los cuerpos, 266; Aberración de refrangibilidad de las lentes, 266; Acromatismo, 267;
- Visión;** Órgano de la visión, 267; Formación de las imágenes en el ojo, 270; Acomodación. Visión distinta, 271; Defectos en el aparato de la visión, 271; Persistencia de la impresión luminosa en la retina, 272; Visión binocular ó visión doble, 272; Estereoscopio, 273.
- Instrumentos ópticos,** 273; Definición y división, 273; Instrumentos, de proyección. Cámara oscura, 274; Linterna mágica, Aparatos de proyección. 275; Microscopio solar, 276; Microscopio fotoeléctri-

- co, 277; Microscopios, 278; Microscopio simple, 278; Microscopio compuesto, 279; Aplicaciones, 281; Instrumentos de aproximación, 281; Anteojo astronómico, 281; Anteojo terrestre ó de larga vista, 283; Anteojo de Galileo, 283; Antejos prismáticos, 284; Aplicaciones de los anteojos, 284; Telescopio de Newton, 284.
- Radiaciones**, 285; Radiación del calor, 285; **Distintas radiaciones del espectro**, 287; Emisión y absorción de las radiaciones, 288; Diversas clases de espectros, 289; Rayas de absorción, 289; Rayas del espectro solar, 290; Fosforescencia y Fluorescencia, 290.
- Fotografía**, 291; Obtención de la prueba negativa, 292; Obtención de la prueba positiva, 293; Fotografía á la luz artificial, 295; Ampliaciones fotográficas, 295; Fotografía micrográfica, 295; Microfotografía, 295. Fotografía instantánea, 295; Cinematógrafo, 295; Impresiones fotomecánicas, 296; Fotografía de los colores, 296.
- Interferencias de la luz. Difracción**, 296; Interferencias luminosas, 296; Difracción de la luz, 298; Anillos coloreados de Newton, 298.
- Doble refracción**; Cristales birrefringentes, 299; Cristales uniaxiales y biaxiales, 299; Rayos ordinario y extraordinario, 299; Causa de la doble refracción, 300.
- Polarización de la luz**, 300; Polarización por reflexión, 300; Polarización por refracción sencilla, 301; Polarización por refracción doble, 301; Propiedades de la luz polarizada, 302; Aparatos de polarización, 302; Polarización rotatoria, 303; Sacarímetros, 304; Polarización cromática, 307.
- X.—**ELECTRICIDAD**.—**Electricidad estática**, 308; Electricidad, 308; Electricidad por frotamiento, 309; Cuerpos buenos y malos conductores, 309; Electricidades contrarias, 310; Las dos electricidades son producidas simultáneamente, 311; Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas, 312; Masa eléctrica, 312; Hipótesis sobre el origen y naturaleza de la electricidad, 312
- Distribución de la electricidad**; La electricidad reside en la superficie de los cuerpos, 313; Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos de distintas formas, 315; Poder de las puntas, 315; Pérdida de la electricidad, 316.
- Electrización por influencia**; Influencia electrostática, 316; Chispa eléctrica, 318; Campo eléctrico, 318; Influencia sobre un conductor que rodea completamente al inductor, 318; Pantallas eléctricas, 319; Dieléctricos, 319; Explicación del movimiento de los cuerpos ligeros en presencia de un cuerpo electrizado, 319; Electroscopios; 320; Electroscopio de Henley, 321; Electrómetros, 321.
- Potencial eléctrico**.—**Capacidad eléctrica**, 322 Noción experimental, 322; Potencial de la Tierra. Potenciales positivos y negativos, 323; Comparación del potencial eléctrico con el nivel hidrostático, 323; Unidad práctica de potencial, 324; Capacidad eléctrica de un cuerpo conductor, 324; Unidad de capacidad eléctrica, 324.
- Máquinas eléctricas**, 324; Máquina de Ramsden, 325; Electrífico, 326; Máquina de Whimshirt, 327.
- Condensación de la electricidad**, 229; Condensación, 329; Condensadores electrostáticos, 330; Condensador de Åpinus, 330; Botella de Leyden, 331; Baterías eléctricas, 332; Descarga de los condensadores, 333; Localización de la electricidad en los condensadores, 334; Electroscopio condensador de Volta, 335.

