

RODRÍGUEZ LARGO



ELEMENTOS

DE

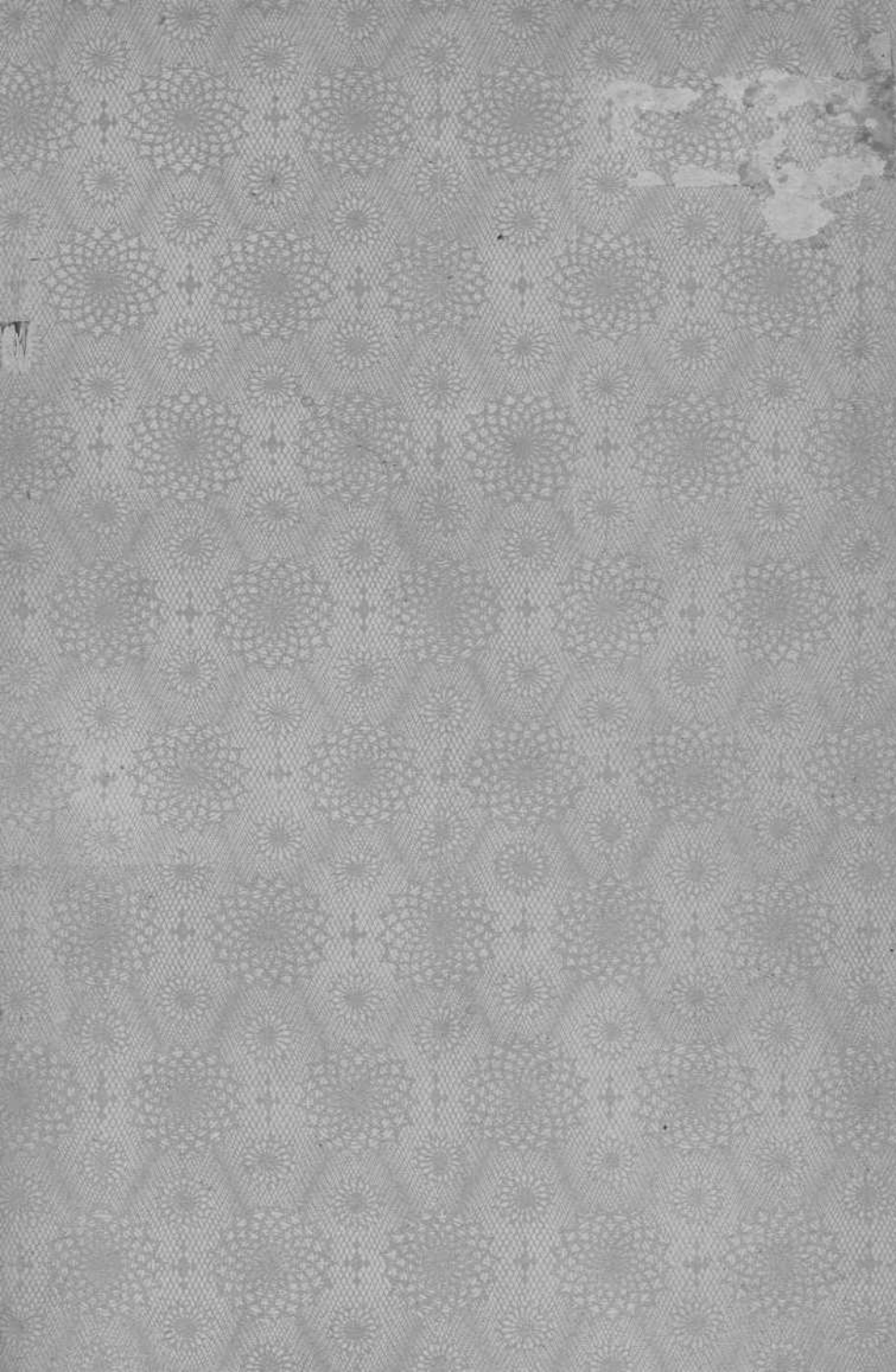
FÍSICA

Y

Nociones de Meteorología

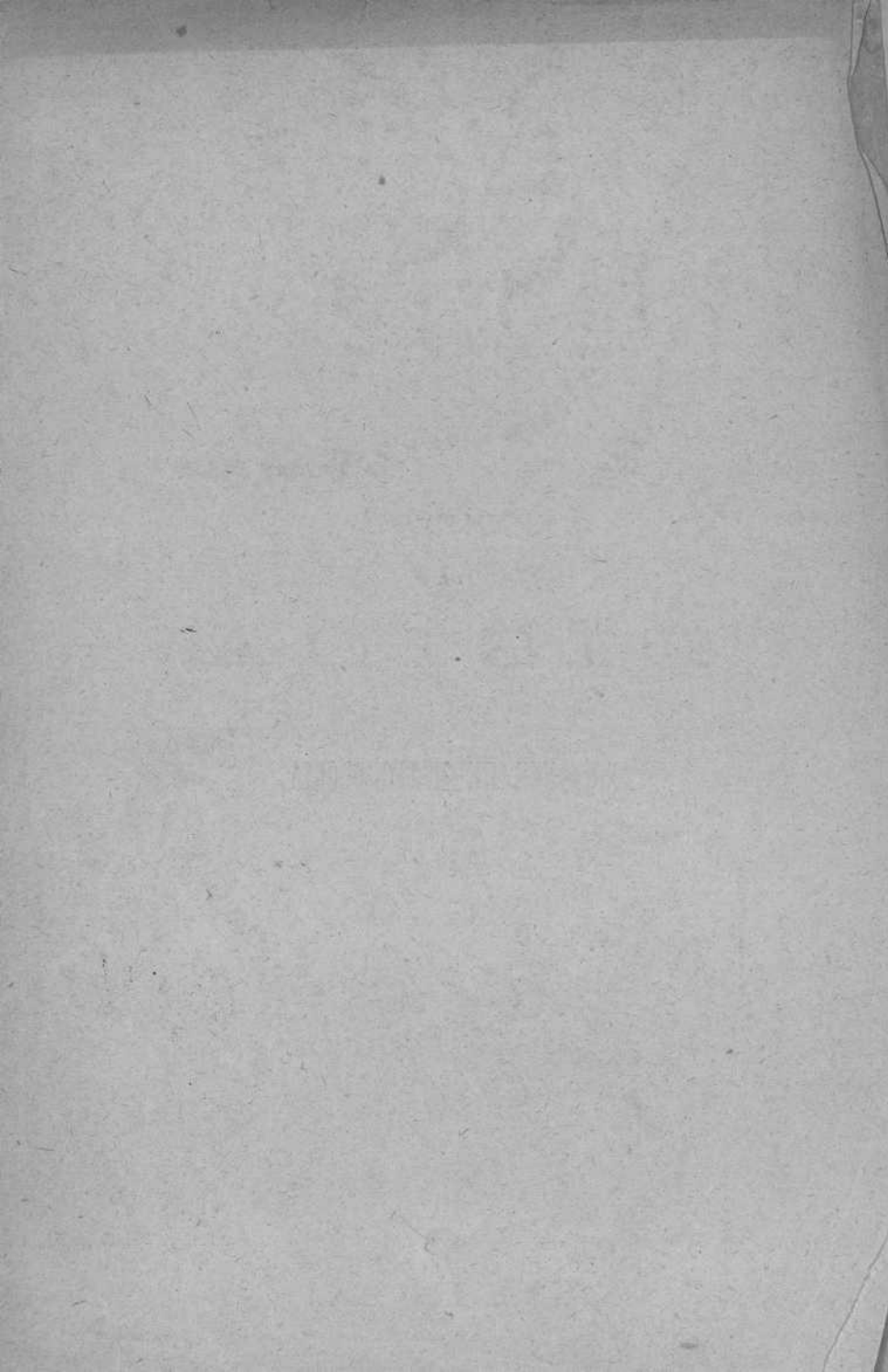
881

7183





ELEMENTOS
DE
F Í S I C A
Y
NOCIONES DE METEOROLOGÍA



ELEMENTOS

DE

FÍSICA

Y

NOCIONES DE METEOROLOGÍA

POR EL DOCTOR EN CIENCIAS

DON BERNARDO RODRÍGUEZ Y LARGO

Catedrático de esta asignatura en el Instituto de San Isidro



MADRID

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO «SUCESORES DE RIVADENEYRA»

IMPRESORES DE LA REAL CASA

Paseo de San Vicente, número 20

1891

Al Sr. D. Salvador Arce su apuro
amigo y comp.^o

El autor



h. lucas 42

Es propiedad del autor.

ELEMENTOS DE FÍSICA.

LIBRO PRIMERO.

MATERIA PONDERABLE.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones preliminares.

1. Ciencias cosmológicas.—Reciben este nombre las que se ocupan del estudio de la *Naturaleza* ó mundo físico. Como quiera que dicho estudio abarque grandísima variedad de asuntos, se ha hecho necesario dividirlo en varias ciencias: estas son la ASTRONOMÍA, la HISTORIA NATURAL, la FÍSICA y la QUÍMICA.

2. Objeto de la Física.—Se ocupa esta ciencia del estudio de los fenómenos generales que presentan los cuerpos, sin que sufran cambio alguno en su composición ó modo de ser.

La Química, por el contrario, estudia los fenómenos que modifican profundamente la esencia de los cuerpos y las leyes que rigen á dichas alteraciones.

La palabra *fenómeno* se usa en Física como sinónimo de *hecho*, aunque se refiera á los que se verifican con gran frecuencia.

Teniendo en cuenta el objeto de dichas ciencias, podremos decir que *fenómeno físico* es aquel en cuyo desarrollo no se modifica la manera de ser del cuerpo que le produce; así, el sonido que origina un martillo al chocar sobre una campana, en nada cambia la composición de dicho cuerpo, y es, por lo tanto, un fenómeno físico.

Fenómeno químico es aquel que al verificarse altera la composición química del cuerpo sometido á la experiencia; así, al arder un pedazo de carbón, produciendo luz y calor, se transforma en ceniza y ciertos gases que en nada se parecen al combustible empleado en el experimento.

3. Cuerpo físico, materia.—*Cuerpo físico* es todo ser que impresionamos nuestros sentidos, especialmente al tacto.

Materia es la sustancia de que están formados todos los cuerpos. La cantidad de materia que contiene un cuerpo ha recibido el nombre de *masa* del mismo.

4. Átomos, moléculas y partículas.—Los caracteres que presentan los cuerpos, como pronto tendremos ocasión de ver, han inducido á los físicos á suponerlos formados por multitud de elementos infinitamente pequeños, llamados *átomos*. Estos átomos, uniéndose á otros de la misma ó distinta naturaleza, originan entidades más complejas, llamadas *moléculas*, las que agregándose mutuamente forman las *partículas* de los cuerpos.

5. Cuerpos simples y compuestos.—Los átomos que forman un cuerpo pueden ser todos de igual ó distinta naturaleza. En el primer caso se dice que el cuerpo es *simple*, y en el segundo que es *compuesto*. En el hierro, por ejemplo, todos los átomos son idénticos; por esto es un cuerpo simple. En cambio en el mármol hay hasta tres distintas clases de átomos y es, por consecuencia, un cuerpo compuesto.

6. Fuerzas moleculares.—Por consideraciones que más adelante tendremos ocasión de exponer, han deducido los físicos que los átomos y moléculas que constituyen los cuerpos no están en contacto inmediato, sino separados por espacios infinitamente pequeños; y para poder explicar la unión íntima que presentan entre sí las partículas de los cuerpos y su cambio de volumen, se supone que dichos átomos se hallan sometidos á la acción de una fuerza llamada *atracción molecular*, compensada por otra, que actúa en sentido contrario, nominada *repulsión molecular*. Ambas acciones reciben el nombre de *fuerzas moleculares*. Dicha atracción molecular parece ser un caso particular de otra fuerza, llamada *atracción universal*, que obra sobre todos los cuerpos, tendiendo constantemente á unirlos entre sí.

7. Estados de los cuerpos.—Los cuerpos físicos se nos presentan siempre en uno de los tres estados siguientes: *sólido*, *líquido* ó *gaseoso*.

Estado sólido. Los cuerpos que afectan este estado, tales como las piedras, las maderas, etc., tienen la propiedad de poseer forma propia, debida, ya á la Naturaleza ó bien al arte, y para conseguir que aquella cambie es necesario someterlos á un esfuerzo más ó menos considerable. En consecuencia de esto, se admite que la atracción molecular es en ellos mayor que la repulsión, llamándose *cohesión* al exceso que presenta en estos cuerpos la atracción sobre la repulsión molecular.

Estado líquido. Los cuerpos que se presentan en este estado, como el agua, el aceite, etc., no tienen forma propia y adoptan la de las vasijas en

que se hallan contenidos; carecen de dureza, y puede por tanto, separarse con gran facilidad una porción cualquiera del resto del líquido. En ellos la atracción y repulsión molecular deben hallarse casi equilibradas.

Estado gaseoso. En este estado, que es el que afecta el aire que respiramos, presentan los cuerpos algunos caracteres comunes con los líquidos; carecen, en efecto, como aquéllos, de forma propia y de dureza, acomodándose también á la forma de los vasos en que se los introduce; pero así como los líquidos conservan un volumen constante, cualquiera que sea la capacidad del vaso en que se alojen, los gases, por el contrario, tienden siempre á ocupar mayor espacio, y por grande que sea el depósito en que se los introduzca siempre queda lleno por el gas empleado. Esta notable propiedad de los cuerpos gaseosos ha recibido el nombre de *expansión* (163). Puesto que sus moléculas están siempre tendiendo á separarse, es lógico admitir que la atracción molecular es en ellos de menor valor que la repulsión.

Por la propiedad que tienen, tanto los líquidos como los gases, de escaparse ó *fluir* por las aberturas de los vasos que los contienen, han recibido el nombre de *fluidos*.

8. Ley física.—Así se llama la expresión de las relaciones que existen entre un fenómeno y su causa. Por ejemplo, al dejar caer un cuerpo cualquiera desde un sitio elevado, se observa que su rapidez, ó velocidad, va creciendo constantemente con relación al tiempo que dura su caída (60), y este hecho se expresa por la siguiente ley física: *La velocidad que adquieren los cuerpos al caer es proporcional al tiempo que dura su descenso.*

Se llama *teoría física* al conjunto de leyes que se derivan de un mismo principio. Cuando éste no es conocido, se admite provisionalmente uno que se acomode á los hechos que se tratan de explicar, y se le llama *hipótesis*. Desgraciadamente ocurre esto con frecuencia en la Física, y ocasión tendremos de dar á conocer varias hipótesis que revelan, sin embargo, un talento extraordinario en sus inventores.

9. Agentes naturales.—Todos los fenómenos físicos reconocen evidentemente alguna *causa* ó *agente*. El número de éstos no se puede precisar; según algunos físicos, dichos agentes ó *fuerzas naturales* son: la *gravitación universal*, el *calórico*, la *luz*, el *magnetismo* y la *electricidad*, cuya existencia, después de todo, nos es completamente desconocida. Otros físicos, y acaso con más razón, admiten tan sólo una causa productora de todos los fenómenos: el *movimiento*. Suponen éstos que los átomos de todos los cuerpos se hallan en un estado de agitación perpetua, realizando movimientos imperceptibles; esta actividad, ó *energía*, es transmitida de unos á otros por el intermedio de una materia infinitamente sutil, llamada *éter*, originando así los

cambios que continuamente observamos en el mundo físico. Ya indicaremos más adelante las razones que han tenido los partidarios de esta idea para opinar de este modo.

10. Plan de la asignatura.—La Física se divide en dos grandes secciones. En la primera se estudian los fenómenos relativos á la *materia ponderable*, ó sea aquella sustancia que pesa é impresiona al tacto. La segunda sección se ocupa de otra clase de materias, llamadas *imponderables*, que no gozan de dichas propiedades.

En la primera sección se hacen varias divisiones, según el género de verdades que se investiguen, siendo las principales las *Propiedades de los cuerpos*, la *Mecánica* y la *Acústica*.

El estudio de la materia imponderable comprende á su vez varias divisiones, cuales son: el *Calórico*, la *Luz*, el *Magnetismo* y la *Electricidad*. Todos estos agentes reciben también el nombre de *fluidos imponderables*.

CAPÍTULO II.

Propiedades de los cuerpos.

ARTÍCULO PRIMERO.

PROPIEDADES GENERALES.

11. Definiciones.—Reciben el nombre de *propiedades* los caracteres que presentan los cuerpos por los cuales diferenciamos los unos de los otros. Estos caracteres pueden ser comunes á todos los cuerpos ó exclusivos de algunos de ellos; en el primer caso se llaman *propiedades generales*, y en el segundo *particulares*. Por ejemplo, se observa que todos los cuerpos pueden fraccionarse en pedazos más ó menos grandes, y esta propiedad, que ha recibido el nombre de *divisibilidad*, diremos que es general. Al contrario, sólo determinados cuerpos pueden alargarse formando hilos ó alambres; esta cualidad, llamada *ductilidad*, será, pues, una *propiedad particular*.

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

Entre las particulares figuran la *malleabilidad*, la *ductilidad*, la *tenacidad*, la *dureza*, la *fragilidad* y algunas otras de menos importancia.

12. Extensión.—Llámase así la propiedad que tienen los cuerpos de

ocupar un cierto volumen en el espacio. Siendo evidente por sí misma, es inútil tratar de demostrar esta propiedad.

La medida de la extensión es objeto especial de la Geometría, pero es necesario en Física medir con tanta frecuencia las dimensiones de un cuerpo, que será muy conveniente nos ocupemos de esta cuestión. Sabido es que la determinación de los volúmenes y superficies queda reducida siempre á la medida de las líneas de que constan sus dimensiones; veamos, pues, cómo se obtiene la medida de una línea. Desde luego empezaremos por aplicar el metro, ó unidad de longitud, sobre la línea que tratemos de medir, y suponiendo que ésta se halle contenida exactamente en el metro y sus divisiones, nada tendremos que hacer, sino contar el número de metros, centímetros y milímetros que contiene. Mas esta suposición, que á primera vista parece probable, rara vez se verifica, y sucede casi siempre que la línea en cuestión comprende un número dado de milímetros y una fracción de otro. Teóricamente puede dividirse el milímetro en diez partes iguales y aplicar estas divisiones á la longitud que se trataba de medir, con lo que se podrán apreciar décimas de milímetro; pero si se tiene en cuenta la pequeña extensión que ocupa un milímetro, se comprenderá la dificultad de hacer tales divisiones, y sobre todo apreciar su número á la simple vista; esta dificultad se evita por medio de una reglita auxiliar llamada *nonius* (de Nuñez, su inventor).

13. Nonius.—Para hacer un nonius que aprecie décimas de milímetro, se toma una regla de marfil ú otra sustancia compacta y se trazan en ella dos líneas *M* y *N*, fig. 1.^a, que abarquen nueve milímetros, dividiendo luego este espacio en diez partes iguales; es evidente que cada división de éstas será igual á nueve décimas de milímetro.



Fig. 1.^a

Para usar el nonius en la medida de una longitud *PQ* se empieza por hacer coincidir exactamente el cero de la regla métrica con el principio *P* de dicha longitud, y si no coincide la otra extremidad *Q* con ninguna división del metro, como sucede en la figura, se apoya el cero del nonius sobre dicha extremidad *Q* de la longitud dada; luego se observa si alguna de las divisiones del nonius coincide con alguna de la regla métrica y, suponiendo que esto se verifique en la cuarta división, se añaden á los cinco milímetros completos que comprende la longitud *PQ*, tantas décimas de milímetro como indique el número de coincidencia, ó sea en este caso cuatro décimas; la longitud buscada será, por tanto, igual á cinco milímetros y cuatro déci-

mas de milímetro. La razón de esto es sencilla: empezando á contar desde la división cuarta del nonius, en que existe coincidencia, y marchando al encuentro de la extremidad *M*, resultará que la división tercera del nonius estará corrida hacia la derecha un décimo de milímetro respecto de la división correspondiente de la regla métrica; la división segunda del mismo estará, á su vez, corrida dos décimas hacia la derecha; la primera del nonius tres décimas, y la división cero de aquél cuatro décimas de milímetro; luego habrá que añadir estas cuatro décimas á los cinco milímetros que comprende la longitud *PQ* para obtener su magnitud total.

Bien se comprende que este procedimiento es aplicable á cualquier sistema de medida, aunque sean arcos de círculo, pudiendo obtenerse por su intermedio la apreciación que se desea.

14. Tornillo micrométrico. — Existe además otro aparato para medir pequeñas longitudes, llamado tornillo micrométrico, que produce mayor aproximación que el nonius, pero su descripción la dejamos para la Mecánica (52) en que nos ocuparemos de esta máquina.

15. Catetómetro. — No siempre es posible aplicar la regla métrica y el nonius sobre el objeto que se quiere medir, sino que hay que obtener su longitud desde alguna distancia. En este caso se usa un aparato llamado *Catetómetro*, el cual consiste (fig. 2.^a) en una columna metálica *C C'* á cuyo largo puede resbalar un anteojo *AB*, colocado horizontalmente. Dicha columna se halla dividida, á partir de su base, en centímetros y milímetros, y la pieza que sostiene al anteojo está provista de su correspondiente nonius. El anteojo, además, contiene en su interior un *retículo* (fig. 3.^a), ó sea un anillo provisto de dos hilos sumamente finos cruzados en ángulo recto, que

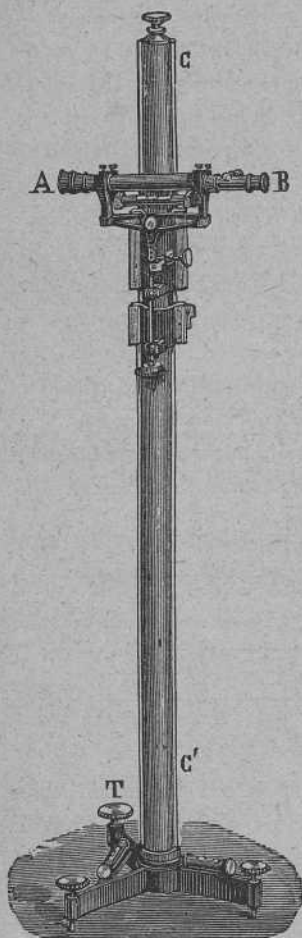


Fig. 2.^a

se ven con claridad al mismo tiempo que el objeto á que se dirige aquél, con lo cual se puede determinar el punto en que corta el eje del anteojo á la superficie del objeto examinado. Sentado esto, veamos cómo puede medirse con

el auxilio de este aparato una longitud colocada verticalmente AB (fig. 4.^a), á la que no es posible, ó no conviene, acercarse. Para conseguirlo se coloca el



Fig. 3.^a

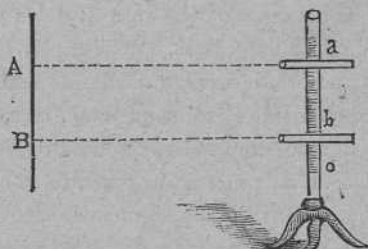


Fig. 4.^a

catetómetro á la distancia conveniente, y por medio de unos tornillos que tiene su base se hace que la columna quede exactamente vertical, para lo que basta observar unos niveles de que está provisto el pie del aparato; luego se hace que el anteojo quede exactamente horizontal por medio de un tornillo de nivel que le acompaña y, por último, se hace resbalar el anteojo á lo largo de la columna, anotando con toda precisión las alturas a y b , desde las que se ven los puntos A y B en el centro de su retículo, y restando la altura ob de la oa , se tendrá la distancia ab , que es igual á la AB , como lados opuestos del paralelogramo $ABab$.

16. Método de multiplicación.—Otro procedimiento muy usado en Física para obtener el valor de pequeñas magnitudes, consiste en sumar repetidas veces la cantidad que se trata de medir, y deducir de la suma el valor de la que se busca. Esto constituye el método de multiplicación, del que daremos un ejemplo para su más fácil inteligencia.

Supongamos que se quiere medir el grueso de una hoja de papel. Para conseguirlo tomaremos muchas hojas, cien por ejemplo, y las colocaremos entre dos cristales planos y resistentes, oprimiéndolos con fuerza para expulsar el aire que pueda quedar entre ellas. Después mediremos con un compás de puntas arqueadas, llamado de *gruesos*, el espesor total de las hojas de papel y cristales, y quitando las hojas de papel volveremos á medir con dicho compás el espesor de los dos cristales. Restando del grueso total el que corresponde á los dos cristales, tendremos el espesor de las cien hojas de papel. Supongamos que se haya obtenido para dicho espesor nueve milímetros; es evidente que á cada hoja le corresponden nueve centésimas de milímetro. Este método se puede emplear con ventaja en muchas circunstancias, y ya tendremos ocasión en adelante de hacer uso de él.

17. Impenetrabilidad.—Es la propiedad que presenta la materia de no poder ocupar el espacio lleno anteriormente por otra porción de materia.

Esta propiedad se refiere á los átomos y no á los cuerpos, pues estando éstos formados por la reunión, más ó menos compacta, de dichos átomos, se comprende que en los espacios que entre sí dejan pueden colocarse otros átomos de igual ó distinta naturaleza. Por ejemplo: si echamos en un tubo estrecho y graduado un poco de agua, y añadimos lentamente otro tanto de alcohol, midiendo exactamente el volumen total, veremos que éste es menor que la suma de los líquidos empleados, después de agitar el tubo para que se mezclen ambos líquidos. Esta penetración aparente, sólo nos probará que entre los átomos del agua se han colocado algunos de alcohol y viceversa; pero en modo alguno que se hayan penetrado ambas materias. Los clavos, cuñas, etc., que se introducen en otros cuerpos, son una prueba de lo mismo.

A pesar de esta penetración parcial que presentan los cuerpos, no dejan, sin embargo, de excluirse respectivamente los unos á los otros. Así sucede cuando introducimos un cuerpo sólido en una vasija llena de un líquido; éste se derrama, vertiéndose un volumen igual al que tenga el sólido sumergido. Por igual razón no entra el agua en un vaso que se introduzca boca abajo en una vasija que contenga dicho líquido, pues estando el vaso lleno de aire, y no pudiendo este gas marcharse al exterior, impide, en virtud de la impenetrabilidad, la entrada del agua. Para llamar la atención en este experimento, suele colocarse sobre el agua un corcho con una cerilla encendida, y se logra de este modo obtener un cuerpo en combustión dentro de una masa líquida.

Los gases, á pesar de la poca unión de sus átomos, también se excluyen los unos á los otros. Se prueba esto echando en una campana que contenga aire otro gas más pesado que él, como el ácido carbónico; introduciendo después una cerilla encendida en dicha campana, se apaga inmediatamente, probando de esta manera que se halla ocupada por dicho ácido.

La impenetrabilidad de los cuerpos recibe en Física diferentes aplicaciones, y entre otras podemos citar la *campana de buzos*, con cuyo auxilio puede explorarse sin peligro el fondo del mar. En Química se aplica también con frecuencia el principio de la impenetrabilidad de los líquidos y los gases para recoger éstos en la *cuba hidroneumática*, sin que se mezclen con el aire.

Las dos propiedades que llevamos estudiadas, extensión é impenetrabilidad, han recibido el nombre de *esenciales*, por ser, en efecto, atributos inherentes á la *materia*, y muchos físicos definen ésta diciendo que es *lo que goza de la extensión y es impenetrable*.

18. Compresibilidad.—Recibe este nombre la propiedad que tienen todos los cuerpos de poderse reducir á un volumen menor, oprimiéndolos con más ó menos fuerza.

Para probar la generalidad de esta proposición vamos á considerar los cuerpos en cada uno de sus tres estados. Pruébese que los gases son compresibles valiéndose del *eslabón neumático* (fig. 5.^a), el cual consiste en un tubo de cristal de paredes resistentes, cerrado por su extremo inferior y abierto por el lado opuesto. Dentro de él se aloja exactamente un cilindro de roldanas de cuero, llamado *émbolo ó pistón*, el que va provisto de un vástago que sale al exterior y termina en un agarrador de madera. Introduciendo en dicho cilindro un gas cualquiera, se observa que su volumen se reduce fácilmente á la mitad ó tercera parte, oprimiendo el pistón convenientemente.

Para probar la compresibilidad de los líquidos se usa otro aparato llamado *piezómetro*, cuya descripción no daremos hasta más adelante (183) por estar fundada en principios que aun no hemos expuesto. Con él se observa que todos los líquidos se reducen de volumen, sometidos á presiones muy enérgicas. Esta reducción, sin embargo, es muy pequeña comparada con la que experimentan los gases en igualdad de circunstancias, por cuyo motivo se creyó en un principio que eran incompresibles.

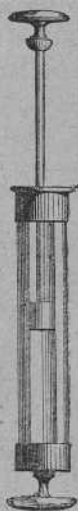


Fig. 5.^a

Por último, sometidos los sólidos al choque del martillo ó al esfuerzo de prensas enérgicas, se logra reducir algo su volumen. En algunos, sin embargo, es tan pequeña esta reducción, que no puede conocerse directamente, y hay necesidad de acudir á medios indirectos para su comprobación; así sucede con los *metales*, cuya densidad aumenta sometidos al forjado, aumento que supone, como más adelante veremos (115), una disminución en su volumen.

Resulta, por tanto, que todos los cuerpos son susceptibles en grado diferente de reducirse de volumen. Los gases generalmente pueden ocupar espacios veinte ó treinta veces menores, pero se llega á un caso, oprimiéndolos continuamente, en que pasan al estado líquido, y desde este momento se hacen ya muy poco compresibles, como todos los líquidos. En los sólidos existen cuerpos de muy diferente compresibilidad; unos, como las maderas, se reducen fácilmente á un volumen mucho menor; y otros, como los metales y las piedras, son difíciles de comprimir. Exagerando en éstos la presión, suelen perder las moléculas su fuerza atractiva y reducirse á polvo.

19. Porosidad.—Es la propiedad que tienen los cuerpos de presentar espacios vacíos ó *poros* entre sus diferentes moléculas. Esta propiedad es una consecuencia de la compresibilidad; pues de ser los cuerpos macizos, resultaría que al reducirse de volumen habrían de penetrarse unas en otras sus diferentes moléculas, y esto es imposible.

Distinguen los físicos dos clases de poros: unos invisibles, que separan las diversas moléculas de los cuerpos, llamados *poros físicos*, y otros resultantes de espacios vacíos de la materia que forma el cuerpo, visibles, y que han recibido el nombre de *poros sensibles*; éstos sólo se observan en algunos cuerpos, como la esponja, piedra pómez y muchas maderas. Su existencia se comprueba fácilmente por varios experimentos, siendo uno de los que más suelen repetirse el llamado *lluvia de Diana*. Este consiste en hacer pasar el mercurio á través de una lámina de madera, por medio de una presión conveniente, para lo cual se usa un aparato (fig. 6.^a) que consiste en un cilindro hueco de madera, dentro del cual se mueve, por medio de un tornillo *T*, un pistón de la misma sustancia; dicho cilindro se halla cerrado por un círculo de cuero flexible *a*, encolado por sus bordes, formando una cavidad cóncava. Después de echar en ella un poco de mercurio, se coloca en forma de tapa una roldana de madera *m*, del mismo diámetro que el cilindro, y se ajusta exactamente por sus bordes con auxilio de la tuerca anular *c d*. Oprimiendo después el pistón, por medio del tornillo, el mercurio se encuentra obligado á pasar por los poros del disco, saliendo en forma de una lluvia finísima, que ha valido á este experimento el nombre que lleva.

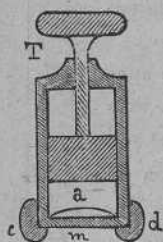


Fig. 6.^a

La porosidad de los metales, por más que sea mucho menor que la de las maderas, puede también apreciarse de un modo análogo. Los académicos del Cimento, en Florencia, demostraron en 1661 que la plata era porosa. Trataban estos sabios de averiguar si el agua era ó no compresible, y al efecto llenaron de dicho líquido una esfera hueca de plata, cerrando después herméticamente el orificio de entrada; sometida luego aquélla al choque del martillo, notaron que á cada martillazo exudaba la superficie de dicha esfera pequeñas gotitas de agua, análogas al rocío, con lo que se evidenciaba que la plata era porosa. Esta misma experiencia se ha repetido después con igual resultado en otros metales.

Los gases, efecto de dominar en ellos la fuerza repulsiva, deben presentar la porosidad en un grado muy superior á los sólidos y líquidos, y así lo prueba efectivamente la facilidad con que se reducen de volumen.

Atendiendo al espacio que dejan vacío los poros de los cuerpos, hay que considerar en ellos dos volúmenes distintos: uno el ocupado exclusivamente por la materia, llamado *volumen real*, y otro resultante de dicha materia, más los poros que los cuerpos contengan, que ha recibido el nombre de *volumen aparente*. El primero es invariable é imposible de determinar, mientras que el segundo depende del calor y presión á que se encuentran

sometidos los cuerpos. Á éste nos referiremos siempre que se hable del volumen de un cuerpo.

Una de las principales aplicaciones que ha recibido la porosidad de los cuerpos, es la *filtración*. Tiene esta operación por objeto separar las partículas sólidas, que se hallan en suspensión en un líquido, del resto de dicho fluido. Para conseguirlo se coloca en un embudo un cono de papel sin cola, llamado de *filtro*, y se echa dentro el líquido que se quiere clarificar; efecto de la porosidad del papel va pasando el líquido poco á poco, y quedan detenidas las partículas sólidas que lo enturbiaban. Á veces se usa como materia filtrante el carbón de pino pulverizado, la arena, el vidrio molido, la franela y algunas piedras porosas. Entiéndase, sin embargo, que la filtración sólo sirve para separar las materias que se hallan en suspensión dentro de un líquido, mas no las que se encuentran disueltas; éstas pasarían con el líquido al través del filtro. La porosidad es causa también de que muchos cuerpos orgánicos, como las maderas, se hinchen al penetrar la humedad del aire en sus poros, siendo ésta la razón del forzado ajuste que notamos en las puertas de nuestras habitaciones en épocas de mucha humedad.

20. Elasticidad.—Se llama así la propiedad que tienen los cuerpos de recobrar por sí solos su volumen y forma primitiva, cuando han sido comprimidos ó deformados por una fuerza exterior. Esta propiedad está muy desarrollada en los gases, bastante en los líquidos, y menos, aunque en grado variable, en los sólidos.

Para probar la gran elasticidad de los gases se usa el *eslabón neumático* descrito en el número (18).

Vimos al tratar de este aparato, que ejerciendo sobre el pistón una presión conveniente se puede reducir á un pequeño volumen el gas encerrado en él; mas si una vez conseguido esto se abandona el pistón mismo, la fuerza elástica del gas le obliga á salir hasta el principio del tubo, recobrando dicho fluido su volumen primitivo. Más sucede aún; si se quita, por los medios que indicaremos más adelante, el aire que rodea al aparato, sigue saliendo el pistón y aumentando, por consiguiente, el volumen del gas sometido á la experiencia; por esta razón se ha llamado á los gases *fluidos eminentemente elásticos*.

Los líquidos, aunque no tanto como los gases, están, no obstante, dotados de una elasticidad perfecta; así se prueba con el piezómetro (183) de que hemos hablado al tratar de la compresibilidad de estos cuerpos. En efecto; si se reduce el volumen de un líquido cualquiera, sometiénole á la gran presión que se obtiene con dicho aparato, y después se le sustrae á dicha

presión, se observa que vuelve inmediatamente á ocupar el volumen primitivo, lo cual prueba que todos ellos son perfectamente elásticos.

En los sólidos nunca llega á tal grado su elasticidad. Hay algunos, como el marfil, el acero, el cristal, el caucho, etc., que recobran casi en absoluto la forma y volumen que perdieran por una presión exterior, no siendo excesiva; mas si ésta pasa de cierto grado, quedan ya deformados para adelante, diciéndose entonces que se ha traspasado el *límite de su elasticidad*. Otros en cambio, como la arcilla húmeda, la cera reblandecida, y en menor escala el plomo, quedan deformados por pequeña que sea la variación que en su volumen ó forma experimenten. Ya volveremos sobre esta cuestión al tratar de algunas propiedades particulares de los sólidos (25).

La propiedad de que nos estamos ocupando y la compresibilidad que presentan los cuerpos, auxiliadas de otras consideraciones, han servido para establecer la teoría de la constitución de la materia de que ya hemos hablado. En efecto, suponiendo que los cuerpos estuviesen formados por una materia continua, no podría explicarse la compresibilidad que todos presentan; de aquí el admitir que se hallan constituidos por átomos. La elasticidad prueba, además, que estos átomos están sometidos á la acción de fuerzas contrarias, puesto que obligándolos á separarse, ó bien á unirse, vuelven por sí solos á recuperar su posición primitiva. Estas fuerzas contrarias son las que han recibido el nombre de *fuerzas moleculares*.

La elasticidad de los cuerpos es una de las propiedades que más aplicaciones ha recibido en las artes, pudiendo citarse como ejemplo de ello el uso continuo que se hace de los muelles de acero en los carruajes, butacas, colchones, relojes y máquinas en general, cuyo efecto se comprende fácilmente.

21. Divisibilidad.— Es la propiedad que todo cuerpo tiene de poderse reducir á fracciones de menor tamaño. Esta propiedad es evidente por sí misma, y los hechos nos demuestran su generalidad. Principalmente los cuerpos líquidos y gaseosos son susceptibles de reducirse con la mayor facilidad á porciones extremadamente pequeñas, lo cual es consecuencia de la escasa ó ninguna atracción con que están unidas sus moléculas.

Respecto á los sólidos, hay que ejercer en ellos un esfuerzo capaz de vencer su cohesión, lo cual se consigue por medio de los *morteros y pilones*, con los que se logran obtener partículas sumamente tenues, aun tratándose de los cuerpos más duros.

Al considerar el grado de extraordinaria división á que puede llegarse en los cuerpos, se ocurre preguntar si esta propiedad ¿será indefinida ó tendrá un límite? La constancia que en sus caracteres químicos presentan los

cuerpos, y el combinarse éstos en proporciones dadas, autorizan para creer que la división física de los cuerpos tiene un límite que no es dado traspasar. Pueden citarse ejemplos que prueban, sin embargo, que aquélla puede llegar á un grado verdaderamente asombroso. En efecto; un centigramo de carmín puede teñir de un color rojo bien marcado dos litros de agua, y como en este volumen hay dos millones de milímetros cúbicos, en cada uno de los cuales puede afirmarse que hay por lo menos diez partículas de carmín, resultará dividida esta materia colorante en dos millones de partes visibles.

Las sustancias aromáticas son también un ejemplo de la gran división á que puede llegar la materia. Resulta, en efecto, que un trozo de almíacle puede estar emitiendo partículas olorosas durante mucho tiempo sin que su peso disminuya en lo más mínim.o. ¡Qué tenuidad no tendrán dichas partículas!

En nuestra sangre tenemos también un notable ejemplo de lo mismo. En la gota más pequeña de este líquido existen flotando millones de glóbulos rojos, que medidos y examinados al microscopio resultan tener un diámetro de $\frac{1}{150}$ de milímetro. Por último, los *animales microscópicos*, llamados así por que solo son visibles con este instrumento, tienen los aparatos necesarios para la conservación de su existencia, y dichos aparatos constan á su vez de diferentes órganos destinados cada uno para un fin determinado. Juzgue el lector el tamaño que deberán tener estos órganos, y mucho más los tejidos que los forman.

22. Movilidad.—Recibe este nombre la propiedad que todos los cuerpos tienen de poder pasar de un lugar á otro en el espacio. Se llama *movimiento* el acto de trasladarse los cuerpos de un sitio á otro; y *reposo*, su permanencia en el mismo lugar.

Para averiguar si un cuerpo se mueve ó permanece quieto, es necesario medir la distancia que le separa de los objetos que le rodean, por más que esta medición se haga sin más que observar sobre cuál de aquéllos se destaca. Si dichos objetos están invariablemente fijos, se dice que el movimiento del cuerpo es *absoluto*, y se llama *relativo* cuando aquellos con quienes se compara están, á su vez, en movimiento. Lo mismo se dice del reposo de un cuerpo, según se compare con objetos fijos en el espacio ó que á su vez se muevan. En la Naturaleza no se conoce ningún cuerpo absolutamente inmóvil, pues el Sol y las llamadas *estrellas fijas*, no lo están en modo alguno, y si parecen quietos dichos astros, es por la enorme distancia que de ellos nos separa. Resulta, por lo tanto, que nunca habrá ocasión de considerar los movimientos y reposos absolutos, sino estos mismos estados relativos.

Un cuerpo puede estar en movimiento y parecernos, no obstante, en repo-

so. Esto sucede cuando los objetos con quienes comparamos su posición, están animados del mismo movimiento que tratamos de examinar. Así sucede con la Tierra, cuyos objetos parecen fijos, y, sin embargo, sabemos que este planeta gira diariamente sobre su eje, y recorre además una enorme elipse en el transcurso de un año.

Aun observando que se altera la distancia que media entre el objeto de que se trata y los que se toman como punto de partida, no puede asegurarse desde luego cuál de ellos es el que realmente se mueve. Hasta Copérnico todos los sabios creyeron que la Tierra se hallaba fija en el espacio, y que el Sol giraba en derredor suyo, y hoy está demostrado que nuestro planeta es el que gira en derredor del Sol. Un observador que se eleva en un globo cree que la superficie terrestre se hunde en el abismo, mientras él permanece á la misma altura.

Esto nos indica que los movimientos relativos de un cuerpo pueden considerarse como producidos realmente por él, ó suponiendo á éste fijo, y que los puntos de partida, con quienes se compara, están animados de un movimiento análogo, pero en opuesto sentido.

A veces es conveniente considerar los movimientos bajo este último concepto.

23. Inercia.—Considerando *una molécula aislada* en el espacio, han observado los físicos que *aquella es incapaz por sí sola de alterar el estado de reposo ó movimiento en que se encuentra*; esto constituye la citada propiedad de la materia.

No es posible comprobar experimentalmente dicha propiedad, pero se admite sin esfuerzo su exactitud por varias consideraciones. Desde luego observamos que los objetos que nos rodean permanecen constantemente en reposo, mientras alguna causa exterior no los saca de ese estado; de manera que la primera parte de la citada propiedad es evidentemente cierta. Para probar que la segunda es también exacta, basta considerar que si los cuerpos en movimiento se detienen, es porque encuentran obstáculos que se oponen á su marcha. En efecto; si el camino que un cuerpo recorre, bajo la acción de cierto impulso, le suavizamos cada vez más, notaremos que aquél recorre espacios cada vez mayores, de modo que si fuera posible quitar en absoluto todas las asperezas que se oponen al movimiento de dicho cuerpo, éste no se detendría nunca en su marcha. Esto es imposible en la práctica, y de aquí que todos los cuerpos vayan perdiendo poco á poco su velocidad hasta quedar en reposo. Los astros, no obstante, se encuentran en aquellas condiciones, puesto que marchan por un espacio vacío de toda sustancia ponderable, y de aquí que su movimiento sea constante y dure indefinidamente,

mientras alguna causa exterior no se oponga á su marcha. Por último, si concedemos sin repugnancia la propiedad que tiene la materia de permanecer en el estado de reposo en que se encuentra, de igual modo detemos admitir la conservación del movimiento de que esté animada, pues para destruir la marcha de un móvil es evidente que se hace necesario comunicarle un impulso igual y en sentido contrario; luego el admitir que un cuerpo puede por sí solo detenerse, equivale á suponerle capaz de moverse espontáneamente, y esto es evidentemente absurdo.

Muchos hechos tienen cumplida explicación por la inercia de la materia. Si queremos pararnos de repente cuando marchamos á la carrera, no lo conseguimos sin un gran esfuerzo por nuestra parte; pues nuestro cuerpo, en virtud de la propiedad que nos ocupa, tiende á seguir marchando con la velocidad adquirida. Si tratamos de bajar de un tren en marcha sufriremos un choque violentísimo al tocar en el suelo, puesto que al caer iremos animados de la misma velocidad que lleve el tren. Si queremos hacer girar rápidamente una rueda de mucho peso, tendremos que ir aumentando poco á poco su velocidad, pues no es posible vencer de repente su inercia; por igual motivo no la podríamos parar de repente cuando haya adquirido mucha velocidad, pues en virtud del mismo principio tenderá aquella á girar con igual rapidez. En esto está fundado el uso de dichas ruedas, llamadas *volantes*, para regularizar el movimiento de los máquinas. Los terribles efectos del choque de dos trenes se explican perfectamente por el principio de la inercia. El uso de los martillos y pilones es otra consecuencia notable de la misma propiedad.

24. Atracción universal.—Ya indicamos que todos los cuerpos presentan la notable propiedad de atraerse reciprocamente, y aunque hay motivo para suponer que dicha atracción es efecto de una causa desconocida, puesto que la materia es inerte y no puede poseer en sí misma dicha actividad, lo cierto es que «todo sucede como si los cuerpos se atrageran, por más que no quepa la menor duda de que no se atraen» (*).

Newton fué el primero que demostró la generalidad de dicha atracción, y el que observó que se verificaba *en razón directa de la masa, é inversa del cuadrado de la distancia*. Dicha atracción recibe nombres distintos según entre los cuerpos que se ejerza. Si se considera solicitando los astros y tendiendo á unirlos entre sí, se llama *gravitación universal*. Si se refiere á la atracción con que la Tierra solicita á todos los cuerpos, dirigiéndolos verticalmente hacia su interior, recibe el nombre de *gravedad*, y, por último, si se trata de la atracción que entre sí presentan las moléculas de los cuerpos, se

(*) Moigno, *Matière et force*.

llama *atracción molecular*. El esfuerzo que hay que hacer para contrarrestar la acción atractiva que la Tierra ejerce sobre un cuerpo se llama *peso* del mismo, de cuya determinación nos ocuparemos más adelante.

ARTÍCULO II.

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS SÓLIDOS.

25. Diferentes maneras de ensayar la elasticidad en los sólidos.—Como quiera que los cuerpos sólidos presentan caracteres especiales, que no poseen los fluidos, se observan en ellos, además de las propiedades generales que hemos estudiado, otras dignas de fijar nuestra atención. Al ocuparnos de la elasticidad, como propiedad general, sólo dijimos que podía ensayarse comprimiendo los cuerpos. En los sólidos, no obstante, puede además provocarse por *tracción, torsión y flexión*.

Para estudiar la elasticidad por tracción de los alambres y barras metálicas, se suspenden por un extremo á un obstáculo fijo, y se coloca en su extremidad inferior un platillo en el que se van añadiendo pesas; haciendo en dichas varillas dos marcas á una distancia dada, y midiendo el espacio que las separa antes y después de la tracción, ha observado Savart que, *mientras no se traspase el límite de su elasticidad, tienen aquéllas una elasticidad perfecta*.

La elasticidad por torsión se puede ensayar en los alambres fijándolos por su extremo superior, y colocando en su otra extremidad una esfera pesada, provista de una aguja perpendicular á la dirección del alambre. Poniendo debajo un círculo graduado, y haciendo que la aguja se separe en cierto número de grados de la posición que ocupa naturalmente, se observa que, después de varias oscilaciones, vuelve á quedar aquélla en la situación primitiva. M. Coulobm ha estudiado las leyes de esta clase de elasticidad y ha observado que dichas oscilaciones son sensiblemente *isócronas* ó de igual duración, y que para un mismo alambre *el ángulo de torsión es proporcional á la fuerza necesaria para conseguirlo*.

Para estudiar la elasticidad por flexión de las varillas y láminas metálicas, se las sujeta por un extremo y se las obliga á doblarse, aplicando al otro un esfuerzo más ó menos grande. Abandonadas de repente, ejecutan una serie de oscilaciones *isócronas* y vuelven al punto de partida, si no se traspasa el límite de su elasticidad. En el acero, principalmente, puede aumentarse dicho límite de un modo extraordinario por medio del *temple*, cuya operación consiste en calentar dicho metal al rojo y enfriarlo rápida-

mente por su inmersión en un líquido. Una vez templado, puede volver á su estado anterior por el *recocido*, ó sea volviéndole á poner al rojo y dejándole enfriar lentamente.

26. Tenacidad.—Es la resistencia que presentan los cuerpos sólidos á la ruptura por tracción. Para medir la tenacidad de los cuerpos se les da la forma de varillas, y se les somete á una tracción suficiente hasta determinar su ruptura. Empleando un aparato á propósito, debido á M. Perreux, se ha visto que *la fuerza necesaria para producir la ruptura de los alambres y varillas es directamente proporcional á su sección transversal, é independiente de su longitud*. Esta propiedad es muy variable en los diferentes cuerpos, y mientras hay unos, como el acero, que necesitan ochenta y tres kilogramos por milímetro cuadrado para romperse, hay otros, como el plomo, que á igual sección, sólo resisten dos kilogramos. Para un mismo cuerpo influye también la forma en que se disponga la materia que lo constituye, siendo la de cilindro hueco, á igualdad de materia, la más resistente. Resulta de esto, que los huesos de los animales, los tallos de los cereales y las plumas de las aves, son más resistentes, teniendo igual cantidad de materia, que si fueran macizos.

27. Ductilidad.—Es la propiedad que presentan algunos cuerpos de poder variar de forma por una presión conveniente, sin que sus moléculas pierdan su atracción. El esfuerzo necesario para conseguir esta deformación es muy variable de unos cuerpos á otros, y á veces hay necesidad de calentarlos para evitar la desunión de sus moléculas.

Por medio de la *hílera* se obtienen alambres tan delgados como el grueso de las fibras textiles más finas, y con el *laminador* se hacen láminas metálicas de un espesor insignificante. En algunos metales es preferible usar la acción del martillo para conseguir dichas láminas, y en este caso, la propiedad de que nos ocupamos recibe el nombre de *maleabilidad*.

Por la acción de la hílera el platino es el metal más dúctil; usando el laminador ninguno iguala al oro, y valiéndose del martillo resulta el plomo más maleable que ningún otro.

28. Dureza.—Es la resistencia que oponen los cuerpos á dejarse rayar por otros. Es evidente que podría ensayarse la dureza de los cuerpos sometiéndolos á cualquiera otra acción que lograrse separar unas de otras sus moléculas, pero se ha convenido en valerse del *rayado* para indicar el grado de la citada propiedad. Para verificarlo, se elige una parte del cuerpo que termine en ángulo agudo, y se hace resbalar despacio, y oprimiendo con fuerza, sobre una cara del otro con quien se trata de comparar; si éste resulta rayado, se dice que aquel es más duro.

Como la dureza de los diferentes cuerpos es relativa, ha habido necesidad de elegir tipos de dureza invariable, á los que se designa con los números del 1 al 10.

Estos son los siguientes:

Núm. 1.º Talco.	Núm. 6.º Feldespato.
2.º Yeso cristalizado.	7.º Cristal de roca.
3.º Espato de Islandia.	8.º Topacio.
4.º Espato fluor.	9.º Corundo.
5.º Fosforita.	10. Diamante.

Resulta de esta escala relativa de dureza, debida á Mr. Mohs, que el cuerpo más duro de la Naturaleza es el diamante; más no se crea por esto que resiste tan estimado mineral el efecto de un choque algo enérgico, pues por ser *frágil*, se hace pedazos con facilidad; al contrario del plomo, que es blando y no se rompe fácilmente por la percusión.

CAPÍTULO III.

Mecánica de sólidos.

ARTÍCULO PRIMERO.

ESTÁTICA.

§ 1.º — Fuerzas.

29. Definiciones.—Se da el nombre de *fuerza* á toda acción capaz de producir ó modificar el movimiento de un cuerpo. No se conoce en realidad la esencia de las fuerzas y, como vemos, se las define por sus efectos.

Aplicada una fuerza á un cuerpo en reposo, debe producir, en virtud de la inercia, el movimiento de aquél. Pero podría dicho cuerpo estar solicitado además por alguna otra fuerza que neutralizase el efecto de aquélla, en cuyo caso no se movería, resultando un estado de quietud especial llamado *equilibrio*. Vemos, pues, que un cuerpo está en *reposo* cuando no actúa fuerza alguna sobre él, y que se halla en equilibrio, cuando permanece quieto, por destruirse mutuamente las fuerzas que le solicitan.

30. Objeto de la Mecánica y divisiones que en ella se hacen.—

La Mecánica se ocupa del estudio de las fuerzas y de los efectos que éstas producen. Se divide tan importante ciencia en *Estática* y *Dinámica*, según se ocupe del equilibrio ó del movimiento de los cuerpos. Si se trata de los cuerpos líquidos, se antepone la palabra *hidros*, y se dice: *Hidroestática* cuando se ocupa del equilibrio de aquéllos, é *Hidrodinámica* si se refiere al estudio de sus movimientos. Por último, la Mecánica de los gases se divide en *Pneumostática* y *Pneumodinámica*, cuyas dos partes reunidas reciben el nombre de *pneumática*.

31. Clasificación de las fuerzas: su representación gráfica.—Las fuerzas pueden obrar durante un tiempo infinitamente pequeño, ó durante un tiempo más ó menos considerable; en el primer caso se las llama *instantáneas* y en el segundo *continuas*. Es ejemplo de fuerzas instantáneas la explosión de la pólvora, y de fuerzas continuas la acción de la gravedad.

Para tener una idea cabal del resultado que ha de producir una fuerza, es necesario conocer tres elementos de la misma, á saber: su *punto de aplicación*, ó sea la molécula del cuerpo en que actúa directamente; su *dirección*, determinada por una recta trazada en el mismo sentido, y su *intensidad*, ó valor que tiene comparada con la unidad de fuerza. Nada más fácil que representar gráficamente estas tres condiciones. Sea, en efecto, un cuerpo *C* (fig. 7.^a), y supongamos haya de expresarse que está solicitado por una fuerza igual á cuatro unidades, aplicadas al punto *C* y en sentido de la vertical. Desde este punto se traza la recta indefinida *CD* en la dirección indicada, y á partir de *C* se lleva cuatro veces la unidad de magnitud *m*; la recta *CE* será la representación gráfica de la fuerza pedida.

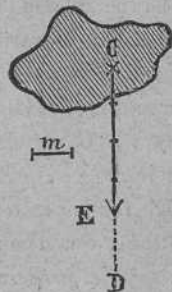


Fig. 7.^a

32. Medida de las fuerzas.—Fácilmente se comprende, que para medir las fuerzas es necesario valerse de otra fuerza de intensidad conveniente que se toma por unidad. Esta unidad, no obstante, ha de obrar en los cuerpos de un modo análogo al de la fuerza que se trata de medir; y como una fuerza aplicada á un cuerpo puede producir, ya el movimiento ó bien el equilibrio del mismo, de aquí que sean necesarias para dicho objeto dos unidades diferentes: una para medir el efecto estático de las fuerzas, y otra su efecto dinámico. Ocupémonos ahora de la medida estática de las mismas, dejando la segunda cuestión para cuando tratemos de la Dinámica.

Para medir estáticamente una fuerza, podremos valernos de la atracción

que ejerce la Tierra sobre los cuerpos y tomar por unidad el kilogramo. Esta comparación se consigue fácilmente por medio de los *dinamómetros*. Uno de

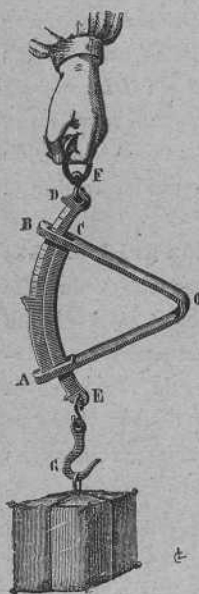


Fig. 8.ª

los más usados, llamado *pesón* (fig. 8.ª), consiste en un muelle de acero $A O B$, en forma de V, provisto en sus extremos A y C de dos láminas metálicas arqueadas. La lámina $C E$ está fija en C , y su otro extremo E , terminado en un gancho G , pasa libremente por una ranura que tiene el muelle en su lado opuesto. En cambio la otra lámina $A D$ se halla fija en A , y pasa por la ranura B ; su borde exterior está graduado, como ahora indicaremos, y lleva en su extremo libre un anillo F para sostenerle con la mano, ó colgarle de un apoyo cualquiera. Para graduar este aparato se cuelga del gancho G un peso igual á un kilogramo, y se hace una marca en la lámina $A D$ al nivel de la ranura $B C$; luego se suspende otro peso de dos kilogramos y se marca, á su vez, dicha lámina al nivel correspondiente, y así en adelante.

Para apreciar con este aparato el valor de una fuerza basta fijarle por su extremo F á un apoyo resistente, y unir al gancho G el cuerpo solicitado por dicha fuerza, dando al aparato la inclinación necesaria para que aquella obre en sentido contrario de la tensión del muelle. Efecto de dicha fuerza, las dos hojas de acero se irán aproximando hasta que su tensión iguale á la fuerza que se quiere medir; entonces se lee el número que está al mismo nivel de la ranura $B C$, y ese será el número de kilogramos á que equivale la fuerza en cuestión.

El fundamento de este aparato estriba en un principio formulado por Newton, que dice: *cuando un cuerpo actúa sobre otro, éste reacciona á su vez sobre el primero, y desenvuelve una reacción que es igual y contraria á la acción*. Efectivamente, si en el dinamómetro en cuestión colgamos un peso de cinco kilogramos, esta masa hará que el muelle se doble una cierta cantidad, y puesto que dicho peso queda sostenido de este modo, el muelle le estará solicitando en dirección opuesta con una intensidad equivalente á los cinco kilogramos. Si valiéndonos de la mano doblamos una hoja de espada, haciendo un esfuerzo equivalente á 10 kilogramos, es evidente que la espada tiende á recuperar su forma rectilínea, desarrollando una fuerza de otros tantos kilogramos.

33. Composición de las fuerzas.— En la aplicación de un cierto

número de fuerzas á un mismo cuerpo, ocurren varios casos, siendo los principales los siguientes: 1.º, dos ó más fuerzas aplicadas á un mismo punto de un cuerpo, obrando en la misma dirección ó en sentido opuesto; 2.º, dos ó más fuerzas concurrentes en el mismo punto del cuerpo; 3.º, dos ó más fuerzas aplicadas á diferentes puntos de un cuerpo, obrando paralelamente en el mismo sentido ó en dirección opuesta.

En todos los casos es evidente, que cualquiera que sea el número de fuerzas aplicadas á un cuerpo, éste no podrá moverse más que en una sola dirección; podremos, pues, suponer sustituido el sistema de fuerzas que solicitan al cuerpo, llamadas *componentes*, por una sola fuerza que produzca por sí sola el mismo movimiento que adquiere el cuerpo bajo el influjo de aquéllas; esta fuerza ideal se llama *resultante*. El problema general que se propone la Mecánica podemos formularle desde ahora diciendo que: *es la ciencia que se ocupa de determinar la resultante de un sistema de fuerzas conocidas las componentes, y, recíprocamente, averiguar de qué componentes procede una resultante cualquiera*. Nosotros no resolveremos esta cuestión sino en los casos anteriormente citados.

El principio fundamental para la resolución de estos problemas es el siguiente: *Si una fuerza actúa sobre un cuerpo, el efecto que produce es independiente del estado de reposo ó de movimiento en que aquél se encuentre*. Este principio está comprobado plenamente por la experiencia, y entre los muchos casos que podrían citarse en su apoyo, nos contentaremos con el siguiente: Un marinero que tiene que transportar un fardo de un punto á otro de la cubierta de un buque, debe emplear evidentemente el mismo esfuerzo, ya se halle quieto ó esté en marcha dicho barco.

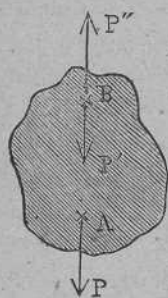
34. Determinación de la resultante de un sistema de fuerzas.— Pasemos ya á determinar la resultante de un sistema de fuerzas en los casos de que hemos hecho mención. Desde luego, si se trata de dos ó más fuerzas aplicadas á un mismo punto de un cuerpo, y obrando en la misma dirección, *la resultante será igual á su suma, obrará en el mismo sentido, y estará aplicada al mismo punto del cuerpo*.

Supongamos ahora que sean dos fuerzas desiguales y se hallan aplicadas en el mismo punto de un cuerpo, obrando en sentido opuesto; la resultante en este caso será *igual á su diferencia, obrará en el sentido de la mayor, y se hallará aplicada en el mismo punto que las componentes*. Son tan evidentes estas conclusiones, que nos creemos dispensados de decir nada en su apoyo.

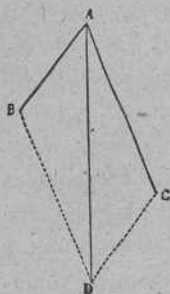
Si en vez de dos fuerzas opuestas, aplicadas al mismo punto del cuerpo, actuasen sobre él un número cualquiera de fuerzas, unas en un sentido y otras

en el contrario, fácil sería determinar su resultante final, teniendo en cuenta que todas las que obran en la misma dirección producen una resultante igual á su suma y en el mismo sentido, y las restantes dan origen, á su vez, á otra resultante parcial igual á su suma y en dirección opuesta á la primera; queda, por lo tanto, el cuerpo sometido á la acción de dos resultantes parciales aplicadas al mismo punto, y obrando en sentido opuesto; luego, según lo dicho anteriormente, la resultante final será *igual á la diferencia de aquéllas, obrará en sentido de la mayor, y estará aplicada al mismo punto del cuerpo*; lo que equivale á la suma algebraica de todas las fuerzas, considerando como positivas las que van en un sentido, y como negativas las que se dirigen en el opuesto.

En el caso de ser dos fuerzas opuestas é iguales las aplicadas á un cuerpo, la resultante será igual á cero, y aquel permanecerá en equilibrio. De aquí resulta que pueden introducirse en el sistema de fuerzas que obran sobre un cuerpo, sin alterar el resultado final, otras dos que sean iguales y opuestas, y en general, otro cualquier sistema que produzca equilibrio por sí solo.



Otra consecuencia importante del anterior principio, es la posibilidad de trasladar una fuerza de un punto á otro, con tal que ambas estén invariablemente unidas y en la misma dirección en que obra la fuerza. Supongamos, en efecto, una fuerza AP (fig. 9.^a) aplicada al punto A de un cuerpo, y sea B el punto donde queremos trasladar su acción. En dicho punto podemos suponer aplicadas las fuerzas opuestas BP' y BP'' , iguales á la AP , y es claro que la introducción de dichas fuerzas no alterará el estado del cuerpo, por neutralizarse estas mutuamente; pero también es cierto que las fuerzas AP y BP'' , por ser iguales y contrarias, se neutralizan; luego el cuerpo queda solicitado tan sólo por la fuerza BP' , que es igual á la AP , pero trasladada al punto B , que se supone invariablemente unido al A , y en la dirección PP'' en que obraba la fuerza primitiva.



35. Paralelogramo de las fuerzas.— Supongamos ahora que las fuerzas sean concurrentes, y que no obren ni en la misma ni en opuesta dirección, sino formando ángulo, y que sean las fuerzas AB y AC (figura 10). En la Mecánica racional se demuestra que dichas fuerzas producen una resultante representada, en dimensión é intensidad, por la diagonal AD del paralelogramo $ABDC$, construído sobre las intensidades de dichas fuerzas.

Para probar experimentalmente tan importante principio, se usa el aparato de S. Gravesende, representado por la figura 11. Consiste éste en un paralelogramo $ABDC$, formado por varillas de madera articuladas en los cuatro vértices, para que puedan tomar diferentes inclinaciones, y unidos los vértices A y D por medio de la varilla AD , que puede hacerse más ó menos larga con el auxilio de la tuerca D ; por último, de los puntos B y C salen dos cordones que, después de pasar por las garruchas M y N , sos-

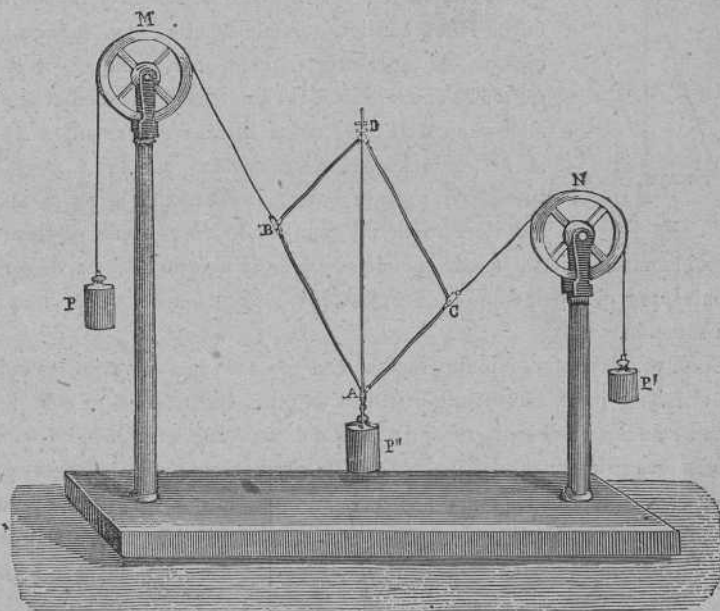


Fig. 11.

tienen dos pesos P y P' . Esto supuesto, para conseguir que el aparato quede en equilibrio, es necesario colgar en el vértice A un peso P'' , que guarde con la diagonal AD la misma relación que los pesos P y P' tengan con los lados AB y AC del paralelogramo; además, dicha diagonal toma entonces la dirección vertical, y los cordones BM y CN quedan en la prolongación de los lados respectivos del paralelogramo. Luego las fuerzas P y P' , proporcionales á los lados AB y AC del paralelogramo, producen una resultante AD , que ha de ser proporcional á la diagonal AD , y en dirección opuesta al peso P'' , puesto que de otro modo no quedaría el sistema en equilibrio.

Multitud de hechos prácticos prueban también la verdad del paralelogramo de las fuerzas. Un barco del que tiren por medio de cables dos caballe

rías, marchando cada una en distinta orilla de un río, no se acerca á un lado ni al otro, sino que avanza por el centro siguiendo la diagonal del paralelogramo. Las aves cuando vuelan, un buque que marcha con viento de costado y otros muchos casos que podríamos citar, son una comprobación del principio antes mencionado.

Recíprocamente, siempre que nos convenga descomponer una fuerza en otras dos, podremos hacerlo con la condición precisa de que dicha fuerza sea la diagonal de un paralelogramo,

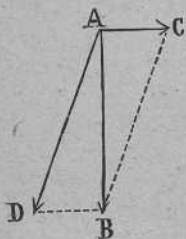


Fig. 12.

cuyos lados contiguos sean las otras dos fuerzas. Por ejemplo, si queremos descomponer la fuerza AB (figura 12) en otras dos, no habrá más que formar el paralelogramo $ACBD$, y las fuerzas concurrentes AC y AD producirán el mismo efecto que la AB . Si las fuerzas en que se quiere descomponer la propuesta no han de cumplir ninguna condición especial, es claro que el problema tiene infinidad de soluciones; pero si una de ellas ha de ser horizontal, por ejemplo, como la AC , entonces el problema no tiene más que una solución.

Si en vez de tratarse de dos fuerzas concurrentes fuesen varias las aplicadas al mismo punto, formando distintos ángulos, hallaríamos primero la resultante de dos cualesquiera por la regla del paralelogramo; luego combinaríamos esta primera resultante con otra fuerza cualquiera del sistema, y hallaríamos por el mismo procedimiento su resultante; á su vez, combinaríamos esta segunda resultante con otra de las fuerzas siguientes, y así continuaríamos hasta considerarlas todas, en cuyo caso, la última resultante sería la resultante final del sistema propuesto.

36. Fuerzas paralelas.—Para que varias fuerzas paralelas compongan un sistema y produzcan una sola resultante, es indispensable, en primer

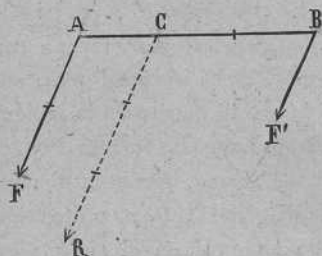


Fig. 13.

lugar, que los puntos de aplicación de todas ellas estén unidos entre si de un modo invariable. Admitiendo que se halle satisfecha esta condición, supongamos que se trate de las fuerzas AF y BF' , aplicadas á los puntos A y B (fig. 13), y que obren en el mismo sentido. En Mecánica se demuestra que dichas fuerzas producen una resultante CR , que es igual á la suma de las componentes, paralela á ellas, y su punto de aplicación C divide á la recta AB en partes inversa-

mente proporcionales á dichas fuerzas; ó sea, que se verifica la proporción siguiente: $AF : BF' :: CB : CA$.

Para comprobar experimentalmente este principio, se usa un aparato llamado *palanca aritmética* (fig. 14), el cual consiste en una barra AB sostenida en su centro por el cordón ON , que, después de pasar por una polea, termina en un peso P' ; si este peso es igual al de la barra AB , ambos se equilibran, y á su vez la barra queda horizontal, por estar suspendida en su

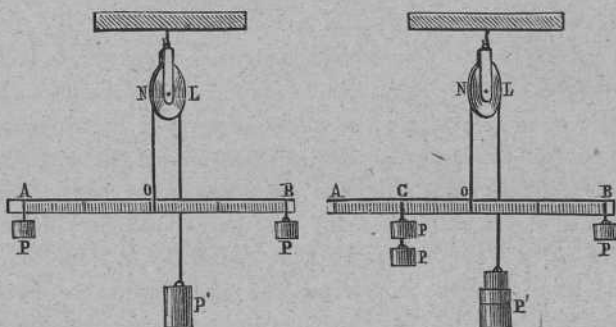


Fig. 14.

punto medio. Si en los extremos A y B de dicha barra (figura de la izquierda), se cuelgan dos pesos iguales P y P , ésta permanece horizontal, pero para evitar su descenso hay que añadir en P' un peso igual á la suma de ambos. Si en el punto C , mitad de AO (grabado de la derecha), se suspende un peso doble de P , dejando el que se había colocado en B , sigue la barra en su posición horizontal, pero habrá que poner en P' un peso igual á $3P$ más el peso de la barra, si ha de lograrse el equilibrio. Este resultado prueba que las resultantes de estos sistemas, y de otros que se pueden formar con dicho aparato, se ajustan exactamente á la ley antes citada.

Si se tratase de dos fuerzas paralelas, pero dirigidas en sentido contrario, tales como las AF y BF' (fig. 15), la resultante CR sería igual á la diferencia $F - F'$ de los componentes, paralela á las mismas, y dirigida en el sentido de la mayor. Respecto á su punto de aplicación C , se halla en la prolongación de la recta AB , que une los puntos de

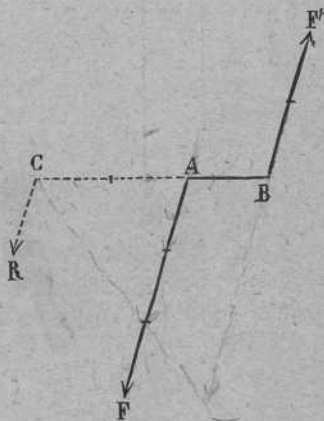


Fig. 15.

aplicación de las componentes, del lado de la mayor, y dista de ellas las cantidades CA y CB , inversamente proporcionales á las intensidades de dichas fuerzas; es decir, que se verifica también, como en el caso anterior, la siguiente proporción, $AF : BF' :: CB : CA$.

El mismo aparato de la figura anterior prueba la verdad de este principio, para lo que basta considerar como componentes á los pesos $2P$ y P' , actuando en dirección opuesta desde los puntos de aplicación C y O , en cuyo caso la resultante será el peso colocado en B , que efectivamente cumple las condiciones antes indicadas.

En el caso de ser las fuerzas paralelas iguales y contrarias, la resultante sería cero, y el punto de aplicación se encontraría en el infinito. Esto es lo que constituye en Mecánica un *par de fuerzas*, y el cuerpo sometido á su acción toma un movimiento rotatorio alrededor de su centro, siendo un ejemplo de esto las ruedas giratorias tan usadas en los fuegos artificiales.

Consideremos por último (fig. 16), un número cualquiera de fuerzas paralelas F, F', F'' y F''' , aplicadas á los puntos A, B, C y D . Para hallar la resultante final de este sistema, consideraremos primeramente las fuerzas F y F' ,

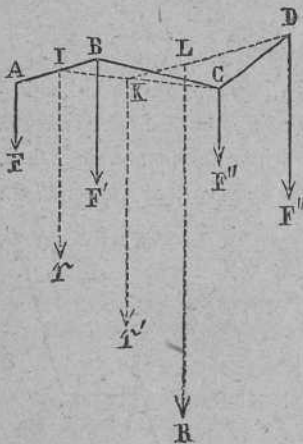


Fig. 16.

prescindiendo por el momento de todas las demás, y aplicando el principio antes expuesto obtendremos su resultante $I r$. Combinando esta primera resultante con la componente $C F''$ obtendremos, por el mismo método, una segunda resultante $K r'$, y, por fin, combinando esta última con la fuerza $D F'''$ determinaremos la resultante $L R$, que será la resultante final del sistema propuesto. Esta resultante es igual á la suma de todas las componentes, y su punto de aplicación L , ha recibido el nombre de *centro de fuerzas paralelas*. Este punto tiene la notable propiedad de permanecer fijo en el mismo sitio del cuerpo, aunque las componentes giren alrededor de sus respectivos puntos de aplicación, pero conservando siempre su paralelismo.

§ 2.º—Máquinas.

37. Consideraciones generales.—Se da el nombre de *máquinas* á los aparatos que sirven de intermedio entre una fuerza de que se dispone, llamada *potencia*, y otra que se quiere vencer, llamada *resistencia*. Con estos

instrumentos se logra cambiar la dirección, la velocidad ó el género de movimiento del cuerpo á que se apliquen.

Disponiendo convenientemente las máquinas, se pueden vencer con ellas grandes resistencias empleando potencias de muy poca intensidad, por lo que al pronto pudiera creerse que dichos aparatos producen fuerza; bien se comprende que esto es imposible, si se tienen en cuenta las leyes de la inercia. Lo que realmente sucede con el uso de dichos aparatos es, que la resistencia que deseamos vencer se descompone en dos fuerzas, de las cuales una es equivalente á la potencia que aplicamos, y la otra igual al resto de dicha fuerza; esta última queda destruida por el sostén ó *apoyo* en que descansa la máquina, y, por lo tanto, nada tenemos que hacer para destruirla, quedando únicamente por equilibrar la otra parte de la resistencia.

38. División de las máquinas.—Las máquinas se dividen en *simples* y *compuestas*. Se llaman máquinas *simples* aquellas en que la potencia y la resistencia se aplican á un mismo organismo; estas son la *palanca*, *polea*, *torno*, *plano inclinado*, *cuña* y *tormento*.

Máquinas *compuestas* son las que resultan de la combinación de dos ó más simples, y su número se comprende fácilmente que es ilimitado.

39. Palanca.—La *palanca* (fig. 17) es una barra inflexible PR , de una forma cualquiera, que puede girar alrededor de un *punto de apoyo* A . Suponiendo, como es lo más frecuente, que la palanca sea rectilínea y que la *potencia* PP' y la *resistencia* RR' , aplicadas respectivamente en los puntos P y R , actúen perpendicularmente á dicha palanca, resultará de su conjunto un sistema de fuerzas paralelas. Este sistema sabemos que produce una resultante igual á la suma de las componentes, paralela á las mismas, y aplicada en un punto que divide la recta PR en partes inversamente proporcionales á sus respectivas intensidades; luego para que exista equilibrio en esta máquina es indispensable: 1.º, que dicha resultante pase por el punto de apoyo A , el cual la destruirá por presentar, en general, una resistencia ilimitada; 2.º, que las distancias AP y AR , llamadas *brazos de palanca*, estén en razón

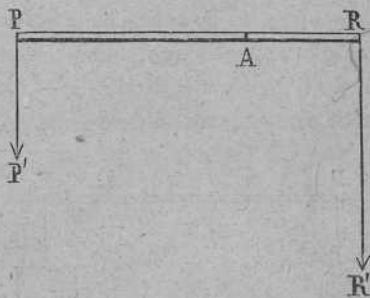


Fig. 17.

inversa de las intensidades de las fuerzas PP' y RR' . Llamando, para abreviar, P y R la potencia y la resistencia, resulta, por lo tanto, que el equilibrio de esta máquina exige que se verifique la proporción

$$P : R :: AR : AP \dots (1),$$

ó sea, que la potencia y la resistencia estén en razón inversa de sus respectivos brazos de palanca.

Si suponemos que la palanca gira hasta colocarse en la posición $P' R'$

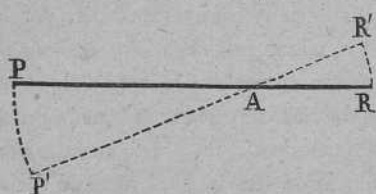


Fig. 18.

(fig. 18), la potencia y la resistencia se habrán trasladado á los puntos P' y R' , recorriendo respectivamente los arcos PP' y RR' . Ahora bien, se demuestra en Geometría que los arcos son proporcionales á los radios respectivos; luego en la proporción (1) en vez de la

razón $AR : AP$, podemos sustituir la de los arcos $RR' : PP'$, y entonces dicha proporción se convierte en esta otra:

$$P : R :: RR' : PP' \dots (2).$$

Igualando en ella el producto de extremos y medios obtendremos la ecuación siguiente:

$$P \times PP' = R \times RR',$$

que traducida al lenguaje común nos dice, que *la potencia multiplicada por el camino que recorre, es igual á la resistencia multiplicada por el camino que á su vez recorre en el mismo tiempo*. Esta sencilla ley se llama en Mecánica principio de las velocidades virtuales, y se verifica rigurosamente en todas las máquinas simples y compuestas. Suele expresarse también diciendo que en las máquinas *lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo*.

40. Diferentes géneros de palancas.—Las palancas pueden ser de tres distintos géneros, atendiendo á la posición que en ellas ocupan el punto de apoyo y los de aplicación de la potencia y resistencia. La ley de su equilibrio es, sin embargo, la misma en los tres casos, pero es á veces más cómodo el uso de una de ellas con preferencia á los otros géneros.

Se dice que una palanca es de *primer género* cuando el punto de apoyo se

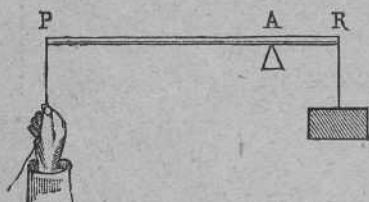


Fig. 19.

encuentra entre la potencia y la resistencia (fig. 19), y según sea mayor, igual ó menor el brazo de la potencia que el de la resistencia, así estará la potencia favorecida, equilibrada ó perjudicada con relación á la resistencia. Ejemplo de este género de palancas son las tijeras comunes.

En la palanca de segundo género, la resistencia se encuentra situada entre el punto de apoyo y la potencia (fig. 20), y como el brazo de palanca

correspondiente á la potencia es toda la palanca, y el de la resistencia sólo una parte de ella, resulta siempre favorecida la potencia en esta clase de pa-

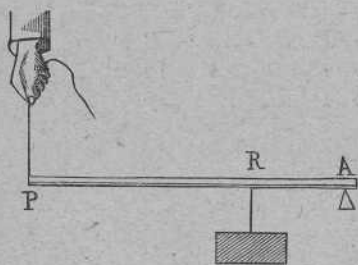


Fig. 20.

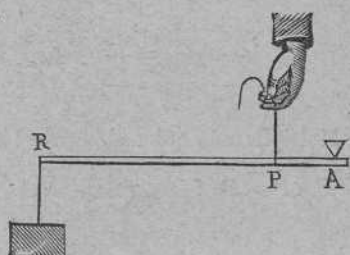


Fig. 21.

lancas. Los partidores de pñones son un ejemplo de este género de palancas. Por último, en las palancas de tercer género (fig. 21), la potencia se halla situada entre el punto de apoyo y la resistencia, resultando de esta disposición que la potencia siempre está perjudicada. Las espinzas corresponden á este género de palancas.

41. Palancas múltiples.—Se pueden combinar varias palancas de tal modo, que la resistencia de una de ellas pase á ser potencia de otra palanca, y así sucesivamente, resultando un conjunto mecánico llamado *palancas múltiples*. La principal ventaja de estos sistemas, es el poder contrarrestar grandes resistencias sin hacer uso de palancas exageradamente largas.

En la figura 22 está representado un sistema de tres palancas articuladas. La palanca AP tiene su punto de apoyo en A , la resistencia en R y la potencia en P . La resistencia R se convierte en potencia en la palanca $P'R'$, por intermedio de la cuerda $P'R$; esta palanca tiene su punto de apoyo en A' y la resistencia en R' . Por último, esta resistencia vuelve á convertirse en potencia en la palanca $A''P''$, por intermedio de la cuerda $R'P''$, cuya palanca tiene en A'' su punto de apoyo, y en R'' la resistencia final.

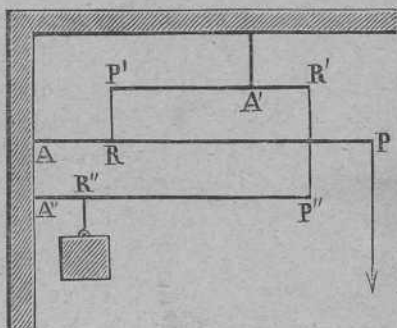


Fig. 22.

Para obtener la ley de equilibrio de un sistema de palancas múltiples, no hay más que combinar las ecuaciones de cada una de las palancas que le constituyen, de tal manera que se eliminen las potencias y resistencias intermedias, y quede tan sólo la primera

potencia y la última resistencia. Esto se consigue fácilmente multiplicando ordenadamente todas las proporciones relativas á cada una de las palancas, y verificándolo en este caso tendremos:

$$\begin{array}{l} \text{Ecuación de la palanca } AP \dots P : R :: AR : AP \\ \text{—} \quad \text{—} \quad \quad \quad P'R' \dots P' : R' :: A'R' : A'P' \\ \text{—} \quad \text{—} \quad \quad \quad A''P'' \dots P'' : R'' :: A''R'' : A''P'' \end{array}$$

Multiplicando ordenadamente estas proporciones resulta

$$P \times P' \times P'' : R \times R' \times R'' :: AR \times A'R' \times A''R'' : AP \times A'P' \times A''P''$$

y teniendo en cuenta que $R=P'$ y $R'=P''$ resultará, después de dividir los dos términos de la primera razón por dichas cantidades, la siguiente proporción final:

$$P : R'' :: AR \times A'R' \times A''R'' : AP \times A'P' \times A''P'',$$

ó sea, que en las palancas múltiples, la potencia inicial es á la resistencia final, como el producto de los brazos de palanca correspondientes á las resistencias parciales, es al producto de los brazos de palanca correspondientes á las potencias respectivas.

42. Polea.—Se llama *polea* ó *garrucha* una máquina simple (fig. 23), constituida por un disco de madera ó metal atravesado en su centro A por

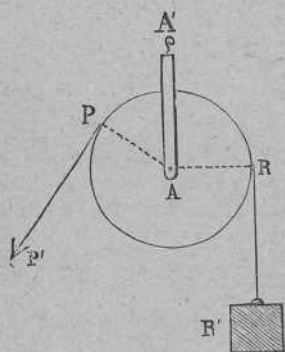


Fig. 23.

un eje resistente, al rededor del cual puede girar. Los extremos de este eje descansan en unos orificios practicados en dos chapas de metal A A', unidas por el extremo opuesto, las que reciben el nombre de *armaduras* de la polea. El disco suele llevar en la mitad de su grueso una hendidura ó *cajera*, donde se acomoda la cuerda en cuyos extremos se aplican respectivamente la potencia y la resistencia.

La polea puede ser *fija* y *móvil*. La polea fija no tiene más movimiento que el de rotación alrededor de su eje, y la móvil, además de este movimiento, tiene otro de traslación en el espacio.

Para obtener la ley de equilibrio de la polea fija haremos las siguientes consideraciones. La potencia P' puede trasladarse (34) al punto P, en que la cuerda empieza á tocar al disco; la resistencia R' puede, por igual razón, trasladarse al punto R y, por último, el punto de apoyo A', ó gancho que

sostiene la máquina, puede considerarse situado en el eje A . En este caso vemos que queda reducida esta polea á la palanca angular $PA R$, y como en ella los brazos AF y AR son iguales, por radios de un mismo círculo, también deberán ser iguales las fuerzas P y R ; luego *en la polea fija ni se gana ni se pierde en fuerza*. Esto no obstante, es de gran utilidad esta máquina, pues con su auxilio se consigue cambiar la dirección en que actúan las fuerzas, siendo esta propiedad de gran importancia en la Mecánica.

En la polea móvil (fig. 24), el cordón se encuentra atado al punto de apoyo A' por uno de sus extremos, y en el otro se aplica la potencia P' , quedando pendiente la resistencia R' del gancho de las armaduras. Para hallar la ley de equilibrio de esta máquina, basta trasladar, como antes lo hicimos, el punto de apoyo y los de aplicación de la potencia y resistencia, respectivamente á los puntos

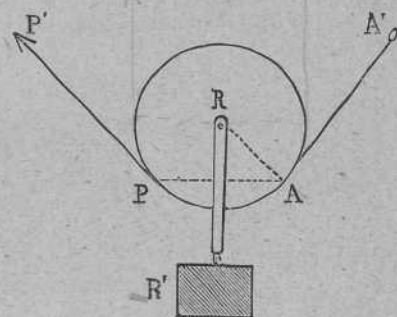


Fig. 24.

A , P y R , con lo que convertido este aparato en la palanca angular $PA R$. En esta se verifica, según sabemos, que

$$P : R :: AR : AP;$$

luego podemos decir que *en la polea móvil, la potencia es á la resistencia, como su radio es á la cuerda del arco que abraza el cordón*. En el caso de ser paralelos los cordones AA' y PP' , la cuerda AP se hace igual al diámetro, ó sea dos radios, y entonces la última proporción se convierte en esta otra:

$$P : R :: AR : 2 AR;$$

de manera que en este caso, que es el más frecuente, se puede equilibrar con una potencia como uno una resistencia como dos.

43. Sistemas de poleas.—Cuando se necesita favorecer mucho la potencia, es necesario combinar cierto número de poleas fijas y movibles, dando lugar á las máquinas compuestas llamadas *polipastos*. Unas veces todas las poleas tienen el mismo diámetro y un eje común (figura 26), y otras se hacen de diferente diámetro y están montadas en ejes distintos (fig. 25). En ambos casos la cuerda pasa de unas á otras, después de haberla sujetado en la armadura de las poleas fijas, obrando la potencia en el extremo libre de dicha cuerda.

Para calcular la resistencia que se puede equilibrar con uno de estos aparatos, basta considerar que dicha fuerza, aplicada siempre en la armadura de las poleas móviles, está sostenida, en el caso que representa la figura, por seis cuerdas igualmente tensas; y como basta vencer la tensión de una de ellas para obtener el equilibrio de la máquina, será necesario emplear un esfuerzo seis veces menor que el valor de la resistencia. Este mismo raciocinio puede aplicarse á todo polipasto, cualquiera que sea el número de poleas que le constituyan, de donde resulta, que en estos aparatos, *la potencia es á la resistencia,*

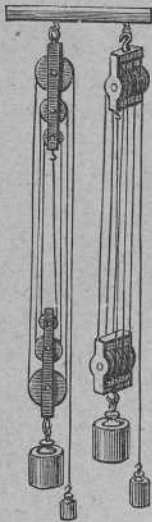


Fig. 25 y 26.

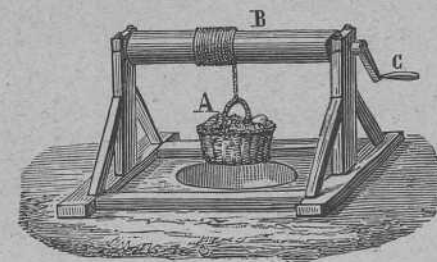


Fig. 27.

como la unidad es al número de cuerdas que sostienen la resistencia.

44. Torno.—

El torno consiste en un cilindro de madera ó metal

B (fig. 27), terminado en dos ejes de acero, por los que descansa en unos soportes resistentes. Uno de dichos ejes se halla provisto de un manubrio *C* para hacer girar el cilindro, y sobre éste se arrolla una cuerda de la que está pendiente la resistencia *A*. Moviendo el manubrio en sentido conveniente, se va adaptando la cuerda sobre la superficie del cilindro, y la resistencia va elevándose poco á poco.

Para calcular el peso que puede equilibrarse con esta máquina, considere-

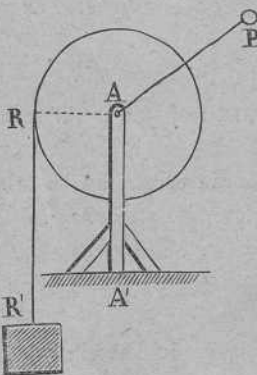


Fig. 28.

mos una sección vertical de este aparato (fig. 28). La potencia se aplica siempre en la extremidad *P* del manubrio; la resistencia *R'* puede trasladarse al punto *R*, en que la cuerda es tangente al cilindro, y el punto de apoyo *A'* puede, á su vez, considerarse trasladado al eje *A* del aparato. Esto supuesto, uniendo *R* con *A*, queda reducida esta máquina á la palanca angular *RAP*, en la que sabemos se verifica la proporción $P : R :: AR : AP$; aplicándola á los elementos que componen el torno, tendremos que, *la potencia es á la*

resistencia, como el radio del cilindro es á la longitud del manubrio.

De aquí resulta que para favorecer en esta máquina la potencia, bastará disminuir el radio AR del cilindro, ó aumentar la longitud AP del manubrio. Esto último puede conseguirse uniendo el eje á una rueda M provista de clavijas (fig. 29), que el obrero se encarga de hacer girar, cogiendo aquéllas una tras de otra; de este modo pueden elevarse grandes masas con un esfuerzo relativamente pequeño, pero gastando un tiempo proporcionalmente mayor.

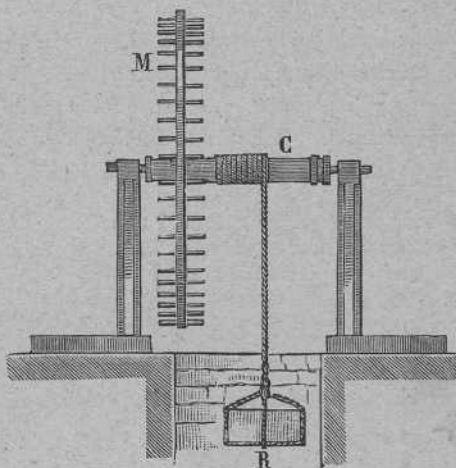


Fig. 29.

La disminución del radio del torno para favorecer la potencia tiene sus límites, puesto que el cilindro ha de tener suficiente resistencia para no doblarse ó romperse por el peso que se trata de elevar. No obstante, existe un medio de disminuir el radio cuanto se quiera, sin que el cilindro pierda su resistencia; este ingenioso sistema constituye el torno llamado *diferencial* (fig. 30). Su diferencia con el torno común consiste en que el cilindro presenta dos diámetros diferentes á partir de su punto medio; además, la resistencia se halla suspendida de la polea móvil P , cuya cuerda se arrolla en sentido contrario en cada mitad del cilindro. Resulta de esta disposición que, dando vueltas al manubrio m , de manera que la cuerda se arrolle en el cilindro más grueso, y se desarrolle en el delgado, la resistencia irá elevándose lentamente, y podrán vencerse grandes resistencias, si el grueso de los cilindros presenta poca diferencia.

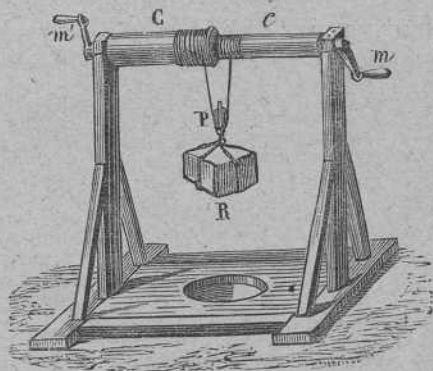


Fig. 30.

Para hallar la ecuación de equilibrio en esta importante máquina, podemos aplicar la célebre *ley de las velocidades virtuales* (39). Haciéndolo así resulta, que para una vuelta completa del manubrio, la potencia P re-

corre una circunferencia cuyo radio es la longitud r de dicho manubrio, ó sea $2 \pi r$. En este tiempo, la cuerda que sostiene la resistencia se habrá arrollado en el cilindro grueso y se habrá desenvuelto del delgado, y dicha resistencia habrá elevado la diferencia que en sus longitudes presenten ambas circunferencias dividida por dos, por estar la cuerda doblada alrededor de la polea P . Llamando C el radio del cilindro grueso y c el de menor diámetro, la indicada diferencia sera $\frac{1}{2}(2 \pi C - 2 \pi c)$ ó sea $\pi(C - c)$.

Aplicando ahora estos resultados á la ley que nos ocupa, tendremos:

$$P \times 2 \pi r = R \times \pi (C - c);$$

formando proporción con estos cuatro factores resultará

$$\frac{P}{R} = \frac{\pi (C - c)}{2 \pi r},$$

y dividiendo los dos términos de la última razón por π tendremos finalmente

$$\frac{P}{R} = \frac{C - c}{2 r}.$$

Lo que nos dice que, en el torno diferencial *la potencia es á la resistencia, como la diferencia de los radios de los cilindros, es al duplo de la longitud del manubrio.*

Este sistema diferencial se aplica también con gran éxito á las poleas.

45. Cabrestante.—En algunas ocasiones conviene disponer el torno de manera que su eje esté vertical, en cuyo caso recibe el nombre de *cabrestante* (fig. 31). La ecuación de equilibrio en esta máquina es la que hemos deducido para el torno, y se usa siempre que es necesario arrastrar grandes

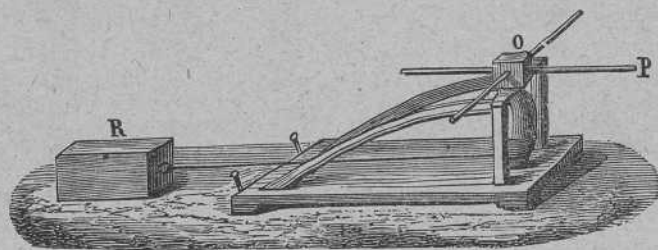


Fig. 31.

masas por planos próximamente horizontales. En vez de manubrio, tiene el cilindro unas largas palancas OP , con las que se consigue que aquél gire, y arrollándose la cuerda sobre su superficie, va siendo atraída la resistencia R . Cuando ésta llega al sitio ocupado por el cabrestante, se traslada éste

á otro punto más distante y, después de fijarle sólidamente en el terreno, se procede como anteriormente.

46. Cric.—Esta máquina, llamada también *gato*, es una derivación del torno. Se diferencia de éste en que el cilindro *C* está dentado (fig. 32), y en vez de cuerda tiene una barra dentada, ó *cremallera* *B*, que sostiene en su parte superior la resistencia *R*. Haciendo girar el cilindro por medio del manubrio *M*, sus dientes engranan en los de la cremallera, y ésta sube ó baja según el sentido de la rotación. El equilibrio de esta máquina se obtiene aplicando la ley del torno. Se usa, entre otros casos, para elevar la caja de los coches y reparar fácilmente sus desperfectos.

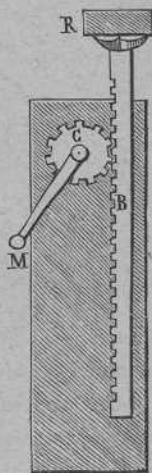


Fig. 32.

47. Ruedas dentadas.—Reciben este nombre unos discos de madera ó metal (fig. 33), provistos en toda su circunferencia de partes entrantes y salientes, que al girar engranan las unas en las otras. Cuando las ruedas dentadas constan de muchos salientes, reciben éstos el nombre de *dientes*, y el de *alas* si su número no pasa de diez y ocho á veinte; en este caso, la rueda se llama *piñón*. En la mayoría de los casos los piñones se construyen en el eje de una rueda, formando ambos un conjunto invariable.

Para que pueda verificarse con facilidad el engranaje de una rueda con otra, es indispensable, cualquiera que sea su diámetro, que los dientes se hallen á distancias iguales, de donde resulta que en todo engranaje, el número de dientes de dos ruedas cualesquiera es proporcional á sus respectivas circunferencias, y por lo tanto á sus radios. En cambio, el número de vueltas que cada rueda ejecuta en un tiempo dado está en razón inversa de sus radios, ó del número de dientes que tiene.

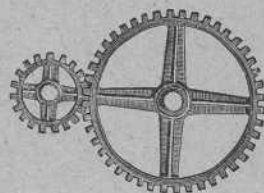


Fig. 33.

Para hallar la ley de equilibrio de un engranaje, tal como el representado en la figura 34, basta considerar al conjunto de ruedas como si fuesen un sistema de palancas. En efecto; la potencia aplicada en *P* á la rueda *O* obrará sobre la siguiente, como lo haría la palanca *POM*. La rueda *O'* actúa, á su vez, sobre la *O''* como lo efectuaría la palanca *M'O'N*, y, por último, la rueda *O''* produce el mismo efecto sobre la resistencia *R* aplicada en *Q*, que si estuviera constituida por la palanca *N'O''Q*. Aplicando, pues, á este sistema de palancas, la ley de su equilibrio (41), tendremos la proporción siguiente: $P : R :: OM \times O'N \times O''Q : OP \times O'M \times O''N$,

y teniendo en cuenta que OM , $O'N$ y $O''Q$ son los radios de los piñones, y que OP , $O'M$ y $O''N$ son, respectivamente, los radios de las ruedas, tendremos por expresión final de la ley de equilibrio de un sistema de ruedas den-

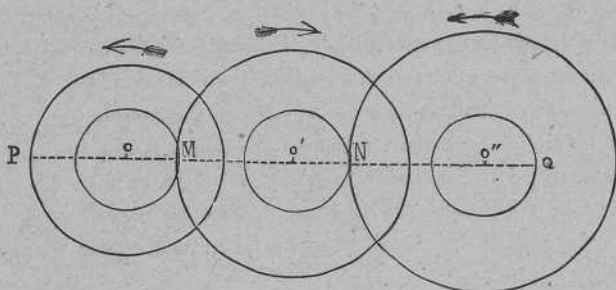


Fig. 34.

tadas, el siguiente enunciado: *la potencia es á la resistencia, como el producto de los radios de los piñones, es al producto de los radios de las ruedas.*

48. Correa sin fin.—Cuando se necesita transmitir el movimiento gíatorio de una polea fija á otra, situada á más ó menos distancia de la primera, se enlazan ambas por unas *correas* llamadas *sin fin*, como se representa en la figura 35. Dicha correa ha de tener cierta tensión, para evitar su deslizamiento sobre las caras de las poleas, y puede acomodarse á ellas según

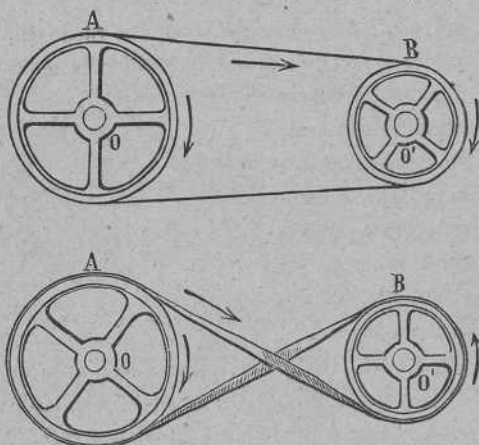


Fig. 35.

dos tangentes, ya exteriores ó bien interiores. En el primer caso, el movimiento de ambas poleas se verifica en el mismo sentido, y en el segundo en sentido contrario.

Suponiendo que la correa no se deslice, es claro que el número de vueltas que da cada polea, estará en razón inversa de la longitud de sus respectivas circunferencias, ó lo que es lo mismo, de sus radios.

En los talleres se usan mucho las correas sin fin para transmitir la fuerza producida por un solo motor, desde un árbol central armado de varias poleas, á los diferentes artefactos que han de funcionar bajo el impulso de aquel.

49. Grua.—Recibe este nombre una combinación del torno con las poleas y ruedas dentadas, cuyo objeto es elevar, á más ó menos altura, grandes masas, como, por ejemplo: los materiales de construcción de un edificio, la

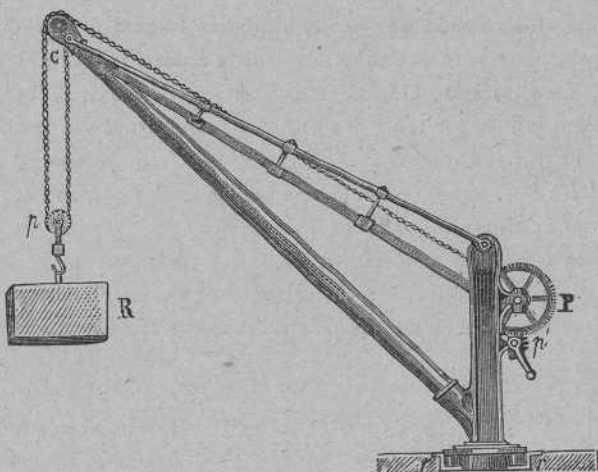


Fig. 36.

carga de un buque, etc. Su ecuación es diferente según la combinación de que estén formadas, pero siempre puede hallarse con facilidad por la ley de las velocidades virtuales, ó bien aplicando las fórmulas relativas á cada una de las máquinas simples que las forman. Uno de los modelos más usados es el que representa la figura 36.

50. Plano inclinado.—Se llama así todo plano que forma con el horizonte un ángulo mayor que cero, y menor que 90 grados. Altura del plano inclinado es la distancia BA (fig. 37), que media entre su parte más elevada B y la horizontal AC que pasa por su origen C . Esta horizontal AC se llama base del plano, y la recta CB longitud del mismo.

Supongamos un cuerpo O colocado sobre dicho plano. Este cuerpo tenderá á caer por la acción de la gravedad según la recta OR , y caería, en efecto, si no existiese el plano BC que se lo impide; podemos, por lo tanto, representar esta tendencia á la caída por una fuerza OR . Ahora bien; esta fuerza puede descomponerse en otras dos, OP y OD , con tal que sean los lados de un paralelogramo, del

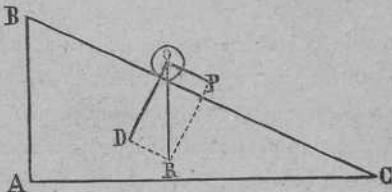


Fig. 37.

cual sea OR la diagonal; pero la OD obra perpendicularmente al plano BC , y queda por tanto destruída con su resistencia, quedando únicamente como fuerza motriz del cuerpo la OP , que habrá que contrarrestar con otra fuerza igual y opuesta, si se quiere impedir que el cuerpo se deslice á lo largo de dicho plano. La relación que existe entre las fuerzas OP y OR , ó sea entre la potencia y la resistencia, nos dará la ecuación de equilibrio de esta máquina. Para hallarla, bastará considerar los triángulos ABC y POR , que son semejantes por tener los ángulos respectivamente iguales; de su comparación resulta que $OP:OR::AB:BC$, ó lo que es lo mismo, $P:R::AB:BC$; luego en los planos inclinados, *la potencia es á la resistencia, como la altura del plano es á su longitud.*

Se puede demostrar prácticamente este resultado por medio del aparato representado por la figura 38, el cual consiste en un plano de cristal que puede tomar diferentes inclinaciones, y sobre el que se coloca un peso b , sostenido en un carrito muy movable. Dicho peso se halla solicitado en sentido opuesto á la inclinación del plano por un cordón br que, después de pasar por una polea r , termina en un platillo.

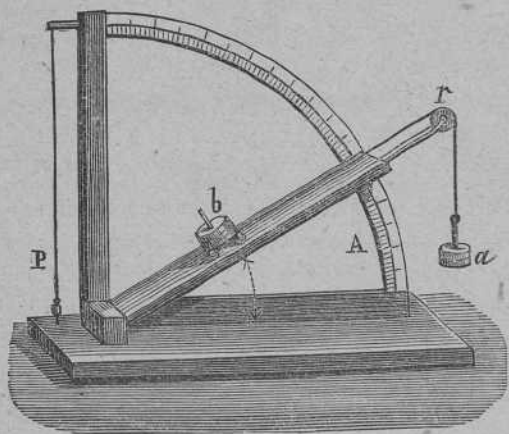


Fig. 38.

Poniendo pesos en a y b que guarden la misma relación que la altura y longitud del plano, se observa que queda en equilibrio su conjunto.

Resulta, por tanto, que si se quiere favorecer mucho la potencia con esta máquina, es necesario dar al plano inclinado una gran longitud y poca altura relativamente. En la práctica reciben estas máquinas los nombres de *cuestas*, *pendientes*, *rampas* y *escaleras*, teniendo estas últimas la particularidad de presentar trozos horizontales para asentar el pie con facilidad.

51. Cuña.—Consiste esta máquina (fig. 39), en un prisma triangular ABC , de metal ó madera dura, sobre cuya cabeza AB se golpea con un martillo para que separe las partes del cuerpo en que se introduce. Puede también considerarse la cuña como la reunión de dos planos inclinados unidos por sus bases AB .

Para deducir la ecuación de equilibrio de esta máquina, supongamos representada la potencia por la recta OR . Esta fuerza se descompone en otras dos, RP y RP' , perpendiculares á las caras de la cuña, y cuya longitud respectiva se obtiene por la regla del paralelogramo. Considerando ahora uno de los triángulos que así se obtienen, por ejemplo, el ORP , se observará que es semejante con el ABC formado por la cuña, por tener sus lados perpendiculares entre sí, y de la comparación de sus lados homólogos resulta que $OR : RP :: AB : BC$, y puesto que OR es la potencia empleada, y RP la resistencia de lado respectivo, tendremos por ley de equilibrio en esta máquina el siguiente enunciado: *la potencia es á la resistencia de uno de los lados, como la cabeza de la cuña es á la cara que se considera.*

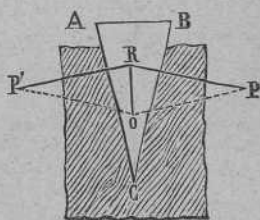


Fig. 39.

Las aplicaciones de esta máquina son muy numerosas, puesto que todo instrumento cortante ó punzante es realmente una cuña. Cuando se afila ó aguza una de estas herramientas, para que produzca más fácilmente el resultado á que se destina, no se hace otra cosa sino restablecer la relación que existía entre los lados y cabeza de la cuña que representan.

52. Tornillo.— Supongamos que sobre un cilindro AB (fig. 40) se aplica un triángulo rectángulo ABC , de manera que el cateto AB se acomode á una de sus generatrices. Si se arrolla después dicho triángulo sobre

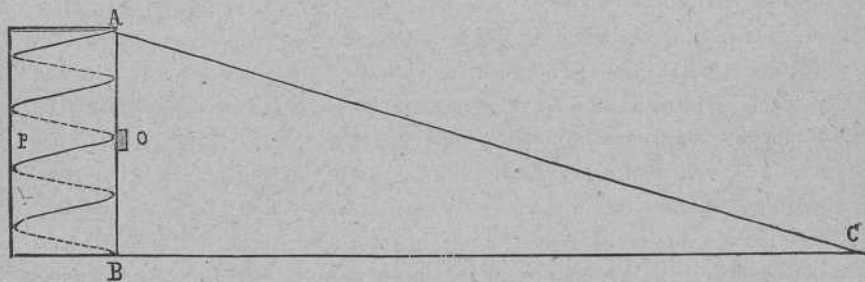


Fig. 40.

el cilindro, la hipotenusa AC formará sobre aquel una curva continua llamada *hélice*. Esta curva puede obtenerse arrollando el triángulo á derechas ó bien á izquierdas; en el primer caso se llama la hélice *destrorsum*, y *sinistrorsum* en el segundo. Si admitimos ahora que un rectángulo O recorre esta hélice, dejando su huella por donde va marchando, se habrá engendrado un tornillo de rosca cuadrada. El rectángulo O podría sustituirse por un triángulo, y en este caso se daría lugar á un tornillo de rosca triangular.

Según sea la hélice *destrorsum* ó *sinistrorsum*, así será el tornillo á derechas ó izquierdas. La parte saliente que origina dicho rectángulo en su movimiento se llama *filete*, y *paso de rosca* la distancia P que hay entre dos puntos análogos de dos filetes inmediatos, medidos paralelamente al eje del cilindro. Según vemos, el tornillo puede considerarse como un plano inclinado que se arrolla alrededor de un cilindro.

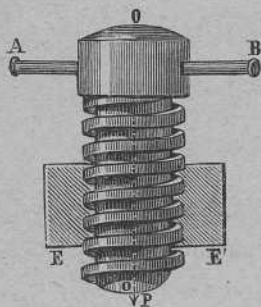


Fig. 41.

Para que un tornillo produzca el efecto á que está destinado, necesita penetrar en una pieza en hueco EE' (fig. 41) llamada tuerca, la cual presenta en su interior el mismo filete en hueco que el tornillo tiene en relieve. En algunos casos no existe previamente formada dicha tuerca, sino que el filete del tornillo, hecho generalmente de

hierro y cortante, se la va formando al penetrar en una materia blanda, como la madera. También necesita el tornillo el auxilio de una palanca AB para aplicar con resultado la potencia. Muchas veces esta palanca consiste en una lámina resistente de acero, provista de un mango, llamado *atornillador*, el que encaja por su extremo adelgazado en una ranura que presenta la cabeza del tornillo.

Esta máquina puede producir su efecto de dos modos; unas veces el tornillo está fijo en el sentido de su longitud, presentando únicamente un movimiento giratorio, y en este caso la tuerca se mueve á lo largo de aquél; otras veces la tuerca se halla sujeta, y el tornillo, á la vez que gira, penetra en ella.

Para calcular la relación que existe en esta importante máquina entre la potencia y la resistencia, aplicaremos la ley de las velocidades virtuales. Supongamos aplicada la potencia en el extremo A de la palanca AB ; si hacemos dar una vuelta completa á dicha palanca, la potencia P habrá recorrido una circunferencia cuyo radio será AO , ó sea $2\pi \times AO$; en este mismo tiempo la resistencia R , aplicada á la tuerca EE' , se habrá elevado la distancia de un filete á otro, ó sea el paso de rosca, que podemos representar por p . Aplicando ahora el principio antes citado, tendremos la igualdad

$$P \times 2\pi \times AO = R \times p;$$

y formando proporción, resultará:

$$P : R :: p : 2\pi \times AO;$$

lo que nos dice, que en el equilibrio del tornillo, la potencia es á la resistencia, como el paso de rosca es á la circunferencia que describe la potencia.

El tornillo es una de las máquinas más importantes que estudia la Mecánica, no solamente por las grandes resistencias que con él se pueden vencer, sino por su aplicación á unir con gran solidez las diferentes piezas de un artefacto cualquiera.

También recibe esta máquina una importante aplicación, como instrumento de medida, en el aparato llamado *tornillo micrométrico*, cuyo fundamento es el siguiente: Supongamos un tornillo cuyo paso de rosca sea de un milímetro exacto, y que se halle provisto en su cabeza de un platillo circular dividido en los 360° de la circunferencia. Si el tornillo está fijo longitudinalmente, y le hacemos dar una vuelta completa, la tuerca habrá avanzado un milímetro exacto; pero si sólo le hacemos girar un grado, la tuerca sólo habrá recorrido $\frac{1}{360}$ de milímetro. Vemos, pues, que se pueden apreciar pequeñísimas longitudes con tan interesante instrumento, las que pueden grabarse sobre una regla, originándose entonces la *máquina de dividir*.

53. Tornillo sin fin.—Recibe este nombre la combinación del tornillo con el torno. Consiste esta máquina (fig. 42) en un tornillo *T*, sujeto longitudinalmente, y que puede girar con el auxilio del manubrio *P*. Tangente á dicho tornillo, lleva el aparato una rueda dentada *A*, apoyada en sus ejes respectivos, cuyos dientes engranan en los filetes de aquél; y, por último, en el centro de dicha rueda se halla fijo un cilindro *r*, sobre el que se arrolla el cordón que sostiene la resistencia *Q*. Si se hace girar el tornillo, los filetes del mismo, engranando en los dientes de la rueda, la obligan á girar, y el cordón de que se halla pendiente la resistencia se va arrollando en el cilindro, elevándose lentamente la resistencia *Q*. Como el tornillo no obra sino en su parte central, no se hacen más que tres ó cuatro filetes, y por esto se llama tornillo sin fin este aparato.

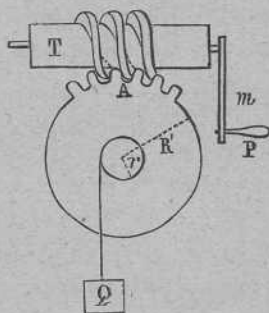


Fig. 42.

Para hallar la ley de equilibrio en esta máquina, basta recordar las ecuaciones respectivas del tornillo y del torno. Llamando en el tornillo *p* el paso de rosca, y *m* el radio del manubrio en que se aplica la potencia, hemos visto que se verificaba la siguiente proporción: $P : R :: p : 2 \pi m$. A su vez en el torno, teniendo en cuenta que la potencia que en él se emplea se convierte en resistencia del tornillo, se verifica que $R : Q :: r : R'$, representando por *r* el radio del cilindro, por *R'* el de la rueda dentada, y por *Q* la resistencia. Multiplicando ordenadamente estas dos proporciones, resulta esta

otra: $P \times R : R \times Q :: p \times r : R' \times 2 \pi m$, y suprimiendo el factor común R de la primera razón, quedará por último la proporción siguiente:

$$P : Q :: p \times r : R' \times 2 \pi m.$$

La que nos dice que en el equilibrio de esta máquina, *la potencia es á la resistencia, como el paso de rosca multiplicado por el radio del cilindro, es al radio de la rueda multiplicado por la circunferencia que describe el manubrio.*

§ 3.º—Rozamiento.

54. Rozamiento: sus especies.—Se llama *rozamiento* la dificultad que oponen los cuerpos á marchar unos sobre otros.

Este movimiento puede verificarse resbalando el cuerpo móvil sobre el que está fijo, ó bien rodando el primero sobre el segundo. En el primer caso, se dice que el rozamiento es de *primera especie* ó de *desliz*, y en el otro de *segunda especie* ó de *giro*.

55. Causa del rozamiento.—La causa del rozamiento es debida á la porosidad de los cuerpos. Efecto de esta propiedad ha de presentar su superficie, por mucho que se pulimente, una porción de oquedades y partes salientes (fig. 43), que penetrarán unas en otras cuando se pongan en contacto. De aqui se sigue, que para conseguir el movimiento de uno de los cuerpos será necesario emplear un esfuerzo, más ó menos considerable, para que se doblen ó rompan las partes que mutuamente se penetran.

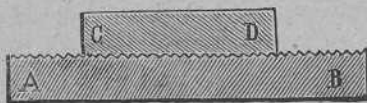


Fig. 43.

56. Medios de modificar el rozamiento.—Por más que en muchas ocasiones es perjudicial el rozamiento de los cuerpos, por oponerse al movimiento de éstos, hay otros muchos casos en que se hace necesario para aumentar su estabilidad. Si no fuera por el rozamiento no podríamos subir una cuesta, y aun marchando por un plano horizontal resbalaríamos á cada paso. Sin el rozamiento no arrastraría una locomotora el tren á que se halla unida.

Puede disminuirse el rozamiento de los cuerpos por los siguientes medios: pulimentando la superficie frotante, interponiendo sustancias untuosas y grasas, reduciendo las superficies en contacto, disminuyendo la presión que entre ambos cuerpos existe y, por último, haciendo que sea de giro si era de desliz. En los ejes de los carruajes se aplican la mayor parte de estos medios.

Por el contrario, cuando convenga aumentar el rozamiento de los cuerpos, se usarán en sentido opuesto los medios antes indicados; así, para que un coche no se precipite por una pendiente, se sujetan más ó menos las ruedas por medio de los *frenos y galgas*, convirtiendo de este modo el rozamiento de giro en rozamiento de desliz. Para marchar por una planicie cubierta de hielo, es necesario llevar un calzado provisto de puntas de acero, que penetren algo en dicha materia, evitando de esta manera que resbale el pie.

57. Resistencias pasivas.—El rozamiento es de gran importancia en el movimiento de las máquinas, por lo que se procura en su construcción reducirle cuanto es posible. Se comprende, en efecto, que parte de la potencia tiene que emplearse en vencerle, lo que producirá indefectiblemente una pérdida positiva de la fuerza empleada. Si además de esto se tiene en cuenta la inercia de los cuerpos, y la rigidez de las cuerdas y correas, tan usadas en las máquinas, se comprenderá que para producir el movimiento de estos aparatos es necesario emplear una fuerza de mayor intensidad que la necesaria para obtener su equilibrio. Todos los obstáculos que se oponen al movimiento de dichos aparatos, reciben el nombre de *resistencias pasivas*.

ARTÍCULO II.

DINÁMICA.