- Efectos de la descarga electrostática**, 336; Efectos mecánicos, 337; Efectos caloríficos, 337; Efectos luminosos, 338; Descarga eléctrica en los gases enrarecidos, 339; Penachos, 340; Efectos químicos, 340; Efectos fisiológicos, 341.
- Electricidad dinámica.—Corriente eléctrica**, 342; Definiciones, 342; Experiencias de Galvani y Volta, 342.
- Pilas eléctricas**, 353; *Pilas hidroeléctricas*, 343; Zinc amalgamado, 345; Polarización, 345; Pila de Volta, 346; Pila de artesa, 348; Pila de Wollaston, 347; Pilas de corriente constante, 347; Pila de Daniell, 348; Pila de Bunsen, 349; Pila de Grenet, 350; Pila Leclanché, 351; **Pilas termoeléctricas**, 352.
- Intensidad de las corrientes eléctricas**, 353; Intensidad, 353; Resistencia, 353; Ley de Ohm, 354; Asociación de los elementos de pilas, 354.
- Electrolisis**, 355; Descomposiciones químicas originadas por las corrientes, 356; Electrolisis del agua, 356; Electrolisis de los ácidos y de las bases, 357; Electrolisis de las sales, 358; Ley cualitativa de la electrolisis, 359 Elementos electropositivos y electronegativos, 359; Leyes de Faraday, 359; **Aplicaciones de la electrolisis**. Galvanoplastia, 360; Aparatos empleados, 361; Galvanoplastia propiamente dicha, 362; Metalización de los objetos, 363; Aplicaciones industriales de la Galvanoplastia y de la metalización de los objetos, 364; Otras aplicaciones de la electrolisis, 365.
- Corrientes secundarias.—Acumuladores**, 365.
- Electromagnetismo**, 368; **Magnetismo**, 368; Imanes naturales y artificiales, 368; Polos y línea neutra, 369; Acción de la Tierra sobre los imanes. Aguja imanada, 369; Acciones mutuas de los polos 370; Campo magnético, 371; Imanación por influencia, 371; Hipótesis sobre la naturaleza del magnetismo, 372; Constitución de los imanes. Experiencia de los imanes rotos, 372; Procedimientos de imanación 373; Imanación á saturación, 374; Formas de los imanes, 374; Armaduras, 375.
- Magnetismo terrestre**, 376; Meridiano magnético, 376; Declinación, 377; Inclinación, 378; Variaciones de la declinación y de la inclinación, 379; Cartas magnéticas, 379; Brújulas, 379.
- Acción de las corrientes sobre los imanes**, 380; Experiencia de Erstedt, 380; Regla de Ampere, 381; Acción de los imanes sobre las corrientes, 381; Galvanómetros, 381; Multiplicador de Schweigger 382; Sistema astático, 382; Galvanómetro de Nobili, 383.
- Acción de las corrientes sobre las corrientes**, 384; Electrodinámica, 384; Leyes fundamentales de la electrodinámica, 384; Acción de la Tierra, 385; Solenóides, 385; Analogía entre los solenóides y los imanes, 386; Teoría electrodinámica del magnetismo, 387; Magnetismo terrestre. 387.
- Imanación por las corrientes**, 387; Electroimanes, 388; Magnetismo remanente en los electroimanes, 389.
- Inducción**, 389; Corrientes de inducción; 389; Inducción voltaica ó por las corrientes, 389; Autoinducción, 391; Inducción magnetoeléctrica ó por los imanes, 391; Uso del hierro dulce para aumentar la inducción, 392; Ley de Lenz, 393.
- Máquinas de inducción**, 393; Carrete de Ruhmkorff, 393; Efectos del carrete de Ruhmkorff, 296; Rayos catódicos, 397; Rayos X ó

- rayos Röntgen, 397; Radioscopia y Radiografía, 397; Radioactividad, 398.
- Máquinas magnetoeléctricas y dinamoeléctricas**, 399. Máquina magnetoeléctrica de Gramme, 399; Máquinas dinamoeléctricas, 402; Alternadores, 403; Aplicaciones, 403; Motores eléctricos, 403; Transporte de la energía a distancia, 404; Aparatos industriales de medida, 404.
- Efectos caloríficos y luminosos de las corrientes**. Efectos caloríficos en los conductores, 404; **Alumbrado eléctrico**. Lámparas de incandescencia, 405; Arco voltaico, 406; Bujía Jablochhoff, 407; Aplicaciones de la luz eléctrica, 407; Hornos eléctricos, 408.
- Telegrafía eléctrica**, 408; Telegrafía con conductores, 409; Partes esenciales de un telégrafo eléctrico, 410; Generadores, de corrientes, 410; Línea telegráfica, 410; Telégrafo de Moise, 411; Disposición elemental de una línea telegráfica, 415; Otros aparatos telegráficos, 415; Telegrafía rápida, 416; Organos accesorios, 416; Telegrafía submarina, 418.
- Telegrafía sin hilos**, 418; Ondas hertzianas, 418; Radioconductores, 419; Telegrafía eléctrica sin hilos, 419.
- Telefonía**, 421; Teléfonos, 421; Teléfono de Bell, 421; Micrófono, 423; Teléfono de Ader, 424; Instalaciones telefónicas, 425.
- XI.—METEOROLOGÍA.—CLIMATOLOGIA, 427; Meteorología, 427; División de la Meteorología, 427; Importancia, 427; Elementos meteorológicos, 427.
- Temperatura**, 428; Máxima, mínima y media, 428; Causas influentes sobre la temperatura del aire, 428; Líneas isotermas, 429; Zonas, 429; Clima, 430; Temperatura a distintas profundidades de la Tierra, 430; Temperatura de las aguas, 439.
- Vientos**, 431; Variaciones de la presión atmosférica, 431; Variaciones regulares, diurnas y anuales, 431; Variaciones accidentales, 432; Distribución de las presiones en la superficie de la Tierra. Líneas isobaras, 432; Vientos, 432; Dirección del viento, 433; Velocidad del viento, 433; Clasificación de los vientos, 434; Vientos constantes, 434; y periódicos, 435; Vientos variables ó accidentales, 435; Ciclones y anticiclones, 435; Depresiones ó borrascas, 436; Mapas del tiempo, 437; Previsión del tiempo, 438.
- Higrometría**, 439; Estado higrométrico del aire, 439; Higrometros, 440; Distribución de la humedad en la superficie del Globo, 442.
- Meteoros acuosos**, 443; Rocío, 443; Escarcha, 443; Nieblas, 444; Nubes, 444; Causas que determinan la formación de las nubes, 446; Lluvia, 447; Nieve, 448; Granizo, 448; Distribución de las lluvias, 448.
- Meteoros luminosos**, 449; Color del aire, 449; Crepúsculo, 449; Arco iris, 449; Halos, 451; Coronas, 451.
- Meteoros eléctricos**, 451; Electricidad atmosférica. Tempestades ó tormentas, 451; Relámpago, 453; Trueno, 453; Rayo, 453; Pararrayos, 454; Pararrayos Melsens, 455; Fuegos de San Telmo, 455; Trombas, 455; Auroras polares, 457.





1030