§ 1.º—Movimiento de los cuerpos.

58. Definiciones.—Dijimos que la *Dinámica* se ocupa del estudio de las leyes que rigen al movimiento de los cuerpos.

Llámase *trayectoria* la línea que sigue el centro de gravedad de un cuerpo que está en movimiento. Esta trayectoria puede ser una línea recta ó una curva; en el primer caso el movimiento será *rectilíneo*, y en el segundo *curvilíneo*.

Se llama *velocidad* la distancia ó espacio recorrido por el cuerpo en la unidad de tiempo. Midiendo el espacio en metros, y tomando el segundo por unidad de tiempo, puede definirse la velocidad de un cuerpo diciendo, que es el número de metros que recorre en un segundo.

Si la velocidad con que un cuerpo se mueve es siempre la misma ó constante, se dice que el movimiento es *uniforme*. Puede, por el contrario, *variar la velocidad* del cuerpo en los diferentes periodos de su marcha, y en este caso se dice que el movimiento es *variado*. Si el cambio de velocidad se ve-

rifica proporcionalmente al tiempo, se origina el movimiento *uniformemente variado*; éste puede ser *acelerado* ó *retardado*, según dicha velocidad aumente ó disminuya con arreglo á la citada ley.

59. Movimiento uniforme.—Ya hemos dicho que se llama movimiento uniforme, aquel que adquiere un cuerpo cuya velocidad es constante.

Según esta definición, un cuerpo animado de este movimiento recorrerá en el primer segundo de su marcha un espacio igual á la velocidad; en dos segundos habrá recorrido un espacio igual á dos veces dicha velocidad; en tres segundos el espacio será tres veces la velocidad, y así sucesivamente; de modo que, representando por e el espacio, por v la velocidad y por t el tiempo, expresado en segundos, la relación que une á estas cantidades será

$$e = tv \dots (1);$$

la que nos dice que en el movimiento uniforme, el espacio recorrido por el cuerpo es proporcional al tiempo empleado en recorrerle. De esta ecuación se deducen estas otras: $t = \frac{e}{v}$ y $v = \frac{e}{t}$, con las cuales se puede calcular cualquiera de las cantidades e , t ó v , conociendo las otras dos.

Esta clase de movimiento puede representarse gráficamente del modo siguiente: Tracemos dos líneas perpendiculares AT y AV , y sobre la AT (fig. 44) tomemos

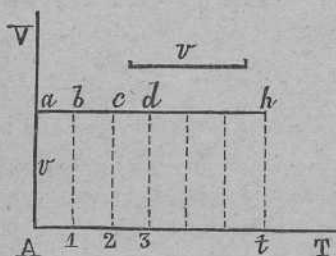


Fig. 44.

distancias iguales $1, 2, \dots, t$, que supondremos representan los segundos que ha durado el movimiento del cuerpo; levantemos en cada uno de estos puntos las perpendiculares Aa, Ab, Ac, \dots, Ah , iguales á la velocidad v que constantemente conserva el cuerpo en su marcha, y unamos por una línea continua los extremos $abc \dots h$, de dichas perpendiculares. Estos extremos estarán evidentemente en línea recta, y darán lugar al rectángulo $Aah t$, cuya área, que representaremos por e , nos dará el valor del espacio recorrido por el cuerpo en el tiempo t . Ahora bien, el área de dicho rectángulo tiene por expresión $Aa \times At$, y teniendo en cuenta que Aa es la velocidad del cuerpo, que hemos llamado v , y At el tiempo que ha durado el movimiento, ó sea t segundos, tendremos la fórmula $e = vt$, que según hemos visto representa la ley del movimiento uniforme.

Si tenemos en cuenta la inercia de la materia, comprenderemos que el movimiento uniforme sólo puede ser originado por una fuerza instantánea. En efecto, un cuerpo que esté en reposo, y reciba un impulso instantáneo, empezará á marchar con una velocidad dependiente de la energía de aquél, y como en el cuerpo no hay causa ninguna capaz de aumentar ó disminuir di-

cha velocidad, ni hacerle cambiar de dirección, permanecerá ésta constante, y será, por tanto, uniforme y rectilíneo el movimiento originado.

En la práctica nada de esto puede suceder por las resistencias que encuentra en su marcha todo cuerpo que se mueve, debidas al rozamiento con el aire ó con los cuerpos en quienes se apoya. Resulta de aquí, que para obtener prácticamente el movimiento uniforme de un cuerpo, hay que aplicarle una fuerza continua, capaz de vencer dichas resistencias, y bien se comprende lo difícil que será conseguirlo, atendiendo á la continua variación con que dichas resistencias se presentan en la marcha de todo cuerpo.

60. Movimiento uniformemente acelerado.—Ya dijimos que recibe esta calificación, el movimiento de un cuerpo en el que la velocidad va aumentando proporcionalmente al tiempo; este aumento de velocidad se llama *aceleración*. Es evidente que para obtener esta clase de movimiento ha de aplicarse al cuerpo una fuerza continua y constante, la cual puede suponerse que obra por impulsos al principio de cada unidad de tiempo, comunicando al móvil una cierta aceleración sobre la que poseyera al final de cada unidad de tiempo.

En esta clase de movimiento, la velocidad varía constantemente, y no puede definirse como lo hicimos al tratar del movimiento uniforme. Se ha convenido en llamar *velocidad en el movimiento uniformemente acelerado al espacio que recorrería el cuerpo en un segundo, suponiendo que cesase la fuerza aceleratriz en el momento que se considere*; es evidente que en este supuesto, el cuerpo seguiría marchando, en virtud de la inercia, con movimiento uniforme.

Pasemos ahora á deducir las leyes de esta clase de movimiento. Supongamos que á un cuerpo en reposo se le aplica una fuerza continua y constante, capaz de hacerle adquirir al cabo de un segundo una aceleración a . Transcurrido el siguiente segundo de tiempo, habrá recibido el cuerpo otra nueva aceleración igual también á a , puesto que se trata de una fuerza constante y continua, y así sucesivamente en cada uno de los segundos siguientes; luego si en el primer segundo es a la aceleración, en dos segundos será $2a$, en tres segundos $3a$, etc. Llamando v la velocidad al cabo de t segundos tendremos, por tanto, la igualdad

$$v = at,$$

que es la expresión matemática de la definición que hemos dado de esta clase de movimiento.

Tratemos ahora de averiguar la ley que rige á los espacios recorridos por un cuerpo en el movimiento de que nos estamos ocupando. Evidentemente

dichos espacios irán creciendo en cada segundo de tiempo, puesto que la velocidad del móvil crece constantemente; pero es claro que el espacio recorrido por un cuerpo en t segundos, con una velocidad que varía entre cero y $a t$, será igual al que recorrería en el mismo tiempo, con movimiento uniforme, poseyendo una velocidad intermedia entre ellas, ó sea $\frac{0 + at}{2} = \frac{at}{2}$. Sustituyamos, pues, esta velocidad en la fórmula del movimiento uniforme (1), y tendremos $e = \frac{at}{2} \times t$, ó lo que es lo mismo,

$$e = \frac{1}{2} a t^2 \dots (2),$$

que es la expresión que buscábamos. Si aplicamos esta fórmula para otro tiempo distinto T , y llamamos E el espacio recorrido, tendremos la igualdad $E = \frac{1}{2} a T^2$; comparando ambas ecuaciones resultará, $e : E :: \frac{1}{2} a t^2 : \frac{1}{2} a T^2$. Suprimiendo en la segunda razón el factor común $\frac{1}{2} a$ quedará la proporción

$$e : E :: t^2 : T^2;$$

lo que nos dice que en el movimiento uniformemente acelerado, los espacios son proporcionales á los cuadrados de los tiempos.

Puede también representarse gráficamente esta clase de movimiento, siguiendo un método análogo al que hemos usado al tratar del movimiento uniforme. Sean, en efecto, $A T$ y $A V$ dos líneas perpendiculares, y sobre la $A T$ (fig. 45) representemos por espacios iguales 1, 2, 3..... t el tiempo que ha durado el movimiento. En los puntos 1, 2, 3..... t levantemos perpendiculares iguales á las velocidades 1 a , 2 $2 a$, 3 $3 a$

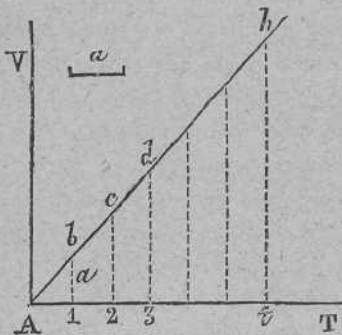


Fig. 45.

$e = \frac{1}{2} a t^2$, que es la fórmula del movimiento uniformemente acelerado.

61 Movimiento uniformemente retardado.—Si la velocidad que un móvil posee decrece proporcionalmente al tiempo, resulta el movimiento

uniformemente retardado. Para producirle es necesario el concurso de dos fuerzas opuestas, una instantánea y otra continua. Llamemos w la velocidad constante que posee el cuerpo por el influjo de la fuerza instantánea; aplicándole una fuerza constante y continua en sentido contrario, su velocidad w decrecerá en el primer segundo de tiempo lo que valga la aceleración a que produzca dicha fuerza continua, y será por tanto $w - a$. En dos segundos habrá disminuido dicha velocidad en $2 a$; en tres segundos $3 a$ y en t segundos $t a$. Luego representando por v la velocidad del cuerpo al cabo de t segundos, tendremos la igualdad

$$v = w - a t.$$

Para hallar la ley de los espacios basta considerar que, por el impulso de la fuerza instantánea, el cuerpo, en t segundos, recorrería con movimiento uniforme un espacio representado por $w t$; y atendiendo á la fuerza continua andaría el cuerpo en el mismo tiempo el espacio $\frac{1}{2} a t^2$ con movimiento uniformemente acelerado. Ahora bien; estos dos espacios serian recorridos por el cuerpo en sentido contrario, por ser opuestas las fuerzas que los producen, luego restándolos y llamando e el espacio resultante, tendremos la igualdad

$$e = w t - \frac{1}{2} a t^2,$$

que es la fórmula del movimiento uniformemente retardado.

Este movimiento presenta la particularidad de que ha de llegar un instante en que el cuerpo quede inmóvil. Efectivamente, obrando las fuerzas en opuesto sentido, y produciendo en el cuerpo velocidades contrarias, una constante y otra creciente, han de llegar éstas forzosamente á igualarse, y entonces quedará destruido el movimiento del cuerpo. Desde este momento obrará sólo la fuerza continua, y el cuerpo adquirirá bajo su influjo un movimiento uniformemente acelerado, en sentido contrario al que antes tenía, siendo fácil demostrar que posee en los diferentes puntos de su camino, tanto al ir como al volver, la misma velocidad.

La representación gráfica de este movimiento prueba esto bien claramente. Usando el mismo procedimiento de que nos hemos valido antes, supondremos trazadas dos rectas perpendiculares AB y AC (fig. 46). Dividamos la primera en partes iguales que representen segundos de tiempo, y sobre la AC tomemos una distancia igual á w , que es la velocidad de que está animado el cuerpo al empezar á obrar la fuerza continua. Esta última producirá su efecto en sentido contrario por ser opuesta á la primera, de modo que, transcurrido el primer segundo, la velocidad del cuerpo será

$b' b''$, por quedar disminuida w en la cantidad $b b'$, que representa la fuerza aceleratriz al fin del primer segundo; transcurrido otro segundo, la velocidad del

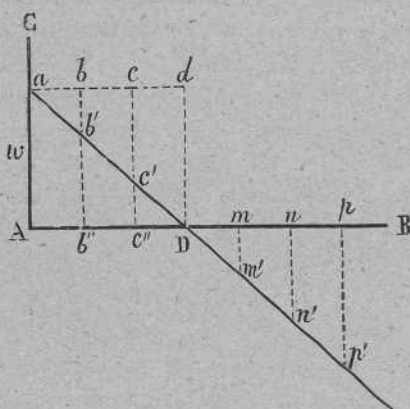


Fig. 46.

$a A D = A a d D - a d D$; pero el área del rectángulo $A a d D$ es igual a $w t$, llamando t el tiempo transcurrido, y la del triángulo $a d D$ tiene por valor $\frac{1}{2} a t^2$, representando por a la aceleración de la fuerza continua. Sustituyendo ahora estos valores en aquella igualdad, y llamando e el espacio recorrido, tendremos, por último, la ecuación $e = w t - \frac{1}{2} a t^2$, ó sea la fórmula de esta clase de movimiento.

62. Relación entre las fuerzas y las aceleraciones.—Supongamos que aplicada á un cuerpo una fuerza constante f , adquiere aquél al cabo de cierto tiempo una aceleración a . Es evidente que aplicando al mismo cuerpo otra fuerza constante igual á $2f$, la aceleración del mismo será $2a$; si la fuerza aplicada es $3f$, la aceleración será $3a$, y, en general, si la fuerza fuese $n f$, la aceleración sería $n a$. Luego llamando f y F dos fuerzas constantes, y a y A las aceleraciones que comunican á un mismo cuerpo, podremos escribir la siguiente proporción:

$$\frac{f}{F} = \frac{a}{A},$$

lo que nos dice que, *dos fuerzas constantes son proporcionales á las aceleraciones que comunican á un mismo cuerpo ó á cuerpos iguales.*

63. Masa de los cuerpos.—De la última ecuación se deduce, permutando los términos medios, esta otra:

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A},$$

y como lo mismo podría repetirse para otra fuerza y la aceleración correspondiente, podremos desde luego deducir que, *la relación que existe entre una*

móvil será $c c'' - c c' = c' c''$, y así sucesivamente. Disminuyendo constantemente la velocidad del cuerpo, llegará un momento en que se anule, y esto sucede en la figura, transcurridos D segundos. Desde entonces la velocidad del móvil empezará á aumentar con arreglo á la ley del movimiento uniformemente acelerado, y en los segundos m, n, p, \dots valdrá respectivamente $m m', n n', p p', \dots$, iguales, respectivamente, á $c' c'', b' b'', a A$, pero de signo opuesto, por contarse dichas cantidades por debajo de la línea $A B$.

El espacio recorrido por el cuerpo hasta el segundo D , está representado en la figura por el triángulo

fuerza constante aplicada á un cuerpo, y la aceleración que en él produce, es una cantidad constante; esta relación es la que han escogido los mecánicos para representar la *masa* de los cuerpos. Se puede, por tanto, escribir la igualdad siguiente:

$$m = \frac{f}{a},$$

en la cual m representa la masa de un cuerpo, f la fuerza constante que se le aplica, y a la aceleración comunicada al mismo.

Para hallar el valor numérico de la masa de un cuerpo, se acude á la atracción constante que la Tierra ejerce sobre todos ellos, cuya aceleración se acostumbra á representar por g ; dicha atracción no es otra cosa que el peso p del cuerpo, y dentro de poco veremos cómo se determina, tanto el valor de p como el de g . Aplicando estos valores á la masa m de un cuerpo, resultará:

$$m = \frac{p}{g},$$

lo que nos dice, que para obtener el valor numérico de la masa de un cuerpo, se divide su peso por la aceleración terrestre. En el Congreso electricista verificado en París, en 1881, se ha elegido para representar la unidad de masa, el *gramo-masa* (*), que forma con el centímetro y el segundo de tiempo, el sistema absoluto de unidades de medida, llamado por esto sistema *centímetro-gramo-segundo*, el cual se representa por sus iniciales C. G. S.

64. Relación entre las fuerzas y las masas.—Acabamos de ver que entre una fuerza constante f , aplicada á un cuerpo cuya masa es m , y la aceleración correspondiente a , existe la relación $m = \frac{f}{a}$. Para otro cuerpo

distinto tendremos análogamente $M = \frac{F}{A}$, y quitando denominadores en ambas ecuaciones, resultará $f = m a$, y $F = M A$. Dividiendo ordenadamente ambas igualdades, resultará la siguiente:

$$\frac{f}{F} = \frac{m a}{M A} \dots (a),$$

y suponiendo que las aceleraciones sean iguales, quedará reducida á

$$\frac{f}{F} = \frac{m}{M},$$

(*) El *gramo masa* es el peso que tiene un gramo, ó sea la milésima parte del kilogramo, tipo de París, al nivel del mar, y 45° de latitud.

lo que nos dice que *las fuerzas son proporcionales á las masas de los cuerpos á quienes comunican la misma aceleración.*

65. Relación entre las fuerzas y las cantidades de movimiento.

— Si en la fórmula (a) suponemos que las fuerzas f y F actúan durante el mismo número de segundos, las velocidades v y V , adquiridas por los respectivos móviles, serán proporcionales á las aceleraciones a y A , y podremos escribir la siguiente proporción

$$\frac{f}{F} = \frac{m v}{M V};$$

el producto $M V$ de la masa de un cuerpo por su velocidad, recibe en Mecánica el nombre de *cantidad de movimiento*. Podemos, por lo tanto, decir que *dos fuerzas constantes son proporcionales á las cantidades de movimiento que comunican, en el mismo tiempo, á los cuerpos sobre quienes actúan.*

Si suponemos en la fórmula anterior $v = V$, quedará convertida en esta otra:

$$\frac{f}{F} = \frac{m}{M},$$

luego *dos fuerzas son proporcionales á las masas á quienes comunican, en el mismo tiempo, igual velocidad.*

Si las masas M y m fueran iguales, dicha fórmula se reduciría á la siguiente:

$$\frac{f}{F} = \frac{v}{V},$$

ó sea, que *dos fuerzas son proporcionales á las velocidades que comunican en el mismo tiempo á dos cuerpos de igual masa.*

Por último, suponiendo que las fuerzas f y F sean iguales, tendremos la ecuación $m v = M V$; ó sea,

$$\frac{m}{M} = \frac{V}{v},$$

lo que nos dice que aplicada una fuerza durante el mismo tiempo á dos cuerpos distintos, les comunica la misma cantidad de movimiento, y por lo tanto, *las velocidades respectivas están en razón inversa de sus masas.*

66. Trabajo mecánico.— Supongamos que una fuerza sea capaz de elevar un kilogramo á un metro de altura; para elevar á doble altura el mismo peso, se necesitará emplear evidentemente una fuerza doble, y tam-

bién habría que emplear duplo esfuerzo si quisieramos elevar dos kilogramos á la altura de un metro; luego el efecto útil de una fuerza, ó el *trabajo* que puede desarrollar, depende de su intensidad y del camino que haga recorrer al cuerpo que se aplica. Representando por T dicho trabajo, por f la intensidad de la fuerza, y por e el espacio recorrido por el cuerpo en la dirección que actúe aquélla, tendremos la ecuación

$$T = f e.$$

Para medir el trabajo de una fuerza se ha adoptado por unidad el *kilográmetro*, ó sea *la fuerza necesaria para elevar el peso de un kilogramo á la altura de un metro.* *en un segundo de tiempo.*

El trabajo puede verificarse de dos modos. Si el movimiento del cuerpo tiene lugar en la dirección de la fuerza, se dice que ésta verifica un trabajo *motor ó positivo*; pero si el cuerpo camina en opuesta dirección, por actuar sobre dicho cuerpo otras fuerzas, se dice que aquélla produce un trabajo *resistente ó negativo*.

67. Fuerza viva.—Hemos visto anteriormente que entre una fuerza constante f , la aceleración a que produce en un cuerpo de masa m , y la velocidad v que adquiere aquél después de t segundos, existen las relaciones siguientes: $f = ma$; $e = \frac{1}{2} at^2$ y $v = at$. De aquí se deducen fácilmente las siguientes ecuaciones:

$$f e = \frac{1}{2} m a^2 t^2 \text{ y } f e = \frac{1}{2} m v^2.$$

Pero $f e$ hemos visto que representan el trabajo de la fuerza f , ó sea T , luego podremos escribir

$$T = \frac{1}{2} m v^2.$$

La cantidad $m v^2$ recibe en Mecánica el nombre de *fuerza viva*, y la última igualdad nos dice la relación que tiene con el trabajo.

Energía.—Se llama así á la capacidad que tienen los cuerpos de producir un cierto trabajo. La energía puede ser *actual* y *potencial*. Se llama actual ó visible, cuando el cuerpo que ha de producirla está en movimiento; como una piedra que cae, el agua que corre en un río, la bala disparada por un fusil.

La energía recibe el nombre de potencial ó invisible, cuando no depende del movimiento del cuerpo que se considera, sino de su posición. Así sucede en un muelle doblado, un peso suspendido á cierta altura, una cantidad dada de pólvora, etc., que son capaces de producir trabajo en un momento determinado, pero no en el estado que los consideramos. Esta clase de energía

supone siempre un trabajo anterior, empleado en colocar al cuerpo en condiciones á propósito. La energía actual de un cuerpo no es otra cosa que su fuerza viva, y la ecuación $T = \frac{1}{2} m v^2$ permite medir fácilmente su valor.

68. Conservación de la energía.—Estudiando atentamente las variaciones que sufre la energía en los diferentes fenómenos físicos se observa, que siempre que disminuye la energía actual, aumenta la potencial, y viceversa; y de tal manera se hallan enlazadas ambas, que su suma permanece siempre constante.

Supongamos un muelle de acero (fig. 47) sujeto por un tornillo *A* y en su posición de equilibrio *C D*. Si por medio de un esfuerzo le obligamos á tomar la posición *C D'*, adquirirá en este caso una cierta energía potencial, y, al dejarle en libertad, podrá ejecutar un trabajo determinado. Efectivamente, al soltarle marcha rápidamente á su primitiva posición *D*, y su energía potencial se convierte en actual, obligándole ésta á pasar al otro lado y ocupar la posición *D''*. En esta posición su energía actual desaparece para convertirse nuevamente en energía potencial, por cuya razón marchará al punto de origen *D'*, y así seguiría oscilando indefinidamente si no encontrase obstáculos que se oponen á la continuación de este movimiento. Resulta de esto, que en los puntos extremos *D'* y *D''*, la energía potencial del muelle en cuestión está en su grado máximo, y el trabajo ejecutado es también el mayor posible; en cambio, en el punto *D* ese trabajo es nulo, y la energía visible ó actual se halla en su máximo. En los puntos intermedios la suma de las energías actual y potencial es constante, y siempre igual á la que adquiere en cualquiera de las posiciones extremas.

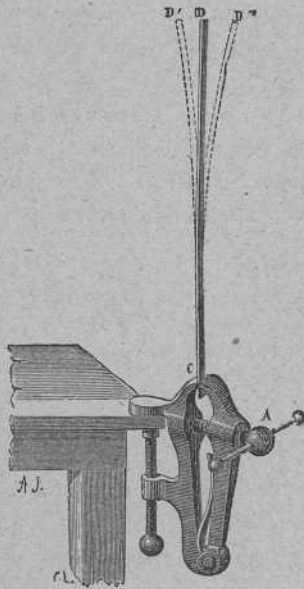


Fig. 47.

Esto mismo se observa en todos los fenómenos físicos, y si á veces parece destruirse cierta energía de los cuerpos, lo que sucede realmente, es que aquélla se transforma en calor, luz ó electricidad.

En virtud de estos hechos, admiten los físicos que la energía es *indestructible*, y siempre ha tenido el valor que actualmente conserva; así que todos los fenómenos físicos no son otra cosa que transformaciones de dicha energía. Puede, por tanto, hacerse extensivo á la energía el principio esta-

blecido por Lavoisier, respecto á la *materia*, y así como el hombre no puede crear ni destruir dicha *materia*, de igual modo le *es imposible alterar la energía con que Dios la dotó*.

69. Movimiento curvilíneo.—Si un móvil recorre en su camino una línea curva cualquiera, se dice que está animado de un *movimiento curvilíneo*. Siendo indefinido el número de curvas que pueden trazarse de un punto á otro, lo será también el número de movimientos curvilíneos que los cuerpos pueden adquirir; no obstante, sólo se consideran aquellos que tienen importancia en la práctica, y nosotros nos ocuparemos únicamente del *parabólico* y del *circular*.

70. Movimiento parabólico.—Se llama así el movimiento de un cuerpo cuya trayectoria es una *parábola* (*); para que tenga lugar esta clase de movimiento, es necesario aplicar al cuerpo de que se trata dos fuerzas, una instantánea y otra continua, pero en distinta dirección. Supongamos, en efecto, aplicadas al punto material *A* (fig. 48), la fuerza instantánea *A d'* y la continua *A d''*; admitamos por el momento que sólo actúe sobre dicho cuerpo la fuerza instan-

tánea *A d'*, y en este caso el cuerpo marcharía, según sabemos, en la dirección de esta recta con movimiento uniforme, recorriendo en el 1.º, 2.º y 3.º.... segundos de tiempo, los espacios iguales *A a'*, *a' b'*, *b' c'*.... Supongamos ahora que sólo obre sobre dicho cuerpo la fuerza continua *A d''*, y según hemos visto anteriormen-

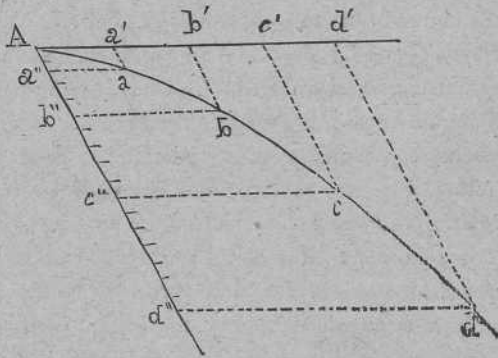


Fig. 48.

te, el móvil recorrerá en este caso la recta *A d''*, animado de un movimiento uniformemente acelerado, recorriendo en los segundos de tiempo 1.º, 2.º y 3.º.... los espacios *A a''*, *a'' b''*, *b'' c''*.... que crecen como los cuadrados de los tiempos. Si consideramos ahora ambas fuerzas solicitando á la vez al

(*) La parábola es una curva plana, cuyos puntos equidistan de otro fijo llamado *foco* y de una recta fija llamada *directriz*. Se demuestra en Geometría, que los cuadrados de las cuerdas perpendiculares al eje, son proporcionales á la distancia que hay de estas cuerdas al vértice de la parábola.

cuerpo en cuestión, resultará que al terminar el primer segundo, y no pudiendo aquél seguir la dirección en que le impulsan aisladamente las dos fuerzas, tendrá que estar en a , extremo de la diagonal del paralelogramo construido sobre $A a'$ y $A a''$. Por igual motivo, transcurrido otro segundo, el cuerpo estará en b , extremo de la diagonal del paralelogramo construido sobre $A b'$ y $A b''$ y, al final de los tres segundos, ocupará el móvil el punto c , y así sucesivamente. Si unimos ahora por medio de una línea continua los puntos $A a b c d \dots$ obtendremos una curva que representará la trayectoria del cuerpo, la que resulta ser una parábola. En efecto, las cuerdas $a a'$, $b b''$ y $c c''$ están en la relación de los números 1, 2 y 3, mientras que las distancias $A a'$, $A b''$ y $A c''$ guardan la relación de los números 1, 4 y 9, ó sea los cuadrados de aquéllas, y ésta es precisamente la propiedad de la parábola.

71. Movimiento de rotación.— Es el que tiene lugar en un cuerpo sujeto á girar alrededor de una línea fija ó *eje de giro*.

En este movimiento todas las moléculas del cuerpo describen circunferencias paralelas entre sí, y cuyo plano es perpendicular al eje de giro. El radio de dichas circunferencias es, por lo tanto, la perpendicular bajada desde el punto que se considere á dicho eje.

Supongamos bajada desde un punto cualquiera del cuerpo una de estas perpendiculares; al girar aquél, dicha línea formará con su posición primitiva ángulos que irán creciendo desde cero á 360°. Si el valor de estos ángulos crece proporcionalmente al tiempo, se dice que el movimiento es uniforme, y en otro caso variado; *el ángulo descrito en la unidad de tiempo es la velocidad angular del movimiento uniforme*. Por ejemplo, sabemos que la Tierra da una vuelta sobre su eje en 24 horas; luego en este tiempo una perpendicular bajada desde un punto de su superficie al eje de la misma describirá un ángulo de 360° y, por lo tanto, en una hora la velocidad angular de nuestro planeta será $\frac{360}{24} = 15^\circ$. Si el movimiento giratorio se verifica con gran rapidez, suele medirse la velocidad angular por el número de vueltas que ejecuta el móvil en la unidad de tiempo; así suele decirse que una rueda, en un cierto engranaje, tiene una velocidad de treinta vueltas por segundo.

Aunque la velocidad angular de todas las moléculas del móvil es igual en el movimiento giratorio, no por esto ha de creerse que los espacios recorridos por dichas moléculas son también iguales en tiempos idénticos, ó sea su *velocidad lineal*. Basta, en efecto, para comprenderlo, considerar una esfera cuyo radio sea r ; suponiendo que dicho cuerpo dé una vuelta completa en 1", un punto situado en el Ecuador, habrá recorrido un espacio

igual á $2 \pi r$, mientras que los puntos más inmediatos al eje describirán, en el mismo tiempo, circunferencias que irán siendo cada vez menores, hasta los puntos situados en el mismo eje, que no tendrá en realidad movimiento de traslación, y si tan sólo de rotación. Aplicando esto á la Tierra resulta, que los habitantes del Ecuador recorren en 24 horas una circunferencia cuyo radio es 6.378,230 metros, ó sea más de 40 millones de metros, lo que supone una velocidad lineal de cerca de 500 metros por segundo, que es la que ordinariamente tienen los proyectiles disparados por un arma de fuego. Á medida que aumenta la latitud del punto que se considera, disminuye el radio de la circunferencia que describe, y lo mismo sucede con su velocidad lineal hasta llegar á los polos, que no hacen sino girar sobre sí mismos.

72. Movimiento circular.—Para que se verifique esta clase de movimiento, es necesario aplicar al móvil dos fuerzas; una instantánea, y otra continua, pero dirigida ésta constantemente hacia un punto fijo. Supongamos, en efecto, aplicadas á un cuerpo

A (fig. 49) la fuerza instantánea $A a'$, y la continua $A a''$, dirigida ésta constantemente hacia el punto O . El cuerpo, solicitado por ambas fuerzas, seguirá la dirección $A a$ de la diagonal del paralelogramo construido sobre las intensidades de ambas; y si al llegar al punto a recibe un nuevo impulso $a b''$, dirigido hacia O , y del mismo valor que $A a''$, seguirá,

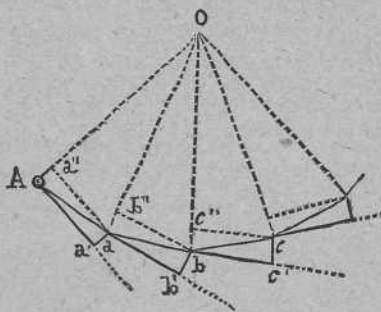


Fig. 49.

por igual razón, la diagonal $a b$. Si al llegar al punto b vuelve á recibir el móvil otro impulso $b c''$, igual á los anteriores, y dirigido como aquéllos hacia O , recorrerá á su vez la diagonal $b c$, y así sucesivamente. Resulta de esto, que la trayectoria del cuerpo estará representada por la línea poligonal $A a b c$, cuyos lados y ángulos son iguales, y en su conjunto forman un polígono regular; lo mismo se verificará cualquiera que sea el tiempo que medie de una impulsión á otra, con tal que las fuerzas $A a'$ y $A a''$ guarden la misma relación; y, suponiendo que aquéllas se suceden con gran rapidez, resultará para trayectoria del cuerpo un polígono regular de infinito número de lados, y en el límite una circunferencia.

Si al llegar el móvil al punto a , por ejemplo, cesase la fuerza $a b''$, el cuerpo seguiría, en virtud de la inercia, la dirección $a b'$ de la otra fuerza, que en el límite es la tangente á la circunferencia que el cuerpo describe. A

su vez, si se anulase la fuerza instantánea al llegar el móvil á dicho punto *a*, seguiría el cuerpo en este caso la dirección *a b''* en que le solicita la fuerza continua.

El movimiento circular se obtiene fácilmente, dando un impulso horizontal á un cuerpo sostenido por un hilo. Efecto de dicho impulso, el cuerpo tiende á seguir su camino en línea recta; pero la resistencia del hilo se opone á que se aleje del punto de suspensión, y describe una circunferencia de círculo. Resulta de esto que, al girar dicho cuerpo, desarrolla una fuerza que tiende á romper el hilo que le sostiene, la que ha recibido el nombre de *fuerza centrífuga*, y el hilo por su parte representa también otra fuerza igual y contraria á aquella, llamada *centrípeta*. El cálculo demuestra que dichas fuerzas se hallan sometidas á las siguientes leyes:

- 1.^a *La fuerza centrífuga es proporcional á la masa del cuerpo que gira.*
- 2.^a *Es también proporcional al cuadrado de su velocidad, ó del número de vueltas.*
- 3.^a *Para una misma velocidad lineal, está en razón inversa del radio del círculo descrito, mientras que para una misma velocidad angular, se halla en razón directa de dicho radio.*

Los efectos de la fuerza centrífuga pueden demostrarse por medio del aparato representado en la figura 50, el cual consiste en un rectángulo de

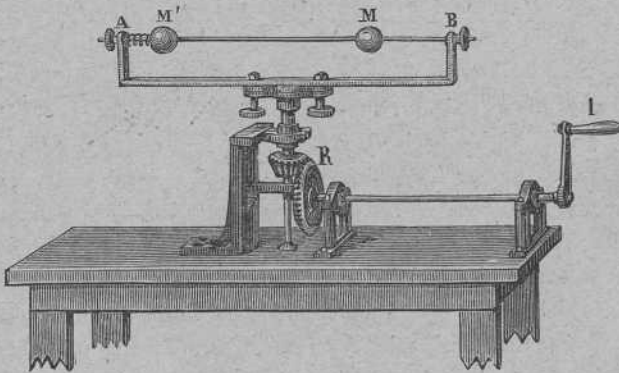


Fig. 50.

madera, en el que está representado uno de sus lados horizontales por la varilla *A B*. Este rectángulo puede recibir un rápido movimiento de rotación por el intermedio de un engranaje *R*, movido por el manubrio *I*. En la varilla *A B* se colocan esferas *M M'*, taladradas en su centro, y según sea su masa, distancia al centro y velocidad con que giren, son lanzadas contra el muelle *A*, que indica la fuerza desarrollada por el movimiento circular de

las mismas. Sustituyendo el rectángulo $A B$ con diferentes aparatos, puede ponerse de manifiesto la influencia de la fuerza centrífuga sobre la superficie de los líquidos, cuerpos flotantes y líquidos superpuestos.

73. Efectos de la fuerza centrífuga.—Muchas consecuencias podrían citarse debidas á dicha fuerza. Las piedras de los molinos se romperían fácilmente, efecto de esta fuerza, si no se tomara la precaución de colocar fuertes aros de hierro en su superficie. En las curvas de las líneas férreas, sería muy probable un descarrilamiento, si no se colocase más alto el rails exterior de dicha curva. Un caballo que galopa por una pista circular, caería hacia el exterior, si su instinto no le enseñase que debe inclinarse hacia el centro de la curva. También se ha sacado partido en la industria de los efectos de la fuerza centrífuga para construir aparatos destinados á diferentes usos; así sucede en las *secadoras*, *bombas* y *ventiladores* de fuerza centrífuga, y, por último, en el antiquísimo instrumento para lanzar piedras llamado *honda*.

También es curiosa aplicación de la fuerza centrífuga el ferrocarril aéreo (fig. 51), el cual consiste en una vía férrea $A B C D$, en forma de doble

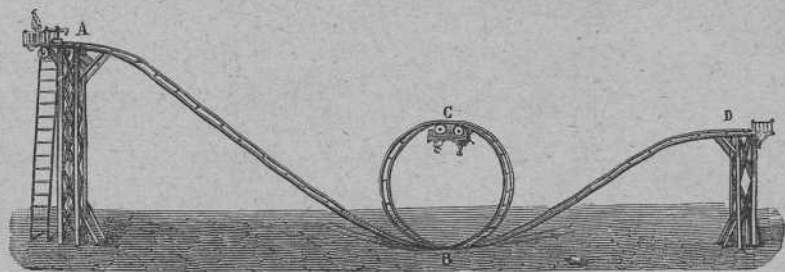


Fig. 51.

rampa, que al llegar al punto B se eleva formando una hélice. Soltando desde el punto A un cochecillo, en el que pueden ir dos ó más personas, recorre aquél la parte $A B$ de la vía con movimiento acelerado, y al llegar á B , se eleva por la hélice $B C$ para bajar por el lado opuesto, y subir, por último, al punto D , colocado á menor altura que el A . Efecto de la fuerza centrífuga desarrollada al recorrer la hélice, no cae el coche al ocupar el punto C , por la misma razón que no se derrama el líquido contenido en un vaso, si se le hace girar rápidamente, una vez atado al extremo de una cuerda.

74. Achatamiento de la Tierra.—Sabido es que nuestro planeta tiene la forma de una esfera achatada por los polos. Este achatamiento, que también se observa en otros astros, se explica por la mayor influencia de la fuerza centrífuga en la zona ecuatorial que en las templadas y glaciales. Ad-

mitiendo, en efecto, que la Tierra en su principio se hallaba en estado pastoso, las moléculas de su superficie tenderían á separarse del eje de giro, con tanta mayor energía, cuanto mayor fuera su distancia del eje polar, refluendo por esto la materia hacia el Ecuador, hasta producir el abultamiento que en él se nota. Luego que se solidificó la superficie de este astro, perdieron

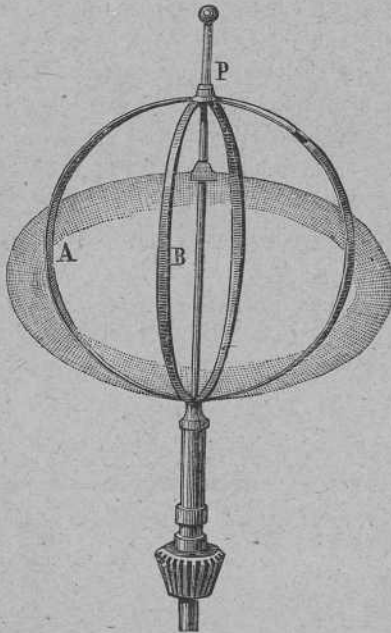


Fig. 52.

las moléculas su movilidad, y no ha podido seguir aumentando dicho abultamiento. En el planeta Saturno ha sido de tanta importancia el efecto de la fuerza centrífuga, que se ha separado parte de su masa, formando una serie de anillos concéntricos á dicho astro, separados de él por grandes distancias.

Suele probarse el achatamiento de la Tierra, por la causa que venimos estudiando, con el aparato que representa la figura 52. Consiste éste en dos aros de acero colocados sobre un eje metálico, á 90° uno del otro; este eje puede recibir un movimiento rápido de rotación, por intermedio del aparato descrito últimamente. Cuando dichos aros están quietos, tienen la forma circular, pero una vez puestos en movimiento, la fuerza

centrífuga desarrollada por las moléculas de su zona central, les obliga á tomar la forma de una elipse, imitando en su revolución la figura de la Tierra.

§ 2.º—Choque.

75. Definiciones.—Recibe el nombre de *choque* el encuentro brusco de dos cuerpos que tienden á ocupar á la vez el mismo sitio en el espacio. Para el estudio del choque de los cuerpos, conviene clasificarlos en *no elásticos* y *elásticos*; pues si bien sabemos que todos presentan cierta elasticidad (20), no hay inconveniente en considerar á algunos, como el plomo y la arcilla húmeda, desprovistos de dicha propiedad.

76. Choque de los cuerpos no elásticos.—Supongamos que dos es-

feras de plomo E y E' (fig. 53), marchan de A á B con las velocidades V y V' , y admitamos, como es necesario para que se verifique el choque, que V sea mayor que V' . En el momento del encuentro, ambas esferas se deformarán y marcharán juntas, formando un solo cuerpo, cuya masa será la suma de la que ambas esferas tengan, y, como en virtud de la inercia, no puede desaparecer la energía que su movimiento representa, la cantidad de movimiento antes y después del choque debe ser la misma. Ahora bien, llamando M la masa que contiene la esfera E , y M' la de la esfera E' , la suma de las cantidades de movimiento antes del choque será $MV + M'V'$; después del choque, la cantidad de movimiento estará representada por $(M + M')x$, representando x la velocidad de las dos esferas ya unidas. Igualando ambas cantidades, tendremos la ecuación $MV + M'V' = (M + M')x$, y deduciendo de aquí el valor de x resultará:

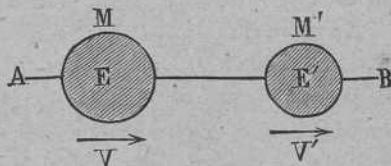


Fig. 53.

$$x = \frac{MV + M'V'}{M + M'} \dots\dots (1)$$

Para deducir esta fórmula, se ha supuesto que los dos móviles E y E' marchaban en el mismo sentido, más si así no fuera, bastaría cambiar el signo correspondiente á la velocidad del que caminase en sentido contrario, y el signo del resultado nos diría en qué dirección habría que contar la velocidad después del choque.

Apliquemos, como ejemplo, dicha fórmula al caso de dos esferas de plomo, una de masa igual á seis kilogramos y animada de una velocidad de 3 metros por segundo, y la otra de cuatro kilogramos de masa y con una velocidad de 2 metros, pero en sentido contrario. La fórmula anterior se convierte en este caso en la siguiente igualdad;

$$x = \frac{6 \cdot 3 + 4 \cdot (-2)}{6 + 4} = \frac{6 \cdot 3 - 4 \cdot 2}{6 + 4} = 1$$

cuyo resultado nos dice, que después del choque, marcharán juntas las dos esferas con la velocidad de un metro por segundo, en el sentido de la primera esfera.

77. Choque de los cuerpos elásticos.—Supongamos ahora que se trata de dos cuerpos perfectamente elásticos, y ante todo debemos recordar que no hay entre los sólidos ningún cuerpo que tenga en absoluto la citada

propiedad, pero algunos, como el acero, el marfil y el cristal, la tienen tan desarrollada, que para estos efectos se los puede considerar como completamente elásticos.

En el choque de dos cuerpos de esta naturaleza, hay que distinguir dos períodos diferentes. En el primero, llamado de *acción*, se comprimen y conducen como si carecieran de elasticidad, y puede, por tanto, aplicarse la fórmula (1) del caso anterior. En el segundo período, ó sea de *reacción*, desenvuelven las moléculas una fuerza de resorte, debida á su elasticidad, que las hace ganar ó perder otro tanto que hubieran ganado ó perdido en el primero, circunstancia que se expresa en Mecánica diciendo que, *la reacción es igual y contraria á la acción*, y es claro que en este segundo período del choque puede aplicarse también, con la condición antes indicada, la fórmula que acabamos de obtener.

Sean en efecto dos cuerpos elásticos de una masa M y M' , y cuyas velocidades respectivas sean á su vez V y V' . Llamando como antes x la velocidad común después del momento de la acción, resultará, que el primero habrá perdido de su velocidad una parte igual á $V - x$, mientras que el segundo habrá ganado una cantidad $x - V'$; ahora bien, por efecto de la reacción, el primero de dichos cuerpos volverá á perder la cantidad $V - x$, y el segundo ganará nuevamente $x - V'$; luego la velocidad final del primero será $V - (V - x) - (V - x) = 2x - V$, y la del segundo será á su vez $V' + (x - V') + (x - V') = 2x - V'$.

Representando la primera por W y la segunda por W' , y sustituyendo en vez de x su valor, resultarán las igualdades siguientes:

$$W = \frac{M V + 2 M' V' - M' V}{M + M'}$$

$$W' = \frac{M' V' + 2 M V - M V'}{M + M'}$$

que son las fórmulas generales del choque de los cuerpos elásticos.

Hay un caso digno de tenerse en cuenta en la aplicación de las anteriores fórmulas, y es cuando ambos cuerpos tienen igual masa. En efecto, haciendo $M = M'$ resulta $W = V'$ y $W' = V$; lo que nos dice que entonces sólo existe un cambio de velocidades entre los cuerpos chocantes. Si además de tener igual masa, las velocidades son de signo contrario, también resultarán de direcciones opuestas las velocidades después del choque. Por último, si uno de los cuerpos está en reposo, lo que equivale á suponer $V = 0$, el otro al chocar quedará quieto, adquiriendo el primero la velocidad que éste llevaba.

En los cursos de Física se demuestran todas estas verdades por medio del aparato representado en la figura 54. Haciendo chocar esferas suspendidas por medio de cordones, y variando su masa y velocidad, se obtienen resultados próximamente iguales á los indicados por las anteriores fórmulas. No resultan los experimentos conformes en un todo con la teoría, por no ser perfectamente elástico el marfil, ni carecer en absoluto el plomo de elasticidad.

Para el choque múltiple de varias esferas se usa otro aparato análogo al anterior, representado en la figura 55. Dejando caer de cierta altura la pri-

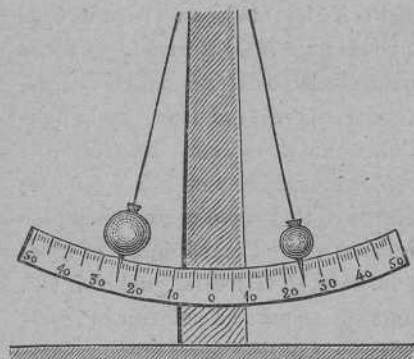


Fig. 54.

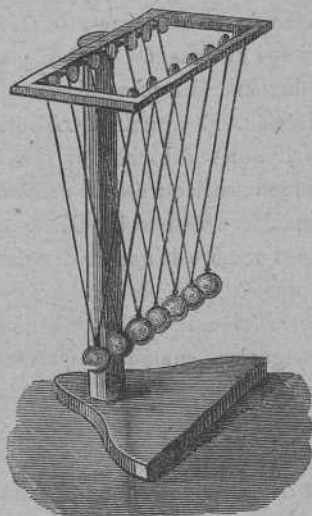


Fig. 55.

mera esfera de marfil, choca con la segunda y queda aquella quieta; esta segunda se elevaría por el lado opuesto á la misma altura si estuviese sola, mas no siendo así, comunica su velocidad á la tercera, ésta á la cuarta, y así sucesivamente hasta la última que, no teniendo á quien transmitir el impulso que recibe, se eleva á la altura de donde desciende la primera.

78. Choque oblicuo de los cuerpos elásticos.—La clase de choque que hasta aquí hemos estudiado recibe el nombre de *directo*, por verificarse según la línea que une los centros de gravedad de ambos cuerpos. Si las direcciones en que marchan los móviles forman entre sí un ángulo cualquiera, se llama el choque *oblicuo*.

Vamos á examinar un caso importante de esta clase de choque. Supongamos una esfera elástica O , lanzada en la dirección IO contra un obstáculo fijo CC' (fig. 56). La velocidad de dicho cuerpo, al encontrar el obstáculo, se descompone en las dos fuerzas OC y ON' ; la primera en dirección del plano tangente al obstáculo en el punto de contacto, y la segunda perpendicular

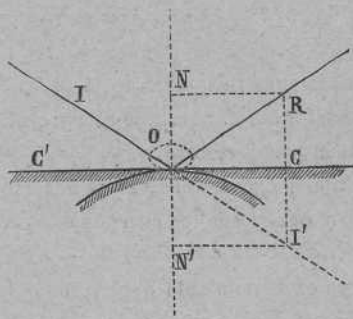


Fig. 56.

á ella en el mismo punto. Si el cuerpo no fuera elástico, la ON' quedaría destruida por la resistencia de dicho obstáculo, y la esfera tomaría la dirección OC , pero, efecto de su elasticidad, desenvuelve la esfera O una fuerza de reacción ó resorte ON , igual y contraria á la ON' . Combinadas las dos fuerzas OC y ON producen la resultante OR , determinada por la diagonal del paralelogramo NC , y el cuerpo chocante tomará aquella dirección. El ángulo ION que forma la dirección OI , en que camina el móvil antes del choque, con la normal ON levantada en el punto O de contacto, se llama *ángulo de incidencia*; y el ángulo NOR formado por dicha normal, con la dirección OR en que marcha el cuerpo después del choque, recibe el nombre de *ángulo de reflexión*. Resulta, sin más que fijarse en la figura, que *el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión*. En efecto, de ser ON' igual á ON , por lo dicho antes, los paralelogramos NC y CN' serán iguales, cualquiera que sea el valor de OC , y como consecuencia, los ángulos NOR y $N'OI'$ serán también iguales; pero el ángulo NOI es igual al $N'OI'$, por opuestos por el vértice, luego el NOR será igual al NOI .

Con el aparato representado en la figura 57 se puede demostrar la igualdad de los ángulos de incidencia y de reflexión. Consiste aquél en una plata-

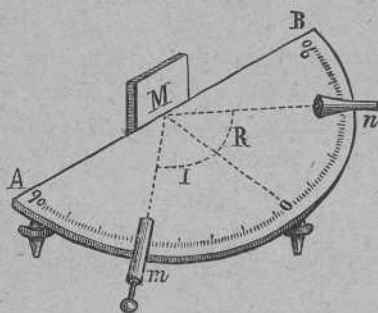


Fig. 57.

forma semicircular, que lleva en la mitad del diámetro AB una lámina de mármol M , perpendicular á dicha plataforma; dos alidadas m y n , que pueden fijarse en diferentes ángulos, terminan en unos tubos, provisto el primero de un muelle en hélice para disparar contra la lámina de mármol una esferilla de marfil, y el segundo de una oquedad para recibirla después del choque. Colocando ambas

alidadas en el mismo grado, á partir de la normal MO , y poniendo horizontal la plataforma, se consigue recoger en el tubo n , después del choque, la esfera lanzada por el resorte m .

En el juego de billar se ponen en práctica todas las leyes del choque directo y oblicuo de los cuerpos elásticos.

79. Efectos del choque.—Al tratar del trabajo que puede producir un cuerpo en movimiento obtuvimos la fórmula $T = \frac{1}{2}mv^2$ y, por lo tanto, en el choque de dos cuerpos ha de producirse el trabajo que indica la citada expresión. Este trabajo, que según vemos es proporcional á la masa de los cuerpos y al cuadrado de sus velocidades, ha de ser enorme y de efectos

desastrosos en el encuentro de dos barcos ó el choque de dos trenes; se comprende esto fácilmente considerando la gran masa y velocidad de tales artefactos, y no es extraño se rompan y deformen por bien construídos que estén. Aun tratándose de cuerpos de poca masa, pueden ser muy enérgicos los efectos del choque si aquellos marchan con gran velocidad, pues el trabajo $\frac{1}{2} m v^2$ será en este caso grande, aunque m sea muy pequeña. Esto explica por qué puede atravesarse una tabla con un perdigón, que tan poca masa tiene, cuando es lanzado por un arma de fuego.

El choque de los cuerpos ha recibido también numerosas aplicaciones en la industria para vencer con facilidad grandes resistencias. Son buen ejemplo de ello el uso constante de los pilones, martillos, hachas, picos y demás herramientas de mucho peso. Para vencer por medio de la presión las resistencias que con dichos instrumentos se logra dominar, habría necesidad de emplear fuerzas enormes, de que no siempre se puede disponer.

90. Comunicación del movimiento.— La comunicación del movimiento de un cuerpo á otro, que se verifica en el choque, tiene lugar comprimiéndose las moléculas que directamente reciben el impulso, y transmitiéndose éste de unas á otras, por la reacción que se origina en virtud de la elasticidad. Esta serie de compresiones y dilataciones se verifica con una rapidez extraordinaria, pero si el cuerpo que recibe el impulso tiene una masa algo considerable, puede demostrarse que no es instantánea dicha comunicación del movimiento. Para ello, se suspende de un montante, por medio de un hilo a , una esfera de plomo M , que pese algunos kilogramos (fig. 58), y en una anilla que tiene en su parte inferior se ata un trocito del hilo que sirvió para sostenerla.

Si en este estado se tira poco á poco del hilo b , siempre se rompe el de encima, porque, efectivamente, el hilo a sufre en éste caso la tracción que se ejerce en b más el peso de la esfera, y siendo ambos de igual resistencia, forzosamente debe romperse el de encima. Pero si se tira bruscamente del hilo inferior, se romperá siempre el b , porque no ha habido tiempo para que se propague la impulsión hasta el hilo a

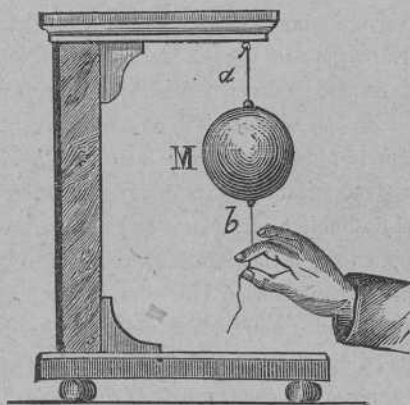


Fig. 58.

por el intermedio de las muchas moléculas que forman la masa M .

Muchos ejemplos pueden citarse en apoyo de lo que acabamos de indicar. Colocando una pila de monedas, y dando con una regla una fuerte sacudida hacia su base, se sacan las monedas tocadas directamente por la regla sin que se caigan las de encima. En las guerras ha sucedido llevarse una bala de cañón la parte superior del fusil de un soldado, sin apercibirse éste del hecho. Con una bala de sebo puede taladrarse una tabla, disparándola de cerca con un arma de fuego. Un cristal puede perforarse, sin romperlo, disparando sobre él un fusil cargado con bala. Con un disco de hierro animado de un rápido movimiento giratorio, puede cortarse una lima por bien templada que esté.

ARTÍCULO III.

GRAVEDAD.

§ 1.º—Modo de obrar la gravedad.

91. Leyes de la gravedad.—Es un hecho bien conocido por todos, que los cuerpos abandonados á sí mismos *caen* hasta encontrar un obstáculo que se oponga á su descenso. Esta atracción que ejerce la Tierra sobre todos los cuerpos, dijimos (24) que se llamaba *gravedad*.

Parece al pronto que algunos cuerpos, como el humo y el hidrógeno, no obedecen á la citada ley, pues se les ve elevarse en el aire cuando nada hay que se lo impida; más hay que tener en cuenta, que dichos cuerpos pesan menos que el aire, y ascienden en él por la misma razón que un corcho lo verifica cuando se le deja libre en el fondo de una vasija con agua, y, sin embargo, éste cuerpo fuera de dicho líquido cae, como todos, hasta tocar en la superficie de la tierra. Á su tiempo veremos la razón de tales fenómenos.

No tan sólo se verifica la citada atracción entre la Tierra y los cuerpos que la rodean, sino que á su vez la Tierra y todos los planetas de nuestro sistema solar son atraídos por el Sol, y sobre este astro irían á precipitarse, si no hubiera otra causa que se opone á ello. Á su vez el Sol, con todos los planetas que de él dependen, es atraído hacia un punto del cielo ocupado por la constelación Hércules. Newton, que conoció ésta admirable propiedad de todos los astros, formuló las leyes de la *atracción universal* de la materia, diciendo: *que todos los cuerpos se atraen en razón compuesta de su masa é inversa del cuadrado de la distancia*. Últimamente, el físico Cavendish ha probado experimentalmente, con su *balanza de torsión*, la generalidad de tan notable fenómeno, cuya causa se ignora en absoluto hasta el día.

92. Dirección de la gravedad.—La dirección que siguen los cuerpos al caer se llama *vertical*. Toda línea ó plano perpendicular á dicha vertical, recibe el nombre de *horizontal*. La vertical en un punto cualquiera de la Tierra se determina fácilmente por la *plomada*. Consiste ésta (fig. 59) en un cuerpo pesado sostenido por un hilo flexible; generalmente se da á dicho cuerpo la forma de un cilindro terminado por un cono, que suele hacerse de bronce. Este cuerpo, al ser atraído por la Tierra, hace tomar al hilo la dirección en que actúa la gravedad. Prolongada suficientemente la dirección de dicho hilo, pasaría por el centro de la Tierra, si este astro fuera homogéneo y tuviese una figura regular; mas no sucediendo esto exactamente, resulta en algunos puntos algo desviada dicha dirección respecto del radio terrestre. Esta desviación, sin embargo, es casi inapreciable, y sólo valiéndose de instrumentos de gran precisión ha podido comprobarse.

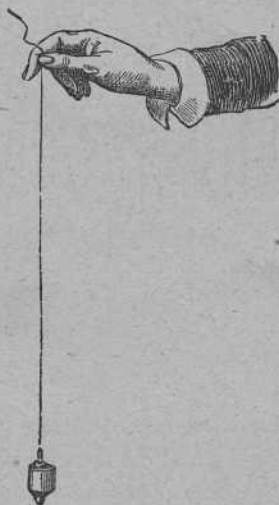


Fig. 59

Las verticales Z , Z' , Z'' , trazadas en diversos puntos de la Tierra, siguen la dirección de los respectivos radios terrestres, y, por lo tanto, el ángulo que entre sí forman, será tanto mayor, cuanto más disten unos de otros aquellos puntos (fig. 60). La vertical Z'' trazada en el Ecuador, forma, por lo tanto, un ángulo de 90° con las Z y Z''' levantadas en cualquiera de los polos de la Tierra; sin embargo, en la práctica pueden considerarse como paralelas las verticales trazadas en dos puntos inmediatos de la superficie terrestre, pues el ángulo que entre sí forman, dado el radio de nuestro planeta, es insignificante.

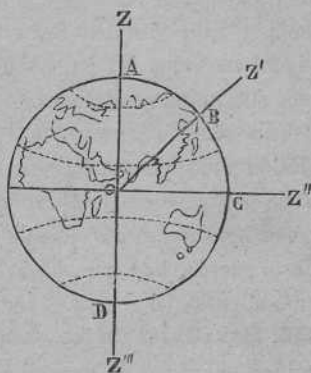


Fig. 60.

93. Peso de los cuerpos. Centro de gravedad.—

Siendo atraídos por la Tierra todos los cuerpos, cualquiera que sea su naturaleza y tamaño, podremos considerarlos formados de partecillas muy diminutas, que no por serlo dejarán de ser también atraídas por dicho as-

tro. Estas partículas (fig. 61), tienden á caer según las verticales respectivas, y, dada su escasa distancia, determinarán una serie de líneas paralelas,

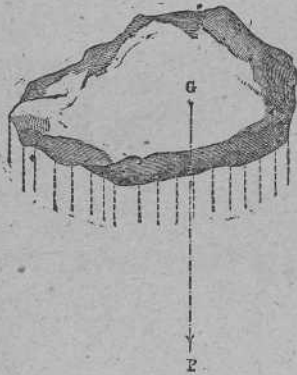


Fig. 61.

que pueden compararse á un sistema de fuerzas aplicadas al cuerpo en dicha dirección. Sabemos también que esta clase de sistemas producen una resultante GP igual á la suma de las componentes, y que ésta tiene un punto de aplicación G , llamado *centro de fuerzas paralelas*; pues bien, tratándose de la gravedad, dicha resultante se llama *peso del cuerpo*, y el punto G su *centro de gravedad*. Resulta, además, con arreglo á lo que dijimos al tratar del centro de fuerzas paralelas, que dicho centro de gravedad permanece invariable, cualquiera que sea la posición que el cuerpo ocupe.

La determinación de este punto es de la mayor importancia en Mecánica, y por el cálculo se llega á los resultados siguientes:

El centro de gravedad de una línea homogénea está en su punto medio.

En todo cuerpo regular se halla en su centro de figura.

El centro de gravedad de un triángulo está en el punto en que se cortan las líneas trazadas desde los vértices al medio de los lados opuestos.

En el tetraedro se halla situado en el punto de intersección de las líneas trazadas desde los vértices al centro de gravedad de las caras opuestas.

En todos estos casos se supone que el cuerpo es homogéneo, entendiéndose por homogeneidad física la que presentan los cuerpos cuya densidad es igual en todos los puntos de su masa. Dentro de poco veremos cómo puede determinarse el centro de gravedad de cualquier cuerpo, aunque no sea homogéneo.

Es de notar que muchas veces, efecto de la forma del cuerpo, dicho centro de gravedad no está representado por ninguna porción material del mismo. Así sucede, por ejemplo, en una anilla, una esfera hueca, etc.; cuando esto sucede, hay necesidad de considerar dicho punto unido invariablemente al resto del cuerpo.

94. Equilibrio de los cuerpos pesados.—Teniendo en cuenta lo que significa el centro de gravedad, comprenderemos que, para conseguir el equilibrio de un cuerpo, será indispensable aplicar á dicho punto una fuerza igual y contraria á su peso, y como éste obra siempre de arriba hacia abajo, en sentido de la vertical, aquella fuerza tendrá que dirigirse siempre en la

misma dirección, pero de abajo hacia arriba. En estas condiciones el cuerpo perderá su tendencia á caer y quedará, por tanto, en equilibrio. La aplicación de dicha fuerza se consigue, en general, ó suspendiendo el cuerpo por un punto, ó haciéndole descansar sobre un plano.

95. Equilibrio de un cuerpo suspendido.—Supongamos que se trata de un disco homogéneo, sostenido por medio de un eje (fig. 62). Por ser una

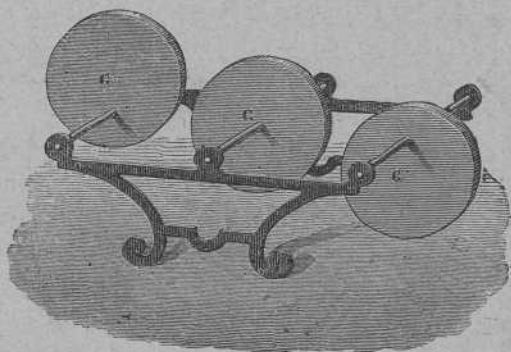


Fig. 62.

figura regular, el centro de gravedad de dicho disco estará en su centro geométrico G , y suponiendo que el eje de suspensión está más elevado, como representa la figura de la derecha, se hallará aquél en equilibrio, si la vertical que pasa por el punto de suspensión contiene á dicho centro de gravedad. En este caso sucede, además, que si se hace girar á un lado ú otro dicho disco, vuelve él por sí solo á ocupar la posición que antes tenía, por lo que este equilibrio se llama *estable*. Se comprende esto fácilmente, teniendo en cuenta que el centro de gravedad de un cuerpo tiende siempre á bajar, por ser el punto en que se halla condensado, por decirlo así, el peso de aquél. Resulta, por tanto, en este caso, que dicho centro de gravedad se halla lo más bajo posible, cuando está en la vertical que pasa por el eje, y en cualquier otra posición se eleva, tendiendo, por lo dicho antes, á recuperar su posición primitiva.

Consideremos ahora el disco de la izquierda. Si el punto de suspensión y el centro de gravedad G están en la misma vertical, también se hallará el cuerpo en equilibrio; pero, al contrario de lo que antes sucedía, á la menor sacudida que reciba á derecha ó izquierda, girará sobre el eje hasta colocarse en la posición que representa la derecha del grabado. Por esta razón ha recibido este equilibrio el nombre de *inestable*.

Supongamos, por último, que el punto de suspensión y el centro de

gravedad coincidan, como indica el disco central del grabado. En este caso, cualquiera que sea su posición, pasará por aquel punto la vertical trazada

en el eje, y el cuerpo no tendrá tendencia á moverse en ningún sentido; por esto se llama á este equilibrio *indiferente*.

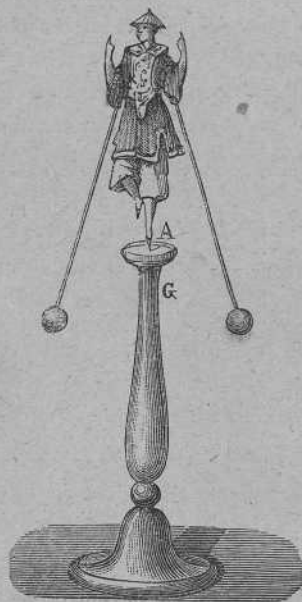


Fig. 63.

caiga dentro de la *base de sustentación* del cuerpo, llamando así el polígono que resulta de unir por medio de rectas los puntos en que aquél descansa. Puede este equilibrio, como antes, ser *estable, inestable ó indiferente*.

Suponiendo que un cono, hecho de una sustancia homogénea, descansa sobre una superficie horizontal, estará en equilibrio estable, si se apoya por su base; indiferente si se le coloca sobre una de sus generatrices y, por último, en equilibrio inestable si descansa sobre su vértice. En efecto, en el primer caso el centro de gravedad está lo más bajo posible, y á cualquier movimiento que reciba el cuerpo, se elevará algo aquel punto, tendiendo por sí solo á recuperar la posición anterior; cuando descansa sobre el vértice sucede lo contrario, y al moverse dicho cono, por poco que sea, baja el centro de gravedad para no volver á elevarse por sí solo. En el segundo caso, efecto de la forma del cuerpo, ni desciende ni se eleva dicho punto, aunque ruede el cono sobre el plano que lo sostiene, y es, por lo tanto, indiferente el equilibrio de aquél.

La posición del centro de gravedad es de la mayor importancia para asegurar la estabilidad de los cuerpos. En un coche, por ejemplo (fig. 64), que marche por un camino desigual, varía á cada momento el punto en que la

El juguete conocido con el nombre de equilibrista (fig. 63), está fundado en lo anteriormente expuesto. Consiste en una figura de marfil que descansa por uno de sus pies sobre una columnita, y de los brazos salen dos alambres terminados en esferas de plomo. Efecto del mucho peso de éstas, y de hallarse situadas debajo del punto de suspensión *A*, el centro de gravedad de la figura se encuentra en *G*, más bajo que el punto de suspensión de la misma y, por tanto, se halla aquélla en equilibrio estable.

96. Equilibrio de los cuerpos que descansan en un plano.—Para que se verifique el equilibrio en estas condiciones, es necesario que la vertical que pasa por el centro de gravedad caiga dentro de la *base de sustentación* del cuerpo, llamando así el polígono que resulta de unir por medio de rectas los puntos en que aquél descansa. Puede este equilibrio, como antes, ser *estable, inestable ó indiferente*.

Suponiendo que un cono, hecho de una sustancia homogénea, descansa sobre una superficie horizontal, estará en equilibrio estable, si se apoya por su base; indiferente si se le coloca sobre una de sus generatrices y, por último, en equilibrio inestable si descansa sobre su vértice. En efecto, en el primer caso el centro de gravedad está lo más bajo posible, y á cualquier movimiento que reciba el cuerpo, se elevará algo aquel punto, tendiendo por sí solo á recuperar la posición anterior; cuando descansa sobre el vértice sucede lo contrario, y al moverse dicho cono, por poco que sea, baja el centro de gravedad para no volver á elevarse por sí solo. En el segundo caso, efecto de la forma del cuerpo, ni desciende ni se eleva dicho punto, aunque ruede el cono sobre el plano que lo sostiene, y es, por lo tanto, indiferente el equilibrio de aquél.

La posición del centro de gravedad es de la mayor importancia para asegurar la estabilidad de los cuerpos. En un coche, por ejemplo (fig. 64), que marche por un camino desigual, varía á cada momento el punto en que la

vertical que pasa por su centro de gravedad G toca á la superficie del terreno. Mientras dicha vertical caiga entre ambas ruedas, el coche seguirá

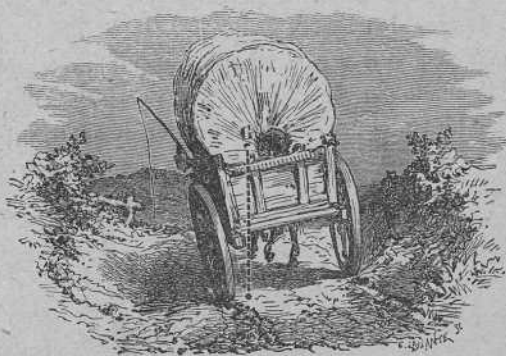


Fig. 64.

en equilibrio, pero si llegase á salir fuera de ellas, el vuelco sería inevitable. Resulta de esto, que para aumentar la estabilidad de los cuerpos, conviene bajar todo lo posible dicho centro de gravedad, colocando debajo los objetos más pesados, y encima los que pesan menos. El hombre, en su marcha, modifica instintivamente la posición de su cuerpo, para que la vertical que pasa por su centro de gravedad caiga siempre dentro de la base de sustentación. Por esto, al subir una cuesta nos inclinamos hacia adelante, y hacemos lo contrario al bajarla. Un obrero que transporta un fardo á la espalda dirige su cuerpo hacia adelante, y si lo lleva sostenido con una mano se inclina al lado opuesto.

Algunos monumentos existen cuyos muros se hallan fuera de la vertical y, no obstante, están en equilibrio. La *Torre Nueva* de Zaragoza y mucho más la de Pisa, se hallan en este caso, más el equilibrio es estable por reunir la condición antes indicada.

97. Determinación práctica del centro de gravedad. — Fundándose en las condiciones que determinan el equilibrio estable de los cuerpos, es fácil hallar experimentalmente su centro de gravedad. Para esto se suspende de una cuerda el cuerpo

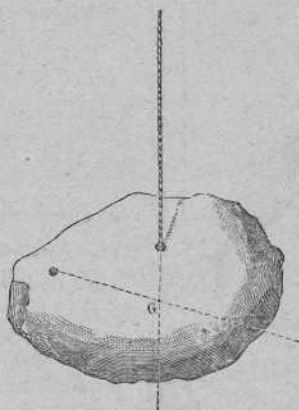


Fig. 65.

de que se trate (fig. 65), y se le deja libremente hasta que quede en equilibrio. Es evidente que prolongando la recta que representa la cuerda, pasará

por el centro de gravedad de dicho cuerpo. Si después se le vuelve á suspender por otro punto, y se prolonga igualmente la cuerda que le sostiene, esta nueva recta cortará á la anterior en un punto *G*, que ha de ser forzosamente el centro de gravedad buscado.

A veces es más fácil sostener al cuerpo en equilibrio apoyándole sobre el borde agudo de una tabla; colocándole en tres posiciones distintas, que no estén en el mismo plano, el punto de intersección de los tres planos verticales que pasan por el ángulo que haya servido de sostén, será el centro de gravedad pedido.

§ 2.º—Leyes de la caída de los cuerpos.

98. Descenso de los cuerpos.—Al caer los cuerpos por la acción de la gravedad, lo verifican con arreglo á las siguientes leyes:

1.ª *Todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío.* Esta ley parece al pronto que está en contradicción con los hechos que continuamente observamos, pues es bien sabido, que si desde una cierta altura se dejan caer varios cuerpos, tales como una pluma de ave, un trozo de madera, un pedazo de plomo, etc., llega al suelo más pronto el plomo que la pluma, y entre ambos el trozo de madera; mas esto es debido á la diferente resistencia que opone el aire á la marcha de dichos cuerpos con arreglo á su volumen; haciendo que la caída de aquéllos se verifique en un espacio *vacío*, ó privado de aire, veremos que se verifica la citada ley.

Para demostrarlo se usa un tubo de cristal de metro y medio de longitud (fig. 66), del que se puede extraer el aire por medio de un aparato, que más adelante daremos á conocer (197), llamado *máquina neumática*. Después de haber colocado dentro cuerpos de diferente peso y volumen, se hace el vacío y se invierte rápidamente dicho tubo, en cuyo caso se observa que todos ellos llegan á la parte inferior al mismo tiempo; si se abre un poco la llave, colocada en uno de los extremos del tubo, para dar entrada á una corta cantidad de aire, y se repite el experimento, se nota ya alguna diferencia en el tiempo que tardan aquéllos en caer, diferencia que se acentúa cada vez más á medida que se



Fig. 66.

deja entrar en el tubo mayor cantidad de aire. Resulta, pues, bien probado que todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío, y que las diferencias que se observan en el aire son debidas á la resistencia que este gas presenta á su descenso. Pruébese también esta ley, por el choque brusco que se observa al caer el agua contenida en un tubo, de donde se ha extraído el aire. Dicho tubo, llamado *martillo de agua*, produce un ruido especial al volverlo rápidamente, debido á que el agua contenida en su interior no se divide en gotas, como sucede en el aire, sino que cae formando una masa compacta.

2.^a *Los espacios recorridos por un cuerpo al caer en el vacío, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.* Al pronto pudiera creerse que para comprobar esta ley, bastaría medir sobre un muro elevado los espacios que un móvil recorre en 1, 2, 3..... segundos, y ver si guardaban la relación antes indicada; mas hay que tener en cuenta que la velocidad de un cuerpo, á los pocos segundos de su descenso, es tan grande, que no puede precisarse el sitio que ocupa en un momento dado. Ha sido, pues, necesario, para resolver esta cuestión, recurrir á algunos aparatos que atenúen la velocidad de los cuerpos al caer, pero sin alterar la ley de su movimiento.

Galileo se valió para esto de un plano muy poco inclinado, para poder observar en cada momento la posición de una esferilla que dejaba libre en su parte más elevada. Efectivamente; por este medio se puede disminuir cuanto se quiera la velocidad del móvil, sin cambiar por ello la ley de su descenso; basta para comprenderlo recordar la descomposición que sufre el peso de un cuerpo colocado sobre esta máquina. Hoy, sin embargo, se usa con ventaja el siguiente aparato.

99. Máquina de Atwood.—El autor de este aparato, catedrático de la Universidad de Cambridge, se propuso igual objeto que Galileo, pero siguiendo un camino completamente distinto. Supongamos una polea fija de poco peso y muy bien equilibrada, por cuya cajera pase un cordón muy fino, y colguemos en las extremidades de éste dos pesos P P exactamente iguales. En virtud de la ley de equilibrio de esta máquina, dichos pesos quedarán inmóviles á cualquier altura que se les abandone; mas si añadimos á uno de ellos un pequeño peso p , el equilibrio no podrá entonces subsistir, y empezará el descenso en favor del nuevo peso $P + p$, pero debido únicamente á la acción que la gravedad ejerce sobre el peso adicional p . Ahora bien, esta acción, no sólo mueve á dicho peso adicional, sino que obliga á verificarlo á los otros dos, y tiene, por tanto, que producir en su conjunto una velocidad que estará en razón inversa de su masa (65); luego llamando v y v' las velocidades de las masas p y $2P + p$, tendremos la ecuación $\frac{v}{v'} = \frac{2P + p}{p}$; de

donde se deduce que $v' = v \frac{P}{2P+p}$. Dando pues, á P un peso bastante mayor que el de p , se podrá disminuir cuanto se quiera la velocidad de la caída, y como la acción de la gravedad queda disminuida en una relación constante, representada por la anterior fracción, no se alterará aquella fuerza en su manera de obrar.

Conocido el fundamento de la máquina de Atwood, pasemos á su des-

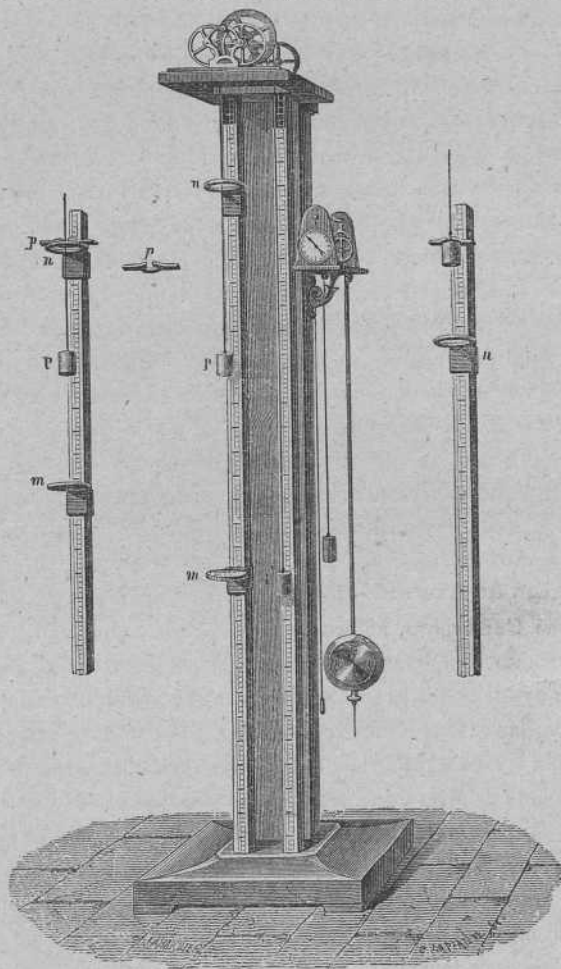


Fig. 67.

cripción. En el extremo superior de una columna de madera de unos dos metros de altura (fig. 67), se encuentra una polea de poco peso y bien nive-

lada, que puede girar con la mayor facilidad; para disminuir su rozamiento, el eje de la misma descansa por cada extremidad en las llantas cruzadas de otras dos poleas muy movibles. Por la caja de aquella polea pasa un cordón muy fino, de cuyos extremos cuelgan dos pesos iguales $P P'$; la marcha de éstos puede estudiarse fácilmente, por medio de unas reglas divididas en centímetros colocadas á su lado; además, lleva el aparato un péndulo de segundos para medir exactamente el tiempo que dura el descanso.

Para comprobar la ley de los espacios, se procede del siguiente modo. Sobre el peso P se coloca un pesito adicional, cuya masa sea unas treinta veces menor, y se pone en marcha el péndulo; se eleva dicho peso P á la altura del cero de la escala, y se le deja libre al marcar el péndulo cero segundos. Esto se obtiene en algunas máquinas automáticamente por medio de una excéntrica b (fig. 68), que lleva la rueda de escape R del péndulo; una palanca $a b$, cuyo punto de apoyo está en C , sostiene la lámina I , en que descansa dicho peso, á la altura del cero de la escala. Al marcar el péndulo cero segundos, gira hacia la izquierda la parte inferior de dicha palanca, y cae la lámina I , dejando libre el peso P . Por medio de un platillo m (fig. 67), que puede colocarse á diferentes alturas, se busca, por tanteos, el punto de la escala á donde llega el peso al fin del primer segundo de su descenso. Para esto, se escucha atentamente el escape del reloj y el choque del peso sobre dicho platillo, y se sube ó baja éste lo que sea necesario hasta que coincidan ambos sonidos. Poniendo el peso adicional que antes dijimos, el espacio recorrido en el primer segundo será de unos ocho centímetros, y, suponiendo que así suceda, averiguaremos por un procedimiento igual los espacios que el cuerpo recorre en 2, 3, 4..... segundos, con lo que obtendremos los siguientes resultados:



Fig. 68.

Espacio recorrido en un	segundo	8 centímetros.	. . .	= 1.8
»	»	dos	»	32
»	»	tres	»	72
»	»	cuatro	»	128
»	»	cinco	»	200
			 = 2 ² .8
			 = 3 ² .8
			 = 4 ² .8
			 = 5 ² .8

cuyos números *crecen como los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos*, que es la ley que se trataba de demostrar.

Si se quieren determinar los espacios recorridos parcialmente por el cuerpo

en cada unidad de tiempo, bastará restar de cada uno de los anteriores espacios el número que representa el espacio anterior. Hecho así, se obtienen los siguientes números:

Espacio recorrido en el primer segundo.	8 cents. = 1.8
» » segundo » 32 — 8 = 24 » = 3.8	
» » tercer » 72 — 32 = 40 » = 5.8	
» » cuarto » 128 — 72 = 56 » = 7.8	
» » quinto » 200 — 128 = 72 » = 9.8	

cuyo resultado nos dice que dichos *espacios parciales crecen como los números impares.*

3.^a *La velocidad adquirida por un cuerpo, al caer en el vacío, es proporcional al tiempo que dura su descenso.* Para comprobar esta ley con la máquina de Atwood se usa, además del platillo *m* (fig. 67), otro *n* en forma de anillo, y al pesito adicional se le da una forma alargada *p*. Colocado encima el platillo anular, permite pasar por su interior el peso *P*, mas detiene al pesito alargado al llegar á él, y desde entonces marchan los pesos *P* y *P'* con movimiento uniforme, debido únicamente á la inercia.

Supuesto esto, y recordando á qué se llama *velocidad* en el movimiento variado (60), se procede del modo siguiente: Se coloca primero el platillo anular á la distancia necesaria, para que tarde un segundo de tiempo el peso *P + p* en llegar á él, y luego se fija debajo el otro platillo, de manera que tarde el peso *P* en alcanzarle otro segundo; la velocidad adquirida al final del primer segundo será la distancia de uno á otro platillo. Para los segundos 2, 3, 4..... etc., se procede de un modo análogo, y suponiendo que el peso *P + p* recorra en el primer segundo ocho centímetros, como anteriormente, obtendremos los siguientes resultados:

Velocidad al final del primer segundo.	16 centímetros = 1. 16
» » segundo » 32 » = 2. 16	
» » tercer » 48 » = 3. 16	
» » cuarto » 64 » = 4. 16	

luego las velocidades crecen proporcionalmente á los tiempos.

Estas dos últimas leyes nos demuestran, que al caer los cuerpos en el vacío, siguen la marcha que corresponde á un móvil que camina con movimiento uniformemente acelerado (60), y que la causa de su movimiento, ó sea la gravedad, ha de ser, por lo tanto, una fuerza constante. Si representamos por *g* la aceleración que la gravedad imprime á un cuerpo en un segundo, aquellas fórmulas se convertirán en las siguientes

$$v = g t; e = \frac{1}{2} g t^2$$

con las que se resuelven todos los problemas relativos á la caída de los

cuerpos, conociendo el valor de g ; dentro de poco veremos (108) cómo se determina esta cantidad, que en Madrid vale aproximadamente 9,8 metros.

100. Velocidad debida á una altura.—De la primera de las anteriores fórmulas se deduce $t = \frac{v}{g}$, y sustituyendo este valor en la otra, re-

sulta $e = \frac{1}{2} g \frac{v^2}{g^2} = \frac{v^2}{2g}$ de donde se obtiene, por fin,

$$v = \sqrt{2 eg},$$

fórmula necesaria para hallar la velocidad que adquiere un cuerpo que cae de una altura e , y para resolver otros problemas que tendremos ocasión de exponer.

101. Cuerpos lanzados en sentido contrario de la gravedad.—

Puesto que la gravedad es una fuerza constante, que obra verticalmente de arriba hacia abajo, si lanzamos un cuerpo en sentido contrario, por un impulso instantáneo, se dará lugar al movimiento uniformemente retardado; así que dicho cuerpo irá recorriendo espacios que disminuirán proporcionalmente á los cuadrados de los tiempos, hasta que anulada su velocidad inicial, comience su descenso con movimiento uniformemente acelerado. Es de advertir que la velocidad del móvil, prescindiendo de la resistencia del aire, será la misma en cada punto, tanto al subir como al caer, según vimos tenía lugar en el movimiento uniformemente retardado (61); esta ley suele expresarse diciendo que: *todo cuerpo al caer de cierta altura, llega al suelo con una velocidad capaz de elevarle al mismo punto.*

Representando en aquellas fórmulas por g la acción de la fuerza continua, resultan las siguientes.

$$v = w - gt \text{ y } e = w - \frac{1}{2} gt^2;$$

con las que se pueden resolver fácilmente todos los problemas relativos á este asunto.

Si la fuerza instantánea, aplicada al cuerpo de que se trata, no sigue la dirección de la vertical, sino que forma con ella un cierto ángulo, se dará origen, prescindiendo de la resistencia del aire, y por lo dicho anteriormente (70), al movimiento parabólico. En las clases se demuestra este principio por medio del aparato representado en la figura 69. Sobre una tabla vertical se halla trazada una rama de parábola, y desde su vértice A arranca una canal de madera AB , por la que se deja caer una esferita de marfil. Con esta disposición, al llegar la esfera al punto A , se encuentra impulsada horizontalmente, á la vez que empieza á actuar sobre ella la gravedad, y efecto de estas dos

fuerzas, describe al caer una rama de parábola. Los proyectiles, los surtidores de agua, las piedras y demás cuerpos lanzados oblicuamente respecto al

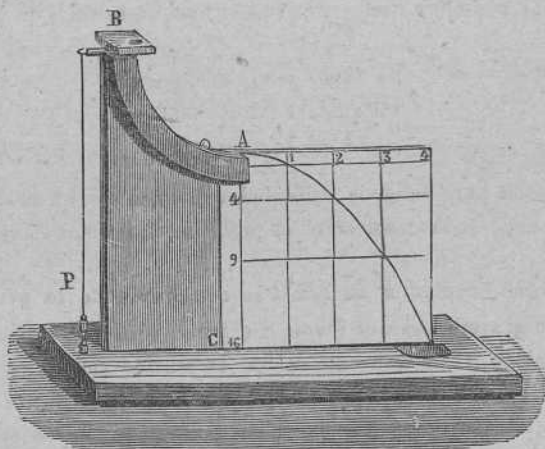


Fig. 69.

plano horizontal, describen, haciendo abstracción del aire, otras tantas ramas de parábola.

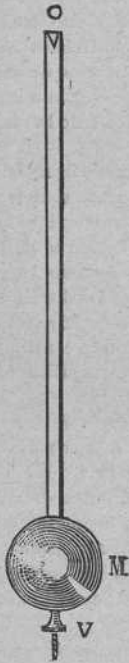
§ 3.º — Péndulo.

102 Movimiento oscilatorio.—Si se suspende un cuerpo pesadó á la extremidad de un hilo flexible, y se le abandona á sí mismo, sabemos que no podrá existir el equilibrio mientras el hilo no esté vertical. Si por medio de un impulso dado al cuerpo, se le separa de dicha posición, vuelve por sí solo á recuperarla después de cierto número de idas y venidas; este movimiento se llama *oscilatorio*, y el cuerpo que lo produce *péndulo*.

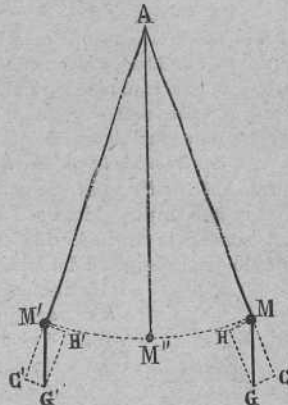
103. Péndulo simple.—Las leyes del movimiento oscilatorio son de la mayor importancia, y para deducirlas han supuesto los mecánicos que el péndulo está formado por una molécula pesada M'' (fig. 71), suspendida al extremo de un hilo inextensible y sin peso, fijo en el punto A . Este conjunto ha recibido el nombre de *péndulo simple*, y desde luego se comprende que es irrealizable en la práctica.

Por contraste se llaman *péndulos compuestos* los que no reúnen estas condiciones; generalmente están formados por una varilla metálica $O V$ (fig. 70), de cuyo extremo inferior se halla suspendida una masa muy

pesada M de forma lenticular, llamada *lenteja*, que puede descender ó elevarse por medio del tornillo V ; la extremidad superior de la varilla está provista de un cuchillo de acero, por el que descansa sobre un plano de ágata, y de este modo puede girar con gran facilidad alrededor de su arista.



Supongamos ahora que el péndulo representado en la figura 71 está en la posición vertical $A M''$. El peso de la molécula M'' , obrará en este caso en dirección opuesta de la recta $A M''$, y quedará destruido por la resistencia del hilo. Si trasladamos dicha molécula al punto M , su peso obrará verticalmente, según la recta $M G$, y en este caso podremos descomponer dicha fuerza en otras dos, $M C$ y $M H$, de una intensidad tal, que la $M G$ sea la diagonal del paralelogramo formado por ellas. La $M C$, por actuar en sentido contrario del hilo $A M$, queda destruida por la resistencia de éste, y la molécula M será solicitada únicamente por la componente



$M H$, la cual tendrá tanta mayor intensidad cuanto más apartado de la vertical se halle el punto M ; dicha fuerza le obligará á moverse hacia el centro M'' , en cuyo punto quedará destruida; mas en virtud de la inercia, la molécula seguirá marchando hacia el punto M' , y sólo al llegar á una altura igual á la que ocupa el punto M , de donde partió, quedará anulada la velocidad adquirida. Una vez que dicha molécula ocupe el punto M' se encuentra en iguales condiciones que cuando estaba en M , y se repetirá su traslación de M' hacia M , adquiriendo igual velocidad en cada uno de los puntos por que va pasando. Este movimiento de vaivén duraría indefinidamente, si no lo impidiera la resistencia del aire y el rozamiento con el punto de suspensión; efecto de estas causas, va el cuerpo perdiendo poco á poco su velocidad, hasta que por fin queda inmóvil.

En este movimiento se llama *oscilación* al paso del cuerpo desde M á M' , ó viceversa, y *amplitud de la oscilación* el valor del ángulo $M' A M$.

104. Leyes del movimiento oscilatorio.—Las oscilaciones de un péndulo se hallan sometidas á las siguientes leyes:

1.^a *La duración de las oscilaciones es independiente de la sustancia de que esté hecho el péndulo.* Para comprobar esta ley, se construyen péndulos con esferas del mismo diámetro y de diferente sustancia, tales como el marfil, corcho, hierro, etc., y se suspenden al extremo de hilos muy delgados y de igual longitud; haciéndolos oscilar, se observa que todos emplean el mismo tiempo en efectuar cierto número de oscilaciones, lo que prueba la ley citada. No quiere esto decir que todos conserven la misma amplitud durante el tiempo que permanezcan en movimiento, pues efecto de la resistencia del aire, los más ligeros se paran antes que los más pesados.

2.^a *El tiempo que emplea un péndulo en cada oscilación, es independiente de la amplitud de ésta, con tal que no exceda de 5 á 6°.* Para probarlo se cuenta el tiempo que tarda un péndulo en verificar, por ejemplo, cien oscilaciones cuando su amplitud sea de 5 á 6°; luego se detiene algo su marcha, para que decrezca la amplitud de aquéllas, y se cuenta nuevamente el tiempo empleado en el mismo número de oscilaciones, resultando exactamente igual al anterior; se detiene otra vez el péndulo, para disminuir aun más su amplitud, y se cuenta nuevamente la duración de dicho número de oscilaciones, obteniendo el mismo resultado que en los otros casos. Así se puede continuar hasta que apenas sean visibles las oscilaciones, y siempre se observará que aquéllas son péndulos ó de igual duración.

3.^a *La duración de las oscilaciones de un péndulo, está en razón directa de la raíz cuadrada de su longitud.* Se comprueba esta ley suspendiendo del extremo de un hilo muy fino, cuya longitud se toma por unidad, una bala de plomo, y haciéndola oscilar se cuenta la duración de cien oscilaciones. Luego se repite la misma operación haciendo que la longitud del hilo, contada hasta el centro de la bala, esté representada por los números 4, 9, 16....., y al oscilar los péndulos así formados, se observará que la duración del mismo número de oscilaciones está en razón de los números 1, 2, 3, 4....., ó sea de la raíz cuadrada de aquéllas longitudes.

4.^a *El tiempo que emplea un péndulo en verificar sus oscilaciones, está en razón inversa de la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad.* Para demostrar esta ley se usa un artificio análogo al de la máquina de Atwood. En los extremos de una regla de madera del menor peso posible (fig. 72), se colocan dos masas de plomo iguales *A* y *B*, y en el punto medio *O* de dicha regla se fija un cuchillo de acero; si se hace descansar el filo de éste sobre un plano de ágata, y adicionamos á la masa *B* un pequeño peso *p*, tendremos un péndulo de una longitud *OB*, en el que la acción de la gravedad se ejercerá tan sólo sobre dicho peso adicional. En efecto, siendo iguales las dos masas *A* y *B*, y moviéndose en sentido contrario al oscilar el aparato, estará destruido el efecto que la gravedad ejerce sobre aquéllas, quedando únicamente como motor el peso *p*. Pero éste peso, como sucedía en el aparato de Atwood, tiene que poner en movimiento la masa *A + B + p*, luego la acción de la gravedad quedará disminuida en la relación $\frac{p}{A + B + p}$; vemos, por tanto, que variando el peso *p* puede disminuirse la acción de la gravedad en lo que convenga. Esto supuesto, dando á cada una de las masas *A* y *B* el peso de un kg., y al peso *p* los valores $\frac{2}{3}$ kg., $\frac{2}{8}$ kg., $\frac{2}{15}$ kg., la acción de la gravedad quedará reducida á

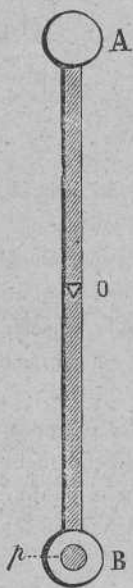


Fig. 72.

de su valor, según la fórmula antes expresada. Ahora

bien: llamando 1 el tiempo que emplea en oscilar un péndulo cuya longitud sea OB , los tiempos correspondientes á los anteriores péndulos, resultan 2, 3 y 4, que están en razón inversa de las raíces cuadradas de los anteriores quebrados, luego la ley de que nos ocupamos es cierta.

Aplicando el cálculo matemático al estudio del péndulo simple, han deducido los mecánicos la siguiente fórmula:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1),$$

en la cual t representa el tiempo de una oscilación, contado en segundos, l la longitud del péndulo, y g la intensidad de la gravedad, expresando el valor de estas dos últimas cantidades en metros.

105. Longitud del péndulo compuesto.—En el péndulo simple, que hasta aquí hemos considerado, queda determinada su longitud por la distancia que existe entre el punto de suspensión A y el centro de la molécula M (fig. 71), mas tratándose de un péndulo compuesto, su longitud varía con arreglo á la distribución de la materia que lo constituye. En efecto, podemos considerar un péndulo compuesto como si estuviera formado por infinidad de péndulos simples de longitud creciente, constituidos por cada una de sus moléculas. Es evidente, que si estas moléculas estuvieran libres, las inmediatas al punto de suspensión oscilarían con más rapidez que lo verifican unidas á las demás, y, al contrario, las que están situadas al final de dicho péndulo, oscilarían con más lentitud si no estuvieran aceleradas por las de encima. Entre las primeras y estas últimas, habrá forzosamente una molécula cuyo movimiento no estará modificado ni por unas ni por otras, y oscilará como si estuviese libre; el punto ocupado por dicha molécula se llama *centro de oscilación*, y la longitud del péndulo á que corresponde se hallará midiendo la distancia que existe entre dicho centro y el punto de suspensión. Esta distancia sería también la longitud de un péndulo simple que oscilase *isócronamente* con aquél.

La determinación de la longitud de un péndulo compuesto es de gran importancia en Mecánica y puede conseguirse por varios procedimientos. El más sencillo, por más que no sea del todo exacto, consiste en suspender una bala de plomo al extremo de un hilo delgado y flexible, y darle una longitud tal, que sus oscilaciones sean isócronas con las del péndulo compuesto de que se trata; conseguido esto, se mide la distancia entre el punto de suspensión y el centro de dicha bala, y ésta será la longitud del péndulo compuesto.

Otro procedimiento exacto para hallar la longitud de un péndulo compuesto, se funda en la propiedad, descubierta por Huyghens, de que *el punto de suspensión y el centro de oscilación son recíprocos*; es decir, que si se invierte un péndulo compuesto, y se le suspende por el centro de oscilación, resultan isócronas las oscilaciones en ambos casos. Esto supuesto, bastará invertir el péndulo, cuya longitud se quiere deter-

minar, y por tanteo buscar un punto que reúna las condiciones expresadas; en este caso se hallará suspendido por su centro de oscilación, y la distancia que separe á éste del primitivo punto de suspensión será su longitud. Katter ha inventado un péndulo reversible con el que se practica esta operación fácilmente.

En todas las cuestiones referentes á este asunto, debe tomarse siempre por longitud del péndulo compuesto, la obtenida por alguno de dichos procedimientos.

106. Péndulo de segundos.—Puesto que las oscilaciones de un péndulo son tanto más lentas cuanto mayor es su longitud, podrá siempre construirse un péndulo que invierta en cada oscilación un segundo de tiempo; á este péndulo se le llama *péndulo de segundos*, y su longitud resulta variable según el lugar de la Tierra que se considere.

En el Ecuador es igual á	0, ^m	991033
En Madrid	» » »	0, ^m 993396
En París	» » »	0, ^m 993936
En los Polos	» » »	0, ^m 996671

Estas diferencias nos indican que la gravedad es diferente en los distintos puntos de la Tierra, puesto que esta fuerza es la que solicita al péndulo en su movimiento; veamos á qué puede atribuirse esto.

107. Causas que hacen variar la intensidad de la gravedad.—Desde luego podemos observar, que el achatamiento que presenta la Tierra hacia los polos, ha de influir en la intensidad con que la gravedad manifiesta sus efectos en los diferentes puntos de un meridiano. Efectivamente; dada la forma de nuestro planeta, distan 21 kilómetros más de su centro los puntos del Ecuador que los situados en las inmediaciones de sus polos, y como la gravedad se ejerce en razón inversa del cuadrado de las distancias (91), se han de sentir tanto más sus efectos, cuanto más nos acerquemos á dichos polos.

Otra causa que también modifica la intensidad de la gravedad, y tiende á disminuir sus efectos, es la fuerza centrífuga que desarrolla la Tierra en su movimiento giratorio. Sabemos (72) que al girar un cuerpo, su fuerza centrífuga tiene lugar en sentido contrario á la perpendicular trazada desde el punto que se considere al eje de giro, de donde resulta que en el Ecuador es aquella fuerza de dirección contraria á la gravedad; por esta razón, y por crecer la fuerza centrífuga como el cuadrado de la velocidad, ha de debilitarse más la atracción terrestre en dicha zona que en los demás puntos de la Tierra.

Calculado el valor de la fuerza centrífuga en el Ecuador, ha resultado igual $\frac{1}{289}$ de g , y como $289 = 17^2$ se deduce que, si la Tierra diera diez y siete vueltas en un día, la fuerza centrífuga desarrollada por los puntos del

Ecuador sería 17² veces mayor que actualmente, ó sea igual á la gravedad; los cuerpos situados en dicha línea dejarían entonces de ser atraídos por el centro de la Tierra, y carecerían por lo tanto de peso.

108. Aplicaciones del péndulo.—Muchas é importantes son las aplicaciones de este aparato, siendo una de las más frecuentes para regular la marcha de los relojes, en virtud del isocronismo de sus oscilaciones. En estos aparatos el muelle ó peso que pone en movimiento sus diferentes ruedas, las haría marchar con movimiento acelerado, pero por medio de una pieza llamada *áncora*, movida por un péndulo, sólo pasa un diente de la rueda de escape en cada oscilación, y la marcha de las agujas del reloj es uniforme, indicando así la medida del tiempo.

También ha sido aplicado el péndulo por M. Foucault á la demostración del movimiento diurno de la Tierra. Supongamos un péndulo de gran longitud y mucha masa, colocado en uno de los polos de la Tierra; haciendo oscilar dicho aparato, sus oscilaciones tenderán á verificarse siempre en el mismo plano, en virtud de la ley de inercia; más como la Tierra da una vuelta sobre su eje en 24 horas, parecerá que el plano en que se mueve el péndulo gira en sentido contrario con igual velocidad, demostrando así de un modo concluyente el movimiento diurno de nuestro planeta. Situado este aparato en el Ecuador, y haciéndole oscilar en el meridiano, no se observará el giro antes indicado, porque allí se suceden paralelamente los planos en que se mueve el péndulo, pero en los demás puntos de la Tierra se verificará dicho giro, con tanta mayor rapidez, cuanto más inmediato se halle á los polos el punto que se considere.

Por último, el aparato de que nos ocupamos suministra el medio más exacto para la determinación de la intensidad de la gravedad.

En efecto, de la fórmula del péndulo $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ se deduce $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$; de modo que, substituyendo en esta igualdad en vez de l la longitud que tenga el péndulo de segundos en el sitio de que se trate, y haciendo t igual á un segundo, se obtendrá fácilmente el valor de g . Haciendo este cálculo para Madrid tendremos:

$$g = \frac{3,14159^2 \times 0,993396}{1^2} = 9^m,8045, \text{ número que conviene recordar por}$$

su frecuente uso en Física.

En el Ecuador g es igual á $9^m,7810$
y en los Polos..... $9^m,8318$

§ 4.º—Peso de los cuerpos.

109. Peso absoluto y relativo de los cuerpos.—Ya hemos dicho (93) que la atracción que ejerce la Tierra sobre los cuerpos se llama *peso* de los

mismos. Como dicha atracción se verifica sobre cada una de las moléculas de un cuerpo, es evidente que su peso será proporcional á la masa que aquél tenga, y ya vimos (63) que dicha masa tenía por expresión $m = \frac{p}{g}$, de donde se deduce $p = mg$, ó sea que el peso de un cuerpo es igual al producto de su masa por la aceleración terrestre.

El valor absoluto de dicha atracción terrestre se llama *peso absoluto* del cuerpo á que se refiere, y bien se comprende que ha de variar de un punto á otro de la Tierra, por depender su valor del que tenga en aquel sitio dicha aceleración. Para evitar esta falta de precisión, se ha elegido un sitio determinado de la Tierra para fijar la unidad de peso, y en el *sistema métrico-decimal* se ha adoptado como tal, *el peso absoluto en el vacío de un centímetro cúbico de agua destilada á 4° en París*. Á este peso absoluto se le ha llamado *gramo*.

Si comparamos ahora el peso absoluto de un cuerpo con el gramo, obtendremos un número que será su *peso relativo*; así, al decir que un cuerpo pesa 30 gramos, se da á entender que, determinado en París su peso absoluto, resulta treinta veces mayor que el del gramo. Los pesos absolutos pueden determinarse con los dinamómetros; un mismo cuerpo, suspendido en uno de estos aparatos, daría diferentes indicaciones según el sitio de la Tierra en que se determinase. No sucede así con los pesos relativos, los cuales resultan siempre iguales en todos los puntos de la Tierra. Para determinarlos se usan unos aparatos llamados *balanzas*, cuyas variedades más importantes vamos á describir.

110. Teoría y descripción de la balanza.—La balanza es una palanca de primer género y de brazos iguales. Según la ley mecánica de esta máquina (39), para que exista el equilibrio en ella, será necesario aplicar en sus extremos dos fuerzas iguales y en la misma dirección; luego si colgamos en uno de dichos extremos el cuerpo que queremos pesar, y en el otro suficiente número de pesas, hasta conseguir el equilibrio, éstas pesas representarán el peso del cuerpo.

La palanca en cuestión, llamada *cruz* de la balanza, se hace generalmente en forma de rombo muy prolongado (fig. 73), y en su punto medio lleva un cuchillo de acero bien templado *O*, por cuya arista descansa en un plano de acero ó de



Fig. 73.

ágata. En los extremos *A* y *B* está provista también de otros cuchillos análogos con la arista hacia arriba, sobre los que descansan, por inter-

medio de unos ganchos (fig. 74), los platillos en que han de colocarse las pesas y el cuerpo que se quiere pesar. En el centro de la cruz lleva inplantada una aguja llamada fiel (fig. 75), que indica sobre un arco graduado si está ó no conseguido el equilibrio.

Para que una balanza aprecie exactamente el peso de un cuerpo, debe reunir las siguientes condiciones:

Las aristas de los

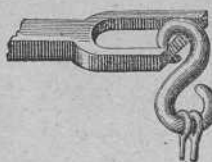


Fig. 74.

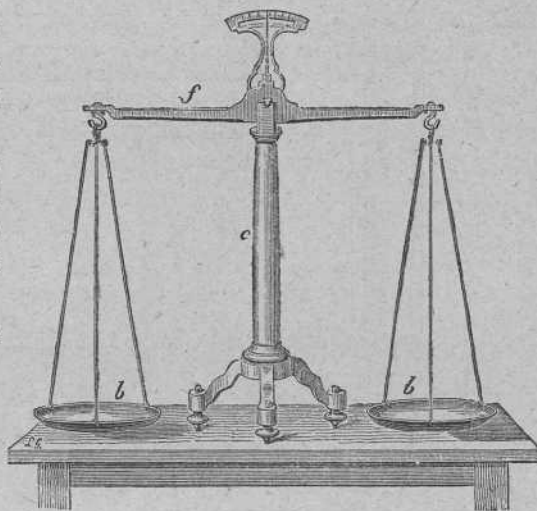


Fig. 75.

tres cuchillos *A*, *O* y *B* (fig. 73) deben ser paralelas y hallarse en el mismo plano.

El centro de gravedad *G* de la cruz, ha de estar debajo de la arista del cuchillo *O*, y muy inmediato á él; de este modo el equilibrio será estable (95), y la balanza muy sensible. Si dicho centro de gravedad coincidiera con el punto de suspensión, el aparato se hallaría en equilibrio indiferente, y si estuviese sobre aquél, sería inestable el equilibrio; en este caso se dice, que está *loca* la balanza. En las balanzas de precisión (fig. 76) se puede subir ó bajar, entre ciertos límites, su centro de gravedad, para lo cual tienen una pequeña masa, en forma de tuerca, colocada sobre el punto de suspensión, consiguiéndose por los movimientos de aquella *afinar* la balanza cuanto es posible.

Otra condición indispensable de una buena balanza es la igualdad de ambos brazos. Como es materialmente imposible conseguir que sus longitudes sean absolutamente iguales, los constructores disponen el punto de suspensión de los platillos, de modo que sean movibles, y de esta manera puede conseguirse por tanteos su igualdad. Para ver si una balanza de estas condiciones tiene iguales sus brazos, se pesa un cuerpo con toda exactitud, y se cambia luego de platillo el cuerpo y las pesas empleadas; si subsiste entonces el

equilibrio, los brazos tendrán igual longitud; si no sucede esto, se acorta muy poco á poco el brazo que haya caído, y se repite la operación como antes.

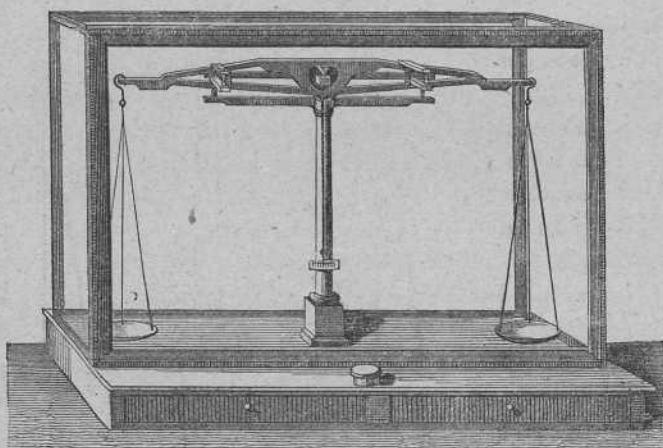


Fig. 76.

Los platillos de una balanza deben ser también de igual peso, y para ver si así sucede basta cambiarlos, y observar si queda el aparato en equilibrio. En las balanzas de precisión nunca se suspenden los platillos con cordones, cuyo peso se altera fácilmente con el polvo y humedad del aire; para este objeto se usan generalmente alambres de platino, que no se oxidan por los agentes atmosféricos.

La cruz de la balanza debe ser también inflexible y de poco peso, siendo la forma más á propósito la de rombo prolongado, vaciado en diferentes puntos de su centro.

Todo el aparato debe estar encerrado en una caja de cristales, abriendo únicamente las ventanillas de delante cuando se haya de pesar algún cuerpo. En el interior de dicha caja debe ponerse un vasito con cloruro de calcio, que tiene la propiedad de absorber la humedad del aire; de este modo es más difícil que se oxide alguna parte de la balanza.

Cuando no se usa este aparato, no deben descansar los cuchillos del punto de apoyo y platillos sobre sus respectivos soportes, pues llegarían con el tiempo á perder el filo, y la balanza su sensibilidad. Para esto llevan las balanzas una especie de T, que se mueve por medio de un botón colocado en el frente inferior de la caja, y al subir aquélla levanta la cruz y los platillos, quedando al aire las aristas de dichos cuchillos.

En las balanzas de precisión tiene el fiel una longitud casi igual á la altura del aparato, y se halla colocado hacia abajo; su extremo inferior recorre un arco graduado en partes iguales á contar del cero, situado en la vertical que pasa por el punto de suspensión de las balanzas; cuando las oscilaciones del fiel recorren igual número de divisiones, á un lado y otro del cero, se da por terminada la pesada del cuerpo.

Por último, estos aparatos llevan siempre niveles ó una pequeña plomada, para que la plataforma que les sirve de base quede horizontal.

111. Método de las dobles pesadas.—Á Borda se debe un procedimiento muy ingenioso, para obtener el peso exacto de un cuerpo, con una balanza cuyos brazos no sean completamente iguales. Para ello, se coloca en un platillo el cuerpo, y se equilibra echando en el otro granalla de plomo, perdigones, arena fina ó cualquiera otra sustancia análoga; luego, se retira el cuerpo, y se reemplaza por las pesas que sean necesarias para conseguir nuevamente el equilibrio, y es evidente, que las pesas empleadas representan el peso del cuerpo, cualquiera que sea la longitud de los brazos de la balanza, puesto que el cuerpo y las pesas empleadas han actuado con el mismo brazo de palanca.

Este método tiene el inconveniente de exigir dos pesadas, pero puede abreviarse del siguiente modo. En uno de los platillos se coloca una cápsula de porcelana ó platino, y á su lado un cierto número de pesas, veinte gramos por ejemplo. En el otro platillo se pone un botecito de hoja de lata ó latón, en el que se va echando arena hasta conseguir el equilibrio, quedando dispuesta de este modo la balanza para pesar cualquier cuerpo *que no llegue á 20 gramos*. Bastará, en efecto, ponerle en la cápsula antes mencionada, después de retirar los 20 gramos, y añadir en el mismo platillo las pesas necesarias para restablecer el equilibrio. Supongamos que se hayan necesitado 15 gramos; pues es evidente que el cuerpo pesará la diferencia entre los 20 gramos que exigió antes el aparato para su equilibrio, y los 15 gramos que han bastado ahora; es decir, 5 gramos. Este es el método que se usa para comprobar las pesas con que apreciamos el peso de los cuerpos.

112. Balanza de M. Roberval.—Este aparato, muy usado en el comercio, se compone de dos palancas metálicas

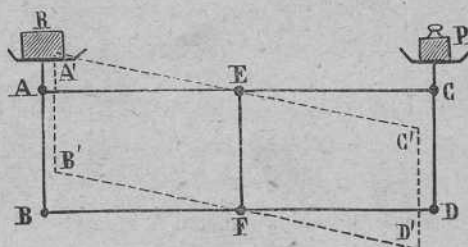


Fig. 77.

cas *AC* y *BD* (fig. 77) de primer género y de brazos iguales, las que pue-

den girar alrededor de sus puntos de suspensión *E* y *F*; los extremos de dichas palancas se hallan articulados á dos varillas verticales *A B* y *C D*, en los que descansan por su parte superior los platillos *P* y *R*. Al oscilar aquellas palancas, las varillas *A B* y *C D* permanecen siempre verticales, y los platillos subsisten en la posición horizontal; todas estas palancas y varillas van alojadas interiormente en una caja de la forma que representa la figura 78.

La balanza de Roberval es de un uso muy cómodo, por ser movibles los platillos y no necesitar cordones que los sostengan; pero no es susceptible

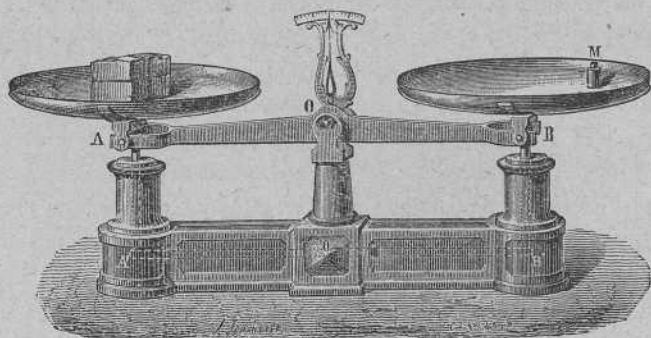


Fig. 78.

de gran precisión por el rozamiento que originan sus muchas articulaciones. M. Beranger la ha modificado convenientemente, evitando en parte dicho defecto.

113. Romana.—La romana es también otro aparato destinado á determinar el peso relativo de los cuerpos, y esencialmente consiste (fig. 79), en una palanca de primer género de brazos desiguales. El punto de apoyo *A* se halla muy cerca del punto de aplicación de la resistencia, y está sostenido por unas chapas metálicas *A C*, llamadas *armas* de la romana. Á lo largo del otro brazo *A B* de la palanca, puede correr un pilón *M*, que representa la potencia, y, por último, sobre el punto de apoyo lleva esta palanca una aguja ó *fiel* *C*, para indicar si está conseguido el equilibrio. Para que éste exista tiene que verificarse la condi-

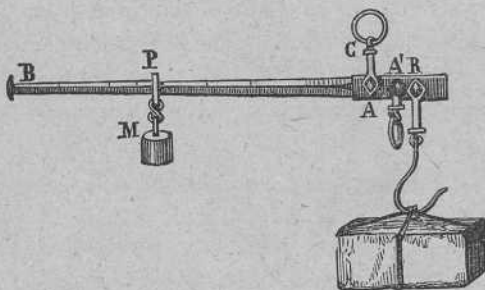


Fig. 79.

ción para que éste exista tiene que verificarse la condi-

ción (39) $P \times AP = R \times AR$; mas como el peso del pilón, ó sea P , puede determinarse de una vez para siempre, el brazo AR es siempre el mismo y AP se puede medir en cada caso, podrá fácilmente hallarse el valor correspondiente de la resistencia. Este pequeño cálculo está hecho previamente por el constructor, y sobre la barra AB se hallan grabados los resultados respectivos, de modo que basta correr el pilón hasta conseguir el equilibrio y leer la indicación correspondiente.

Con objeto de no hacer excesivamente larga la barra AB , y poder apreciar el peso de grandes masas, suele colocarse un segundo punto de apoyo A' , más inmediato al de aplicación de la resistencia. Para usarla de este modo, llamado *por lo mayor*, se invierte la romana, y en el otro lado de la barra AB se encuentran grabados los resultados respectivos. La romana es un aparato muy cómodo y útil, pero no es susceptible de gran precisión.

114. Báscula de Quintenz.—Este aparato (fig. 80), usado general-

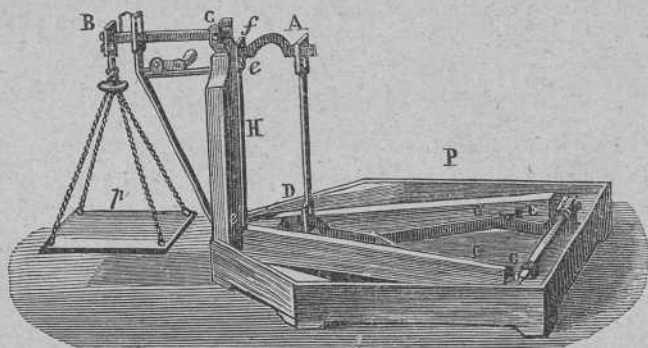


Fig. 80.

mente en el comercio para averiguar el peso de grandes fardos, se compone de dos palancas articuladas: una de primer género, ACB , tiene el punto de apoyo en C , y otra de segundo, DFE , oculta en el interior de la caja, tiene su punto de apoyo en E . Estas dos palancas se hallan enlazadas por medio de una varilla vertical AD (fig. 81),

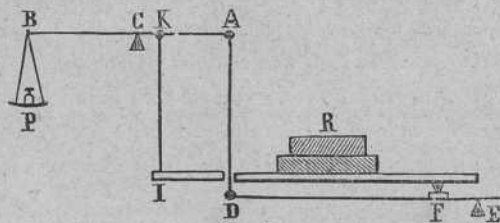


Fig. 81.

se articula á la palanca AB , por intermedio de la varilla IK . Por último,

articulada en sus dos extremos, y además por el tablero donde se colocan los objetos R que se quieren pesar; éste descansa por uno de sus extremos en el cuchillo F , y por el otro I

el extremo *B* de la palanca superior sostiene un platillo *P*, en el que se ponen las pesas que han de equilibrar á la masa *R*.

Disponiendo las distancias entre los puntos de aplicación de la potencia, resistencia y puntos de apoyo convenientemente, podrá equilibrarse un cuerpo colocado en *R* con una fracción del mismo tan pequeña como se necesite. Si se quiere construir una báscula con la condición de que un gramo colocado en el platillo *P*, equilibre á diez situados en la plataforma, habrían de satisfacer las palancas á las siguientes condiciones:

$$\frac{EF}{ED} = \frac{CK}{CA} ; \frac{C'K}{CB} = \frac{1}{10}.$$

115. Densidad y peso específico de los cuerpos.—Se llama *densidad absoluta* de un cuerpo la cantidad de materia que contiene bajo la unidad de volumen; de modo que representando por Δ dicha densidad, y por *M* la masa contenida en el volumen *V*, tendremos la igualdad

$$\Delta = \frac{M}{V}.$$

No es posible determinar la densidad absoluta de los cuerpos, por no ser conocida la masa de los mismos; pero recordando (109) que ésta es proporcional al peso de aquéllos, podremos sustituir en la última igualdad en vez de la masa *M*, el peso *P* del cuerpo á que se refiera; llamando *densidad relativa* el resultado de esta sustitución, y representándole por *D*, tendremos la igualdad

$$D = \frac{P}{V},$$

cuyos valores serán evidentemente proporcionales á las densidades absolutas de los mismos cuerpos. Si, además, tomamos como unidad, ó tipo de comparación, la densidad relativa del *agua destilada á la temperatura de 4 grados*, los números que se obtengan para expresar dichas densidades relativas, reciben el nombre de *pesos específicos* de los cuerpos. En el lenguaje usual suelen usarse indistintamente las palabras *densidad relativa* y *peso específico*, y aun muchas veces sólo se dice *densidad* de un cuerpo para expresar su peso específico, mas bien se comprende cuán distintos son los significados de estas palabras, por más que la cuestión de que se trate, determinará fácilmente el sentido en que deben tomarse.

Llamando *D* y *D'* las densidades relativas de dos cuerpos, *P* y *P'* sus pesos bajo el mismo volumen *V*, y aplicando á los mismos la última fórmula,

tendremos $D = \frac{P}{V}$ y $D' = \frac{P'}{V}$. Dividiendo miembro á miembro estas igualdades, resulta $\frac{D}{D'} = \frac{P}{P'}$, y suponiendo que D' se refiere al agua, que sabemos se toma por unidad, tendremos por fin la ecuación

$$D = \frac{P}{P'};$$

la que nos dice, que *el peso específico de un cuerpo se obtiene dividiendo su peso, por el de otro volumen igual de agua destilada á 4°*. Dentro de poco estudiaremos los métodos ideados para determinar tan importantes números.

Deduciendo los valores de P y V de la igualdad $D = \frac{P}{V}$, tendremos

$$P = V \times D \text{ y } V = \frac{P}{D},$$

ecuaciones de gran uso en la resolución de los problemas de esta asignatura.

Como aplicación de las mismas resolveremos los siguientes problemas:

¿Cuál será el peso específico del mercurio, sabiendo que 500 centímetros cúbicos de este líquido pesan 6.800 gramos? Solución: $D = \frac{6800}{500} = 13,6$.

¿Cuánto pesará un trozo de hierro cuyo volumen es 250 centímetros cúbicos, sabiendo que el peso específico de este metal es 7,8? Solución: $P = 250 \times 7,8 = 1950$ gramos.

¿Cuál será el volumen de 1 kilogramo de mercurio? Solución: $V = \frac{1000}{13,6} = 73$ centímetros cúbicos.

CAPÍTULO IV.

Mecánica de líquidos.

ARTÍCULO PRIMERO.

HIDROSTÁTICA.

§ 1.º — Presiones que ejercen los líquidos.

116. Caracteres especiales de los líquidos.—Recibe el nombre de *Hidrostatica* la parte de la Mecánica en que se estudia el equilibrio de los líquidos y las presiones que estos fluidos originan.

Ya vimos (7), que las moléculas de estos cuerpos presentan entre sí una atracción insignificante, y no afectan por esto forma propia, acomodándose,

bajo la influencia de la gravedad, á la que tienen las vasijas en que se les aloja. La movilidad de sus moléculas es, por igual motivo, muy grande, bastando el menor esfuerzo para hacerlas cambiar de posición. También dijimos (18), que se habían considerado mucho tiempo los líquidos como incompresibles, y sólo ejerciendo en ellos grandes presiones, por medio de aparatos especiales, se ha logrado probar que todos pueden reducirse de volumen y que son perfectamente elásticos.

117. Transmisión de las presiones ejercidas en los líquidos.—

Para estudiar esta importante cuestión, supongamos un vaso *A* (fig. 82), pro-

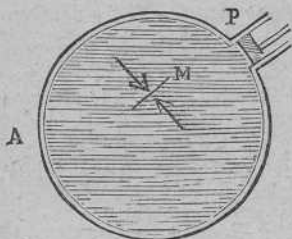


Fig. 82.

visto en una de sus paredes de un tubo en el que se aloje exactamente el pistón *P*. Si aplicamos á este pistón un esfuerzo cualquiera, obligándole á penetrar en el vaso, las moléculas en contacto con aquél sufrirán los efectos de dicha presión, y tenderán á disminuir sus respectivas distancias; pero, efecto de su gran movilidad y fuerza elástica, reaccionarán entre sí con una energía igual y contraria á la que recibieron, y

transmitirán esta presión á las que tienen á su alrededor. Estas á su vez harán lo mismo con las moléculas inmediatas, y resultará que en todos los puntos de la masa líquida se habrá hecho sentir la presión ejercida en el émbolo.

Resulta de esto que, si suponemos dentro del vaso una lámina *M*, su superficie sufrirá presiones iguales y contrarias por ambas caras, y esta igualdad subsistirá aunque traslademos dicha lámina de un punto á otro de la masa líquida.

La dirección de dichas presiones es, además, normal á la superficie que se

considere. En efecto: si suponemos una presión *DO* (fig. 83) oblicua á la superficie *BA* del vaso en que está contenido el líquido, podremos descomponer dicha fuerza en otras dos *NO* y *OA*; la primera normal á la pared del vaso y la segunda en la dirección de dicha pared. La *NO* quedará destruida por la resistencia de dicho vaso, pero la segunda haría que las moléculas líquidas resbalasen á lo largo de

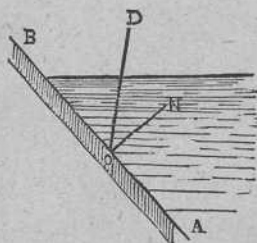


Fig. 83.

dicha pared alterando el equilibrio del líquido, lo que es contrario al supuesto.

Generalmente se demuestra esta última proposición valiéndose de un

vaso esférico *V* (fig. 84) terminado por un cilindro, en el que se aloja exactamente un pistón *P*; la superficie del vaso tiene, además, una porción de orificios situados en el círculo máximo que pasa por eje del cilindro. Llenando este recipiente de un líquido y oprimiendo el pistón, se ve salir dicho fluido en dirección normal á la superficie que se considere.

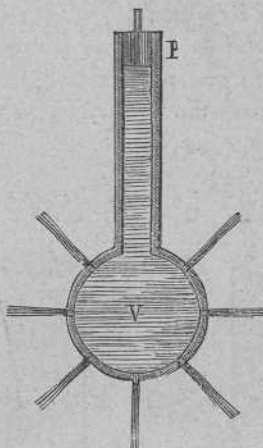


Fig. 84.

118. Principio de Pascal, ó de igualdad de presión.—El célebre geómetra Blas Pascal

enunció el siguiente principio, que sirve de fundamento á toda la Hidrostática: *La presión ejercida en un punto de una masa líquida se transmite en todos sentidos con igual intensidad.* Supongamos un vaso de una forma cualquiera (fig. 85), lleno de un líquido y en cuyas paredes se hayan practicado dos orificios circulares del mismo diámetro.

Imaginemos dos pistones *P* y *P'* que cierren herméticamente estos orificios, y que puedan introducirse en el vaso sin rozamiento alguno, y supongamos, por último, que el líquido esté sustraído á la acción de la gravedad. Si ejercemos sobre el pistón *P* un esfuerzo hacia el interior del vaso equivalente á un kilogramo, para evitar que salga hacia el exterior el otro pistón *P'*, y conseguir que el líquido se mantenga en equilibrio, tendremos que ejercer sobre él, y en sentido contrario, otra presión equivalente á otro kilogramo. Si suponemos, además, un tercer orificio cuya superficie sea doble, cerrado por su correspondiente pistón *P''*, la presión necesaria para conseguir su inmovilidad habrá de ser equivalente á dos kilogramos, puesto que en realidad equivale á dos pistones iguales á cada uno de los anteriores, y, en general, si suponemos la superficie del orificio *n* veces mayor que la del pistón *P*, el esfuerzo necesario para mantener el equilibrio del líquido será *n* kilogramos.

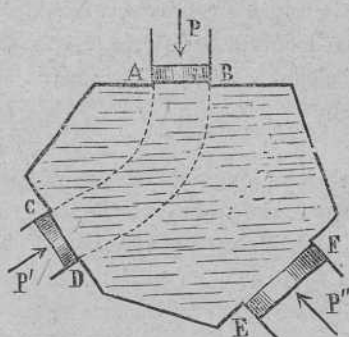


Fig. 85.

Este principio, comprobado en todos los fenómenos de la Hidrostática, no puede demostrarse experimentalmente por el gran rozamiento que forzosamente ha de existir entre los pistones y las paredes del tubo en que se

Este principio, comprobado en todos los fenómenos de la Hidrostática, no puede demostrarse experimentalmente por el gran rozamiento que forzosamente ha de existir entre los pistones y las paredes del tubo en que se

mueven; además, suponemos á los líquidos sustraídos á la acción de la gravedad, y esta condición no puede realizarse en la práctica.

Resulta del principio anterior que, aplicado un esfuerzo relativamente pequeño en un pistón de poca superficie, podrá vencerse con su impulso una gran resistencia, con tal que se halle colocada la fuerza que se quiere vencer en un pistón de gran diámetro. Supongamos, en efecto, dos vasos cilindricos (fig. 86) que contengan un líquido hasta cierta altura, y unidos en

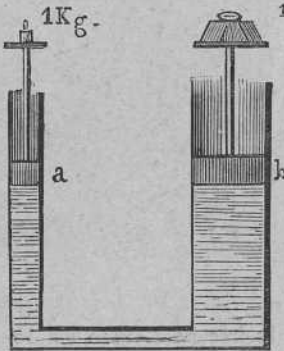


Fig. 86.

su base por un tubo horizontal. Si suponemos ajustados en su interior dos pistones *a* y *b*, y admitimos que la superficie de uno de ellos sea 16 veces mayor que la del otro, para equilibrar un peso de un kilogramo situado sobre el pistón pequeño, tendríamos que colocar sobre el mayor un peso de 16 kilogramos; podremos, por lo tanto, considerar este conjunto como una verdadera máquina, con la que se puede favorecer una fuerza cuanto sea necesario. Pero aun resulta

más palpable esta comparación, si obligamos al pistón pequeño á descender una longitud cualquiera *l*; en este caso el líquido desalojado por este movimiento acudirá necesariamente al otro vaso, y puesto que su superficie es

16 veces mayor, sólo se elevará $\frac{l}{16}$, haciendo que el pistón correspondiente

suba esta longitud. Resulta verificado en este caso, como en todas las máquinas, el célebre principio de las velocidades virtuales (39).

119. Prensa hidráulica.— Fundándose en el anterior principio se ha construído un aparato de gran aplicación, llamado *prensa hidráulica* (figura 87), la cual consiste en dos vasos de diferente diámetro, *C* y *C'*, provistos de sus correspondientes pistones, y unidos entre sí por un tubo resistente *T*. El pistón de mayor diámetro *P* lleva en su parte superior una plataforma *A*, sobre la que se colocan los cuerpos que se quieren comprimir, y el pistón pequeño *R* está articulado á una palanca *OL*, para recibir por su intermedio un movimiento vertical alternativo. Si suponemos llenos de agua los vasos *C* y *C'*, y hacemos funcionar el pistón *R*, el líquido de este vaso será repelido hacia el otro, y obligará á elevarse al pistón *P*. La relación entre la fuerza aplicada en *R* y la recibida en *A*, será la misma que exista entre las superficies de ambos pistones; de manera que si suponemos las áreas de éstos en la relación de uno á ciento, el esfuerzo de un hombre apli-

cado en *R*, resultará cien veces mayor en *A*; si se tiene, además, en cuenta que la palanca *OL* también favorece la potencia, resultará en su conjunto muy enérgica la presión transmitida.

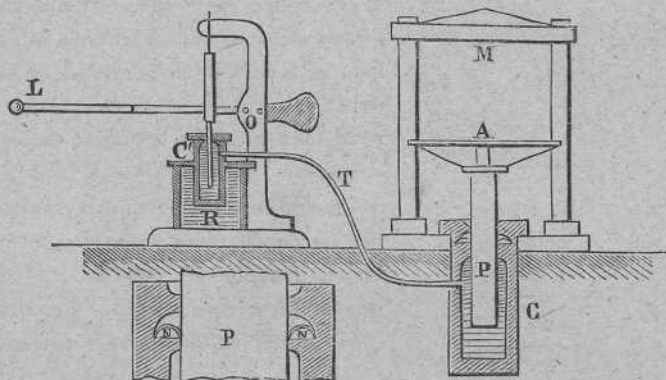


Fig. 87.

La prensa hidráulica, imaginada por Pascal, no podría servir, en el caso de grandes presiones, sin una modificación ideada por el ingeniero inglés Bramah. Consiste ésta en rodear el pistón *P* de un anillo de cuero *NN*, doblado en forma de media caña, representado en mayor escala en la parte inferior de la figura; efecto de esta disposición, sus bordes ajustan tanto más al émbolo y cavidad en que se aloja, cuanto mayor es la presión del agua, evitando así la salida del líquido, que de otro modo sería imposible conseguir.

120. Equilibrio de un líquido sometido únicamente á la acción de la gravedad.—La superficie de un líquido que sólo se halla solicitada por la acción de la gravedad, es horizontal. Supongamos por un momento que dicha superficie pudiera presentar

la forma que indica la figura 88. Una molécula *M*, situada en dicha superficie, se hallaría solicitada por la acción de la gravedad en el sentido que indica la flecha *M*. *G*; pero esta fuerza puede descomponerse en otros dos; una *MN* normal á la superficie

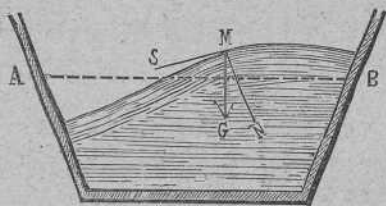


Fig. 88.

del líquido, que sería destruida por la resistencia de éste, y otra *MS* en dirección de dicha superficie. Esta última no queda destruida por ninguna otra acción, y bajo su influjo resbalaría dicha molécula hasta situarse en la parte más baja de la superficie líquida, originando un hueco que sería inme-

diatamente ocupado por otra molécula ; ésta se hallaría en igual caso que la anterior, siguiendo á la primera en su movimiento, y así sucesivamente sucedería con las demás, hasta que la superficie del líquido fuese horizontal.

Llegado este caso, cualquier molécula colocada en la superficie tendería á penetrar, bajo el influjo de la gravedad, en la masa del líquido, produciendo únicamente en las moléculas inferiores la presión consiguiente á su peso.

Puede comprobarse que la superficie libre de los líquidos es horizontal, disponiendo una plomada *OB* (fig. 89) de modo que se introduzca parte de ella en un líquido ; observando la imagen del hilo *OA*, reflejada en la superficie de aquél, se notará que siempre aparece en la prolongación de dicho hilo, cualquiera que sea el lado de donde se mire, y esto, según veremos en la *Optica*, sólo puede suceder siendo perpendicular el hilo de la plomada á la superficie del líquido.

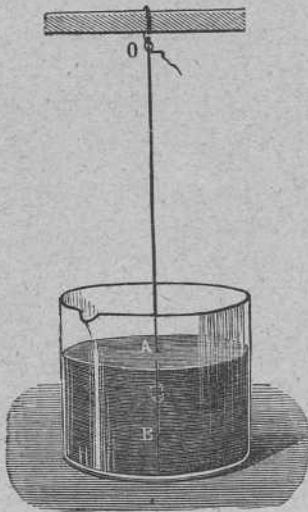


Fig. 89.

En virtud de esto, la extensa superficie de los mares debe presentar una forma curvilínea (fig. 90), y puesto que en todos sus puntos ha de ser perpendicular su superficie á la vertical del sitio en que se haga la experiencia

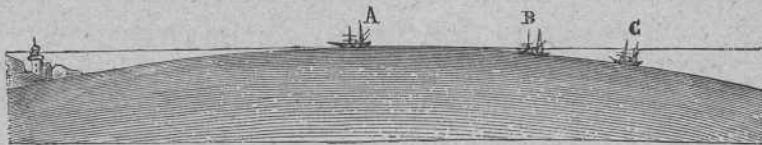


Fig. 90.

su conjunto estará limitado por una superficie esférica, cuyo centro se halle en el de la Tierra.

121. Presiones que sufren las moléculas en el interior de un líquido.—Si suponemos un líquido en equilibrio, sobre el que sólo actúe la acción de la gravedad, y le consideramos dividido en zonas paralelas á su superficie, resultará que las moléculas de la zona segunda sufrirán el peso de las que componen la primera; las de la tercera zona estarán, á su vez, comprimidas por las de la primera y segunda, y así sucesivamente, hasta

considerar las moléculas situadas en el fondo del vaso, que sufrirán la presión correspondiente al peso de todas las de encima. De aquí resultan las siguientes consecuencias:

- 1.^a Todas las moléculas de una zona horizontal sufren la misma presión.
- 2.^a La presión correspondiente á cada zona es proporcional á su profundidad y á la densidad del líquido.

Se pueden demostrar estas proposiciones por medio de un tubo ACB (figura 91) en forma de S , que contenga en CB un líquido cualquiera; éste se colocará en ambas ramas á la misma altura (126), mas si le introducimos dentro de un líquido, como indica el grabado, la presión de las moléculas situadas en A se transmite por el interior del tubo, y obliga al líquido contenido en él á elevarse hasta una cierta altura B . Trasladando después dicho tubo á cualquier punto de la misma zona, se observa que el nivel B permanece fijo, indicando que la presión en toda ella es la misma, pero si se le introduce á más profundidad, de manera que su extremo A ocupe la zona D , inmediatamente sube el líquido en B , proporcionalmente á la distancia que separa ambas zonas. Por último, sumergiendo el tubo á la misma profundidad en líquidos distintos, las alturas del nivel B guardan entre sí la misma relación que sus densidades.

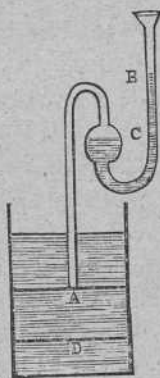


Fig. 91.

122. Presión ejercida por los líquidos en los vasos que los contienen.

Supongamos que se trata de un vaso de cualquier forma (fig. 92), en el que se aloja un líquido hasta la línea de nivel MN , y tratemos de averiguar la presión que se ejerce en su fondo AB , supuesto que éste sea plano y horizontal. Una molécula m , colocada en dicho fondo, estará oprimida por el peso de las que se hallan en la vertical mm' . La m' , á su vez, sufrirá la misma presión que la molécula n , por estar situada en la misma zona horizontal; pero ésta se halla comprimida por el peso de todas las que están en la vertical nn' , luego la molécula m soportará el peso de las moléculas contenidas en las verticales mm' y nn' . Siguiendo este razonamiento, vendremos á deducir que la molécula en cuestión sufre el peso de las que se hallan situadas en las verticales mm' , nn' y ss' ó, lo que es lo mismo, el peso de una fila de moléculas, cuya altura fuese igual á la que

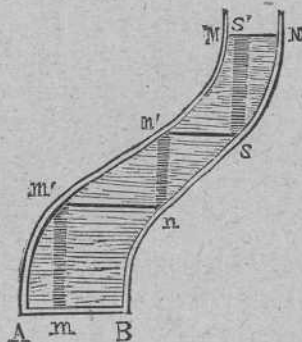


Fig. 92.

lo que es lo mismo, el peso de una fila de moléculas, cuya altura fuese igual á la que

media entre el fondo del vaso y la superficie del líquido. Como esta consideración se puede extender á todas las moléculas del fondo del vaso, resultará evidente que éste sufre una presión equivalente al peso de un volumen líquido, que tenga por base el área de dicho fondo, y por altura su distancia al nivel del líquido. Designando por s dicha área, por a su distancia al nivel del líquido, y por d la densidad de éste, la presión p , de que nos ocupamos, tendrá por expresión,

$$p = s. a. d.$$

123. Paradoja hidrostática.—Según acabamos de ver, la presión que un líquido ejerce en el fondo del vaso que le contiene, sólo depende del área de dicho fondo γ de su distancia al nivel del líquido; de aquí resulta que cualquiera que sea la forma del vaso, con tal que no varien aquellos factores, la presión en el fondo será la misma. Se demuestra esta proposición por medio del aparato de Haldat (fig. 93), que consiste en un tubo $B M C$, dos veces encorvado, en cuyo interior se echa mercurio hasta la altura $h h'$. En uno de sus extremos K lleva una tuerca, en la que pueden atornillarse los

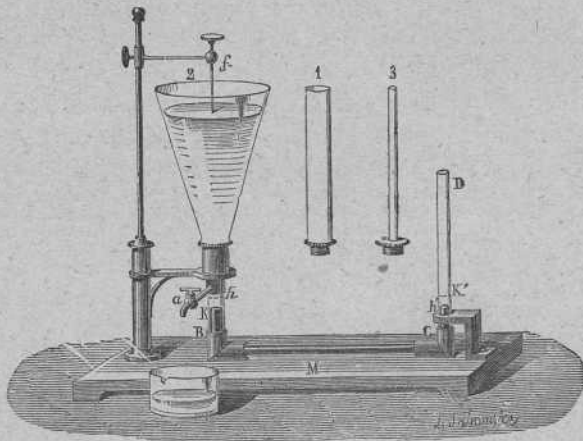


Fig. 93.

vasos 1, 2 y 3, de capacidad muy distinta, pero de la misma base. Si suponemos atornillado el vaso 2, como indica la figura, y echamos en él un líquido cualquiera hasta la extremidad del estilete movable f , el peso de éste obligará al mercurio á elevarse en la rama $K' D$ hasta cierta altura; anotando ésta, y poniendo en vez del vaso 2 cualquiera de los otros, se observa que, al llegar el líquido empleado á la extremidad del estilete f , el mercurio sube en la otra rama á la misma altura, lo que prueba que la presión del líquido sobre el fondo, es la misma en todos los vasos.

Pudiera creerse por esto que, colocado cada uno de los vasos 1, 2, 3 sobre el platillo de una balanza, y echando en ellos un líquido hasta la misma altura, sería necesario poner en el otro platillo igual número de pesas para equilibrarlos; mas no sucede así en modo alguno, y este hecho, al parecer contradictorio con el anterior, ha recibido el nombre de *paradoja hidrostática*. Resulta, en efecto, que nada tiene que ver la presión que un líquido ejerce en el fondo del vaso que lo contiene, con la presión total que éste comunica al soporte en que se apoya. Para convencerse de esta verdad, consideremos tres vasos análogos á los del aparato de Haldat (fig. 94), del mismo

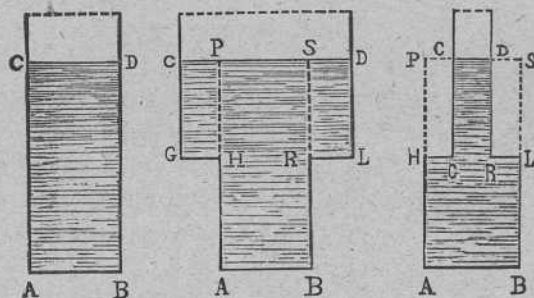


Fig. 94.

fondo *A B*, y en los que el líquido llegue á la misma altura *C D*. La presión que el líquido ejerce sobre el fondo, es en todos ellos la misma, é igual al peso de un volumen líquido, cuya base sea *A B* y que tenga por altura *A C*; pero si consideramos la presión total que resultaría sobre el obstáculo en que descansan los tres vasos, sólo el primero, por ser cilíndrico, produciría la misma presión, contando, por supuesto, el peso del vaso. En el segundo puede observarse que, además de las presiones del fondo, existen las correspondientes al líquido que descansa en *G H* y *R L*, cuyas presiones son transmitidas por el vaso al platillo en que está sostenido. Respecto del último, se echa de ver que la presión sobre el fondo, está disminuida en las presiones ascendentes aplicadas á las paredes *H G* y *R L*, las que tienden, por lo tanto, á disminuir la presión total. Resulta que en todos los casos dicha presión total es igual al peso del líquido contenido en el vaso, á diferencia de la presión sobre el fondo, que sólo depende del área del mismo y de su distancia al nivel del líquido.

124. Presión de abajo hacia arriba.— Los líquidos, en consecuencia del principio de Pascal, ejercen también presión de abajo hacia arriba. Esta

presión ó empuje, puede hacerse patente con el siguiente experimento. En un

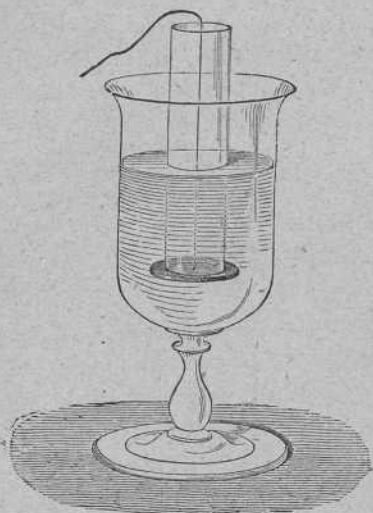


Fig. 95.

vaso que contenga un líquido (fig. 95), se introduce un cilindro de cristal, cerrado por su parte inferior con un obturador y provisto en su centro de un cordón que se mantiene tirante al sumergirlo; una vez dentro del líquido, el empuje de éste mantiene al obturador adherido al cilindro. El hecho de no caer al fondo el citado obturador, prueba desde luego la existencia de la presión ascendente; mas puede, además, medirse ésta echando poco á poco en el cilindro el mismo líquido, en cuyo caso se observa que, al llegar su nivel por dentro á una altura poco menor que en el exterior, se desprende aquél. Ahora bien; suponiendo que el nivel del lí-

quido coincidiera fuera y dentro del tubo, como sucedería si no tuviese peso el obturador, la presión que sufre de abajo hacia arriba será forzosamente igual á la que tiene lugar en sentido opuesto; pero esta presión sabemos que es igual al peso de una columna líquida, cuya base es también igual al área del tubo, y su altura la distancia del obturador al nivel del líquido; luego la presión ascendente, ó empuje, que ejerce un líquido sobre una superficie dada, es igual al peso de una columna líquida, cuya base sea dicha superficie, y la altura su distancia al nivel del líquido. Llamando s dicha superficie, a la altura, y d la densidad del líquido, tendremos la igualdad, como en los casos anteriores,

$$p = a \cdot s \cdot d.$$

Esto mismo resulta del principio de Pascal, pues según él, una superficie cualquiera, considerada en el interior de un líquido en equilibrio, sufre presiones iguales y contrarias, cualquiera que sea su situación.

125. Presiones laterales.—Si suponemos un líquido contenido en un vaso, y consideramos la presión que origina sobre una superficie dada en cualquiera de sus paredes, observaremos desde luego, que cada elemento de dicha pared sufre normalmente una presión representada por el peso de una columna líquida igual á su superficie, y de una altura equivalente á su distancia al nivel del líquido. Á medida que dicho elemento de pared le consideremos

más distante del nivel del líquido, la presión aumentará en la misma proporción, y como el conjunto de todos estos elementos constituyen la superficie en cuestión, ésta soportará normalmente el peso de todas estas presiones; siendo estas fuerzas paralelas, producirán una resultante igual á suma, cuyo punto de aplicación recibe en este caso el nombre de *centro de presión*. Se demuestra en Mecánica, que el valor de dicha resultante es igual al peso de una columna líquida que tenga por base la superficie que se considere, y por altura la distancia de su centro de gravedad al nivel del líquido, ó sea, el producto $a \cdot s \cdot d$, como en los casos anteriores.

Resulta de lo anteriormente expuesto, que una pequeña cantidad de un líquido puede originar grandes presiones, con tal que se le encierre en una vasija estrecha y muy profunda. La experiencia célebre del *Tonel de Pascal*, es una prueba evidente de esto. Dicho sabio colocó un tubo de hoja de lata, estrecho y largo, en un orificio practicado en la tapa superior de un tonel, y después de haber llenado éste de agua, concluyó de llenar el tubo con dicho líquido; la presión sobre el fondo y paredes del tonel resultó de este modo tan grande, que consiguió hacerlo estallar por su parte inferior.

126. Vasos comunicantes.—Reciben este nombre los vasos que están unidos por su parte inferior por medio de un tubo. Supongamos (fig. 96) que en los vasos comunicantes *A* y *B* se echan dos líquidos distintos, cuyos niveles, después de equilibrado el líquido, sean *C* y *D*, y vamos á determinar las condiciones para que exista dicho equilibrio. Llamemos s el área de la superficie de separación de ambos líquidos, d y d' sus densidades respectivas, y a y a' las alturas desde el nivel de cada uno hasta el centro de la superficie s . Puesto que está en equilibrio el líquido de ambos vasos, la superficie de separación s sufrirá presiones iguales y contrarias por el peso del líquido contenido en las dos ramas, y llamándolas p y p' respectivamente, estas presiones, por lo dicho hace poco, tendrán por valor:

$$p = s \cdot a \cdot d \text{ y } p' = s \cdot a' \cdot d'.$$

Igualando los dos miembros de estas ecuaciones, y suprimiendo el factor común s , resulta la igualdad:

$$a \cdot d = a' \cdot d' (1), \text{ ó lo que es lo mismo } \frac{a}{a'} = \frac{d'}{d};$$

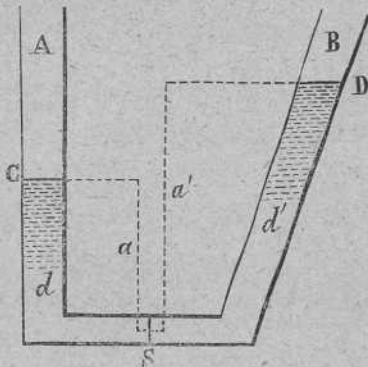


Fig. 96.

luego el equilibrio de dos líquidos en vasos comunicantes se verifica cuando sus alturas están en razón inversa de sus densidades.

Se comprueba esto por medio del aparato que representa la (fig. 97). Echando mercurio en el tubo estrecho y después agua en el ancho, se observará que la altura de este líquido es catorce veces mayor próximamente

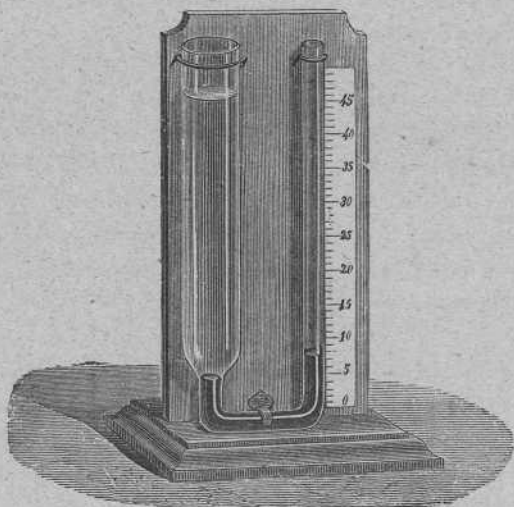


Fig. 97.

que la del mercurio; que es la relación invertida que existe entre las densidades de estos dos líquidos.

En caso de ser uno solo el líquido empleado, las densidades d y d' serían

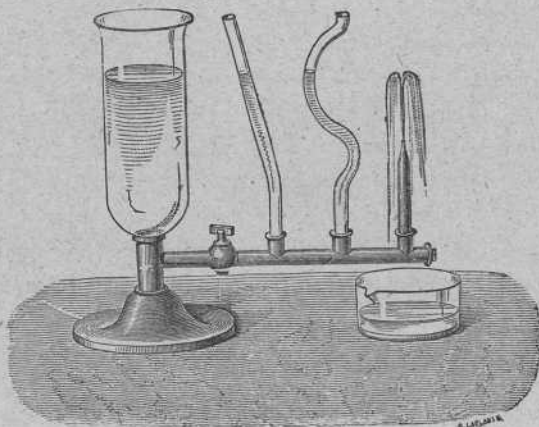


Fig. 98.

iguales, y la ecuación (1) quedará reducida á la igualdad $a = a'$; lo que nos manifiesta, que *la altura de un mismo líquido en diferentes vasos comunicantes es igual en todos ellos.*

Con el aparato representado en la (fig. 98) se prueba esto perfectamente. Echando un líquido cualquiera en el vaso de la izquierda, sube inmediatamente á la misma altura en los tubos de la derecha, formando sus niveles una línea horizontal, y aún si faltara á uno de estos tubos su parte superior, se derramaría el líquido por él, tendiendo á recobrar el nivel que tiene en los demás.

Esta propiedad se ha utilizado en el *nivel de agua* (fig. 99), el cual consiste en un tubo de latón $b b$, provisto en sus extremos de otros dos de cristal $a a$, perpendiculares con el anterior, y sostenido el conjunto por

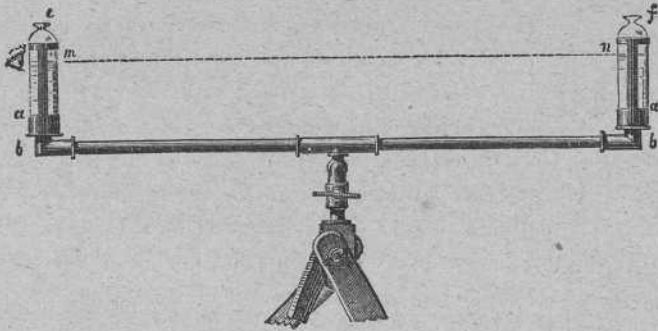


Fig. 99.

un trípode. Echando dentro agua, y dirigiendo una visual $m n$, tangente al nivel del líquido en los tubos $a a$, dicha visual será forzosamente horizontal,



Fig. 100.

y los dos puntos A y B (fig. 100), situados en ella, estarán á la misma altura.

§ 2.º—Principio de Arquímedes.

127. Enunciado y demostración de este principio.—*Todo cuerpo sumergido en un líquido, pierde de su peso lo que pesa el volumen líquido que desaloja.* Este importante principio fué descubierto por el célebre geómetra Arquímedes, dos siglos antes de la Era cristiana. Para comprobar su exactitud, consideremos un líquido en equilibrio contenido en un vaso (figura 101), y supongamos una porción cualquiera del mismo *m n o*, aislada con el pensamiento del resto de la masa líquida. Puesto que dicha porción de

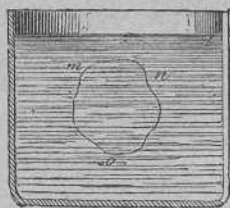


Fig. 101.

líquido permanece en equilibrio, es claro que su peso estará destruido por la resultante de todas las presiones que en ella ejerce el resto del líquido; luego esta resultante ha de ser igual al peso de dicho volumen *m n o*, obrará de abajo hacia arriba, y su punto de aplicación estará en el centro de gravedad de la masa en cuestión. Si suponemos ahora cualquier otro cuerpo del mismo volumen, y colocado en el mismo sitio, las presiones que sufre por parte del líquido serán las mismas, y puesto que su resultante obra en sentido contrario de la gravedad, el peso de dicho cuerpo quedará disminuido en lo que pese el volumen líquido que desaloja. El punto de aplicación de dicha resultante, ó sea el centro de gravedad del líquido desalojado, recibe el nombre de *centro de presión*.

Puede demostrarse también experimentalmente el principio de Arquímedes

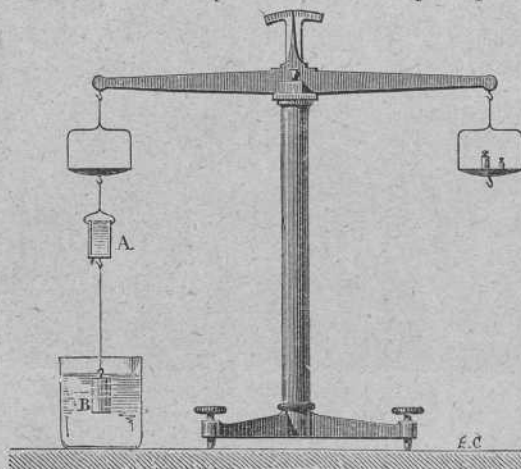


Fig. 102.

por medio de un doble cilindro *AB* y la *balanza hidrostática*, representada en la figura 102. Esta balanza se diferencia de las comunes en que sus platillos quedan muy elevados, y están provistos en su cara inferior de un gancho para colgar los cuerpos. El doble cilindro *AB* consiste en un vasito *A*, de dicha forma, en el que ajusta exactamente el cilindro macizo *B*. Para comprobar el principio de que nos ocupamos, se cuelga de uno de los platillos de la balanza el cilindro hueco *A*, y pendiente de él se suspende el macizo *B*; después se equilibra su peso, poniendo en el otro platillo cierto número de pesas ó perdigones, y se introduce el cilindro *B* en un líquido cualquiera; inmediatamente se altera el equilibrio, y la balanza se inclina en favor de las pesas. Para restablecerlo, basta llenar el cilindro hueco con el líquido sometido á la experiencia, y como dicha cantidad de líquido es igual al volumen que desaloja el cilindro *B*, queda demostrado que éste pierde de su peso lo que pesa el líquido desalojado.

128. Volumen de un cuerpo.—El principio de Arquímedes nos permite hallar con facilidad el volumen de un cuerpo por irregular que sea. Para conseguirlo se pesa dicho cuerpo, suspendido de uno de los platillos de la balanza hidrostática, y se sumerge luego en un vaso que contenga agua destilada á la temperatura de 4°. En virtud de dicho principio, el cuerpo perderá de su peso lo que pesa el volumen líquido que desaloja. Sean, por ejemplo, cinco gramos esta pérdida; el cuerpo tendrá, por lo tanto, el mismo volumen que cinco gramos de agua, y como sabemos que cada gramo de este líquido tiene un volumen igual á un centímetro cúbico, el volumen del cuerpo sometido á la experiencia será igual á cinco centímetros cúbicos.

129. Cuerpos flotantes.—Resulta de lo expuesto, que todo cuerpo sumergido en un líquido se encuentra sometido á la acción de dos fuerzas opuestas; una debida á la gravedad, y otra al empuje del líquido. Si suponemos que el cuerpo pesa más que el líquido que desaloja, la resultante de éstas dos fuerzas será igual á su diferencia, y obrará en sentido de la gravedad, cayendo el cuerpo al fondo de la vasija. Si dichas fuerzas fuesen iguales, su resultante sería nula, y el cuerpo quedaría en el sitio en que se le colocase. Por último, si suponemos que el empuje del líquido es mayor que el peso del cuerpo, éste flotará sobre la superficie de dicho líquido, y es evidente, que el líquido desalojado en este caso, pesará tanto como el cuerpo flotante.

Esto nos explica por qué ciertos cuerpos flotan en un líquido, mientras que en otros se sumergen; el hierro, las piedras y la mayor parte de los cuerpos que van al fondo del agua, flotan perfectamente en el mercurio. En cambio en el aceite, alcohol y éter, se sumergen muchos cuerpos que flotan en el agua

Con el aparato llamado *ludion* (fig. 103), se puede estudiar fácilmente este asunto. Consiste aquél en una esfera hueca de cristal T , terminada por su parte inferior en un tubito doblado en forma de V , del que se halla suspendida una figurita de vidrio. Introducido el aparato en una probeta con agua, queda flotando en la superficie del líquido; pero si se tapa la boca de dicha probeta con una lámina de caucho, y se hace en ella una presión, ésta se transmite por el líquido, y obliga á reducirse de volumen el aire contenido en la esfera de cristal, penetrando en la misma cierta cantidad de agua. Haciéndose entonces el ludion más pesado, baja al fondo de la probeta, hasta que, dejando de oprimir la lámina de caucho, sale de la esfera el agua que penetró, expulsada por la fuerza elástica del aire que contiene, y el aparato sube otra vez á la superficie del líquido.

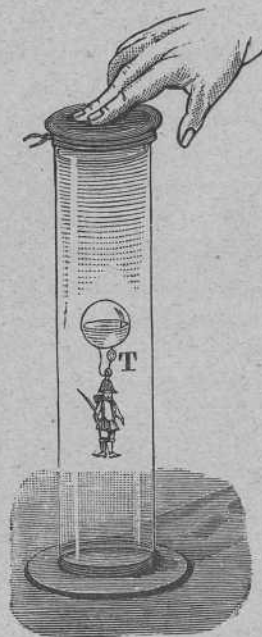


Fig. 103.

130. Equilibrio de los cuerpos flotantes.
— Ya hemos visto que en los cuerpos flotantes su peso es siempre menor que el empuje del líquido, en cuyo caso parte del cuerpo sale al exterior, hasta que se iguala su peso con el del líquido desalojado. Supongamos el cuerpo flotante representado en A (fig. 104), y sean G el centro de gravedad del cuerpo, y P el centro de presión del líquido desalo-

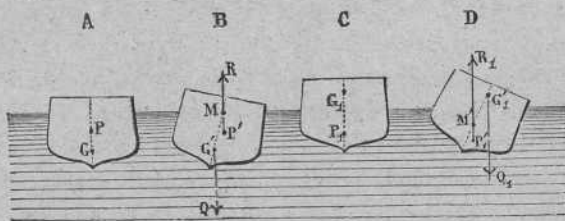


Fig. 104.

jado. Para que dicho cuerpo esté en equilibrio es indispensable que la gravedad y el empuje del líquido se destruyan respectivamente, lo que sólo puede suceder estando dichos centros en la misma vertical $G P$, llamada en este caso *eje del cuerpo flotante*. Satisfecha esta condición puede suceder que P esté situado sobre el centro de gravedad G del cuerpo, debajo del mismo, ó coincidiendo con él.

Supongamos primero que P esté situado sobre G , como indica la figura

A. Si obligamos al cuerpo á inclinarse hacia la derecha, según representa la figura B, su centro de gravedad G' seguirá en el mismo punto, pero el centro de presión se habrá trasladado á P' , por variar la forma del líquido desalojado. En este caso dicho cuerpo se encuentra sometido á la influencia de las dos fuerzas $G'Q$ y $P'R$, paralelas, opuestas é iguales, las que sabemos (36) constituyen un *par de fuerzas* y producen un movimiento giratorio; el cuerpo tenderá, por lo tanto, á recuperar la posición A, y se hallará en equilibrio *estable*.

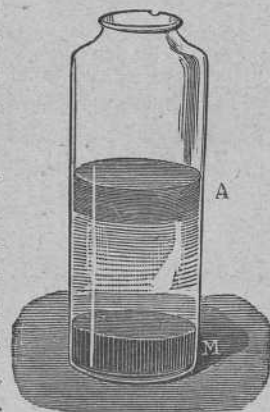
Si el centro de gravedad estuviera más alto que el de presión del líquido, como se halla dibujado en C, al mover el cuerpo hacia un lado, el centro de presión iría á ocupar la posición P_1' , figura D, mientras que el centro de gravedad seguiría en el mismo punto G_1' . En este caso el cuerpo estaría también sometido al influjo de un par de fuerzas, pero efecto de su dirección, giraría en el mismo sentido en que se halla inclinado, no volviendo por sí solo á recuperar la posición primitiva C; el equilibrio en este caso sería *inestable*.

En el caso de coincidir el centro de gravedad con el de presión, el equilibrio sería *indiferente*.

El punto M, en que la vertical $P'R$ corta al eje del cuerpo flotante, se llama *metacentro*, y para que el equilibrio de un cuerpo flotante sea estable, se necesita que en todas las posiciones que pueda tomar se halle siempre aquél sobre su centro de gravedad. Para conseguirlo se procura en los barcos distribuir su carga, de modo que dicho centro de gravedad esté lo más bajo posible, colocando en la bodega los fardos más pesados.

131. Equilibrio de varios líquidos superpuestos.—Si se ponen en un vaso varios líquidos de diferente densidad, y que no se disuelvan ni ejerzan entre sí acción química alguna, dichos líquidos se colocan en orden de sus densidades, y la superficie de separación de todos ellos es horizontal.

Supongamos que en un frasco (fig. 105), se echa mercurio, agua y aceite, cuyas densidades, según pronto veremos, están representadas respectivamente por los números 13, 1 y 0, 9. Mezclados estos líquidos, resultará la mezcla con una densidad intermedia entre la que dichos líquidos tienen, y una molécula de mercurio, considerada en la superficie de la mezcla, irá al fondo, por desalojar un volumen líquido que pesará menos que ella. En el mismo caso se hallarán todas las moléculas del mismo



cuerpo, y en poco tiempo se depositará en el fondo todo el mercurio del vaso. La mezcla resultante del agua y aceite tendrá, á su vez, una densidad menor que el agua y, por lo tanto, las moléculas de este líquido caerán hasta la superficie del mercurio, quedando por fin las del aceite en la parte más alta de la masa líquida.

Respecto á la superficie de separación de dichos líquidos, debe ser, como

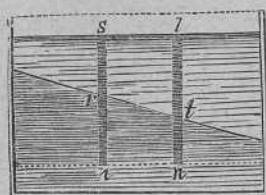


Fig. 106.

hemos dicho, horizontal; porque si no lo fuera, como representa la figura 106, resultaría que dos moléculas n e i , situadas en una zona horizontal, sufrirían distinta presión por parte de las moléculas que están encima. En efecto; las columnas i s y n l pesan desigualmente, por componerse de porciones desiguales de las columnas respectivas

á cada líquido, luego no puede suceder que la superficie de separación de ambos líquidos sea inclinada respecto del horizonte.

132. Nivel de aire.—Consiste este importante aparato (fig. 107), en un tubo de cristal ligeramente encorvado, lleno de alcohol ó éter, en cuyo interior se ha dejado un burbuja de aire A . Dicho tubo va dentro de una armadura metálica, de la forma que indica el grabado, con lo cual queda protegido de cualquier choque que pudiera deteriorarle.

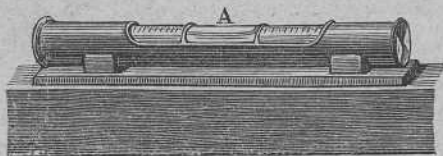


Fig. 107.

En virtud de lo dicho antes, dicha burbuja ocupará siempre el punto más elevado del tubo, de donde resulta que, una vez colocado sobre una línea horizontal, la burbuja se fijará en el centro de dicho tubo, por ser el punto más elevado del mismo.

Para averiguar si un plano es horizontal, se coloca dicho nivel sobre el plano en cuestión en dos direcciones perpendiculares, y si la burbuja permanece en el centro en ambas posiciones, es prueba de que el plano es horizontal.

Para averiguar si un plano es horizontal, se coloca dicho nivel sobre el plano en cuestión en dos direcciones perpendiculares, y si la burbuja permanece en el centro en ambas posiciones, es prueba de que el plano es horizontal.

§ 3.º—Peso específico de los cuerpos.

133. Definición y medios de hallarle.—Ya dijimos (115), que el peso específico de un cuerpo es la relación que existe entre su peso y el de otro volumen igual de agua destilada á 4º. Para obtenerle bastará, por lo tanto, hallar dichos números por el procedimiento que más convenga, y su cociente nos dará el peso específico buscado.

Al tratar del calor veremos que los cuerpos tienen la propiedad de aumentar de volumen, sin variar de peso, cuando se eleva su temperatura; de donde resulta que su peso específico ha de variar según el grado de calor á que se encuentren sometidos. Para que haya armonía en los resultados, han convenido los físicos en determinar los pesos específicos á 0°, á excepción del agua que ha de estar á 4°, por las razones que á su tiempo diremos (826). No obstante, pueden determinarse los pesos específicos á cualquiera otra temperatura, deduciendo después el peso específico á cero por medio de fórmulas que expondremos en su lugar (819).

Los medios más usados para la determinación de los pesos específicos son los siguientes:

134. Por la balanza hidrostática.—Supongamos primeramente que se trata de un cuerpo sólido. Se le suspende por medio de un hilo fino de uno de los platillos de dicha balanza, y se equilibra poniendo pesos en el otro platillo. Sean 7 gramos las pesas que han sido necesarias para esto; éste será el peso del cuerpo al aire libre. Después se le introduce (fig. 108) en un vaso que contenga agua destilada, y, en virtud del principio de Arquímedes, el cuerpo perderá de su peso lo que pese un volumen de agua igual al suyo. Para restablecer el equilibrio será necesario poner cierto número de pesas en el platillo que sostiene al cuerpo; sean estas pesas 2 gramos: el peso específico del cuerpo será, por lo dicho anteriormente, $\frac{7}{2} = 3,5$.

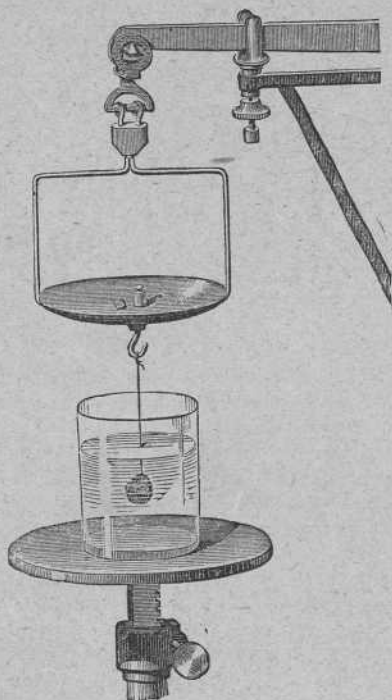


Fig. 108.

Para determinar el peso específico de un líquido por el mismo procedimiento, se suspende de uno de los platillos de la balanza un cuerpo que no sea atacado por el líquido de que se trata, tal como una esfera de cristal lastrada con mercurio, y en el otro platillo se ponen perdigones, ó cualquier otro cuerpo, hasta conseguir el equilibrio. Después se sumerge la

esfera en el líquido en cuestión (fig. 109), y, en virtud del principio de

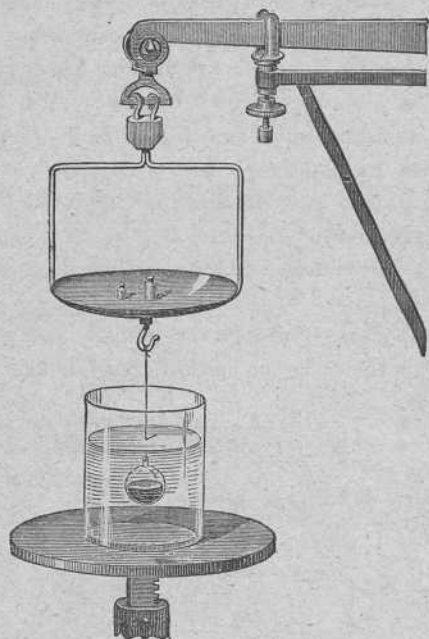


Fig. 109.

Arquímedes, la esfera perderá de su peso lo que pese el volumen líquido que desaloja; para restablecer el equilibrio será necesario poner cierto número de pesas en el platillo correspondiente. Admitamos que se hayan necesitado quince gramos para conseguirlo; éste será el peso de un volumen de líquido igual á la esfera de cristal. Después se saca dicha esfera del líquido y se seca cuidadosamente, introduciéndola en agua destilada; para obtener el equilibrio tendremos que poner en el platillo que la sostiene cinco gramos, por ejemplo; y es claro que este peso representa el de un volumen de agua igual á

la esfera. Dividiendo quince por cinco obtenemos *tres* por cociente, cuyo número será el peso específico del líquido empleado.

135. Cuerpos solubles, flotantes y porosos.—Sucede algunas veces que el cuerpo, cuyo peso específico se quiere determinar, es soluble en el agua. En este caso hay que valerse de otro líquido en el que no sea soluble, y determinar el peso específico del cuerpo con relación á este líquido auxiliar; multiplicando el peso específico así obtenido por el del líquido empleado en la experiencia, se tendrá el peso específico del cuerpo con relación al agua.

Supongamos, como ejemplo, que se trate de la sal común. Este cuerpo no es soluble en el aceite de olivas, cuyo peso específico es 0,9, y en él introduciremos el cuerpo, según acabamos de indicar. Sean 8 gramos el peso de la sal empleada en el experimento, y 3,2 gramos lo que pierde al sumergirla en el aceite; el peso específico de dicho cuerpo, con relación al aceite, será por lo tanto $\frac{8}{3,2} = 2,50$, cuyo número, multiplicado por 0,9, nos da por producto 2,25, que es el peso específico de la sal común con relación al agua.

La razón de esto es sencilla. Sean, en efecto, P , P' y P'' los pesos de volúmenes iguales del cuerpo de que se trata, del líquido auxiliar y de agua destilada. La relación $\frac{P}{P'}$ representará el peso específico del cuerpo con relación al líquido auxiliar, y la razón $\frac{P'}{P''}$ será igual al peso específico de dicho líquido con relación al agua. Si

multiplicamos ambos quebrados tendremos $\frac{P}{P'} \times \frac{P''}{P'''} = \frac{P}{P'''}$ cuya relación es la de los pesos de dos volúmenes iguales del cuerpo en cuestión y de agua destilada, ó sea el peso específico buscado.

Supongamos ahora que se trata de un cuerpo flotante, tal como el corcho. Entonces hay necesidad de lastrarle con un pedazo de plomo, de manera que se sumerja en el agua. El modo de practicar la operación es como sigue: Se cuelga de uno de los platillos de la balanza un pedazo de plomo, y se le sumerge en un vaso con agua destilada, añadiendo en el otro platillo perdigones hasta equilibrar la balanza. Luego se pone el pedazo de corcho de que se trata en el platillo en que se haya suspendido el plomo, y se vuelve á equilibrar poniendo pesas en el otro. Suponiendo que se hayan necesitado 3 gramos para conseguirlo, éste será el peso del corcho empleado. Después se sujeta el corcho en el mismo hilo de que está colgado el plomo, y se sumergen ambos cuerpos en agua; el corcho perderá de su peso lo que pese el líquido desalojado, y admitiendo que la pérdida sea 12,5 gramos, el cociente $\frac{3}{12.5} = 0.24$, será el peso específico buscado.

Supongamos, por último, que se trata de un cuerpo poroso. En este caso hay que distinguir el peso específico del cuerpo, teniendo en cuenta sus poros, ó bien el peso específico del mismo, excepción hecha de dichos poros. Para obtener el peso específico de un cuerpo, considerado en el primer caso, lo más sencillo es barnizarle ligeramente con cera ú otro cuerpo á propósito, para evitar que el agua penetre dentro, y determinar luego su peso específico como en el caso general. Si quisiéramos hallar su peso específico, prescindiendo de los poros, tendríamos que reducirlo á polvo muy fino, y averiguar la densidad de este polvo después de estar bien impregnado de agua. Esto no puede ejecutarse con la balanza hidrostática, pero por el método del frasco, de que ahora nos vamos á ocupar, se verifica con la mayor facilidad.

136. Método del frasco.—El fundamento de éste método es el siguiente: Si introducimos el cuerpo cuyo peso específico se quiere determinar, en un frasco completamente lleno de agua, se derramará una cantidad de líquido igual al volumen del cuerpo; luego determinando el peso de este cuerpo, y el del líquido vertido, tendremos los datos necesarios para averiguar el peso específico de aquél.

Á pesar de su sencillez, no conviene resolver la cuestión como acabamos de indicar, porque los resultados carecerían de precisión. En efecto, según veremos al ocuparnos de los fenómenos capilares, un vaso puede en realidad llenarse con cantidades muy diferentes de agua, según la superficie del líquido quede algo cóncava, plana ó convexa. Para evitar esta indecisión, se usa un frasco especial (fig. 110), cuyo tapón es de cristal esmerilado y hueco, terminando en un tubito *T* de pequeño diámetro. Para hallar con este frasco el peso específico de un sólido, se empieza por determinar con toda exactitud el peso del frasco con su tapón, después de bien limpio y seco. Luego se introduce el cuerpo, hecho pedacitos si fuera necesario, en dicho frasco, y se vuelve á pesar. En seguida, sin sacar el cuerpo, se llena el frasco de agua destilada, hasta que se forme en su boca un casquete esférico de dicho lí-

quido, y se introduce rápidamente el tapón para que quede lleno el tubito. Se limpia bien el agua que pudiera mojar el frasco, y se observa si el tubito

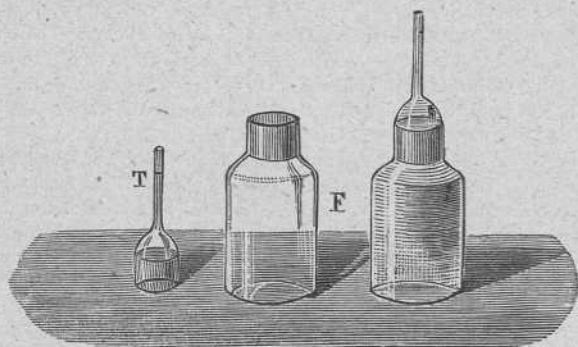


Fig. 110.

está completamente lleno de agua; en caso de formar este líquido una elevación en su extremidad, se quita el excedente con un pedacito de papel de filtro, y si no estuviera lleno del todo, se acaba de llenar con una pajita mojada en agua. En estas condiciones se pesa nuevamente el frasco, y, por último, se derrama el agua, se saca el cuerpo del frasco y se vuelve á llenar de agua destilada, pesándole otra vez.

Supongamos que habiendo ejecutado estas operaciones en un caso particular, y llamando *F* el frasco y *C* al cuerpo, hayamos obtenido las siguientes igualdades :

$$\begin{aligned} F &= 20 \text{ gramos [1]} \\ F + C &= 25 \text{ » [2]} \\ F + C + \text{agua} &= 35 \text{ » [3]} \\ F \text{ lleno de id.} &= 32 \text{ » [4]} \end{aligned}$$

Restando la primera igualdad de la segunda, tendremos el peso del cuerpo, ó sean 5 gramos. Añadiendo ahora á la igualdad [4] los 5 gramos que pesa el cuerpo, tendremos la expresión

$$F \text{ lleno de agua} + C = 32 + 5 = 37.$$

Restando de ésta la igualdad [3], obtenemos por residuo el número 2, que evidentemente representa el peso del agua desalojada por el cuerpo; luego el peso específico buscado será $\frac{5}{2} = 2,45$.

Este método es susceptible de una gran precisión cuando se dispone de una buena balanza, y aunque parece más engorroso que el anterior, por

exigir cuatro pesadas diferentes, hay que tener en cuenta, que el peso del frasco [1] y el de este mismo lleno de agua [4] pueden hallarse de una vez para siempre, de modo que sólo quedan dos pesadas por practicar, como en el método de la balanza hidrostática.

El mismo frasco sirve también para determinar con gran exactitud el peso específico de los líquidos. Para ello se empieza por pesar el frasco vacío y bien limpio con su tapón; luego se vuelve á pesar lleno del líquido de que se trata, procurando que el líquido llegue hasta la terminación del tubito y, por último, después de vaciar dicho líquido y limpiarle bien, se vuelve á pesar lleno de agua destilada. Supongamos que en un caso particular, y representado el líquido por L , se hayan obtenido los siguientes números:

$$\begin{aligned} F &= 20 \text{ gramos} & [1] \\ F + L &= 35 \quad \text{»} & [2] \\ F + \text{agua} &= 32 \quad \text{»} & [3] \end{aligned}$$

Restando de la segunda igualdad la primera, obtenemos 15 gramos, que será evidentemente el peso del líquido contenido en el frasco. Restando, á su vez, de la tercera ecuación la primera, el resultado es 12 gramos ó sea el peso del mismo volumen de agua; luego el peso específico del líquido será

$$\frac{15}{12} = 1,25.$$

Este método es de gran precisión, y en realidad sólo exige hallar el peso del frasco lleno del líquido en cuestión, pues el del frasco vacío y con agua destilada puede hallarse de una vez para siempre.

137. Areómetros.—Reciben este nombre unos aparatos flotantes que tienen por objeto determinar el peso específico de los cuerpos. Su forma suele ser la de un cilindro hueco y terminado en su parte superior por un vástago graduado, hallándose lastrados en su parte más baja con mercurio ó perdigones, para que se mantengan verticales dentro de los líquidos.

Estos aparatos se dividen en dos grupos. Unos son de *volumen constante* y peso variable, como los de Nicholson y Farenheit, y otros de *volumen variable* y peso constante, como los de Baumé, Gay-Lussac, etc.

138. Areómetro de Nicholson.—Este aparato, llamado también *balanza de Nicholson*, consiste en un tubo hueco, generalmente de latón, terminado por dos conos de la misma sustancia (fig. 111). Del cono superior sale un vástago cilíndrico, que lleva en su parte superior un platillo, y hacia su mitad una marca ó *línea de enrase*. Del cono inferior se halla suspendida otra cavidad en forma de cubeta, lastrada de tal modo que el aparato se mantenga vertical en el agua.

Para hallar el peso específico de un sólido con este aparato, se le sumerge

en una probeta llena de agua destilada, y se ponen pesos en el platillo superior

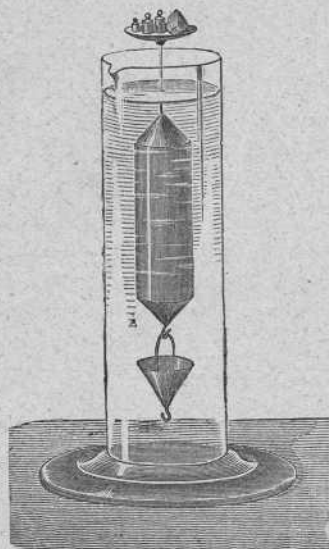


Fig. 111.

el aparato, habrá que añadir un

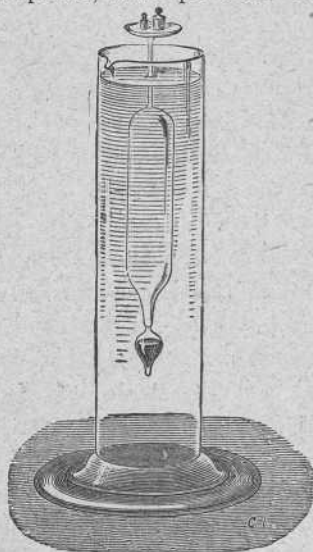


Fig. 112.

siempre de cristal, para que no se altere en los líquidos corrosivos.

hasta conseguir que el nivel del líquido coincida con la línea de enrase; sean 30 gramos los que se hayan necesitado para conseguirlo. Se quitan luego estos pesos y se coloca en dicho platillo el cuerpo cuyo peso específico se quiere determinar, añadiendo los pesos necesarios hasta conseguir que el areómetro enrascase nuevamente; supongamos que esto ha exigido 22 gramos. El peso del cuerpo será evidentemente $30 - 22 = 8$ gramos. Pudiera suceder que el cuerpo empleado hiciera por sí solo hundirse por completo al aparato, en cuyo caso habría que romperle en trozos y tomar uno que pesara menos de los 30 gramos que se necesitan para enrascar el areómetro. Después se traslada el cuerpo del platillo superior al cono inferior, y en virtud del principio de Arquímedes, para que vuelva á enrascar el aparato, habrá que añadir un número de pesas igual al peso del agua desalojada por el cuerpo; suponiendo que hayan sido necesarios 3 gramos para conseguirlo, el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo será dichos 3 gramos, y el peso específico del mismo, estará representado por $\frac{8}{3} = 2,66$.

Si el cuerpo fuera menos pesado que el agua, se le sujeta en el cono inferior con una pinza que para este objeto lleva el areómetro.

139. Areómetro de Fahrenheit.—Este aparato (fig. 112) se destina á la determinación del peso específico de los líquidos. Su forma es análoga al de Nicholson, del que se diferencia en no tener la cubeta cónica de la parte inferior, y en que se hace

Para determinar el peso específico de un líquido, se empieza por pesar el areómetro, y después se le sumerge en el líquido de que se trata, añadiendo pesos hasta conseguir que enrase; sean 50 gramos el peso del areómetro y 15 gramos los que se necesitan para que enrase. En virtud de lo dicho al hablar de los cuerpos flotantes, es evidente que el volumen líquido desalojado por el aparato pesará dichos 15 gramos, más los 50 que pesa el areómetro. Después se saca éste del líquido y se limpia cuidadosamente, introduciéndole en agua destilada. Supongamos que para enrasar el aparato en este líquido se hayan necesitado 12 gramos. El peso del agua desalojada en este caso por el areómetro será dichos 12 gramos más los 50 que pesa el aparato; luego el peso específico del líquido en cuestión será

$$\frac{15 + 50}{12 + 50} = \frac{65}{62} = 1,05.$$

140. Areómetro de Baumé.—Este aparato, representado en la figura 113, se hace siempre de cristal y corresponde al género de los de peso constante y volumen variable. La graduación que lleva en la varilla superior es distinta, según haya de usarse para líquidos más ó menos densos que el agua.

Cuando se destina para líquidos más densos que el agua (grabado de la izquierda), recibe el nombre de *pesa-sales*, *pesa-ácidos*, *pesa-jarabes*, etc., y se gradúa del modo siguiente. Se introduce en agua destilada á 12°, y se lastra de manera que enrase cerca de la terminación de la varilla, poniendo el *cero* en la línea de enrase; después se introduce en una disolución de 85 partes de agua y 15 de sal marina seca, y como este líquido es más denso que el agua, el areómetro se introduce menos, y en el nuevo punto de enrase se pone el número 15, dividiendo en quince partes iguales el espacio comprendido entre ambas indicaciones; esta división se prolonga todo lo que permite la varilla, y queda de este modo graduado el areómetro. Esta división no guarda relación ninguna con la densidad de los líquidos sometidos á la experiencia, y sólo indica su mayor ó menor concentración, pero puede deducirse su peso específico por medio de la fórmula

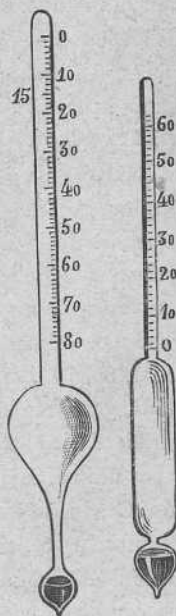


Fig. 113.

$$P = \frac{144}{144 - n}$$

en la que n representa el número de grados que marca el areómetro sumergido en el líquido que se ensaye.

La graduación adoptada por Baumé para líquidos más ligeros que el agua, es la siguiente. Se lastra el areómetro, llamado en este caso *pesa-éteres*, *pesa-alcoholes*, etc. (fig. 113 derecha), de manera que en el agua destilada á 12° se introduzca muy poco, y en la línea de enrase se pone el número 10; luego se hace una disolución de 10 partes de sal marina seca y 90 de agua, en cuyo líquido se sumergirá menos, por ser más denso que el agua, y en la línea de enrase se escribe el *cero*, dividiendo, por último, el espacio comprendido entre ambas divisiones en diez partes iguales, las que se continúan hasta el final de la varilla.

Para averiguar el peso específico de un líquido, por medio de este arómetro, se usa la siguiente fórmula:

$$P = \frac{128}{118 + n},$$

siendo n el número de grados que señala el aparato en el líquido empleado. El areómetro de Baumé es el más usado en la industria, y con el auxilio de tablas, calculadas á propósito para cada líquido, se puede saber inmediatamente su *riqueza real*.

141. Alcohómetro de Gay-Lussac.—Mucho más científica que la de Baumé es la graduación del areómetro de Gay-Lussac, destinado á determinar el tanto por cierto del *alcohol absoluto* que tiene un aguardiente del comercio. Su forma es análoga á la de los anteriores, y su graduación se obtiene del siguiente modo. Se introduce el aparato en alcohol absoluto á 15° y se lastra de modo que se introduzca hasta el final de la varilla, escribiendo en la línea de enrase el número ciento. Luego se hacen disoluciones de 90, 80, 70..... partes de alcohol absoluto, con 10, 20, 30..... de agua destilada, y cuando la temperatura sea de 15° se sumerge en ellas el areómetro, escribiendo los números 90, 80, 70..... en los puntos de enrase respectivos, y, por último, se divide en diez partes iguales el espacio de una á otra división. Graduado así el areómetro, é introducido en un aguardiente á la temperatura de 15°, es evidente que se obtendrá en la línea de enrase el tanto por ciento de alcohol absoluto que contiene. Si la temperatura no es de 15°, hay que consultar una tabla de corrección calculada para este objeto por Gay-Lussac.

Si se trata de un líquido espirituoso que, además de alcohol y agua, contenga alguna otra sustancia, como sucede al vino y casi todos los *licores*, es indispensable *destilar* el líquido, como veremos más adelante (856), para usar el alcohómetro.

142. Densímetros.—Además de las escalas indicadas, puede graduarse un areómetro de modo que marque directamente la densidad del líquido en que se introduzca, en cuyo caso recibe el aparato el nombre de *densímetro*.

La graduación es diferente, según se usen para hallar el peso específico de líquidos más ó menos densos que el agua.

Para líquidos más densos se sumerge el aparato en agua destilada á 4°, y se lastra de manera que se introduzca hasta el final, en cuyo punto pondremos el peso específico de este líquido, ó sea 1,00. Luego se introduce en un líquido más denso, cuyo peso específico nos sea bien conocido, por ej., en ácido sulfúrico que tenga por densidad 1,80, y en el punto de enrase escribiremos dicho número, dividiendo, por último, en 80 partes iguales el espacio comprendido entre ambas divisiones. Es evidente, que introducido el areómetro en otro líquido, y suponiendo que la varilla sea cilíndrica, la línea de enrase nos indicará el peso específico de aquél, con un error menor de una centésima.

Si el densímetro ha de usarse para líquidos menos densos que el agua, se lastra de modo que sólo se sumerja en dicho líquido hasta el principio de la varilla, escribiendo 1,00 en la línea de enrase; después se le introduce en un líquido más ligero que el agua, cuya densidad conozcamos exactamente, por ej., alcohol de 0,85, escribiendo este número en la línea de enrase, y, por último, se divide en quince partes iguales el espacio comprendido entre ambas divisiones, las cuales se continúan cuanto permita la longitud de la varilla. Para hallar el peso específico de un líquido con éste areómetro, basta leer la división que coincide con su superficie, una vez introducido en él, y aquélla será su densidad con un error menor de una centésima.

Generalmente los constructores suprimen la coma de las unidades enteras al hacer la escala, lo que debe tenerse en cuenta al usar dicho areómetro.

143. Peso específico de los gases.—Siendo estos cuerpos muy variables en su volumen, tanto por el calor como por las presiones á que se hallan sometidos, ha sido necesario corregir los resultados obtenidos al pesarlos, con arreglo á ciertas fórmulas que más adelante expondremos (831). Por ahora sólo podemos decir que en vez de tomar por unidad de comparación el agua destilada, ha parecido más conveniente elegir el aire atmosférico en ciertas condiciones, con lo que resultan los pesos específicos de los gases representados por números más sencillos.

Como complemento á lo expuesto sobre densidades, he aquí una lista del peso específico á 0° de los cuerpos más usados, tomando por unidad el agua destilada á 4°.

CUERPOS SÓLIDOS.

Aluminio.....	2,56	Hulla.....	1,33
Boj (madera).....	0,97	Marfil.....	1,92
Caliza común.....	2,06	Mármol.....	2,70
Carbono cristalizado.....	3,50	Nogal (madera).....	0,73
Cobre fundido.....	8,85	Oro fundido.....	19,26
— laminado.....	8,95	— laminado.....	19,36
Corcho.....	0,24	Pino (madera).....	0,42
Cristal de roca.....	2,65	Plata.....	10,47
Flint-glass.....	3,33	Platino fundido.....	21,50
Hielo.....	0,93	Plomo.....	11,35
Hierro fundido.....	7,20	Potasio.....	0,86
— laminado.....	7,79	Zinc.....	7,19

CUERPOS LÍQUIDOS.

Agua destilada á 0°.....	0,99	Alcohol absoluto.....	0,81
Agua de mar.....	1,03	Éter sulfúrico.....	0,73
Ácido sulfúrico.....	1,84	Aceite de olivas.....	0,92
— nítrico.....	1,45	Sulfuro de carbono.....	1,29
Aguarrás.....	0,87	Mercurio.....	13,60

§ 4.º—Capilaridad.

144. Fenómenos capilares.—Si se examina la superficie de un líquido contenido en un vaso, resulta en general aquélla notablemente alterada en las inmediaciones del sólido, y como si no obedeciese á las leyes de la Hidrostática. Echando agua en una copa de cristal bien limpia, toma el líquido la forma representada en la figura 114 izquierda, y si se pone mercurio en el

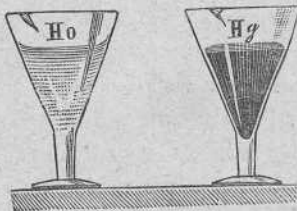


Fig. 114.

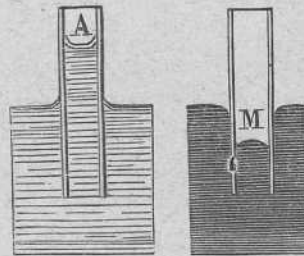


Fig. 115.

mismo vaso, la superficie del líquido adquiere la forma que indica la figura de la derecha.

Si se introduce un tubo de cristal muy estrecho y bien limpio en una masa de agua, inmediatamente sube el líquido á bastante altura sobre el nivel ex-

terior, y su superficie *A* toma la forma de un *menisco cóncavo* (fig. 115, izquierda); introduciendo en el mercurio dicho tubo, se observa una fuerte depresión en el líquido, y su superficie *M* afecta la forma de un *menisco convexo* (grabado de la derecha). Estos fenómenos han recibido la denominación de *capilares*, por verificarse con gran exageración en los tubos cuyo diámetro puede compararse al de un cabello.

145. Causas de la capilaridad.—Los fenómenos de que nos venimos ocupando, dependen de las acciones moleculares que se ejercen entre las moléculas líquidas y las paredes del vaso. Suponiendo, en efecto, una molécula líquida en las inmediaciones de un cuerpo sólido, resultará aquella influida por tres fuerzas distintas; una la atracción que sobre ella ejerce el sólido; otra la cohesión del líquido, y, por último, la acción de la gravedad. Como estas tres fuerzas se hallan aplicadas al centro de gravedad de la molécula, darán lugar á una resultante, y según el sentido en que ésta obre se producirá la elevación del líquido, su depresión, ó quedará inalterable la superficie del mismo. Cuando hay elevación, como sucede en el agua con el cristal, se dice que el líquido *moja* al sólido, y si tiene lugar la depresión, como se verifica echando mercurio en un vaso de cristal, se dice que el sólido *no es mojado* por el líquido. Algunas veces no se altera la superficie del líquido, como sucede introduciendo en agua una lámina de acero bien limpia.

146. Leyes de la capilaridad.—Gay-Lussac y Laplace han estudiado las leyes á que se hallan sometidas las elevaciones y depresiones de los líquidos en los tubos de pequeño diámetro, y, entre otras, han visto que para un mismo líquido, *las elevaciones y depresiones están en razón inversa del diámetro del tubo*, con tal que éste no pase de dos milímetros. Puede ponerse

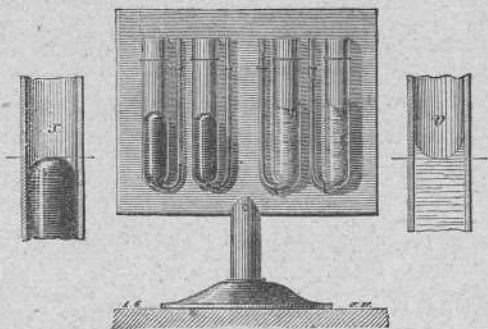


Fig. 116.

de manifiesto esta ley introduciendo diferentes líquidos en tubos comunicantes que tengan capilar una de sus ramas (fig. 116). Según el diámetro de

dichos tubos, y condiciones del líquido, así se observará una elevación ó depresión en razón inversa de sus respectivos diámetros.

También se comprueba la expresada ley sumergiendo en agua coloreada

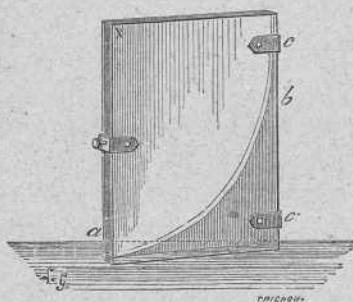


Fig. 117.

dos láminas de cristal que formen un ángulo diedro muy agudo (figura 117), en cuyo caso el líquido se eleva formando una curva $a b$, cuyos puntos distan tanto más del nivel del líquido a , cuanto más próximas se hallan de la arista $c c'$ del mencionado ángulo diedro.

La temperatura influye también de un modo notable sobre estos fenómenos, disminuyendo la elevación

de los líquidos que mojan á los sólidos y aumentando la depresión de los que no son mojados.

147. Hechos que dependen de la capilaridad.—Muchos fenómenos que observamos constantemente, opuestos, al parecer, á las leyes de la Hidrostática, tienen explicación satisfactoria por las acciones capilares que acabamos de indicar. Tales son, la elevación de los líquidos combustibles en las torcidas de las lámparas; la de la savia en los vegetales hasta sus más elevadas ramas; la humedad que suelen presentar las habitaciones de los pisos bajos y otras muchas que sería prolijo enumerar.

148. Difusión de los líquidos—Se llama *difusión* la mezcla lenta de dos líquidos de diferente densidad y que no presentan entre sí acción química alguna. Se puede hacer patente este fenómeno introduciendo en una probeta, llena de agua destilada, un pequeño frasco cerrado con un obturador, en el que se haya puesto una disolución concentrada de una sal. Destapando el frasco con cuidado, para que no se agite el líquido, y dejando todo en reposo durante algunos días, puede evidenciarse fácilmente que una gran parte de la sal ha pasado al agua de la probeta.

Ósmosis.—Recibe el nombre de *ósmosis* la difusión de dos líquidos separados por una lámina porosa. El físico Dutrochet fué el primero que estudió tan interesante fenómeno. El aparato de que se valió, llamado *endosmómetro* (fig. 118), consiste en un vaso, v , en forma de embudo, cerrado por su parte superior por medio de un corcho, en el que se ajusta un tubo $n v$; la parte inferior y más ancha de dicho vaso se cierra con una lámina porosa $a b$, que generalmente es un trozo de vejiga, y en su interior se echa una disolución de azúcar. Poniendo el aparato dentro de un recipiente con

agua destilada, en la disposición que indica el grabado, se observa que poco á poco va elevándose el nivel del líquido en el tubo *v n*, lo que prueba la existencia de una corriente hacia el interior, llamada *endósmosis*. Si pasadas unas horas se examina el líquido del vaso exterior, se observa, á su vez, que contiene azúcar, probando de este modo que se ha verificado también otra corriente hacia el exterior, la que recibe el nombre de *exósmosis*; por lo tanto, los dos líquidos han atravesado la membrana que los separaba, si bien en proporciones diferentes. En general la corriente más intensa se verifica hacia el líquido más denso, por más que hay algunas excepciones, como sucede con el alcohol y el éter, respecto del agua.

No se conoce bien la causa de este fenómeno, el cual tiene gran importancia en la vida de los seres orgánicos, y por esto nos contentamos con dar cuenta de los hechos.

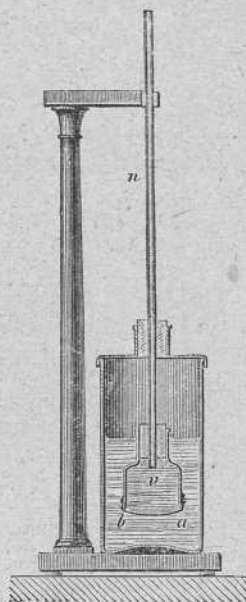


Fig. 118.

ARTÍCULO II.

HIDRODINÁMICA.

149. Objeto de la Hidrodinámica. —Se ocupa la *Hidrodinámica*, según ya dijimos, de las leyes que rigen al movimiento de los líquidos (30).

Pueden considerarse en este asunto diferentes casos, siendo los principales los siguientes:

150. Salida por orificios practicados en pared delgada. —Suponiendo que en un vaso de paredes delgadas se abre un orificio debajo del nivel del líquido, éste correrá por él hasta que quede descubierto, originando un chorro que recibe el nombre de *vena líquida*. Las causas de esta salida son las siguientes: por una parte la gravedad, que tiende siempre á dirigir las moléculas líquidas en sentido de la vertical, y por otra la presión originada por el líquido que existe sobre el orificio, llamada *carga*, la cual sabemos (117), es normal á la pared del vaso. De la combinación de estas fuerzas, resulta que, si el orificio se ha hecho en el fondo del vaso, supuesto este horizontal, la vena líquida será vertical, y si se ha practicado en una de sus paredes afectará la forma de una parábola, prescindiendo de la resistencia del aire.

151. Constitución de la vena líquida.— Los estudios de Savart sobre esta cuestión le han conducido á los siguientes resultados. Al salir un líquido por un orificio hecho en pared delgada, aparece transparente y tranquilo, pero muy luego se enturbia y agita, notándose en la vena líquida partes ensanchadas ó *vientres*, seguidas de porciones más estrechas llamadas *nodos* (fig. 119). La parte agitada de la vena líquida está formada por gotitas discontinuas, que se alargan ó ensanchan según se las considere en los nodos ó en los vientres, observándose, además, en ellas un movimiento vibratorio que puede originar un sonido: Desde el momento que abandonan el vaso, las moléculas líquidas tienden á disminuir sus distancias, originando al poco rato un estrechamiento que se llama *contracción de la vena líquida*.

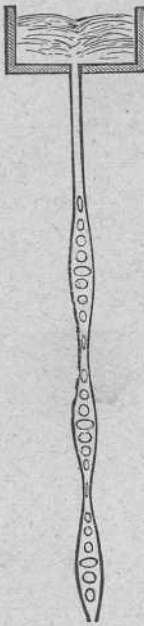


Fig. 119.

Si el orificio es circular y está practicado en la pared vertical de un vaso, la contracción llega á valer un tercio del diámetro del orificio, y se verifica á una distancia próximamente igual al diámetro del mismo. Depende esto de la dirección convergente con que marchan hacia el orificio las moléculas líquidas contenidas en el vaso, lo cual puede observarse mezclando el agua con partículas de laeere, ú otro cuerpo que pese tanto como ellas; estas partículas siguen la marcha del líquido y dejan estudiar fácilmente su movimiento. Á medida que la vena líquida se va aproximando á la vertical descendente, la parte contraída va alcanzando mayor longitud, y, al contrario, si dicha vena forma ángulos cada vez menores con la vertical ascendente, la porción contraída se acerca al orificio, coincidiendo con él á los 65° . Desde esta inclinación hasta la vertical se cambia la contracción en ensanchamiento.

152. Velocidad de los líquidos: Teorema de Torricelli.— Al

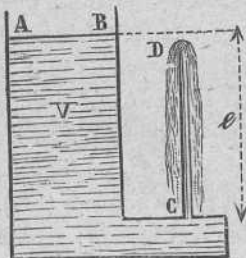


Fig. 120.

salir un líquido por un orificio practicado en un vaso de paredes delgadas, adquiere una velocidad igual á la que tendría un cuerpo grave, al caer desde el nivel del líquido hasta el centro del orificio. Este importante teorema, debido á Torricelli, se prueba del modo siguiente: En un vaso *V*, provisto en su parte inferior de un tubo lateral (fig. 120), se echa un líquido hasta el nivel *AB*, y se destapa luego el orificio *C* que lleva dicho tubo. Inmediatamente sale un surtidor *CD*, que alcanza próximamente la altura del nivel del líquido, con lo que queda de-

mostrado el teorema. En efecto; sabemos (101) que los cuerpos que se elevan á cierta altura llevan igual velocidad en los diferentes puntos de su camino, tanto al subir como al bajar; pero las moléculas que caen desde D tienen, al pasar por C , la velocidad que indica el teorema de Torricelli, luego al salir el líquido por este orificio llevará la misma velocidad, ó sea $v = \sqrt{2 e g}$ (100).

En la práctica no llega nunca el surtidor al nivel AB del líquido, por las razones que luego indicaremos al hablar de los surtidores.

Del teorema de Torricelli se deduce que *la velocidad con que salen los líquidos es independiente de su densidad*, puesto que sabemos que todos los cuerpos caen con igual velocidad en el vacío, y además, que *dicha velocidad es proporcional á la raíz cuadrada de la carga sobre el centro del orificio*. En efecto, llamando e y e' las cargas respectivas para dos orificios practicados en un mismo vaso, ó sea la distancia desde el nivel del líquido al centro de cada uno de ellos, se verificará:

$$v = \sqrt{2 e g} \text{ y } v' = \sqrt{2 e' g}$$

cuyas igualdades nos dan la proporción

$$v : v' :: \sqrt{e} : \sqrt{e'}$$

153. Gasto de un orificio.— Se llama así el volumen líquido que sale por un orificio en un segundo de tiempo. Para hallarle bastará multiplicar la área S del orificio por la velocidad que nos indica el principio de Torricelli; de modo que representando por G dicho gasto tendremos

$$G = S\sqrt{2 e g},$$

cuya fórmula representa el *gasto teórico* de un orificio. Si se recoge el líquido que sale en un caso determinado, y se compara con el volumen que resulta de la fórmula anterior, se observa que aquél es siempre menor, lo que debe, en efecto, suceder, si se tiene en cuenta que la vena líquida no conserva la forma del orificio, sino que se *contrae*, reduciéndose próximamente á un tercio. Por repetidas experiencias se sabe que dicha contracción es de 0,61, de modo que, para tener la fórmula del *gasto efectivo*, bastará multiplicar aquélla por dicho coeficiente, y tendremos para expresión de la misma,

$$G = 0,61 \times S\sqrt{2 e g}.$$

154. Salida constante de un líquido.— Es evidente, por lo antes expuesto, que si se recoge el líquido que sale por un orificio en un tiempo dado, los volúmenes resultantes irán siendo cada vez menores, puesto que la carga va disminuyendo constantemente. En algunas experiencias es un grave inconveniente esta disminución, y para conseguir que la salida de los líquidos sea uniforme se han discurrido los siguientes medios.

155. Método de derrame.—Consiste este procedimiento en hacer llegar á una vasija, por medio de un grifo de fuente, mayor cantidad de líquido del que sale por el orificio cuya vena se estudia, y derramar el exceso por un tubo colocado en el borde superior; de este modo el nivel permanece constante, y el líquido saldrá con uniformidad.

156. Método de Prony.—Se introduce en un vaso *V* (fig. 121), que contiene el líquido, una caja hueca ó *flotador F*, que sostenga, por medio de unas varillas *aa*, un depósito *D* donde caiga el líquido que procede de dicho vaso; á medida que sale el líquido, aumenta el peso del flotador, y éste se hunde más, restableciendo así el nivel del líquido, y, como consecuencia, produce la salida uniforme de aquél. Por último, el *frasco de Mariotte* (106) y el *aparato del Sr. Escriche* (*), producen también una salida constante de los líquidos, pero están fundados en principios que aun no hemos expuesto.

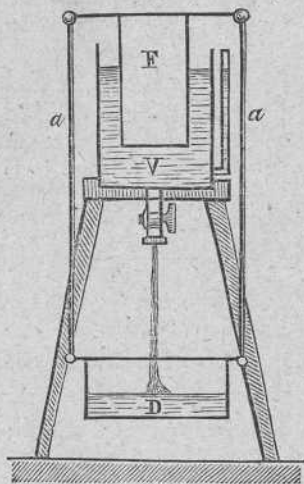


Fig. 121.

157. Unidades para medir el agua.—Cuando se trata de apreciar el agua que sale por el grifo de una fuente, se usan en fontanería unidades especiales, llamadas *real fontanero* y *pulgada francesa*. Ésta representa la cantidad de agua que sale por un orificio circular de una pulgada de diámetro, practicado en pared delgada y vertical, con la carga de una línea sobre el borde superior, lo que equivale á 19.200 litros en veinticuatro horas.

En Madrid se usa el *real fontanero*, que es la cantidad de agua que sale en veinticuatro horas por un orificio igual al antiguo real de á ocho Segoviano, ó sea un círculo de $6 \frac{1}{3}$ líneas de diámetro, con carga de una línea sobre el borde superior, y practicado en pared delgada y vertical; equivale á 3.215 litros, ó sean 100 cubas próximamente.

158. Salida por tubos adicionales.—Se llaman *tubos adicionales* los que se implantan en orificios practicados en paredes delgadas, con la condición de que su longitud no pase de dos ó tres veces su diámetro. Su forma puede ser cilíndrica y cónica, y en este último caso pueden aplicarse al orificio por la base mayor ó por la menor. Para que produzcan resultado, es neces-

(*) Distinguido compañero del Instituto de Barcelona.

rio que estén hechos de una sustancia que sea mojada por el líquido, en otro caso no modificarían el gasto del orificio.

Suponiendo que se trate de un tubo adicional cilíndrico, resulta el gasto aumentado próximamente en un tercio. Si es cónico, aplicado por su base menor, puede aumentarse el gasto en $2 \frac{1}{2}$ veces; si está formado por dos conos, unidos por su base menor, puede llegar á ser cuádruplo el gasto del orificio. La causa de esto es la adherencia que se establece entre las paredes del tubo y las moléculas líquidas, cuya adherencia evita la *contracción de la vena líquida* y produce la salida que se llama á *boca llena*.

159. Salida por tubos largos.—Si se obliga á un líquido á marchar por un tubo largo implantado en un recipiente, la velocidad que adquiere depende de la carga sobre el orificio, de la longitud y diámetro del tubo, y de las vueltas ó recodos que presente. Cuanto más angosto y largo sea, menor será la velocidad del líquido, y aun disminuirá ésta notablemente si presenta muchos ángulos. Depende esto del rozamiento del líquido con las paredes del tubo, principalmente en el cambio de dirección, y de la adherencia de unas moléculas con otras. Puede llegar á ser tan considerable esta disminución de velocidad, que apenas salga por el final del tubo el líquido empleado, como sucede valiéndose de un tubo capilar de gran longitud.

160. Presión hidráulica.—La presión que sufren las paredes de un tubo, por el que circula una corriente líquida, se llama *presión hidráulica*, y depende de su velocidad; en el caso de ser nula dicha velocidad, la presión es igual á la *hidrostática* (125), pero á medida que aumenta la velocidad del líquido, disminuye dicha presión, hasta el punto de ser nula cuando la velocidad del líquido es *la que le corresponde, según su altura en el depósito*. Si aumenta más la velocidad del líquido, la presión hidráulica se hace negativa; es decir, que no tan sólo deja el líquido de oprimir las paredes del tubo, sino que éste resulta comprimido por el aire exterior, cuyo gas penetrará rápidamente en el interior de aquél, si se hace un orificio en las paredes del mismo. En este hecho están fundadas las *trompas* ó aparatos para producir corrientes de aire.

161. Surtidores.—Se llaman así las venas líquidas que corren en sentido contrario de la gravedad. Si el orificio de salida está practicado en pared horizontal, el chorro ó vena líquida será vertical, y en caso de ser aquella inclinada, formará la vena líquida una curva parabólica. Según el teorema de Torricelli, el líquido en esta clase de venas debería llegar á la misma altura que tiene en el depósito de donde procede, pero nunca sucede esto por diferentes causas; una de ellas es el rozamiento con las paredes del tubo de conducción y con los bordes del orificio por donde sale; otra, la co-

hesión del líquido consigo mismo y con las paredes de dicho tubo y, por fin, el choque de las moléculas que descienden con las que se elevan, y su rozamiento con el aire. Esta última causa puede disminuirse inclinando la dirección del surtidor respecto de la vertical, y se observa que, cuando forma con la horizontal un ángulo de 45° , alcanza aquél la mayor altura posible. Las otras causas nunca pueden anularse, pero se aminoran dando gran diámetro á los tubos, evitando los cambios bruscos de dirección, y haciendo que el líquido salga por un orificio practicado en pared delgada.

Una interesante aplicación de la propiedad que tienen los líquidos de elevarse hasta el nivel de donde proceden, es la construcción de los *pozos artesianos*. Sabido es que la corteza terrestre está formada por diferentes capas, unas impermeables y otras permeables al agua; por éstas casi siempre circulan corrientes de dicho líquido, debidas á las filtraciones y deshielos. Suponiendo que existe, á más ó menos profundidad, una capa de terreno permeable, separado de la superficie terrestre por otra impermeable, al taladrar ésta, el agua que corre por aquélla brotará á más ó menos altura, originando un pozo artesiano.

162. Reacción producida por la salida de un líquido.—En un líquido contenido en un vaso y que se halle en equilibrio, las presiones horizontales se destruyen mutuamente, como es fácil convencerse haciendo flotar en el agua un vaso que contenga un líquido, en cuyo caso ningún movimiento se observa en él. Pero si se hace en dicho vaso una abertura lateral, al derramarse el líquido, se produce una reacción en sentido opuesto, originando el movimiento del flotador (fig. 122).

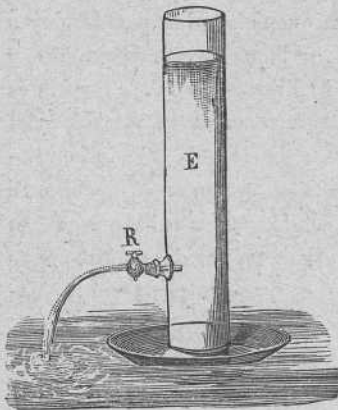


Fig. 122.

La causa de esto es que, al reemplazar por un orificio el trozo de pared correspondiente, la presión que en ella ejerce el líquido desaparece y, por tanto, la presión ejercida en sentido contrario se hace preponderante, obligando al vaso á moverse en la dirección indicada.

En este principio está fundado el aparato que representa la figura 123, llamado *torniquete hidráulico*. Consiste este aparato en un vaso que puede girar alrededor de un eje vertical, provisto en su parte inferior de dos tubos doblados en ángulo recto y en sentido opuesto; al salir por ellos el agua que contiene el vaso, la reacción correspondiente origina un *par de*

fuerzas, y el aparato toma un movimiento giratorio. Las *turbinas*, tan usadas

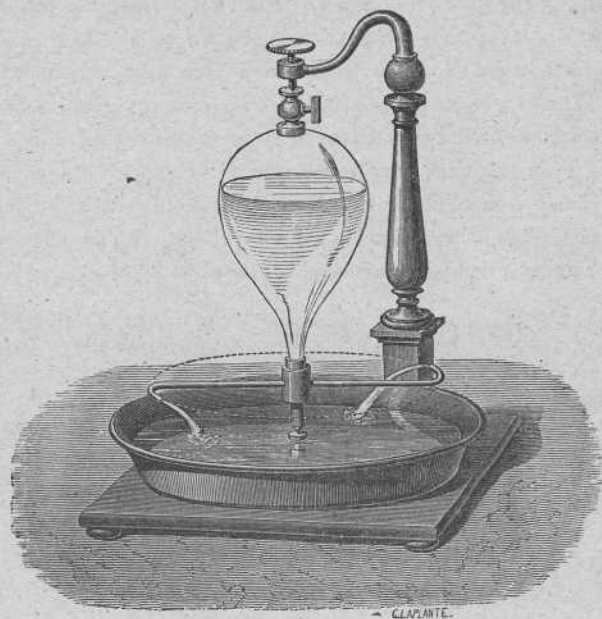


Fig. 123.

para aprovechar los *saltos de agua*, son otra aplicación felicísima del mismo principio.

CAPÍTULO V.

Pneumática.

ARTÍCULO PRIMERO.

PNEUMOSTÁTICA.

§ 1.º — Presion que ejercen los gases.

163. Caracteres especiales de los gases.—Dijimos al hablar de las divisiones que se han hecho en la Mecánica, que la *Pneumostática* se ocupa del equilibrio de los gases.

Estos cuerpos están caracterizados por carecer, como los líquidos, de forma propia, pero se diferencian esencialmente de aquéllos en su gran com-

presibilidad. Resulta de esto, que los gases no tienen realmente volumen determinado, y según la presión á que están sometidos, así ocupan más ó menos espacio. Sus átomos están, además, en un estado de repulsión continua, originando en ellos una tendencia á aumentar indefinidamente de volumen, llamada *fuerza expansiva* ó *fuerza elástica* de dichos fluidos.

Se demuestra la fuerza expansiva de los gases, introduciendo debajo de la campana de la máquina neumática, que pronto daremos á conocer, una vejiga provista en su cuello de una llave, en cuyo interior se ha dejado una pequeña cantidad de un gas (fig. 124). Extrayendo el aire de dicha campana, empieza á aumentar inmediatamente el volumen de la vejiga, hasta el punto

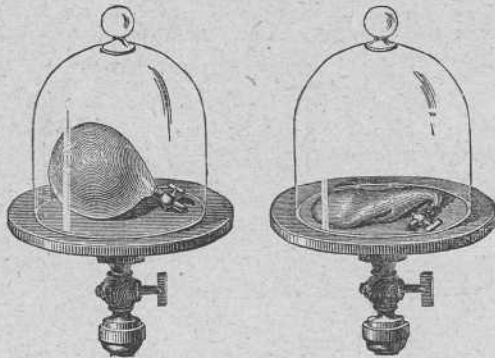


Fig. 124.

de aparecer llena, cuando se ha hecho el vacío que el aparato permite; más vuelve otra vez á recuperar el volumen primitivo, si se deja entrar nuevamente el aire en la campana.

164. Principio de Pascal aplicado á los gases.—La gran movi-

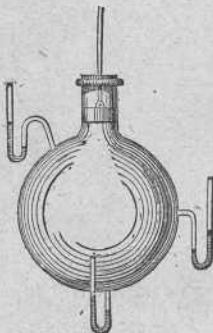


Fig. 125.

lidad que presentan las moléculas de los gases, los asimila, bajo este concepto, á los líquidos, y, como consecuencia, serán aplicables á dichos fluidos todos los principios expuestos en la Hidrostática. El teorema de Pascal puede demostrarse por medio del aparato representado en la (fig. 125). Consiste este, en un matraz provisto en diferentes puntos de su superficie de tubos de cristal en forma de U, en los que se echa un poco de mercurio. En el cuello del matraz se ajusta un pistón, con el que se comprime el gas contenido en su interior, y se observa que inmediatamente sube en todos los tubos el mercurio á la misma altura; la presión

originada por el émbolo se transmite, por consiguiente, en todas direcciones.

También es dicha presión, como sucede en los líquidos, proporcional á las superficies oprimidas, y para probarlo, puede usarse un saquillo de caucho, provisto de un orificio muy pequeño, en el que se ajusta un tubo de cristal; poniendo encima de dicho saquillo una tabla igual á su superficie, y colocando sobre ella un peso de 10 á 12 kilogramos, puede elevarse éste fácilmente sin más que soplar con la boca por el tubo de cristal.

165. Peso de los gases.—Pudiera creerse, y así se admitía en los primeros tiempos de la Física, que la fuerza expansiva de los gases era opuesta á la acción de la gravedad, y, como consecuencia, que dichos fluidos no eran pesados; más no es así en modo alguno, y primero Galileo, y después Otto de Guericke, lo probaron completamente. La experiencia de este último sabio se repite del modo siguiente: se toma un gran matraz de cristal, de cuatro á seis litros de cabida (fig. 126), provisto en su cuello de una llave que cierre herméticamente, y se extrae el aire de su interior por medio de la máquina neumática. Se cuelga luego de uno de los platillos de la balanza hidrostática y se equilibra poniendo en el otro perdigones ó un cuerpo cualquiera. Por fin, se abre un poco la llave del matraz, para que penetre el aire exterior, y se notará inmediatamente que la balanza se inclina en favor de dicho matraz, con lo que queda probado que el aire pesa. Lo mismo sucede si en esta experiencia se usa cualquier otro gas en vez de aire.

Si en el experimento anterior se ha extraído completamente el aire, y se sabe el volumen del matraz, podrá determinarse el peso de un litro de este fluido en las condiciones en que se haya practicado la operación. El resultado obtenido á la temperatura

de 0° y á la presión de 760 milímetros, ha sido 1,293 gramos por cada litro, ó sea 772 veces menos que igual volumen de agua destilada.

166. Atmósfera.—Recibe el nombre de atmósfera la capa gaseosa que rodea la Tierra. Su altura no puede precisarse exactamente, pero según los

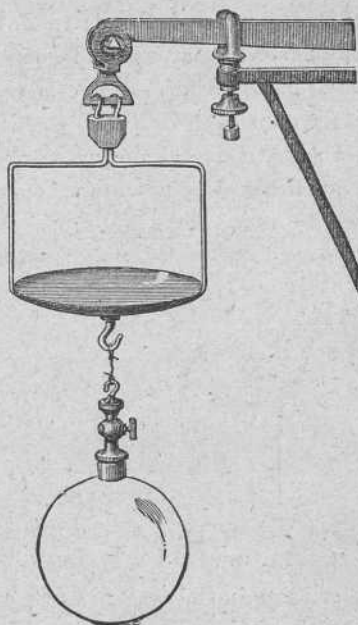


Fig. 126.

cálculos más probables es de 70 á 80 kilómetros. El ser limitada la atmósfera parece en contradicción con la fuerza expansiva de los gases, pero hay que tener en cuenta, que dicha expansión decrece á medida que baja la temperatura, y á su vez con la dilatación de dichos fluidos, condiciones que se verifican, según veremos más adelante, en las altas regiones; por otra parte, la atracción terrestre se ejerce á cualquier distancia por grande que sea, luego llegará forzosamente un caso en que esta fuerza sea igual á la expansión de los gases que constituyen la atmósfera, y desde este punto, quedará aquella limitada.

Analizado el aire por los medios que suministra la Química, se ha visto que no es un cuerpo simple, sino que está formado, aproximadamente, por la mezcla de 21 volúmenes de oxígeno con 79 de nitrógeno, encontrándose además pequeñas cantidades de ácido carbónico y vapor de agua en proporciones variables.

167. Presión atmosférica.—Siendo el aire un fluido pesado, todos los cuerpos que se hallen dentro de él deben sufrir una presión más ó menos considerable. Esta presión, llamada *atmosférica*, ha de ir creciendo, como sucede en los líquidos, desde la superficie de la atmósfera hasta los sitios más profundos de la tierra, en los que presentará su valor máximo. Por otra parte, siendo el aire un cuerpo muy compresible, las diferentes capas atmosféricas estarán tanto más condensadas, por las que tienen encima, cuanto más inmediata á la superficie de la Tierra se las considere, de donde se deduce, que el aire presenta una densidad creciente desde los límites de la atmósfera hasta la superficie terrestre.



Fig. 127

Puede probarse la existencia de la presión atmosférica por varios experimentos. El más sencillo consiste en llenar un vaso con agua (fig. 127), y después de taparlo con una cartulina ó papel grueso C, procurando no queden dentro burbujas de aire, invertirlo, sosteniendo con la mano dicha cartulina; en esta posición puede abandonarse á sí mismo, y el agua, sin embargo, no se derramará. Esto es debido á la presión atmosférica que obra sobre la cartulina y cierra herméticamente el vaso.

Mejor aún se prueba la indicada presión por medio del *rompe-vejigas* (fig. 128). Este aparato consiste en un cilindro de cristal, abierto por sus dos extremos, el cual lleva tapada la abertura superior con un trozo de vejiga bien atada á sus bordes; colocándole sobre la platina de la máquina neumática, y extrayendo después el aire de su interior, falta la presión que

este fluido ejercía por dentro, quedando tan sólo la presión exterior; ésta obliga á la lámina de vejiga á tomar una forma cóncava, y por último, llega á romperse si se continúa haciendo el vacío, produciendo la entrada brusca del aire un ruido análogo al de un pistoletazo.

Dicha presión atmosférica debe obrar en todos sentidos, puesto que hemos visto que los gases transmiten en todas direcciones las presiones que en ellos se ejercen; pero puede probarse directamente esta verdad por medio de los *hemisferios de Magdeburgo*, llamados así por haberse hecho la primera vez en dicha población la célebre experiencia de Otto de Guericke. Consisten aquéllos (fig. 129) en dos hemisferios de latón que pueden ajustarse exac-

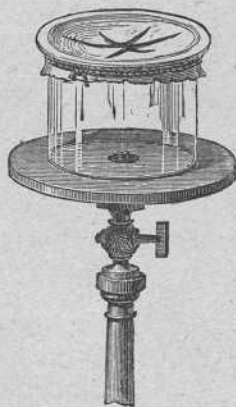


Fig. 128.



Fig. 129.

tamente; uno de ellos se halla provisto de un tubo con llave, por el cual se puede extraer el aire, y el otro de una anilla para facilitar la tracción. Una vez hecho el vacío en su interior, se necesita emplear un esfuerzo muy grande para separarlos, tanto mayor cuanto más extensa sea la superficie por donde se ajustan. En una experiencia hecha por su inventor, valiéndose de hemisferios de 1,25 metros de diámetro, fueron necesarios veinte caballos, tirando diez en cada sentido, para lograr separarlos. Esto prueba el valor enorme de la presión atmosférica, y como, además, es indiferente la dirección en que se procure la separación de aquéllos, resulta demostrado, á la vez, que dicha fuerza obra en todas direcciones.

§ 2.º—Medida de la presión atmosférica.

168. Barómetro.—Una vez demostrada la existencia de la presión atmosférica, faltaba determinar su valor. La gloria de este importante descubrimiento se debe á Torricelli, discípulo de Galileo.

El experimento de aquel sabio, practicado por vez primera en 1643, se repite del modo siguiente: Se toma un tubo de cristal de unos ochenta centímetros de longitud, cerrado por uno de sus extremos, y después de llenarlo con mercurio puro y seco, se tapa con el dedo y se introduce, después de invertirlo, en una cubeta que contenga dicho líquido; retirando entonces el dedo se observa (fig. 130) que una parte del mercurio desciende á dicha

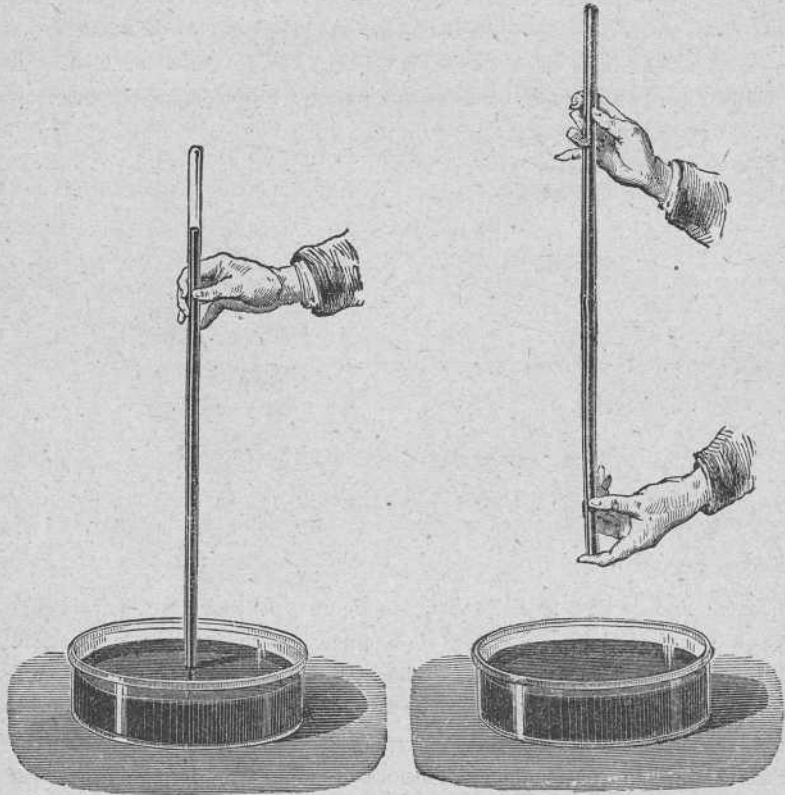


Fig. 130.

cubeta, y queda en el tubo una columna de este líquido sostenida por el peso del aire. La altura de esta columna mide, por lo tanto, el valor de la presión atmosférica, y el aparato inventado por Torricelli se conoce con el nombre de *barómetro*; el espacio completamente vacío que queda en la parte superior del tubo, se llama *vacío de Torricelli*.

Antes de inventar Torricelli su notable aparato, se sabía que en los tubos vacíos se elevaban los líquidos á cierta altura, y este singular fenómeno se

explicaba por el *horror de la naturaleza al vacío*. Desde que se conoció el experimento de Torricelli se abandonó tan absurda idea, y se atribuyó aquel hecho al peso del aire. Para convencerse Pascal de esta verdad, hizo repetir el citado experimento en la cúspide de Puy-de-Dome, y la columna de mercurio sostenida en el tubo bajó unos ocho centímetros respecto de Clermont, que está en la base. Además, llenó varios tubos con líquidos diferentes, y observó que las alturas de aquéllos estaban en razón inversa de sus densidades, quedando, por tanto, plenamente comprobado que la presión atmosférica era la única causa de tales fenómenos.

169. Construcción del barómetro.—Para construir un barómetro que mida con exactitud la presión atmosférica, hay que proceder del modo siguiente: Se toma un tubo de cristal de unos 85 centímetros de longitud, exento de burbujas y de estrias y de cuatro á seis milímetros de diámetro interior; el grueso de paredes es indiferente, pero conviene que sean de algún espesor para evitar que se rompa con los choques fortuitos. Se limpia cuidadosamente por dentro y se cierra por uno de sus extremos con la *lámpara de esmaltar*, haciendo terminar el otro por una especie de embudo, unido al resto del tubo por una parte angosta. Después se echa en su interior una columna de mercurio puro y seco de 10 ó 12 centímetros de altura, y se coloca inclinado en una rejilla á propósito, rodeando el tubo con carbones encendidos hasta conseguir que hierva aquel líquido; de este modo todas las burbujas de aire ó humedad que pudieran quedar entre las moléculas del mercurio, suben á la superficie, y toma el tubo el aspecto de una varilla de plata. Cuando se ha conseguido esto, se añade otra columna de mercurio de igual longitud, pero teniendo buen cuidado de calentarle previamente, pues de otro modo se rompería el tubo al contacto del mercurio frío; se vuelve á hervir esta columna, hasta que desaparezcan las burbujas adheridas á las paredes del tubo, y así se repite las veces necesarias, hasta llenarlo completamente. Entonces se deja enfriar y se corta con una lima por la parte angosta que le une al embudo final; se tapa el extremo abierto con el dedo bien limpio, y se invierte é introduce en una cubeta que contenga mercurio puro y seco, de la forma que representa la figura 131; por último, se fija el tubo á dicha cubeta con un corcho taladrado, aplicando el conjunto á una tabla que sirve de sostén al aparato (fig. 132). En dicha tabla se coloca una escala métrica, dispuesta de tal modo, que el *cero* coincida exactamente con el nivel del mercurio en

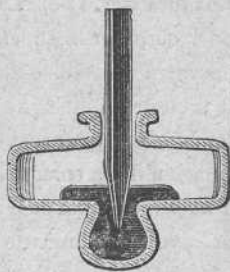


Fig. 131.

la cubeta, y de este modo bastará observar con qué división de aquella coincide la terminación de la columna de mercurio, para saber la altura barométrica en el momento que se haga la experiencia; operación que se facilita por medio de una mira que lleva el aparato, movable con auxilio de una cremallera.

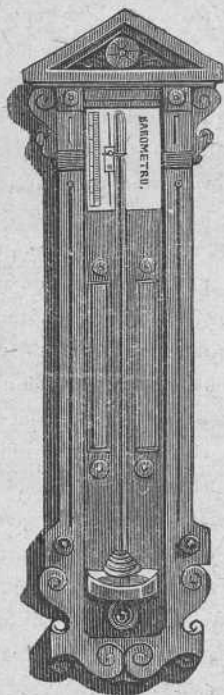


Fig. 132.

El barómetro construido bajo esta forma, se llama de *cubeta*, y es aceptable para observaciones que no exijan gran precisión, pero presenta dos graves inconvenientes. El primero es la dificultad de transportarle de un sitio á otro, por tener que llevarlo en la posición vertical en que se encuentra, y aun en ésta, es fácil que se rompa en los vaivenes al chocar el mercurio con la extremidad del tubo. El otro defecto consiste en la variación del *cero* de la escala, pues á medida que se eleva el mercurio en el tubo, desciende en la cubeta, y aunque ésta presenta una superficie mucho mayor que aquél, no por eso dejará de variar algo la posición de dicho *cero*. Á fin de evitar estos defectos, han inventado los físicos otras disposiciones que vamos á dar á conocer.

170. Barómetro de Fortín.— Este barómetro es de cubeta y de *cero movable*, pudiendo transportarse de un sitio á otro sin riesgo alguno. Su diferencia esencial con el que acabamos de describir consiste, en que el fondo de la cubeta es movable, y para conseguirlo se le hace de gamuza, pudiendo elevarse ó deprimirse por medio de un tornillo colocado en la parte inferior de la armadura (fig. 133). La parte superior de dicha cubeta es de cristal, para poder observar la superficie del mercurio, y tangente á dicha superficie se encuentra un estilete de marfil, cuya punta representa el *cero* de la escala. El tubo barométrico va protegido por otro de latón, provisto de dos ranuras diametralmente opuestas, á través de las cuales se observa fácilmente la terminación de la columna de mercurio. Generalmente se suspende este aparato en un trípode metálico con *suspensión Cardán*, representado en la (fig. 134), por cuyo procedimiento queda siempre vertical la columna barométrica.

Para hacer una observación con este aparato, se empieza por hacer girar el tornillo inferior de la cubeta, hasta que la superficie del mercurio coincida exactamente con la punta del estilete de marfil, lo que se conoce fácilmente

en una ligera depresión que se forma en el mercurio, bastando luego observar la altura de este líquido en un tubo barométrico por medio de una mira provista de su correspondiente nonius.

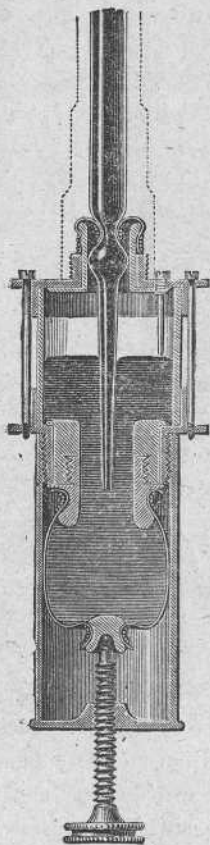


Fig. 133.

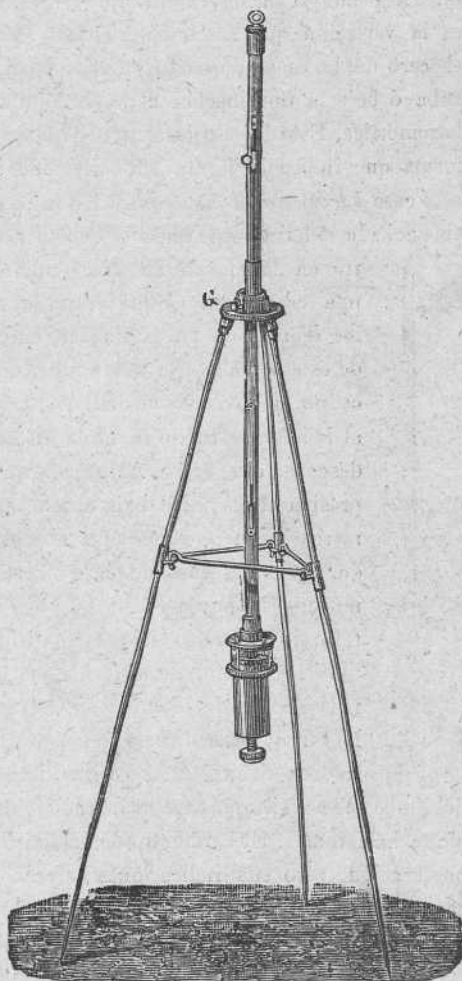


Fig. 134.

f Para transportarlo se obliga al mercurio á llenar toda la cubeta, haciendo funcionar el tornillo inferior en el sentido conveniente, y luego se invierte con cuidado, en cuya disposición, y dentro de un estuche de cuero que le acompaña, puede transportarse con gran comodidad. Esta propiedad, y la exactitud de sus observaciones hacen que este barómetro sea muy usado.

171. Barómetro de sifón.—Este aparato se diferencia del barómetro de cubeta en que el tubo se encorva en forma de U en su parte inferior (fig. 135), y constituye de este modo la cubeta. El principal inconveniente que presenta, es la variación que forzamente ha de sufrir el cero de la escala, escrito en *ab*, cuando suba ó baje la terminación *c* de la columna barométrica. Este defecto desaparece dándole la forma que indica la figura 136, llamado en este caso *barómetro de cuadrante*. En la parte ensanchada del tubo que hace de cubeta, entra un flotador de hierro *F'* unido á una cremallera *C* que engrana en los dientes de un piñón; en el eje de éste se halla fija una aguja indicadora que recorre un limbo situado al lado opuesto de la tabla en que descansa el aparato. Al aumentar la presión atmosférica baja el nivel del mercurio en que descansa el flotador, y el descenso de éste obliga á moverse la aguja en un cierto sentido; lo contrario sucede al disminuir la presión atmosférica, y las indicaciones de la aguja sirven, por lo tanto, para darnos á conocer el



Fig. 135.

valor de dicha presión. La graduación del limbo se hace siempre comparándole con un buen *barómetro normal*, de que ahora hablaremos. El barómetro de cuadrante es de aspecto elegante y fácil observación, pero sus indicaciones carecen de la precisión que se obtiene con el de Fortin. Depende esto de las resistencias que se oponen al movimiento de las diferentes piezas que constituyen la parte movable del aparato, las cuales no siguen exactamente los movimientos del mercurio en la cubeta, efecto de su inercia y rozamientos inevitables. Para evitarlos en parte se aconseja dar al aparato unos ligeros golpecitos antes de leer sus indicaciones.

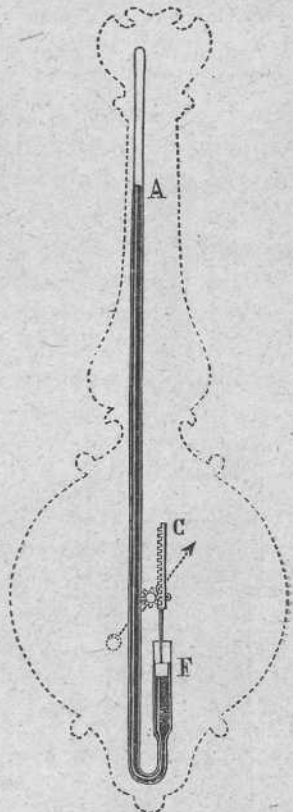


Fig. 136.

Mucho mejor es el *barómetro de sifón*, ideado por Gay-Lussac, representado en la figura 137. Los dos tubos *a* y *b*, que le forman, son del mismo diámetro y están unidos por otro más estrecho *c*. El tubo que sirve de

cubeta tiene un pequeño orificio en *a*, por donde puede penetrar el aire y no puede salir el mercurio, y al invertirlo, para transportarlo, queda este líquido en la disposición que indica el grabado. Este barómetro exige dos escalas, una ascendente y otra descendente, á partir de un punto de origen tomado arbitrariamente por encima de la línea *b*. Para saber la altura barométrica hay, por consiguiente, que medir las distancias desde dicha línea de origen á la superficie del mercurio en ambas ramas, y su suma nos dará la altura pedida.

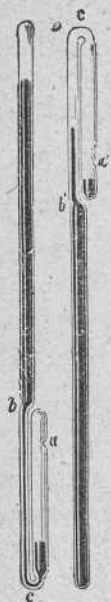


Fig. 137.

El objeto que Gay-Lussac se propuso al idear este aparato, fué el evitar el error de capilaridad, de que luego hablaremos; pero no lo consiguió á pesar de ser iguales las dos ramas del barómetro, por hallarse en ellas el mercurio en condiciones muy diferentes. Resulta, en efecto, que mientras en la rama inferior está el mercurio en contacto con el aire, que más ó menos ha de oxidarle, en la rama superior está en el vacío, y permanece perfectamente puro, originando esto cierta desigualdad en la acción capilar de ambas ramas. Por esto, y por la molestia que origina el hacer dos observaciones para medir la altura barométrica, se usa poco este aparato.

172. Barómetro normal.—Para operaciones de gran precisión se usa en los Observatorios el siguiente barómetro, debido á Regnault. Se compone de un tubo de cristal *A* de dos centímetros de diámetro (fig. 138) lleno de mercurio con el mayor esmero, siguiendo el método que antes hemos indicado. Este tubo se introduce en una cubeta de hierro *C* de grandes dimensiones, casi llena de mercurio, y se fija todo en un soporte metálico empotrado en un muro. Para observar el nivel del mercurio en la cubeta, lleva ésta en uno de sus lados un tornillo *T* terminado en punta por su parte inferior, con la cual se enrasa, como en el barómetro de Fortin, la superficie de dicho líquido. Midiendo después, por medio del catetómetro (15), la

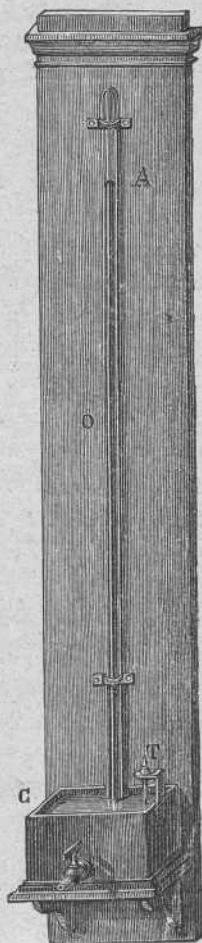


Fig. 138.

distancia entre el nivel del mercurio en el tubo barométrico y la extremidad superior del tornillo, no habrá más que sumar la longitud de éste para obtener con precisión la altura barométrica.

173. Correcciones de la altura barométrica.—En los barómetros de mercurio hay que hacer dos correcciones para obtener la verdadera altura barométrica; una se llama de *temperatura* y, como veremos en el tratado del Calor, depende de la dilatación que sufren todos los cuerpos bajo la influencia de este agente; para esto llevan todos los barómetros un termómetro que indica la temperatura del mercurio.

La otra corrección tiene por objeto compensar la depresión que sufre el mercurio en los tubos que no llegan á dos centímetros de diámetro, debido principalmente á la capilaridad, y para averiguar su valor, el mejor medio es comparar la altura del barómetro de que se trata con uno *normal*, que está exento de este defecto por el gran diámetro del tubo que lo forma. Si no se puede hacer esta comparación, por no disponer de un barómetro normal, se calcula dicho error de capilaridad consultando unas tablas construídas para este objeto por Delcros, en las que se expresa la depresión del mercurio, en función del diámetro interior del tubo barométrico y de la altura de la *flecha* del menisco. Dichas tablas se hallan insertas en todos los anuarios de Meteorología.

174. Barómetro de Vidie.—Los barómetros de mercurio, á pesar de su gran exactitud, tienen el defecto de ser poco á propósito para el transporte, tanto por su peso y volumen, cuanto por la facilidad con que el tubo puede romperse por los movimientos y choques del mercurio. Con objeto de evitar estos inconvenientes se han inventado los *barómetros metálicos*, que si bien no proporcionan la exactitud que los de mercurio, son, en cambio, muy cómodos para los viajes.

El que hasta ahora ha dado mejores resultados es, sin duda, el de Vidie, llamado también *aneróide* y *holostérico*. El principio en que se funda este aparato es el siguiente: Supongamos que se hace el vacío en una caja metálica que tenga flexible una de sus paredes; dicha pared, en virtud de la presión atmosférica, se deprimirá, adquiriendo una forma cóncava, y para evitar esta depresión podrá usarse un muelle que compense aquella fuerza. Si en este estado aumenta la presión atmosférica, la pared flexible de la caja volverá á deprimirse, venciendo la resistencia constante del muelle y, al contrario, si disminuye la presión atmosférica, la fuerza del muelle elevará algún tanto dicha pared. De aquí resulta, que los movimientos de la pared flexible de la caja están relacionados con los cambios de la presión atmosférica, y midiéndolos con exactitud, podrán indicarnos, por

comparación con el barómetro de mercurio, el valor de dicha presión. Para realizar estas condiciones se usa una caja metálica BB' (fig. 139), cuya

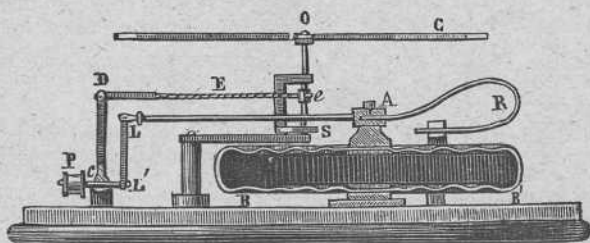


Fig. 139.

pared superior es flexible, por hallarse ondulada circularmente, y de la cual se ha extraído el aire con auxilio de la máquina neumática. En el centro de la misma se halla fijo un cilindro metálico A , unido á un muelle resistente R , que sirve para contrarrestar el efecto que la presión atmosférica ejerce sobre dicha superficie. Del borde de dicho muelle sale una larga palanca AL , unida por un tirante metálico á otra palanca acodada $L'CD$, la que transmite sus movimientos, por medio de una cadena E , á las piezas restantes del aparato. Dicha cadena se arrolla á un cilindro e provisto en su eje de una aguja indicadora OC , la que se halla en cierta tensión por la elasticidad de un muelle S arrollado en espiral alrededor del cilindro antes citado.

Al aumentar la presión atmosférica se deprime un poco la tapa superior de la caja, venciendo la fuerza del muelle R , y, por el efecto de las palancas mencionadas, la aguja recorre cierto espacio angular. Si disminuye dicha presión, la elasticidad constante del muelle obliga á elevarse á la tapa y cilindro A , y la aguja se mueve en sentido contrario; estos movimientos se pueden comparar con las indicaciones de un buen barómetro normal, y el resultado se inscribe en el limbo que recorre la aguja, el cual se ha suprimido en el grabado para que sean visibles las piezas del interior.

Este barómetro, construído con esmero, da muy buenos resultados, y sus indicaciones son aceptables siempre que no se necesite gran precisión.

175. Barómetro de Bourdon.—Este físico ha inventado otro barómetro metálico, que reconoce por fundamento el siguiente principio: Si se tiene un tubo encorvado de paredes flexibles, en cuyo interior se haya hecho el vacío, y se expone á diferentes presiones exteriores, su curvatura aumentará ó disminuirá según el valor de dichas presiones.

Esto supuesto, el barómetro de Bourdon, consiste (fig. 140) en un tubo de latón de paredes delgadas, cerrado por sus extremos, cuya sección elíptica está representada á un lado en el dibujo. Por medio de la máquina neumática



Fig. 140.

se hace el vacío en su interior, y luego se fija por su centro en una caja cilíndrica; los extremos libres de dicho tubo se unen á dos bridas encargadas de mover un sector dentado, el que engrana en un piñón provisto en su eje de una aguja indicadora. Resulta de esta disposición, y del fundamento de este aparato, que al aumentar la presión atmosférica, crece también la curvatura del tubo, aproximándose una á otra las extremidades del mismo, y por el movimiento de las bridas y del sector dentado, la aguja recorre un cierto espacio angular; un movimiento contrario recibe dicha

aguja cuando disminuye la presión atmosférica, y sus indicaciones, comparadas previamente con las de un barómetro normal, pueden servirnos para medir la presión atmosférica.

176. Valor de la presión atmosférica.—Conocida la altura del mercurio en el tubo barométrico, es fácil calcular el valor de la presión atmosférica sobre una superficie dada. Dicha altura, al nivel del mar, resulta ser término medio 76 centímetros, que es lo que se llama también *presión normal*.

Supongamos ahora que se trata de averiguar el valor de la presión atmosférica sobre la superficie de un cm.² Dicha presión será igual al peso de una columna de mercurio cuya base sea de un cm.², y su altura 76 cm., ó sea 76 cm.³ El peso de este volumen de mercurio es igual á $76 \times 13,6 = 1,033$ klg., luego el valor de la presión atmosférica sobre una superficie dada, será igual, próximamente, á tantos kgs. como cm.² contenga aquélla.

177. Medida de alturas con auxilio del barómetro.—Aparte de las notables aplicaciones que en Meteorología presenta este aparato, de las que nos ocuparemos en su lugar, se ha utilizado este instrumento para medir alturas con bastante aproximación.

Resulta, en efecto, que disminuyendo la altura barométrica á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, y recíprocamente, puede en cierto

modo indicar este aparato la altitud del punto en que se le observe. Si la atmósfera tuviera una densidad constante, nada sería más fácil que determinar la capa de aire que equivale á un milímetro de mercurio. En efecto, la densidad del aire al nivel del mar es aproximadamente 10.500 veces menor que la del mercurio; luego una columna de este líquido de un milímetro de altura, equivale á otra de aire de $10^m,50$, de donde resulta que para pequeñas altitudes se puede adoptar, sin gran error, el número 11 *metros* por cada milímetro que desciende el mercurio en el barómetro. Para altitudes algo considerables hay que tener en cuenta que la densidad del aire decrece rápidamente con la altura, y está influida por otras varias causas, por lo que ha habido necesidad de tomarlas todas en cuenta, y después de varias correcciones, que la práctica ha aconsejado, Mr. Laplace ha deducido la siguiente fórmula:

$$D = 18.393^m (1 + 0,002837 \times \cos. \text{ de } 2 l.) \left[1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right] \log. \frac{A}{a}.$$

En esta igualdad, D representa la altitud buscada; A y T la altura barométrica y la temperatura en la estación inferior; a y t los mismos datos observados en la estación superior, y l la latitud geográfica del sitio en que se hace la experiencia. Esta fórmula puede emplearse sin gran error para alturas que no pasen de 6.000 metros.

§ 3.º—Fuerza elástica de los gases.

178. Ley de Mariotte.—Hemos visto (18) que por la compresión se puede reducir notablemente el volumen ocupado por un gas, y es evidente que en cada momento la fuerza elástica de aquél equilibra la presión que le comprime. Estudiando el físico Mariotte la relación que pudiera existir entre ambas fuerzas, dedujo la siguiente ley: *Los volúmenes ocupados por un gas, cuya temperatura no varíe, están en razón inversa de las presiones á que se halle sometido.*

Puede demostrarse dicha ley por el tubo de Mariotte, el cual consiste (figura 141) en un tubo de cristal de un metro ó más de altura, abierto por su extremo superior y doblado en forma de U por su parte inferior, que está cerrada; dicho tubo se halla fijo en una tabla que lleva una escala á los lados de sus dos ramas. Para hacer el experimento se empieza por echar dentro la cantidad de mercurio necesaria para que, una vez igualado el líquido en ambas ramas, llegue en ellas al cero, como indica el dibujo, y es claro que el volumen de aire V contenido en la rama cerrada, se hallará sometido á la presión P que entonces marque el barómetro. En seguida

se añade mercurio en la rama abierta, y el peso de este líquido irá comprimiendo el aire encerrado en la rama corta, y así se continúa echando mercurio, hasta que el volumen de dicho fluido se reduzca á la mitad, en cuyo caso observaremos que la diferencia de niveles que el mercurio presenta en las dos ramas, ó sea la presión á que dicho gas está sometido, es igual á $2 P$. Si la longitud del tubo lo permite, podremos seguir añadiendo mercurio hasta reducir á un tercio el volumen del aire contenido en la rama cerrada, y veremos entonces que la presión correspondiente es igual á $3 P$, y así sucesivamente, cuyos resultados nos indican que, para reducir un volumen determinado de aire á la mitad, tercera, cuarta parte, etc., es necesario someterlo á una presión doble, triple, cuádruple, etc.; de modo, que representando por V y V' dos volúmenes de aire sometidos á las presiones P y P' , resultará la proporción,

$$V : V' :: P : P,$$

que es el enunciado matemático de la ley de Mariotte.

Para demostrar que también se verifica dicha ley cuando las presiones son inferiores á la atmosférica, se usa un barómetro de *cubeta profunda*, representado en la figura 142. Consiste este aparato en un tubo barométrico, más largo que los usuales, el cual puede introducirse en una cubeta de bastante profundidad, llena de mercurio. El tubo barométrico se llena de este líquido, cuidando de dejar una corta cantidad de aire, y luego se introduce en la cubeta, hasta que el nivel que en ella tiene el mercurio coincide con el del tubo barométrico. En este caso el volumen V de aire en él encerrado, se halla sometido á la presión atmosférica P ; se anota exactamente dicho volumen por medio de una escala fija en la cubeta, y se eleva luego el tubo barométrico, en cuyo caso observaremos que dicho volumen va aumentando progresivamente. Cuando

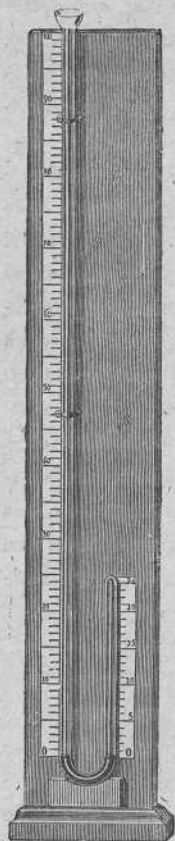


Fig. 141.

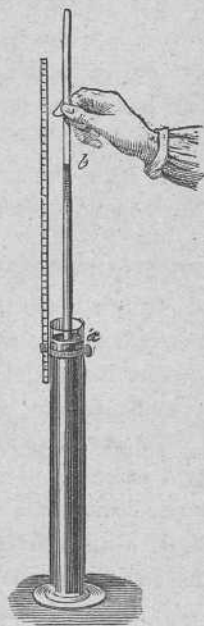


Fig. 142.

se crea conveniente, se mide el nuevo volumen V' ocupado por el aire, y se anota la diferencia de niveles D que presenta el mercurio en la cubeta y tubo barométrico; la presión que entonces soporta el aire contenido en el tubo, es igual á la atmosférica P menos la columna de mercurio D , ó sea $P - D$. Comparando los cuatro números que representan los volúmenes y presiones correspondientes, se observa que forman la siguiente proporción:

$$V : V' :: P - D : P;$$

conforme en un todo con la ley de que nos ocupamos.

Como corolario de la ley de Mariotte podemos decir que, *la densidad de un gas está en razón directa de las presiones que sufre*. En efecto; puesto que el peso del gas no varía por la compresión, á medida que se reduzca su volumen aumentará en proporción idéntica su densidad.

Esto mismo se deduce fácilmente de la fórmula $V : V' :: P' : P$. Vimos en efecto (115), que la densidad de un cuerpo tenia por expresión $D = \frac{P}{V}$, de cuya igualdad se deduce $V = \frac{P}{D}$. Sustituido este valor en la ecuación primera, y teniendo presente que P es igual en ambos volúmenes, tendremos $\frac{P}{D} : \frac{P}{D'} :: P' : P$, y quitando denominadores obtendremos, por fin, la proporción $D' : D :: P' : P$, que demuestra lo que hablamos indicado.

179. Verificación de la ley de Mariotte.—Varios físicos notables, y especialmente Mr. Regnault, han investigado si la ley de Mariotte se verifica á cualquier presión y para todos los gases, y después de una serie de experiencias, tan delicadas como difíciles de ejecutar, han visto que, tratándose de grandes presiones, no es rigurosamente cierta, y sobre todo operando con gases fáciles de liquidar. Á pesar de esto, el error que puede cometerse suponiéndola exacta en las aplicaciones usuales es insignificante, y de hecho se adopta como tal.

180. Aplicaciones de la ley de Mariotte.—Entre otros casos, se aplica con gran frecuencia dicha ley para hallar el volumen que ocuparía un gas á cierta presión habiendo sido medido á otra diferente. Supongamos, como ejemplo, que se necesita averiguar el volumen que ocuparían 150 centímetros cúbicos de un gas, medidos á la presión de 710 milímetros, cuando esta presión se convierta en 760 milímetros. Sustituyendo en la fórmula de Mariotte los valores de este caso particular en vez de los datos generales que en ella figuran, tendremos la proporción $150 : X :: 760 : 710$, de donde se deduce $X = \frac{150 \times 710}{760} = 150 \times \frac{710}{760} = 140 \text{ cm}^3$. Esta última

igualdad nos manifiesta que, para reducir el volumen de un gas á otra presión distinta de la que se ha medido, basta multiplicar dicho volumen por un quebrado, cuyo numerador sea la presión á que se ha medido y el denominador la presión á que se quiere reducir.

En la medida del volumen de los gases y en otras muchas cuestiones en que interviene la presión atmosférica, han adoptado los físicos, como valor de una atmósfera, ó presión normal, la de una columna de 760 milímetros de mercurio á 0°, que es lo que generalmente marca el barómetro al nivel del mar.

181. Manómetros.—Reciben este nombre los aparatos destinados á medir la fuerza elástica de los gases. El de *aire libre* consiste en un recipiente de hierro (fig. 143), dentro del cual se echa mercurio; un tubo de cristal *b*, abierto por sus dos extremos, penetra en él hasta cerca de su fondo por una abertura practicada en la parte superior, y se ajusta á ella por un trenzado de estopas engrasadas comprimidas por un tornillo. En su parte alta y lateral tiene el recipiente otra abertura *a*, que comunica con el depósito en que está encerrado el gas cuya tensión se quiere medir. Esto supuesto, al llegar dicho gas por el tubo *a*, comprime al mercurio del recipiente, y este líquido sube en el tubo *b* hasta que su peso equilibra á la fuerza elástica del gas; midiendo, por lo tanto, la altura de la columna de mercurio, á partir del nivel que tiene este líquido en el recipiente, y añadiendo la presión que entonces marque el barómetro, se tendrá la tensión pedida. Generalmente se coloca una escala métrica al lado del tubo, haciendo que el cero coincida con el nivel del mercurio en dicho recipiente. Para grandes presiones se

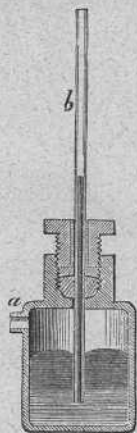


Fig. 143.

usa la división en *atmósferas*, teniendo en cuenta, como acabamos de indicar, que cada una equivale á 760 milímetros de mercurio, y que en el nivel del mercurio, dentro del recipiente, hay que escribir el número uno, ó sea el valor actual de la presión atmosférica. Este manómetro es, sin duda alguna, el más exacto; puesto que se pueden apreciar milímetros de mercurio, ó sea $\frac{1}{760}$ de atmósfera, pero tiene el inconveniente de exigir un tubo exageradamente largo cuando se trata de medir presiones algo considerables.

182. Manómetro de aire comprimido.—Este aparato tiene por objeto evitar el defecto que presenta el anterior. Se compone (fig. 144) de una cubeta de hierro llena de mercurio, en la que se ajusta, de manera que llegue hasta muy cerca del fondo, un tubo cilíndrico de cristal cerrado por su

parte superior y abierto por la inferior. La cubeta tiene, además, un orificio lateral sobre el nivel del mercurio, para dar entrada al gas cuya tensión se quiere medir. La graduación de este manómetro se hace en atmósferas, y se obtiene aplicando la ley de Mariotte, para lo cual se escribe 1 en el nivel del mercurio en la cubeta; 2 á la mitad de la longitud del tubo; 3 á la tercera parte, y así sucesivamente. Graduado así el aparato, resultan muy inmediatas las diferentes líneas que señalan las atmósferas, y cuando la presión es considerable se hace difícil apreciar con alguna exactitud la tensión del gas. Puede evitarse en parte este defecto haciendo el tubo ligeramente cónico, en cuyo caso la mitad del volumen de aire que dentro contiene, se hallará más cerca de la cubeta, y lo mismo sucederá con su tercera, cuarta parte, etc.; de este modo las divisiones del aparato estarán más separadas unas de otras y serán más fáciles de apreciar. En este caso debe graduarse este manómetro por comparación con el de aire libre.

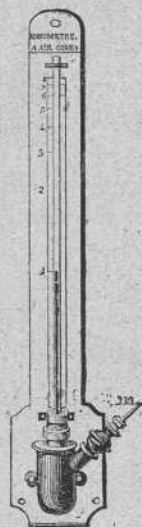


Fig. 144.

Manómetro de Bourdon. — Otro manómetro muy usado es el *metálico de Mr. Bourdon*. Está fundado en el mismo principio que su barómetro (175), y consiste (fig. 145) en un tubo de latón flexible *A B C*, de sección elíptica, arrollado en forma circular. El origen del tubo comunica por *A* con el depósito del gas, y su otra extremidad *B* se halla cerrada y va provista de una aguja indicadora. Al penetrar en dicho tubo el gas cuya tensión se quiere medir, tiende aquél á desarrollarse, y la aguja recorre un limbo graduado en el que están escritas las atmósferas que representa la tensión de dicho fluido. Esta graduación se efectúa siempre por comparación con el de aire libre. Este manómetro es cómodo y muy resistente, teniendo sus indicaciones suficiente precisión para la mayor parte de las aplicaciones industriales.

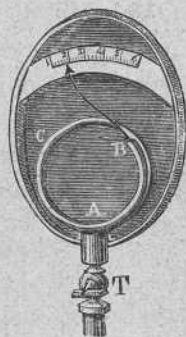


Fig. 145.

183. Piezómetro de CErsted. — Al hablar de la compresibilidad de los líquidos, dijimos que se había logrado reducirlos de volumen por medio de los *piezómetros*, cuya descripción reservamos para ahora, por no ser posible entonces comprender su teoría. Consiste este aparato (fig. 146), en un vaso de cristal de paredes resistentes, terminado en un cilindro metálico y hueco, en cuyo interior ajusta exactamente un pistón, el que se eleva ó

desciende haciendo girar el tornillo en que termina. Este cilindro se puede llenar de agua por medio de un embudo, provisto de una llave de fuente, que lleva en la parte superior. Dentro de dicho vaso se coloca una botellita de cuello estrecho y largo, llena, hasta cerca de su extremidad, del líquido que se quiere comprimir, y á sus dos lados, fijo todo en una chapa metálica, lleva un manómetro de aire comprimido y un termómetro, que no aparece en el dibujo.

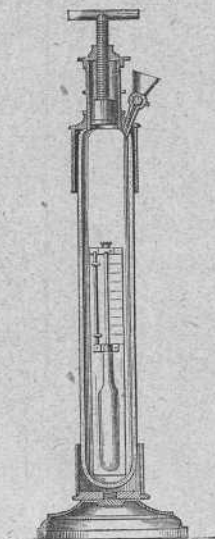


Fig. 146.

Esto supuesto, haciendo girar el tornillo en sentido conveniente, descende el pistón y oprime vigorosamente al agua, y como los líquidos transmiten las presiones en todos sentidos, el líquido contenido en la botellita sufre por todas partes los efectos de dicha presión; entonces se observa que el nivel que aquél tiene en la botellita descende algunos milímetros, con lo que queda probada su compresibilidad. El manómetro colocado á su lado nos indicará la presión que sufre el líquido, y el termómetro servirá para dar á conocer la temperatura del agua; ésta se eleva siempre al oprimir el líquido, y debe esperarse á que descienda al mismo grado antes de medir el nivel de aquél.

184. Mezcla de los gases.—Cuando se mezclan en un mismo recipiente varios gases de diferente densidad, no se superponen como los líquidos, sino que se forma una mezcla íntima, en la que todos los gases están representados en proporción de su volumen primitivo. Para demostrarlo en el caso más desfavorable, Berthollet practicó el siguiente experimento: Llenó dos matraces, uno de hidrógeno y otro de ácido carbónico, y los colocó, después de ajustar bien sus cuellos, el de ácido carbónico debajo del que contenía hidrógeno. Trasladados á un sitio en que la temperatura era constante, y analizado al cabo de cuatro días el gas contenido en cada matraz, observó que la cantidad de ambos gases era exactamente igual en los dos matraces, á pesar de ser el ácido carbónico 22 veces más pesado que el hidrógeno. La composición constante del aire, que sabemos es una mezcla de oxígeno y nitrógeno, es otra prueba evidente de lo mismo, pues á pesar de ser más pesado el oxígeno, resulta siempre en igual proporción con el nitrógeno, cualquiera que sea la altura de la capa de aire analizada.

De aquí resulta la *ley de Dalton*, referente á dicho asunto, á saber: que si se mezclan varios gases en un mismo recipiente, cada gas se esparce por todo

él, y la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas que tendría cada gas, si llenara por sí solo todo el recipiente.

185. Disolución de los gases en el agua.—El agua tiene la notable propiedad de disolver, en más ó menos cantidad, todos los gases conocidos, y para precisar la cantidad de gas disuelto, se ha convenido en llamar *coeficiente de solubilidad de un gas*, el volumen que de aquél disuelve una cantidad dada de agua. Este coeficiente es independiente de la presión á que esté sometido el gas puesto en contacto con el líquido, con tal que se mida á la misma presión el gas disuelto; lo que equivale á decir, que la cantidad de un gas disuelto por el agua es proporcional á dicha presión. En esto se funda la fabricación artificial de aguas gaseosas, y puede por esta causa obtenerse un líquido que contenga un volumen gaseoso muy superior al suyo. La temperatura influye notablemente en el fenómeno de que nos ocupamos, y á medida que crece aquélla, disminuye rápidamente la cantidad de gas disuelto. Fundándose en esto, puede privarse al agua de los gases que contenga sometiéndola á una ebullición prolongada.

He aquí el coeficiente de solubilidad á 0° de algunos gases:

Hidrógeno.	0, 0193
Nitrógeno.	0, 0203
Oxígeno.	0, 0411
Ácido carbónico.	1, 797
Ácido sulfuroso.	- 79, 8
Amontaco.	1050, 0

Respecto á la solubilidad de las mezclas gaseosas, observó Dalton, que, si el agua se encuentra en contacto con una mezcla de gases, cada uno se disuelve como si estuviera solo, y con arreglo á la presión que posea en la mezcla; ley cuya importancia se comprende desde luego.

La disolución de los gases en el agua tiene un interés capital en la naturaleza. Sabido es, en efecto, que los animales que viven dentro del agua respiran en general el aire disuelto en dicho líquido, y como el oxígeno es más soluble que el nitrógeno, resulta, por lo que acabamos de indicar, que contiene más cantidad de oxígeno el aire disuelto en el agua que el atmosférico, lo cual es beneficioso para aquellos seres. En el agua que usamos como bebida se encuentra también disuelto el aire atmosférico, condición indispensable para nuestra alimentación, pues sin el oxígeno del aire produciría dicho líquido desórdenes importantes en nuestro organismo.

La propiedad de disolver los gases no es exclusiva del agua, pues hay otros líquidos que también disuelven á diferentes gases.

§ 4.º — Aparatos fundados en las propiedades de los fluidos.

186. Bombas.—Reciben este nombre los aparatos destinados á la elevación de los líquidos. Se conocen tres clases de bombas: la *aspirante*, la *impelente* y la *aspirante-impelente*.

187. Bomba aspirante.—Se compone este aparato (fig. 147) de un cilindro hueco, ó *cuerpo de bomba*, dentro del cual ajusta un pistón; éste pistón tiene en su cara superior dos compuertas, ó *válvulas*, que se abren de abajo hacia arriba, y en su centro se halla implantado un vástago que sale al exterior, por medio del cual se produce el movimiento de elevación y descenso del mismo. El cuerpo de bomba tiene dos orificios; uno lateral, en su parte superior, para dar salida al líquido, y otro en el centro de su base cerrado por otra válvula; este orificio se halla unido á un tubo, llamado de *aspiración*, el cual penetra por su parte inferior en el líquido que se quiere elevar.

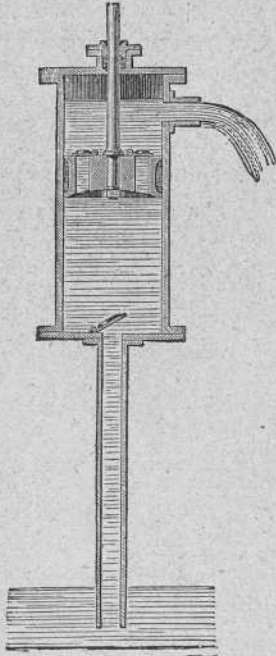


Fig 147.

El modo de funcionar esta bomba es el siguiente: Al elevar el pistón, la válvula del tubo de aspiración se abre, y el aire contenido en el tubo pasa en parte al cuerpo de bomba; efecto de esto, su tensión disminuye dentro del tubo de aspiración, en cuyo caso el agua se eleva en aquel por la presión atmosférica que actúa en la superficie del líquido exterior. Haciendo des-

pués descender el pistón, se cierra inmediatamente la válvula antes citada, y el aire contenido en el cuerpo de bomba adquiere una tensión creciente á medida que se reduce de volumen; cuando dicha tensión supera algo á la presión atmosférica se abren las válvulas del pistón, y dicho gas sale al exterior. Volviendo á elevar nuevamente el pistón, se repiten los mismos fenómenos, y el agua sube nuevamente en el tubo de aspiración, hasta que después de cierto tiempo penetra en el cuerpo de bomba; en este caso, al bajar el pistón se abren sus válvulas y el líquido pasa á la parte superior del cuerpo de bomba; al volverlo á elevar se cierran dichas válvulas por el peso del líquido y presión atmosférica, y se abre la del tubo de aspiración; el

agua del depósito vuelve á llenar el cuerpo de bomba, y la que estaba encima del pistón se derrama por el conducto superior y lateral. Esta bomba se monta generalmente como indica la figura 148, por cuyo sistema, el movimiento circular del volante *V* obliga al vástago *T* del pistón á subir y bajar alternativamente.

Vemos, por lo dicho, que el agua se eleva en el tubo de aspiración por la presión del aire que actúa sobre el líquido del depósito, de donde se deduce que, si la columna de agua contenida en aquél llegase á igualar al peso del aire, dejaría de ascender el líquido aunque se hiciera un vacío perfecto en el cuerpo de bomba. Ahora bien, la altura de una columna de agua equivalente á la presión atmosférica es unas 14 veces mayor que si fuera de mercurio, ó sea $0^m,76 \times 14 = 10^m,64$. Luego si el tubo de aspiración tiene una longitud mayor de diez metros, la bomba no podrá elevar el agua por bien construída que esté. Si, además, se tiene en cuenta la imposibilidad de obtener un ajuste exacto entre el pistón y el

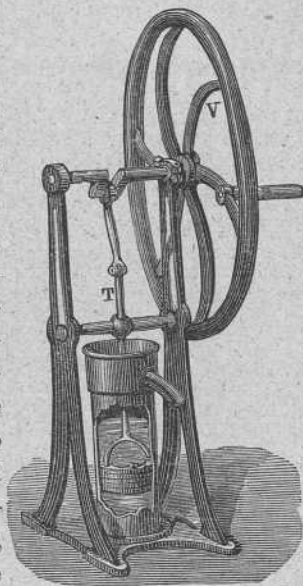


Fig. 148.

cuerpo de bomba, se comprenderá fácilmente que no puede llegar prácticamente á dicha altura, habiendo sido este hecho precisamente la causa del descubrimiento del barómetro. Cuenta, en efecto, la historia, que unos fontaneros de Florencia quisieron elevar el agua á una gran altura por medio de bombas aspirantes, y observaron con sorpresa, que el líquido no pasaba de 32 pies, por más que se esmeraron en el ajuste de todas las piezas. Referido el hecho á Galileo, que vivía en aquella época, no supo en realidad á qué atribuirlo, y contestó que, al parecer, cesaba á dicha altura el *horror de la naturaleza al vacío*, horror que, según hemos dicho, creían los físicos de entonces era la causa de que se elevaran los líquidos en los tubos vacíos. A pesar de su contestación, parece que sospechó aquel célebre sabio que el peso del aire debía ser la causa que ocasionaba tales fenómenos, pero murió sin esclarecer por completo esta cuestión. Poco después Descartes atribuyó la elevación del agua en las bombas al peso del aire, pero hasta 1643 no quedó demostrado por Torricelli, con el descubrimiento del barómetro, la importancia de la presión atmosférica.

188. Bomba impelente.—Este aparato (fig. 149), se diferencia de la

bomba aspirante en que está sumergido en el depósito del líquido que se quiere elevar, careciendo, por lo tanto, de tubo de aspiración; el pistón, además, tampoco tiene válvula alguna. El cuerpo de bomba lleva en su fondo un orificio cerrado por una válvula, que se abre de abajo hacia arriba, y de

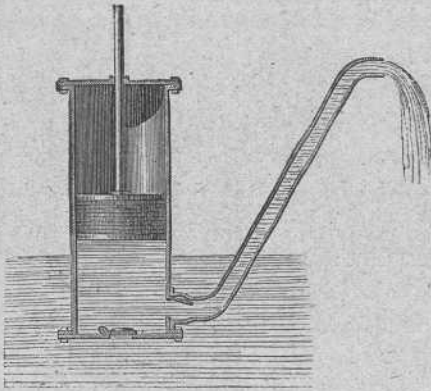


Fig. 149.

uno de sus costados arranca un tubo de conducción provisto de otra válvula, que se abre de dentro hacia afuera. Suponiendo el pistón en la parte superior del cuerpo de bomba, el agua penetrará en su interior y en el tubo de conducción por efecto de su peso, nivelándose con la superficie del líquido en el depósito. Al descender aquél, la presión que se hace sobre el agua contenida en el cuerpo de bomba, obliga á abrirse la válvula del tubo de conducción, cerrándose la del fondo, y el líquido sube por aquel tubo hasta cierta altura. Al elevar nuevamente el pistón, se vuelve á abrir la válvula del fondo, cerrándose la del tubo por el peso de la columna líquida en él contenida, y el líquido penetra nuevamente en el cuerpo de bomba. Si se oprime el pistón otra vez, se cierra la válvula del fondo y se abre la del tubo de conducción, y el agua del cuerpo de bomba pasa á dicho tubo, elevándose á mayor altura; de modo que repitiendo esta operación diferentes veces se conseguirá elevar el líquido á la altura que se desee.

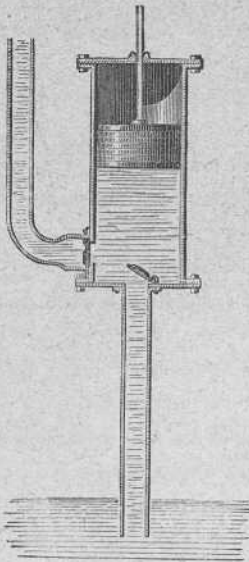


Fig. 150.

Desde luego observamos que en esta bomba no interviene para nada la presión atmosférica, y que el agua se eleva por el impulso aplicado sobre el pistón, de modo que, disponiendo de la fuerza necesaria, podrá elevarse aquél líquido á cualquier altura.

189. Bomba aspirante-impelente. —

Este aparato, llamado también *bomba mixta*, es una combinación de las

dos que hemos descrito. Consiste (fig. 150) en un cuerpo de bomba, provisto de dos tubos colocados en su parte inferior, y de un pistón ajustado en el interior de aquél. Uno de los tubos desciende y penetra en el depósito del líquido que se quiere elevar, y tiene en su parte superior una válvula que se abre de abajo hacia arriba; el otro sube hasta el punto donde se haya de verter el líquido, y tiene otra válvula que se abre de dentro á fuera. El modo de funcionar es idéntico al de las bombas anteriores, y sólo hay que tener en cuenta, como en las bombas aspirantes, que la máxima altura que puede existir desde el cuerpo de bomba hasta el depósito es, teóricamente, diez metros. Desde dicho cuerpo de bomba hasta la extremidad del tubo de conducción puede haber cualquier distancia, suponiendo, por supuesto, que se disponga de fuerza suficiente.

190. Bombas de salida continua.— Las bombas que acabamos de describir producen una salida intermitente del líquido que se eleva, y en algunas ocasiones conviene que aquél salga de un modo continuo; esto puede conseguirse por varios procedimientos. Uno de ellos consiste en la aplicación de un depósito de aire al tubo de conducción de la bomba, cuya disposición está indicada en la figura 151. El agua, al salir por el tubo de conducción, penetra en un depósito *O*, lleno de aire, en el que existe un tubo *T* de menor diámetro que aquél. Resulta de esta diferencia de diámetros, que el líquido introducido durante un tiempo dado en el depósito no puede salir por el tubo *T* en el mismo tiempo, y, comprimiendo el aire encerrado en él, se eleva sobre la extremidad inferior de dicho tubo. En el periodo de elevación del pistón, queda detenida la entrada del agua en el depósito *O*, pero entonces el aire comprimido obliga á elevarse por el tubo *T* el resto del agua, y si antes que se agote se hace descender nuevamente el pistón, la salida del líquido será continua.

191. Bomba de incendios.— Otro método para conseguir la salida continua de los líquidos en estos aparatos, consiste en combinar dos cuerpos de bomba movidos alternativamente por un balancín, como indica la figura 152. Por este sistema, que es el usado en las bombas de incendios, alguno de los dos pistones estará en el período de descenso, y el agua saldrá continuamente por el tubo de conducción; además se agrega un depósito de aire, para evitar la interrupción momentánea que

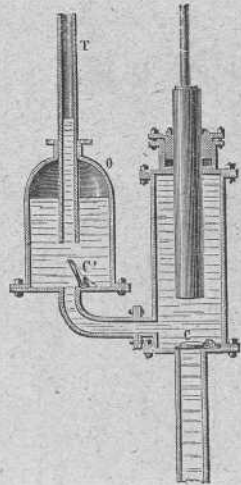


Fig. 151.

sufriera la salida del agua al cambiar la dirección del movimiento de los pistones.

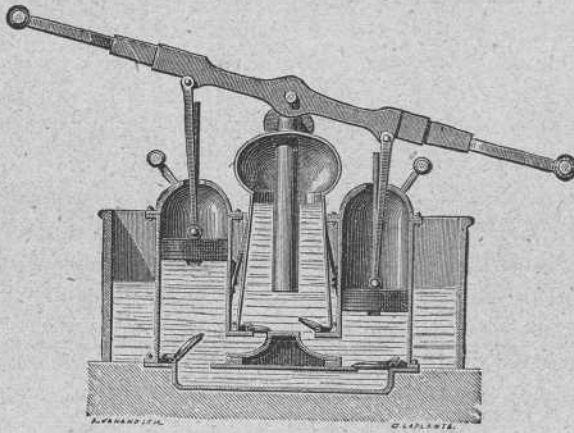


Fig. 152.

192. Bomba de doble efecto.—En vez de usar dos cuerpos de bomba, como acabamos de indicar, se puede conseguir el mismo resultado por medio de la bomba de *doble efecto*. Consiste este ingenioso aparato (fig. 153) en un cuerpo de bomba provisto de cuatro tubos *A, B, A'* y *B'*, unidos dos á dos como indica la figura. El tubo *C* penetra en el depósito del líquido, y el *C'* le conduce á donde sea necesario. Cada uno de dichos tubos tiene una válvula en su acometimiento con el cuerpo de bomba; las que corresponden al tubo *C* de aspiración se abren hacia dentro, y las respectivas al tubo de conducción *C'* lo verifican hacia fuera. El orificio por donde penetra el vástago del pistón presenta una capacidad ensanchada y rellena de estopas engrasadas, las que pueden comprimirse, más ó menos, por un disco metálico sujeto á aquella con tornillos; este conjunto se llama *caja de estopas*, y es muy usado siempre que ha de penetrar un vástago en un depósito lleno de un fluido, cuya salida se quiere evitar.

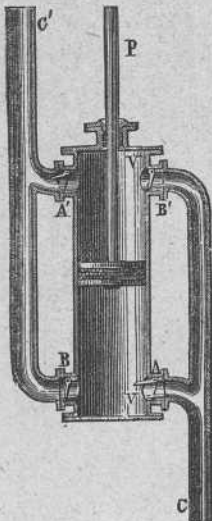


Fig. 153.

Esto supuesto, al elevar el pistón se abren las válvulas *A* y *A'*, cerrándose las opuestas *B B'*, y el agua penetra por el tubo *CA*, saliendo el aire contenido en el cuerpo de bomba por la válvula *A'*. Al descender el pistón se cierran las válvulas *A* y *A'* antes abiertas, y se abren las *B*

y B' ; por el orificio B sale el agua contenida en la parte inferior del cuerpo de bomba, y su parte superior se llena por el líquido que acude del depósito por el tubo $C B'$. Si se vuelve á elevar el pistón, las válvulas abiertas se cierran, y se abren las A y A' , saliendo el agua de la parte superior del cuerpo de bomba por $A' C'$, entrando á su vez la del depósito $C A$. Resulta, por lo tanto, que la salida del líquido se verifica de un modo continuo, y sólo al cambiar de marcha el pistón hay un momento en que se paraliza el chorro que produce, cuya detención puede evitarse por completo aplicando al tubo C' un depósito de aire, como el que antes hemos descrito.

193. Pipeta.—Este aparato (fig. 154) tiene por objeto obtener una salida intermitente, á voluntad del operador, del líquido contenido en él. Consiste en un depósito A , generalmente de cristal, terminado por dos tubos abiertos; el orificio O del tubo inferior, debe ser muy estrecho, y el del tubo superior B de un diámetro tal, que pueda cerrarse con la yema del dedo. Si se mantiene destapado el orificio superior, y se introduce la pipeta en un líquido, penetrará éste en su interior hasta adquirir dentro el nivel que tenga exteriormente; una vez conseguido esto, si se cierra con el dedo el tubo B y se saca fuera la pipeta, el líquido, sin embargo, no se derramará, pues actuando la presión atmosférica tan sólo por el orificio inferior O , impedirá la salida de dicho líquido. Si se abre el tubo superior se restablece interiormente la presión del aire, y el líquido saldrá inmediatamente por efecto de su peso. Vemos, por consiguiente, que se puede obtener con este aparato la salida intermitente de un líquido, gota á gota, si fuese necesario, por cuya razón se usa con mucha frecuencia en las diferentes manipulaciones de Física y Química.

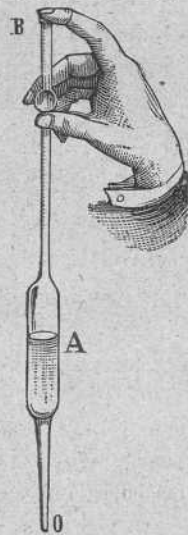


Fig. 154.

La pipeta también se conoce con el nombre de *catalicores*, porque sirve para averiguar si un líquido es ó no homogéneo. Supongamos, en efecto, que en un depósito de paredes opacas exista un líquido cuya homogeneidad queremos reconocer. Para esto se introduce cerrada, hasta que la punta O esté en el plano ocupado por el líquido dudoso, y entonces se destapa el tiempo que se juzgue necesario; el líquido que durante este tiempo penetre será el que nos proponemos examinar, de modo que si se cierra otra vez la pipeta y se saca al exterior, podremos convencernos de las condiciones del líquido en cuestión.

194. Fuente intermitente.—Este aparato es realmente una pipeta

cuya intermitencia se verifica automáticamente por el líquido que de él sale. Consiste (fig. 155) en un depósito de cristal *B*, provisto en su base de tres orificios *bbb*, y atravesado en su fondo por un tubo abierto *cc'*. Dicho depósito está sostenido por un tubo ancho de cristal, fijo por su parte inferior en un platillo *E*, el cual tiene en su centro un pequeño orificio. Si se llena de agua el depósito *B*, y se cierra herméticamente su abertura superior, la presión atmosférica, que actúa á través del tubo *cc'*, permitirá la salida del líquido por los orificios *bbb*. Este líquido se va acumulando en el platillo *E*, en el que sube de nivel por ser menor la cantidad de agua que sale por su orificio central que la que vierten los tubitos *bbb*; de modo que transcurrido cierto tiempo se tapaná el orificio *a* del tubo *cc'*, y no pudiendo el aire ejercer su presión en el interior del depósito *B*, cesará la salida del

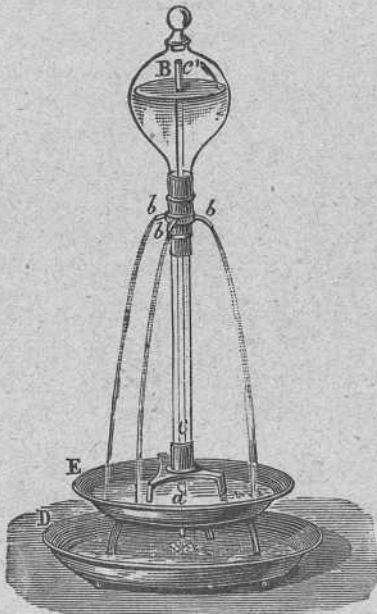


Fig. 155.

líquido. Al cabo de cierto tiempo, el agua acumulada en el platillo *E* bajará de nivel, puesto que no ha cesado de salir por su orificio central, y en el momento que quede destapada la extremidad *a* del tubo *cc'* subirá por él una burbuja de aire, con lo que se restablece interiormente la presión atmosférica, y el agua volverá entonces á correr por los conductos *bbb*. Se comprende fácilmente que la duración de la intermitencia depende de la diferencia que exista entre la superficie del orificio central del platillo *E* y la suma de los orificios *bbb*; cuanto mayores sean éstos, relativamente al orificio *a*, tanto más tiempo quedará interrumpida la salida del líquido.

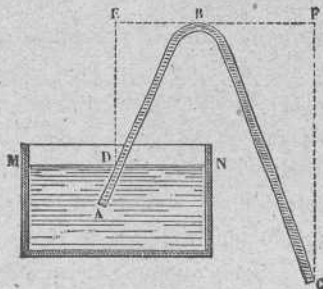


Fig. 156.

forma de U (fig. 156) y de ramas generalmente desiguales. Introducida en un líquido la rama más corta, y haciendo en la otra una supección con la

195. Sifón.—El objeto de este aparato es trasvasar líquidos de un depósito á otro. Consiste en un tubo *ABC* doblado en forma de U (fig. 156) y de ramas generalmente desiguales. Introducida en un líquido la rama más corta, y haciendo en la otra una supección con la

195. Sifón.—El objeto de este aparato es trasvasar líquidos de un depósito á otro. Consiste en un tubo *ABC* doblado en forma de U (fig. 156) y de ramas generalmente desiguales. Introducida en un líquido la rama más corta, y haciendo en la otra una supección con la

195. Sifón.—El objeto de este aparato es trasvasar líquidos de un depósito á otro. Consiste en un tubo *ABC* doblado en forma de U (fig. 156) y de ramas generalmente desiguales. Introducida en un líquido la rama más corta, y haciendo en la otra una supección con la

boca, la presión atmosférica que actúa en la superficie del líquido obliga á éste á elevarse dentro del tubo, y si después de lleno se deja abierta su extremidad libre *C*, el líquido correrá por ella hasta destaparse el orificio *A*. En efecto; una vez lleno el sifón y destapadas sus dos aberturas, las dos columnas del líquido *BD* y *BC* tienden á caer, cada una por el tubo respectivo, pero la columna líquida *BC* es de mayor longitud que la *BD*, luego la presión que origina obligará al líquido á correr por *C*, con tanta mayor velocidad cuanto mayor sea la diferencia de altura entre *D* y *C*; como esta diferencia va haciéndose menor, á medida que baja de nivel el líquido contenido en el vaso, resulta que su velocidad va decreciendo.

Cuando se trata de un líquido corrosivo no debe verificarse la succión aplicando la boca á la extremidad *C* del sifón, pues seguramente penetrarían en ella algunas porciones de dicho líquido; en este caso se usa un sifón provisto de un tubo adicional (fig. 157), injerto cerca de la extremidad *C* del aparato, por el cual se hace sin peligro dicha aspiración, después de cerrar con el dedo el orificio *C*. El sifón recibe numerosas aplicaciones, tanto en la industria como en las manipulaciones de Física y Química.



Fig. 157.

196. Frasco de Mariotte.—Este aparato tiene por objeto producir la salida uniforme de un líquido, y consiste en un frasco de cristal (fig. 158), cuya boca está cerrada por un buen corcho, á través del cual pasa un tubo *ab*, abierto por sus dos extremos; en la parte inferior tiene otra abertura provista en general de una llave de fuente *L*.

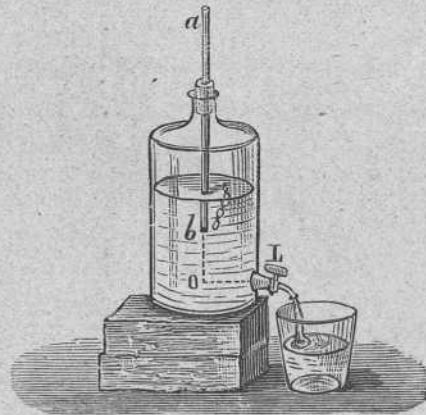


Fig. 158.

Suponiendo el frasco lleno de agua, al abrir la llave *L* saldrá cierta cantidad de líquido, y éste bajará en el tubo *ab* hasta su extremidad inferior *b*; desde este momento, á medida que salga el agua por *L*, penetrará el aire en burbujas por *b*, ascendiendo á la superficie del líquido, en la que mantendrá la presión del aire interior igual á la exterior, en cuyo caso la salida será perfectamente uniforme hasta que

quede descubierta el extremo *b* del tubo. La razón de esto es la siguiente: una molécula líquida colocada en *b* sufre hacia el interior la presión de la atmósfera, y hacia el exterior, además de dicha presión, transmitida por el tubo *a b*, la que corresponde á la carga que tenga el líquido desde el plano *b* hasta el punto *a*; la salida por el tubo *L* será, por lo tanto, la que corresponde á dicha carga, y como ésta no varía mientras no se descubra el extremo *b* del tubo, la salida será uniforme. Claro es que bastará subir ó bajar el tubo *a b* para acelerar ó retardar la salida del líquido, puesto que acabamos de ver que la causa de su salida es la presión que origina la columna *o b*. Este ingenioso aparato recibe continuas aplicaciones tanto en Física como en Química, y es, sin duda alguna, el medio más sencillo para obtener la salida uniforme de un líquido.

197. Máquina neumática.—Este importante aparato, del que se hace en las ciencias experimentales un uso constante, fué inventado por Otto de Guericke en 1650. La máquina ideada por este sabio consistía en un cuerpo de bomba *A* (fig. 159), dentro del cual puede moverse un pistón *M*, provisto de una válvula que se abre de abajo hacia arriba; en el fondo del cuerpo de bomba lleva un tubo *D E*, doblado dos veces en ángulo recto, el cual tiene una llave de fuente en el punto *C* y una tuerca en su extremo *F*, para atornillar el recipiente *B*, cuyo aire se quiere enrarecer. El modo de funcionar esta máquina es como sigue: Suponiendo abiertas las llaves *C* y *p* y el pistón situado en la parte inferior del

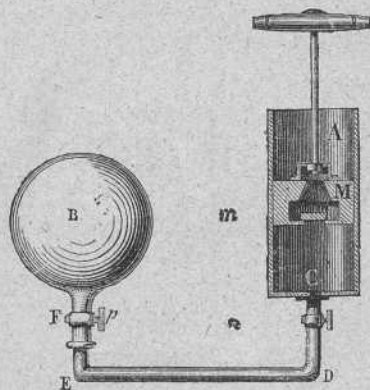


Fig. 159.

recipiente *B*, puesto que parte de dicho gas pasa á ocupar el cuerpo de bomba. Si entonces se cierra la llave *C* y se hace bajar el pistón, el aire contenido en el cuerpo de bomba no podrá volver al vaso *B* y, aumentando su fuerza elástica á medida que disminuye de volumen, llegará á abrir la válvula *M*, saliendo al exterior; volviendo á elevar el pistón, después de abrir nue-

vamente la llave *C*, pasará al cuerpo de bomba otra parte del aire alojado en *B*, y si después de cerrar la llave *C*, se obliga á descender otra vez al pistón, el aire del cuerpo de bomba abrirá la válvula *M* y saldrá al exterior.

198. Límite del enrarecimiento.—Vemos, por lo expuesto, que en

cada movimiento ascensional del pistón, se extrae una parte del aire contenido en B , luego repitiendo esto suficiente número de veces, se logrará enrarecer el aire cuanto sea necesario. A pesar de esto, no puede nunca hacerse un vacío perfecto en dicho recipiente. En efecto; suponiendo la capacidad del cuerpo de bomba igual á la del matraz B , cada vez que se eleve el pistón se extraerá la mitad del aire contenido en B , puesto que se duplica el espacio que el gas ha de ocupar; de modo que llamando V su volumen, en el primer ascenso del émbolo se habrá extraído una cantidad de aire representada por $\frac{V}{2}$; en la siguiente elevación del pistón el aire extraído será la mitad del que queda, ó sea $\frac{V}{4}$; en el siguiente $\frac{V}{8}$, y así sucesivamente; luego el total del aire extraído en n movimientos del émbolo, estará representado por la suma de los términos siguientes:

$$\frac{V}{2} + \frac{V}{4} + \frac{V}{8} + \dots + \frac{V}{2^n},$$

la cual sólo será igual á V cuando n sea infinito, condición imposible de realizar. Si además de esta imposibilidad teórica, se tiene en cuenta la imposibilidad material de lograr que todas las piezas ajusten exactamente, evitando de este modo la entrada del aire exterior, se comprenderá fácilmente que no es posible con ninguna máquina de este sistema, por bien construida que esté, obtener un vacío perfecto.

199. Máquina de dos cuerpos de bomba.—Á poco de ser inventado este aparato sufrió, por varios físicos y constructores, diferentes modificaciones y mejoras, que han hecho actualmente de él una de las máquinas más perfectas que se usan en Física, siendo la combinación más notable la de dos cuerpos de bomba. Sucede, en efecto, al usar la máquina de Otto, que para elevar el pistón, una vez conseguido cierto enrarecimiento, hay que vencer el peso del aire que gravita sobre el pistón, ó sea tantos kilogramos aproximadamente como centímetros cuadrados tenga de superficie. Este fatigoso trabajo se evita con la máquina de dos cuerpos de bomba, representada en la figura 160; en este aparato los pistones suben y bajan alternativamente, para lo cual sus vástagos presentan una serie de dientes que engranan en una rueda dentada, movida por una doble palanca, y de este modo se contrarresta el efecto de la presión atmosférica sobre cada uno de ellos. Los orificios de aspiración de ambos cuerpos de bomba se reúnen en un canal que marcha á lo largo del soporte metálico de la máquina, con el cual comunica el *barómetro truncado H*, y la *platina p*. El barómetro truncado tiene por objeto averiguar el

grado de enrarecimiento conseguido, y consiste en un tubo, en forma de U; cerrado por un extremo y abierto por el otro; la rama cerrada está comple-

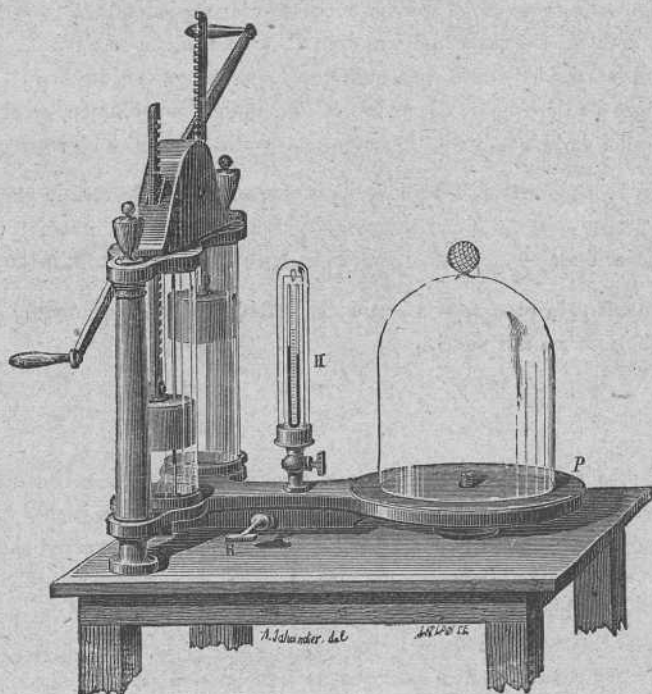


Fig. 100.

tamente llena de mercurio y la abierta comunica con la probeta *H*, unida al canal de aspiración. Suponiendo que se hiciera el vacío perfecto, bajaría el mercurio de la rama cerrada, subiendo en la abierta hasta quedar en ambas á la misma altura; esto sabemos que es imposible, pero se consigue con las máquinas bien construidas que su diferencia no exceda de $\frac{1}{10}$ de milímetro. La platina *p* está formada por un disco de cristal plano y deslustrado, sobre el que se ajustan por sus bordes las campanas en que se quiere enrarecer el aire; en su centro termina el canal de aspiración en un tornillo *T* para fijar globos ó aparatos que exijan esta colocación. Las válvulas de los pistones y tubos de aspiración son también muy ingeniosas, y contribuyen al buen resultado de esta máquina. La figura 161 representa un corte vertical del aparato, y en él se observa que la válvula del pistón *A* está consti-

tuida por un cono, hecho de roldanas de cuero, y se halla obligada á cerrarse por un ligero muelle en hélice. Las válvulas de los tubos de aspiración *A'*

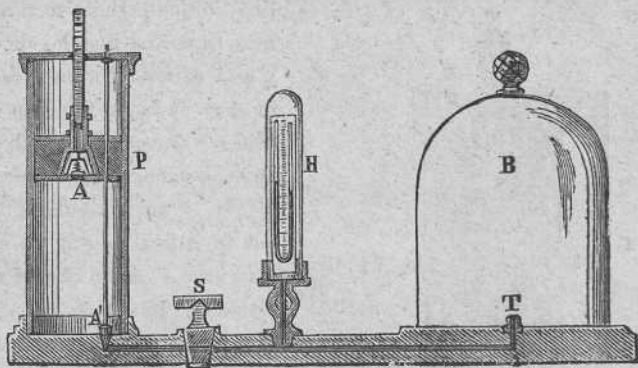


Fig. 161.

también son cónicas, y se fijan en los extremos de una varilla que atraviesa los pistones por unos orificios muy ajustados, por cuyo medio no se impide el movimiento de aquéllos y se evita la entrada del aire exterior. Dichas válvulas sólo pueden elevarse á una pequeña altura sobre su asiento, para lo cual las varillas llevan unos topes en su parte superior, que se detienen en las tapas de los cuerpos de bomba. Por este ingenioso medio se abren estas válvulas al empezar á subir los pistones, y se cierran inmediatamente que empiezan á descender, cualquiera que sea la tensión del aire en el recipiente *B*.

Otra importante mejora de estas máquinas es la *llave de doble agotamiento S* de Babinet. Sucede, en efecto, que la cara inferior de los pistones no ajusta exactamente en el fondo de los cuerpos de bomba, y el aire que se extrae del recipiente se aloja al final de la operación, en dicho espacio llamado *perjudicial*, sin abrir la válvula del pistón; desde este momento nada se conseguiría prolongando el juego de la máquina, pues el aire alojado en dicho espacio no haría otra cosa que dilatarse y contraerse sin salir al exterior. Con la llave de Babinet, formada por un cilindro con cuatro vías, se consigue llegar á un grado superior de enrarecimiento. El fundamento de ella consiste en valerse de uno de los cuerpos de bomba para hacer el vacío en el espacio perjudicial del otro; si después se pone este último en comunicación con el recipiente, podrá extraerse una nueva cantidad de aire, por haber disminuído la tensión que el gas tiene en dicho espacio perjudicial.

200. Máquina de Bianchi.—Esta máquina, cuyo uso se generaliza de día en día por sus buenos resultados, es de un solo cuerpo de bomba, pero de doble efecto. Dicho cuerpo de bomba (fig. 162) es completamente metálico, lo que permite tornearle con más exactitud que los de cristal, y está cerrado por sus dos extremos; en su fondo tiene un orificio cónico *a* que comunica con el tubo de aspiración, el que se cierra por medio de una válvula cónica colocada al final de una varilla que atraviesa el pistón por un orificio ajustado. La tapa superior del cuerpo de bomba presenta tres aberturas: la de la izquierda comunica, por medio de un tubo acodado *C*, con el canal de aspiración *A*, y se cierra por otra válvula *b* que lleva en su extremo superior la varilla antes citada; el del centro sirve para dar paso al vástago del pistón, y está provisto de una caja de estopas para evitar la entrada del aire, y, por último, la abertura de la derecha comunica con la atmósfera y está cerrada por otra válvula *a'* que se abre hacia afuera. El vástago del pistón es, á su vez, hueco, y en su parte inferior está cerrado el tubo que lo forma por una válvula cónica *b'* que se abre de abajo hacia arriba, comunicando por su extremo superior con la atmósfera. Esto supuesto, al elevar el pistón se abre la válvula inferior *a* del tubo de aspiración, y el aire del recipiente penetra en el cuerpo de bomba; al mismo tiempo el aire que ocupaba la parte superior de aquél se comprime, y llega un momento en que abre la válvula superior de la derecha *a'* saliendo á la atmósfera. Durante este movimiento han permanecido cerradas las válvulas del pistón y la superior de la izquierda; la primera por la presión atmosférica y la segunda por el rozamiento de la varilla con el orificio del pistón. Al descender éste se abre la válvula *b*, y el aire del recipiente penetra en el cuerpo de bomba; el aire que ocupaba la parte inferior de éste aumenta de tensión á medida que se reduce de volumen, y llega á abrir la válvula inferior del pistón, saliendo á la atmósfera por el conducto interior del vástago *T*. Las válvulas *a* y *a'* habrán permanecido cerradas durante este tiempo; la primera por el rozamiento de la varilla que la sos-

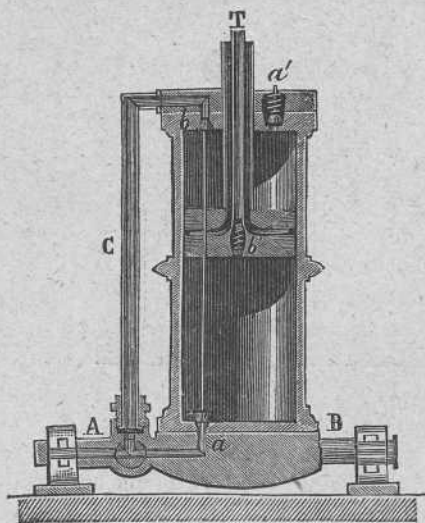


Fig. 162.

tiene con el orificio del pistón, y la segunda por la presión atmosférica.

Vemos, por consiguiente, que tanto al descender como al subir el pistón, se extrae cierta cantidad de aire del recipiente, y en poco tiempo se consigue hacer en él un vacío casi completo. Además, el movimiento del pistón se verifica con gran facilidad, por medio de un gran volante (fig. 163) provisto de un manubrio *M*, y un sistema de ruedas dentadas que favorecen bastante

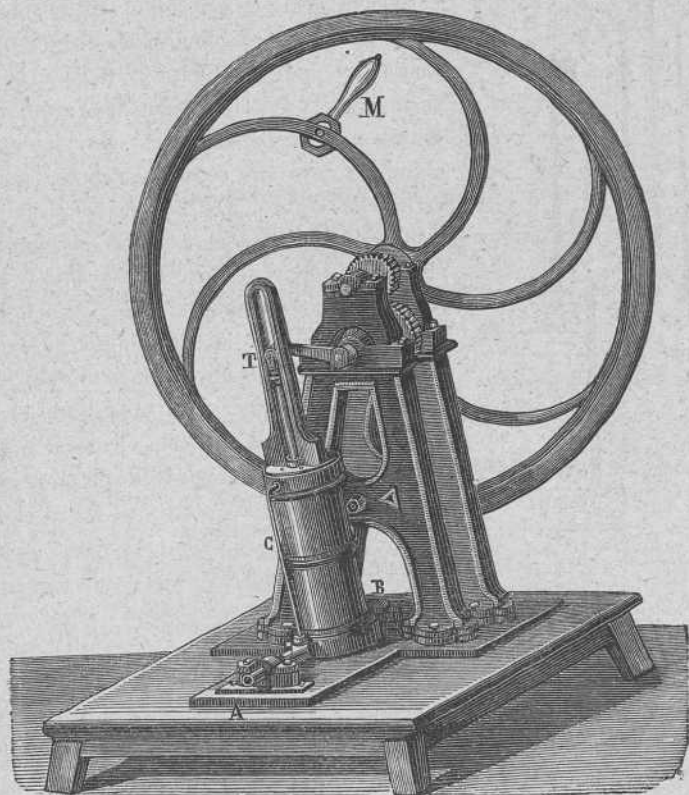


Fig 163.

la potencia. La platina y barómetro truncado de esta máquina están separados del resto de ella, y se les hace comunicar con el tubo de aspiración por tubos de caucho, que tienen en su interior una hélice de alambre para evitar que se aplasten al hacer el vacío.

201. Trompa de Sprengel.—Esta máquina neumática difiere esencialmente de las anteriores en que carece de émbolo, y está fundada en la

presión negativa (160), ó aspiración que se obtiene en un estrechamiento practicado en un tubo por el que circula un líquido con gran velocidad.

Consiste (fig. 164) en un gran embudo *E* lleno de mercurio, que comunica con un tubo doblado varias veces en U, y del que forma parte el recipiente *R* en que se quiere hacer el vacío. Al salir el mercurio del embudo, cae en un tubo de mayor diámetro *A*, y allí se separa del aire que arrastra consigo, cuyo gas sale al exterior por un orificio practicado cerca del embudo; sigue después dicho líquido el camino que indica la figura, y llega á la curva superior de la derecha *B*, en esta parte presenta el tubo un estrechamiento en comunicación con el matraz cuyo aire se quiere extraer, y allí se verifica la aspiración de que antes hemos hablado, dividiéndose el mercurio en gotas que arrastran hasta el depósito inferior *P* el aire aspirado. El tubo de aspiración se halla unido á otro recto *T* de 90 cm., introducido por su extremo inferior en una cubeta con mercurio, y de este modo, á medida que se va obteniendo el vacío en el recipiente, va subiendo el mercurio en dicho tubo, en el que puede llegar á igualarse sensiblemente con la altura que tenga el barómetro en el momento de la experiencia.

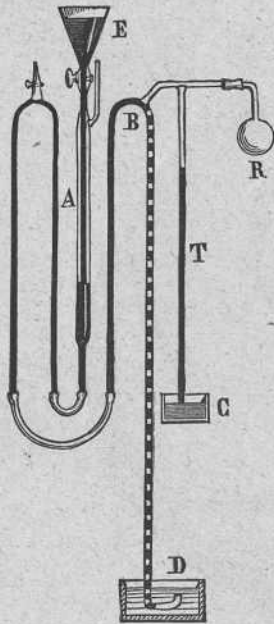


Fig. 164.

Con este aparato se consigue obtener un vacío superior al que producen las otras máquinas neumáticas, pero no puede usarse para grandes recipientes por la lentitud con que se logra dicho objeto.

202. Aplicaciones de la máquina neumática. — Además de las ocasiones en que hemos indicado el uso de ésta máquina, para la demostración de diferentes fenómenos físicos, ocurre á cada paso, tanto en las ciencias experimentales como en la industria, valerse de tan importante aparato para conseguir diferentes objetos.

Con su auxilio se demuestra que el aire es indispensable para la vida, y para entretener las combustiones. Se prueba también que en el vacío tardan mucho en alterarse las sustancias fermentescibles. Se usa con frecuencia para activar la evaporación de los líquidos y hacer que hiervan á menos temperatura que en el aire atmosférico. Por su intermedio se transportan hoy con gran velocidad, valiéndose de tubos neumáticos, paquetes postales en el interior de las poblaciones, y, por fin, en el resto de esta asignatura nos ten-

dremos que valer de tan importante aparato para muy variadas demostraciones.

Una experiencia curiosa, que se verifica también con el auxilio de esta máquina, es la llamada *fuenta en el vacío*. En un recipiente de cristal (figura 165) atravesado en su fondo por un tubo, terminado en punta por la parte

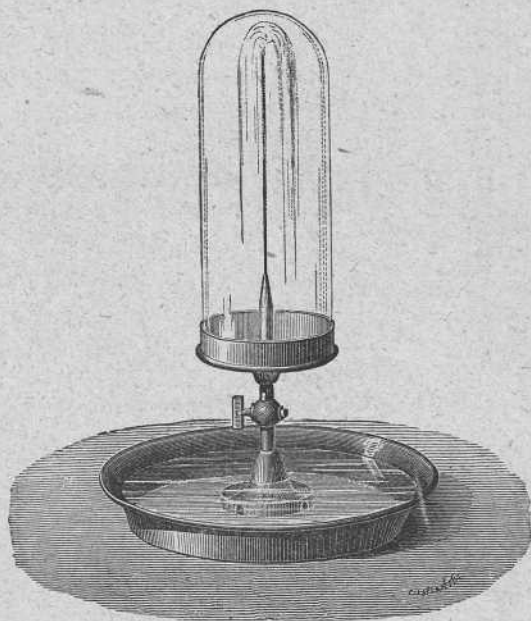


Fig. 165.

superior, se hace el vacío por medio de la máquina neumática. Colocando el pie en que descansa dentro de una vasija con agua, y abriendo una llave que tiene para conservar el vacío obtenido, la presión exterior obliga al líquido á penetrar en forma de surtidor, llegando á llenarse casi completamente el recipiente si se ha extraído bien el aire.

La *campana de doble barómetro* sirve á su vez, con auxilio de la máquina neumática, para demostrar la teoría de aquel instrumento. Consiste (figura 166) en una campana de cristal en cuya tapa superior se han practicado dos aberturas; en una de ellas va implantado un barómetro de sifón *BC*, y en la otra un tubo *T* doblado en *U*, y terminado por una cubeta con mer-

curio *C'*. Extrayendo el aire de dicha campana, disminuye la presión inte-

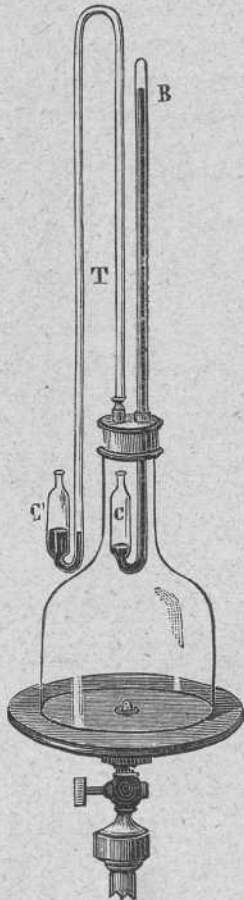


Fig. 166.

rior, y por consecuencia desciende la columna mercurial del barómetro *B*; en cambio, el mercurio se eleva en el tubo *T* por efecto de la presión atmosférica, y se comprende fácilmente que una vez hecho el vacío, el mercurio habrá descendido en *B* á la altura que tiene en la cubeta, y se habrá elevado en *T* á la altura que antes tenía el barómetro *B*, lo que prueba patentemente que es cierta la teoría del barómetro ideada por Torricelli.

203. Máquina contra-neumática.

—Este aparato, como indica su nombre, tiene un objeto opuesto al de la máquina neumática, ó sea, acumular en un recipiente un gas con una tensión superior á la presión atmosférica. Las diferencias que existen entre ésta y las máquinas neumáticas son las siguientes: las válvulas del pistón y tubo de conducción se abren en sentido contrario; en vez del barómetro truncado lleva el aparato un manómetro para medir la tensión del gas que se va acumulando en el recipiente, y, por último, la campana que se coloca sobre la platina, va sujeta á ésta con unos tirantes metálicos, para evitar que se levante cuando en su interior aumenta la tensión del gas.

Rara vez se construye este aparato tan completo como acabamos de indicar, y el que se usa generalmente para el mismo fin, es la *bomba de compresión*. Consiste ésta (fig. 167), en un cuerpo de bomba metálico, dentro del cual ajusta un pistón terminando en un agarrador de madera. En la parte inferior del cuerpo de bomba hay dos tubuluras terminadas en tornillo; la del fondo tiene una válvula cónica que se abre hacia fuera, y la del costado tiene otra que se abre hacia dentro. Al elevar el pistón se enrarece el aire del interior, y la presión exterior abre la válvula del costado, llenándose de aire el cuerpo de bomba. Al descender aquél se reduce de volumen dicho gas, y llega un momento en que se abre la válvula del fondo,

penetrando en el recipiente á que está atornillado el aparato. Repitiendo esta operación varias veces, se van inyectando en dicho recipiente volúmenes cada vez mayores de aire, y su tensión crecerá, por lo tanto, en la misma proporción. Si en vez de aire se quiere acumular otro gas, basta unir el tubo del costado á una vejiga ó globo de caucho lleno de dicho fluido.

El aire comprimido ha recibido en la industria diferentes aplicaciones, siendo una de las principales la transmisión de la fuerza por tubos que comunican con los depósitos en que se ha comprimido dicho gas á una gran tensión. En los cursos de Física suelen hacerse funcionar por medio del aire comprimido los dos aparatos siguientes:

204. Escopeta de viento.—La parte importante de este aparato es la culata, formada por un depósito resistente donde puede acumularse el aire con gran tensión. En su unión con el resto del arma tiene una válvula que se abre un momento al caer el *pie de gato*, y el cañón debe estar bien calibrado para poder usar bala forzada.

Suponiendo acumulada una gran cantidad de aire en la culata de este aparato, y colocado el proyectil dentro del cañón, al oprimir el gatillo se abre la válvula del interior, y el aire sale con una violencia análoga á la de los gases que produce la pólvora en un fusil ordinario, arrastrando el proyectil con gran velocidad. Además, como dicha válvula sólo está abierta un momento, pueden hacerse varios disparos sin volver á cargar la culata, por más que cada uno producirá menos efecto que el anterior.

205. Fuente de compresión.—Consiste este aparato (fig. 168), en un depósito resistente cerrado á tornillo por un tubo que llega hasta cerca de su fondo. En el extremo superior de dicho tubo, que va provisto de una llave de fuente, se puede ajustar, bien un tubo cónico ó la bomba de compresión de que antes hemos hablado.

Suponiendo atornillada dicha bomba, y el depósito lleno de agua hasta sus dos terceras partes, al hacer funcionar aquella, el aire penetrará por el tubo, subiendo á ocupar el espacio que deja libre el agua en la parte supe-

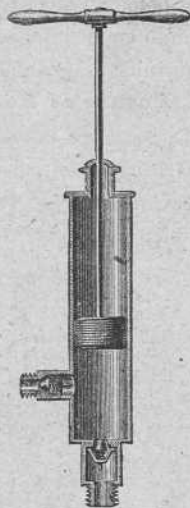


Fig. 167.

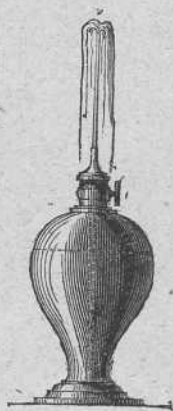


Fig. 168.

rior del vaso, donde adquirirá una tensión creciente. Si después se sustituye la bomba por el tubo cónico, y se abre la llave del aparato, el aire comprimido en su interior obligará al agua á salir con gran violencia, formando un surtidor de gran altura.

Fuente de Herón.—En este aparato se consigue también la elevación del agua por la compresión del aire, pero no comprimido por una máquina especial, sino por medio de una columna de dicho líquido.

Consiste (fig. 169) en dos depósitos *b* y *c*, generalmente de cristal y esféricos, situados debajo de un platillo metálico *a*. Desde el fondo de dicho platillo sale un tubo *x* que llega hasta cerca de la base del depósito *c*, y de la parte superior de éste sale otro tubo *y* que atraviesa el fondo del vaso *b* y termina en su parte más alta. El platillo *a* tiene también en su centro un tubo *z* que llega hasta el fondo del depósito *b*, y termina en el exterior por un tubito cónico provisto de una llave de fuente.

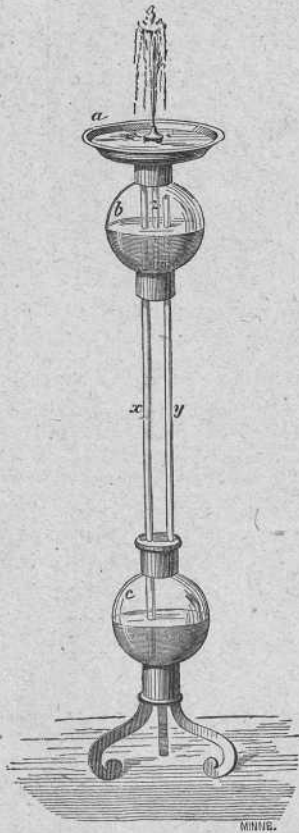


Fig. 169.

Para hacer funcionar este aparato se empieza por llenar de agua el depósito *b*, y se echa en el platillo *a* una corta cantidad del mismo líquido. Suponiendo cerrada la llave superior, el agua de dicho platillo caerá en el vaso *c* por el tubo *x*, é irá comprimiendo el aire allí encerrado, hasta que su tensión equilibre á la presión atmosférica aumentada del peso que sobre él ejerce la columna de agua *a c*; abriendo entonces la llave del platillo *a*, el aire comprimido en *c* subirá por el tubo *y*, y oprimiendo el líquido del vaso *b* le hará salir por el tubo cónico á una altura que sería igual á la distancia *a c* si no hubiera rozamientos. Como el agua del surtidor cae otra vez en el platillo *a*, la tensión del aire en *c* sigue siempre igual, hasta que se desocupa por completo el depósito *b*, en cuyo caso sale por el tubo cónico el aire comprimido y cesa el experimento. Puede renovarse fácilmente la salida del líquido, invirtiendo el aparato para que el agua del vaso *c* pase otra vez al *b*, en cuyo caso podrá empezar á funcionar

nuevamente. Este ingenioso aparato se ha usado para agotar el agua que se filtra en las minas, y para elevar el aceite en un sistema especial de lámparas.

§ 5.º—Generalización del principio de Arquímedes.

206. Baroscopio.—Vimos en la Hidrostática (127) que el principio de Arquímedes era consecuencia inmediata de las presiones que sufre un cuerpo sumergido en un líquido, y como los gases tienen propiedades análogas á aquéllos, resultará igualmente, que *todo cuerpo introducido en un gas, pierde de su peso lo que pesa el gas desalojado*.

Para demostrar este principio se usa un aparato llamado *baroscopio*, el cual consiste (fig. 170) en una pequeña balanza, en cuyos extremos lleva suspendidas dos esferas del mismo peso, una hueca y de gran volumen, y otra maciza. Colocando esta balanza bajo la campana de la máquina neumática y haciendo en ella el vacío, se observa que aquélla se inclina en favor de la esfera hueca. Así debe suceder si es cierto el principio anterior, pues las esferas pierden en la atmósfera lo que pesa el aire desalojado por cada una, y al colocarlas en el vacío deben recuperar lo que antes perdían; luego la mayor que desalojaba más cantidad de aire, y por consiguiente perdía más de su peso, debe pesar más que la pequeña al recuperar dicha pérdida. Para completar este experimento y demostrar en todas sus partes el principio de Arquímedes aplicado á los gases, bastaría determinar el volumen de ambas esferas, y colocar sobre cada una de ellas una pesita adicional equivalente al peso del aire que desalojan. En este caso no habria equilibrio en el aire, pero en cambio se obtendría una vez colocado el aparato en el vacío. En consecuencia de esto, puede generalizarse el principio de Arquímedes diciendo que: *todo cuerpo sumergido en un fluido, pierde de su peso lo que pesa el volumen del fluido desalojado*.

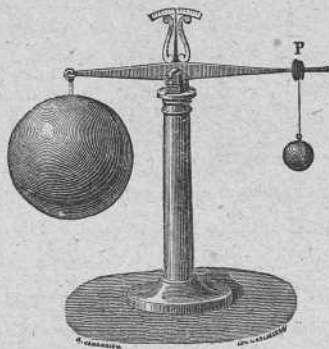


Fig. 170.

207. Globos aerostáticos.—En virtud del principio de Arquímedes aplicado á los gases, resulta que, si un cuerpo pesa menos que el volumen de aire que desaloja, sufrirá por parte de este gas un empuje que destruirá la acción que la gravedad ejerce sobre él, y le hará elevarse á cierta altura

en la atmósfera; en esta teoría están fundados los globos aerostáticos

El primero que pensó en aplicar este principio á la aerostación, fué el P. Francisco Lana, hacia el año 1670. Según dicho físico, haciendo el vacío en esferas de cobre de gran diámetro y de paredes muy delgadas, podría conseguirse que flotaran en la atmósfera, si su peso era menor que el del aire desalojado, arrastrando consigo una barquilla donde podrían ir una ó más personas. Este procedimiento, puramente teórico, es irrealizable, pues bien se comprende que la presión atmosférica aplastaría dichas esferas al hacer en ellas el vacío, puesto que forzosamente habían de tener sus paredes un espesor insignificante.

Después, en 1782, el físico M. Caballo llenó de hidrógeno burbujas de agua de jabón y, efecto de su poco peso, se elevaron rápidamente en el aire, obteniendo en realidad los primeros globos aerostáticos, más sin dar al hecho la importancia que tenía.

El descubrimiento de la navegación aérea se debe á los hermanos Montgolfier, fabricantes de papel en Annonay. Para conseguirlo llenarón de humo (5 de Junio de 1783), un gran globo de papel forrado de tela, en cuya boca colocaron un cestillo de alambre provisto de un combustible ligero para mantener caliente el aire interior, consiguiendo, en efecto, elevar el aparato á gran altura. Después elevaron otros globos, unos en presencia de individuos de la Academia de Ciencias de París y otros ante el Rey Luis XVI y su corte, y, por último, en 21 de Octubre del mismo año, se elevaron en un globo de este género, llamados desde entonces *montgolfieras*, Pilatre de Rozier y el Marqués de Arlandes, permaneciendo en el aire unos 25 minutos. En sus primeros ensayos se valieron dichos hermanos del hidrógeno para llenar los globos, pero vieron que descendían muy pronto por escaparse el gas por los poros del papel. Hoy, sin embargo, que se conocen barnices para evitar la fuga del gas hidrógeno por los intersticios del papel ó tela, se usa para este objeto dicho fluido, ó bien el gas del alumbrado, dando al primero la preferencia por ser el cuerpo más ligero que se conoce. La forma que generalmente se da á los globos es esférica, terminada por un cono (fig. 171), y se construyen con tafetán de seda barnizado con caucho; el globo va envuelto en una red de cuerdas, de cuyos extremos se suspende un cesto de mimbre para colocarse el aeronauta. En su parte superior tiene el globo una válvula, que se abre tirando de un cordón que baja hasta dicho cesto, después de atravesar el globo. Colgado en uno de sus costados suelen llevar un *para-caídas*, ó sea una gran pieza circular de tela con un agujero en su centro, de cuyos bordes arrancan varias cuerdas que sostienen un pequeño cesto; colocándose en él una persona, y soltando la

cuerda que le sujeta al globo, se abre á modo de un paraguas y se verifica el descenso suavemente, pues el aire que recoge sale por el orificio del centro y evita las oscilaciones.

Los globos nunca deben llenarse por completo, pues al elevarse en las capas superiores de la atmósfera, podrían romperse por la dilatación del gas interior, puesto que en dichas alturas la densidad del aire es mucho menor que en la superficie terrestre. Para llenarlos se los cuelga de un soporte de madera suficientemente elevado, y se hace penetrar el gas por su parte inferior; dicho fluido, como más ligero que el aire, va á ocupar la parte superior, y cuando empieza á sostenerse el globo, se le amarra por diferentes lados hasta el momento de soltarlo. Una vez lleno, se ata la barquilla á los cabos de la red que le envuelve, colocándose en ella los aeronautas y aparatos que



Fig. 171.

hayán de llevar, y á una voz convenida se le deja libre, elevándose aquél con movimiento casi uniforme, hasta henchirse por completo; una vez lleno, el movimiento ascensional va siendo cada vez mas lento, hasta que al llegar á una capa de aire, cuya densidad sea igual á la densidad media del globo, cesa éste de elevarse.

Los aparatos que generalmente se llevan en las ascensiones aerostáticas son: un buen barómetro para calcular la altura á que se ha llegado; un termómetro de mínima, un higrómetro, un ancla, una escala de cuerda y varios saquillos con arena que constituyen el *lastre*. Arrojando éste logra el aeronauta elevarse cuando le convenga, y puede, á su vez, descender tirando del cordón de la válvula, en cuyo caso sale parte del gas que llena el globo; de este modo puede, en general, el aeronauta elegir la capa de aire que se mueva

en la dirección que quiera avanzar, más no debe perderse de vista, que tanto el hidrógeno como el lastre que se pierde, no pueden reemplazarse, por lo que conviene no abusar de estos cambios de altitud.

208. Ascensiones notables.— Entre los muchos viajes aéreos que desde la invención de los globos se han verificado, merece citarse, por sus resultados científicos, el de Gay Lussac, cuyo sabio llegó en 1804 á más de 7.000 metros de altura. En él reconoció que el aire de las altas regiones tiene igual composición química que el de la superficie terrestre; observó también que la humedad desaparece casi en absoluto á grandes alturas, y el color del cielo se hace muy obscuro á medida que se asciende en la atmósfera. La acción magnética de la tierra disminuye, á su vez, rápidamente con la elevación, y lo mismo le sucede á la electricidad atmosférica. La temperatura decrece rápidamente, y en algunas ascensiones ha llegado el termómetro á 39° bajo cero. La presión atmosférica es insuficiente, á grandes alturas, para mantener en los tejidos los humores que existen en el organismo, y suelen producirse hemorragias nasales que, unidas al entumecimiento de los miembros, por el excesivo frío que allí reina, hacen muy peligrosas dichas ascensiones. La mayor altura á que han llegado los aeronautas en sus múltiples expediciones ha sido de 11.000 metros, en una ascensión llevada á cabo en 5 de Septiembre de 1862 por M. M. Clasher y Coxwell, cerca de Londres.

Dirección de los globos.—Esta interesante cuestión no ha podido ser resuelta todavía, pero en estos últimos años se han verificado algunas experiencias que hacen concebir la esperanza de que llegue á realizarse.

Para este fin se ha variado la figura que antes se daba á los aerostatos, haciéndolos en forma de dos conos unidos por sus bases, para que puedan surcar el aire con más facilidad. El aparato propulsor consiste en una hélice de lona de gran desarrollo, fija en una armadura de bambú y movida por un *motor eléctrico* (1063); éste y las *pilas* que han de ponerle en actividad van en la barquilla con los aeronautas, los que pueden manejar una especie de timón y dirigir al globo en la dirección que les convenga. Al girar dicha hélice con gran velocidad, hace el aire oficio de tuercia y es impulsado el globo en la dirección de su eje.

Por este sistema se ha logrado avanzar con cierta rapidez en una atmósfera tranquila; pero si está agitada, no es posible contrarrestar el enorme empuje con que es arrastrado el globo por el aire; para conseguirlo sería necesario disponer de un motor de gran energía y á la vez poco pesado, problema que actualmente está por resolver.

209. Fuerza ascensional.— Recibe este nombre la diferencia que existe entre el peso de un globo y el del aire que desaloja. La fuerza ascensional de un globo no debe exceder, en general, de 4 á 6 kilogramos, teniendo en cuenta que hasta llenarse aquél por completo permanece dicha fuerza casi constante.

Para calcular la fuerza ascensional de un aerostato se halla su volumen, suponiéndolo esférico, y teniendo en cuenta que sólo se llenan sus dos terceras partes, de modo

que, llamando V dicho volumen, se tendrá $V = \frac{2}{3} \times \frac{4}{3} \pi r^3$, ó sea $V = \frac{8}{9} \pi r^3$, representando por r el radio de la esfera correspondiente.

M. G.

Se sabe, además, que un metro cúbico de aire pesa.....	1,290	kilogramos.
— — — de hidrógeno.....	0,090	—
— — — de gas del alumbrado..	0,750	—
— — — de aire á 200°.....	0,800	—

con cuyos datos es fácil calcular la fuerza ascensional de un globo.

Supongamos, como ejemplo, que se quiere averiguar el volumen que ha de tener un globo para elevar, por medio del hidrógeno, á dos personas, en el supuesto siguiente:

Peso de los dos aeronautas.....	150	kilogramos.
— de los aparatos, lastre y barquilla..	120	—
— del globo.....	224	—
Fuerza ascensional.....	6	—
	<hr/>	
	500	—

Hemos dicho que cada metro cúbico de hidrógeno pesa 90 gramos, luego llamando r el radió del globo, y teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, tendremos que $\frac{8}{9} \pi r^3 \times 0,090$ será el peso en kilogramos de los metros cúbicos de hidrógeno que ha de contener el globo. El peso del mismo volumen de aire sería $\frac{8}{9} \pi r^3 \times 1,290$, y su diferencia debe de ser igual á 500 kilogramos que pesa todo lo que ha de elevarse; tendremos, pues, la siguiente igualdad.

$$\frac{8}{9} \pi r^3 \times 1,290 - \frac{8}{9} \pi r^3 \times 0,090 = 500,$$

cuya ecuación resuelta nos da para r el valor de 6 metros próximamente.

ARTÍCULO II.

PNEUMODINÁMICA.

210. Salida de los gases encerrados en un depósito.—Suponiendo un recipiente ocupado por un gas, puede suceder que la presión interior sea mayor, igual ó menor que la exterior.

En el primer caso, al abrir un orificio en una pared del recipiente, saldrá el gas interior con una velocidad tanto mayor, cuanto más diferencia exista entre aquellas presiones, y suponiendo que el depósito conserve constante su volumen, y no penetre en él nueva cantidad de gas, la velocidad de éste irá siendo cada vez menor, por disminuir del mismo modo la presión interior del fluido, hasta que, una vez igualadas las dos presiones, cese la salida de aquel gas.

Si la presión interior fuese menor que la exterior, al abrir un orificio en el recipiente penetraría el aire exterior, tanto más rápidamente cuanto mayor sea la diferencia de dichas presiones.

En todos los casos la velocidad de salida del gas, según Bernouilli, viene representada por la fórmula $v = \sqrt{2gh}$, en la que h representa la altura de una columna de gas equivalente á la diferencia de las presiones interior y exterior.

211. Salida uniforme de un gas.—Varios medios pueden emplearse en la práctica para lograr la salida uniforme de un gas. En los laboratorios suele usarse un depósito provisto de dos tubos, por uno de los cuales, que debe llegar hasta el fondo, se hace acudir el agua precedente de un frasco de Mariotte; como este aparato produce una salida uniforme de líquido, por la segunda tubulura del depósito se obtendrá, á su vez, una salida uniforme del gas encerrado en él.

Cuando se trata de grandes volúmenes de gas hay que valerse de unos aparatos llamados *gasómetros*. Los que se usan en las fábricas de gas del alumbrado consisten en grandes depósitos *C* de chapa de palastro, sumergidos en un recipiente de fábrica lleno de agua. Dos tubos *t t'* (fig. 172) con-

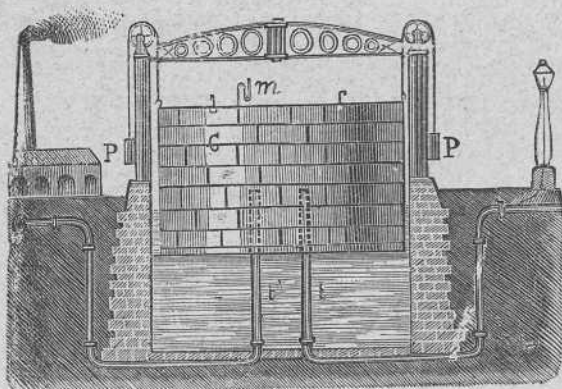


Fig. 172.

ducen el gas, el primero desde la fábrica al gasómetro, y el segundo, desde éste á los puntos donde se consume; dos pesos *PP* moderan el del aparato, y puede conseguirse que la presión interior, medida con el manómetro *m*, sea la que se necesite para que el gas llegue á los puntos más distantes. En realidad no es uniforme la salida del gas en estos aparatos, puesto que al sumergirse en el agua, pierden parte de su peso, y la presión interior disminuye por este motivo, pero procurando que el gas producido sea próximamente igual al que se gasta, el gasómetro apenas varía de altura, y la salida puede considerarse como uniforme.

212. Fuelles.—Un caso muy frecuente en la salida de los gases, es la aplicación del aire para activar la combustión. Los aparatos usados para este objeto se llaman *fuelles*, y éstos pueden ser *sencillos* ó de *doble efecto*.

El fuelle sencillo consiste (fig. 173) en un depósito formado por dos tablas *T T'*, unidas entre sí por una lámina flexible de cuero *C*. En la tabla inferior existe un orificio bastante ancho, cerrado por una válvula *S*, y en la unión de ambas hay aplicado un tubo cónico *A* para dar salida al aire. Al separar dichas tablas se abre la válvula *S* y penetra dentro el aire exterior, llenando la capacidad del fuelle;

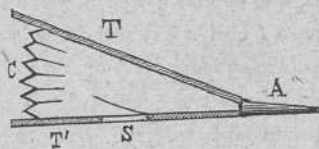


Fig. 173.

al aproximarlas luego, se cierra dicha válvula, por aumentar dentro la presión del aire, y este gas sale por el tubo cónico, con tanta mayor velocidad cuanto más rápidamente se verifica la unión de dichas tablas.

Vemos que este aparato produce una salida intermitente de aire, lo que no deja de ser gran inconveniente para muchas aplicaciones. Para conseguir una salida continua de dicho gas, se usa el *fuelle de doble efecto*, ó de *fragua*. Consiste, en realidad (fig. 174), en un fuelle sencillo *A*, sobre el que se

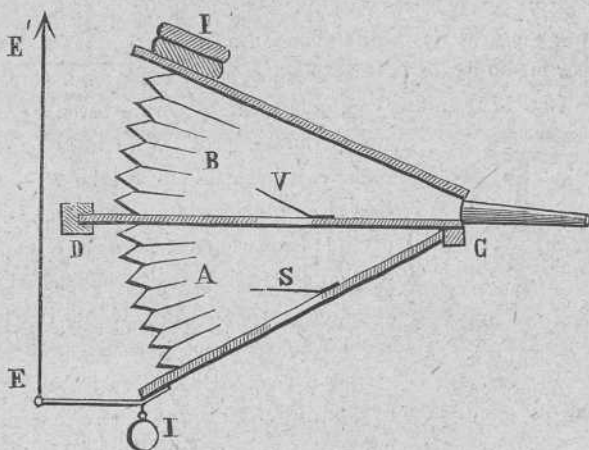


Fig 174.

coloca un depósito de aire *B* de paredes flexibles; el aparato está fijo por los puntos *D* y *C* de la tabla central, la que tiene una válvula *V* que se abre hacia arriba; la tabla inferior lleva también otra válvula *S*, para dar entrada al aire exterior, y tiende á separarse de la central por el peso *I*. La tapa su-

perior del depósito de aire tiene, á su vez, un peso P , que la obliga á caer sobre la tabla central, expulsando el aire por el conducto C con una velocidad dependiente de la masa de dicho peso. Al tirar de la cuerda $E E'$ se eleva la tabla $I C$, y el aire contenido en este fuelle pasa al depósito superior, abriendo la válvula V , y como no puede salir en el mismo tiempo por el tubo C , que es más estrecho, eleva la tabla superior. Al soltar la cuerda $E E'$, el peso I obliga á descender á la tabla inferior, y el aire penetra por la válvula S , quedando el aparato dispuesto como al principio. Si antes de acabar de salir el aire acumulado en el depósito superior se vuelve á levantar otra vez la tabla inferior, se acumulará una nueva cantidad de aire en el depósito de encima, y la salida de gas por el tubo C se verificará sin interrupción.

La velocidad de salida del aire en este aparato depende del peso P , el que puede ser tan considerable como sea necesario, con tal que no se traspase el límite de resistencia de la lámina de cuero que forma el fuelle.

Para obtener mayor velocidad en la salida del aire se usan unos aparatos análogos á la bomba de doble efecto (192), pero de dimensiones mucho mayores. Haciendo funcionar el pistón, por medio de una máquina de vapor, se obliga al gas encerrado en el cuerpo de bomba á salir con la velocidad que se necesita.

También se consigue una salida abundante de aire, aunque no con tanta velocidad, por medio de los ventiladores de fuerza centrífuga. Consisten estos aparatos (fig. 175) en una caja cilíndrica, dentro de la cual puede girar

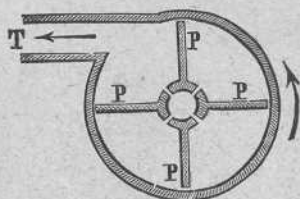


Fig. 175.

un eje hueco, provisto de unas paletas $P P$; dicha caja lleva un ancho tubo T para dar salida al aire, colocado tangencialmente al cilindro que forma la caja. Al girar el eje, en la dirección que indican las flechas, el aire alojado entre las paletas adquiere un rápido movimiento de rotación, y al llegar al tubo T se escapa por él, efecto de su fuerza centrífuga;

el encarecimiento que dentro se produce origina una aspiración del aire exterior, cuyo gas penetra por unos orificios que tiene el eje. Estos aparatos se usan con buen resultado para renovar el aire en el interior de los buques y de las minas.

CAPÍTULO VI

Acústica.

ARTÍCULO PRIMERO.

ORIGEN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

213. Movimiento vibratorio.—Dijimos al hablar de la elasticidad, que si un cuerpo sufre, por una causa exterior, una deformación que no traspase cierto limites, recupera su forma primitiva, después de ejecutar sus moléculas una serie de vaivenes que han recibido el nombre de *vibraciones* ú *oscilaciones*.

Supongamos una varilla de acero CD , sujeta en un tornillo de presión por su extremo inferior (fig. 176); si obligamos al otro extremo D á tomar la posición D' , y en este estado la abandonamos á sí misma, en virtud de su elasticidad volverá á ocupar la primitiva posición CD ; mas al llegar al punto D , irán animadas las moléculas de una velocidad que las hará seguir marchando en la misma dirección, hasta llegar al punto D'' , colocado á la misma distancia que el D' de la posición de equilibrio. Por igual razón volverá la varilla á la posición CD , y después á la CD' , y esto se repetirá gran número de veces, hasta que, por el rozamiento con el aire y no ser perfectamente elástica la varilla, quede en su posición de equilibrio. Estos movimientos constituyen las vibraciones ú oscilaciones de este cuerpo.

Se llama *oscilación completa* ó *doble* el movimiento que ejecuta una molécula hasta volver á su posición primitiva, ó sea, en el caso anterior, la ida del punto D' á D'' , y de éste otra vez al D' . *Oscilación sencilla*, ó *semi-oscilación*, es el movimiento verificado por una molécula entre sus dos posiciones extremas, ó sea el camino desde D' á D'' ó viceversa.

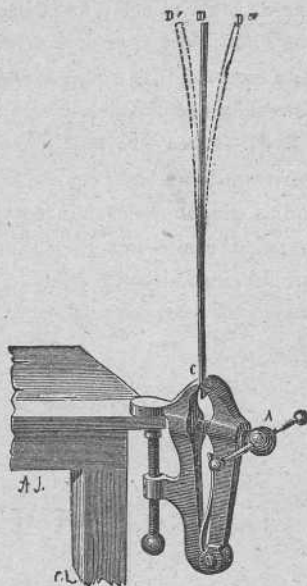


Fig. 176.

En los sólidos dijimos (25) que podía ensayarse la elasticidad por *flección*, *tracción* y *torsión*; las ondulaciones que las moléculas verifican en cada caso, para recuperar su posición primitiva, han recibido respectivamente el nombre de vibraciones *transversales*, *longitudinales* y *rotatorias*.

Los fluidos, por carecer de forma propia, sólo pueden vibrar por cambios periódicos en su densidad, ó sea por *condensaciones* y *dilataciones*.

214. Objeto de la acústica.—La acústica tiene por objeto el estudio del *sonido* y el de las circunstancias que intervienen en su formación.

Recibe el nombre de *sonido* el resultado de la impresión producida en el órgano del oído por las vibraciones rápidas de los cuerpos elásticos. El *ruido* es una reunión de sonidos que no tienen entre sí relación alguna. Es difícil establecer la diferencia que existe entre el sonido y ruido, y más bien depende su denominación de que pueda ó no compararse con otro análogo. Así, al dejar caer una tablita sobre una mesa, produce en el oído una impresión que llamamos ruido; pero si se dejan caer, en las mismas condiciones, tablitas de diferente magnitud, se podrá apreciar fácilmente la relación que existe entre las impresiones producidas, y asignar á cada una el valor de un verdadero sonido.

215. Causa del sonido.—El sonido debe siempre su origen á las vibraciones de un cuerpo elástico, cuya verdad puede probarse por diferentes medios. Supongamos una campana de cristal *M* (fig. 177), á la que demos un golpe con el macito *a*; inmediatamente percibiremos un sonido, y si aproximamos al borde de dicha campana un pendulito de marfil *b*, éste será

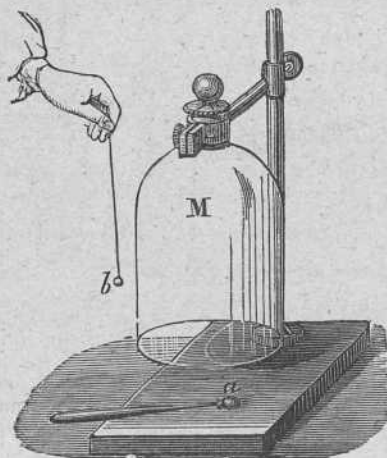


Fig. 177.



Fig. 178.

rechazado con violencia por el movimiento vibratorio de aquélla. Si sujetamos sobre una tabla una cuerda *AB* (fig. 178) y la separamos de su posición

rectilínea, soltándola de repente, se originará un sonido, y veremos al mismo tiempo que la cuerda produce una serie de oscilaciones. Ya tendremos ocasión de ver confirmado esto mismo en otros casos diferentes, pero con lo dicho basta para comprender que las vibraciones rápidas de los cuerpos elásticos son la causa original del sonido.

216. El sonido no se propaga en el vacío.—No basta para percibir un sonido que haya un cuerpo elástico cuyas moléculas estén en vibración; es además indispensable que entre el cuerpo sonoro y el observador exista un medio elástico, sólido, líquido ó gaseoso, que transmita las vibraciones de dicho cuerpo. Para probarlo se usa el aparato representado en la figura 179. Dentro de un globo de cristal *G*, del que se puede extraer el aire por medio de la máquina neumática, se halla colgada de un cordón una campanilla ó pequeño timbre *T*; si después de extraer el aire se agita dicho globo, se ve chocar al macito con las paredes del timbre, y no se percibe sonido alguno. Abriendo un momento la llave para que penetre en el globo un poco de aire, empieza á notarse entonces el sonido originado por el timbre, cuya intensidad va creciendo á medida que se deja penetrar más aire. Si en vez de este gas se deja entrar otro cualquiera, también vuelve á oírse el sonido de dicho timbre, y con tanta mayor intensidad cuanto más denso sea el fluido usado.

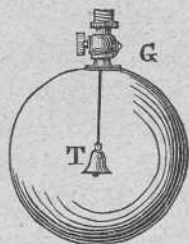


Fig 179.

Para probar la conductibilidad de los líquidos para el sonido, basta hacer funcionar un timbre dentro del agua, cuyo sonido se percibirá perfectamente desde el exterior, siendo una prueba de lo mismo la percepción de los sonidos exteriores por los animales que viven dentro de dicho líquido.

Los sólidos transmiten también con gran facilidad las vibraciones de los cuerpos sonoros, y para probarlo se roza ligeramente con las barbas de una pluma de ave el extremo de una tabla, mientras otro observador apoya el oído en el final de la misma: este oírán perfectamente el ruido originado por dicho cuerpo, mientras que el que lo produce no logrará percibirlo. El *telégrafo de hilo*, tan usado por los niños, está fundado en la transmisión del sonido por las fibras textiles.

No todos los cuerpos sólidos conducen con igual facilidad las vibraciones sonoras, dependiendo esto de su mayor ó menor elasticidad, de su estructura y del estado de división en que se encuentren; así, mientras que una varilla de pino sin nudos conduce perfectamente el sonido, el serrín, ó polvo de esta sustancia, lo conduce muy poco; en general, los cuerpos poco compactos y que presentan en su interior muchos espacios llenos de aire, como

las pieles, plumas, algodón, etc., conducen mal las vibraciones sonoras.

217. Velocidad del sonido.—La transmisión de las vibraciones sonoras, que según acabamos de ver se verifica, tanto en los cuerpos gaseosos como en los líquidos y los sólidos, exige algún tiempo para verificarse. Pueden citarse varios hechos que prueban plenamente que el sonido no se propaga instantáneamente por el aire: Cuando se observa desde alguna distancia un leñador, se ve caer el hacha y después de cierto tiempo se percibe el ruido del golpe: Si se oye el disparo de un arma de fuego desde un punto algo distante, se ve la luz del fogonazo con bastante antelación al ruido del disparo: La luz del relámpago precede en varios segundos al estampido del trueno (1102), y, no obstante, se producen á la vez ambos fenómenos.

Newton, por consideraciones teóricas, dedujo que la velocidad del sonido en los gases podía representarse por la fórmula

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}},$$

en la que v representa el espacio recorrido en un segundo, e la elasticidad del gas á la temperatura de 0°, y d su densidad en las mismas condiciones.

Varios físicos se han ocupado en épocas diferentes de tan interesante cuestión, y han deducido de sus experiencias que el sonido se propaga por el aire á 15° con una velocidad de 340 metros por segundo. Una de las experiencias más notables relativas á este asunto fué verificada en 1822 por Arago, Gay-Lussac y otros físicos distinguidos. Las estaciones escogidas fueron Montlhéry y Villejuif, distantes entre sí 18.613 metros, y desde cada una de ellas se dispararon por la noche, de tiempo en tiempo, varios cañonazos. Los observadores situados en ambas estaciones medían con cronómetros el tiempo transcurrido desde la aparición del fogonazo hasta la percepción del sonido, de modo que dividiendo luego la distancia que separaba ambas estaciones por el número de segundos empleados por el sonido en recorrerla, se obtuvo el número 340, que antes hemos indicado; además se tuvo en cuenta el tiempo transcurrido en llegar el sonido á los puntos intermedios, y se vió que era proporcional á la distancia, de donde se deduce que *el sonido se propaga por el aire con movimiento uniforme*. Este resultado supone que la luz se transmite de un modo instantáneo, y, en efecto, para distancias como la que separaba ambas estaciones puede admitirse tal suposición sin error alguno (681).

También se ha logrado medir la velocidad del sonido en el agua por un

procedimiento análogo. Para esto M. Colladón y Sturm se situaron en dos barcas, colocadas á cierta distancia una de otra, en el lago de Ginebra; por medio de una campana suspendida de una de ellas dentro del agua, producían un sonido intenso, golpeándola con un mazo á la vez que inflamaban un poco de pólvora. Los observadores situados en la otra barca veían la luz del fogonazo, y contaban los segundos transcurridos hasta percibir el sonido de la campana por medio de un tubo cónico (fig. 180) sumergido en el agua; dividiendo la distancia que separaba ambas barcas por los segundos transcurridos, dedujeron dichos físicos que á la temperatura de 8° la velocidad del sonido en el agua era de 1.435 metros, ó sea aproximadamente, cuatro veces mayor que en el aire.

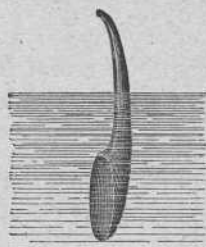


Fig. 80.

Respecto de los sólidos también se han hecho, con el mismo objeto, experiencias notables, ya por medio de las cañerías de hierro que sirven para conducir el gas ó el agua, ya valiéndose de los alambres telegráficos, y se ha venido á deducir, que la velocidad del sonido en el hierro es de 3.485 metros por segundo, ó sea unas diez veces mayor que en el aire.

218. Todos los sonidos se propagan con igual velocidad.—Si desde cierta distancia se escucha una pieza musical cualquiera, ejecutada por una orquesta ó banda de regimiento, se percibe cada sonido en el momento que le corresponde, sin que se altere en lo más mínimo dicha composición. Esto prueba que los sonidos que la constituyen marchan todos con igual velocidad, pues de otro modo se alteraría su relación. M. Biot lo comprobó también haciendo tocar al extremo de una cañería de 951 metros una pieza musical por medio de una flauta, cuyos sonidos, percibidos al otro extremo de dicha cañería, conservaron su valor y ritmo musical.

219. Estado del aire que transmite un sonido.—Hemos visto que el aire es, en general, el vehículo que sirve para la propagación de los sonidos. Al verificarlo, participa él también de las vibraciones del cuerpo sonoro, como puede probarse por medio de una lámina de caucho, colocada con cierta tensión en un aro, y provista en su centro de un ligero péndulo: al producir un sonido en sus inmediaciones, el péndulo indica que la lámina se pone en vibración. Si se produce un sonido cerca de un piano ó cualquier otro instrumento de cuerda, se observa que vibran todas las cuerdas que pueden producir el mismo sonido. Haciendo vibrar un diapason á cierta distancia de otro afinado al unísono del primero, llega á vibrar éste con gran intensidad por las ondulaciones transmitidas por el aire.

Para comprender cómo se verifica la propagación de este movimiento vibratorio, supongamos primeramente encerrado el aire en un tubo MN (fig. 181), y que cerca de su extremo M existe una lámina vibrante $a b$. Al avanzar dicha lámina y ocupar la posición $a' b'$ obrará como un pistón, y comprimirá el aire del tubo en una extensión determinada; esta capa de aire reaccionará por su

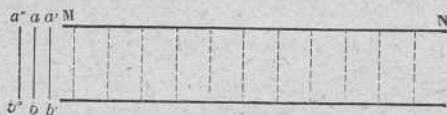


Fig. 181.

elasticidad, y comprimirá otra capa de este gas de igual espesor; á su vez, esta última comprimirá la siguiente zona, y así sucesivamente, de modo que podemos suponer una lámina de aire comprimido, ú *onda condensada*, recorriendo el tubo con la velocidad que en el aire tiene el sonido. Volviendo otra vez á la lámina vibrante resultará que, al ocupar la posición $a'' b''$, efecto de su movimiento vibratorio, producirá detrás de sí un vacío, y el aire contenido en el tubo se enrarecerá en una cierta extensión. Esta capa de aire obrará por su elasticidad sobre la siguiente, y producirá en ella el mismo enrarecimiento, y así sucederá en las siguientes zonas del tubo; de modo que á continuación de la onda condensada, de que antes hemos hablado, marchará, con igual velocidad una *onda enrarecida*. Resulta, por lo tanto, que emitiendo un sonido en el principio de un tubo, el aire de éste se divide en *zonas*, alternativamente condensadas y enrarecidas, las que marchan por él con la velocidad de 340 metros por segundo.

El estado de condensación y enrarecimiento de dichas zonas va creciendo paulatinamente, y puede representarse por la curva $A E' A_1 C' A_2$ (fig. 182),

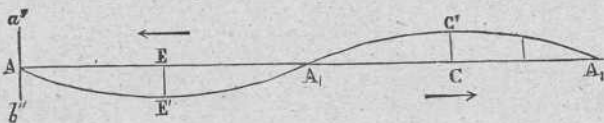


Fig. 182.

en la cual las distancias de sus respectivos puntos á la recta $A A_2$ indican el grado de enrarecimiento ó condensación de la parte que se considere. En los puntos $A A_1 A_2$, llamados *nodos*, la densidad del aire permanece igual que en el exterior del tubo, mientras que en los puntos E' y C' , conocidos con el nombre de *vientres*, presenta, por el contrario, la mayor diferencia de densidad. Denomínase *longitud de la onda* la distancia $A A_2$ que separa dos puntos que se encuentran en un instante dado en el mismo estado de vibración, ó sea la capa de aire modificada por una vibración completa de la lámina vibrante.

Si suponemos ahora un cuerpo sonoro en vibración, y alrededor suyo imaginamos un gran número de tubos en todas direcciones, el aire de éstos sufrirá una serie de compresiones y enrarecimientos que darán origen á las ondas condensadas y dilatadas de que acabamos de hablar, y como la longitud de dichas ondas será igual en todos los tubos, por proceder de las vibraciones de un solo cuerpo, *formarán en su conjunto una serie de ondas esféricas, alternativamente condensadas y dilatadas*: este es, pues, el estado del aire al propagarse un sonido.

Un movimiento análogo al que nos ocupa, se observa en la superficie del agua cuando se arroja á ella una piedra. A partir del punto conmovido, se forma una serie de círculos concéntricos, cuyo radio aumenta progresivamente, encontrándose en ellos el agua alternativamente elevada y deprimida, respecto del nivel general. Debe observarse, á la vez, que aunque el movimiento ondulatorio avanza, no hay, sin embargo, traslación de las moléculas líquidas, como se prueba examinando un cuerpo flotante colocado en su superficie, el cual sólo se eleva ó desciende, pero sin alejarse del centro de conmoción. El estudio de dicha ondulación nos explica también por qué, al cruzarse diferentes sonidos en varias direcciones, no se destruyen mutuamente; se observa, en efecto, arrojando varias piedras en un estanque, que los círculos originados por cada una de aquéllas se cruzan y superponen sin alterarse en su conjunto.

220. Modo de hacer visibles las ondulaciones del aire.—Entre los diferentes métodos, más ó menos complicados, que pueden usarse para hacer perceptibles las condensaciones y enrarecimientos del aire que transmite un sonido, ninguno es tan cómodo é instructivo como el de las *llamas monométricas*, ideado por M. Kænig. La parte fundamental de estos aparatos consiste en una caja cilíndrica de madera ó metal *A D* (fig. 183), que tiene una pared flexible *C*, hecha de bizna ó caucho muy delgado. A dicha caja puede llegar el gas del alumbrado por un tubo *D*, y sale de ella por un pequeño mechero, en que se le hace arder. Cuando el aire que rodea la caja está tranquilo, la membrana *C* se encuentra plana, y la llama del gas tiene una cierta longitud, representada en el grabado por la cifra 1; más al producir un sonido en las inmediaciones de dicha caja, la membrana *C* participa del movimiento vibratorio del aire, y toma las posiciones cóncava y convexa que indica la figura;

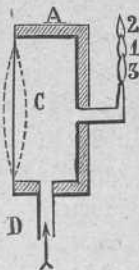


Fig. 183.

al adoptar la forma cóncava comprime al gas de la caja, y la llama se alarga, llegando hasta el punto 2; en el movimiento contrario aumenta la capacidad de dicha caja, y el gas sale en menos cantidad, bajando la llama hasta el

punto 3. Estos movimientos de la llama no se pueden observar directamente, por efecto de su rapidez, pero se estudian con facilidad haciendo que se reflejen en un espejo giratorio, análogo al que representa la figura 219; si se hace girar dicho espejo al lado de la llama que se quiere estudiar, se ven separados, por lo que diremos en la Óptica, las diferentes fases de aquélla, originándose una curva cuyo borde dentado asemeja á una sierra (fig. 184).

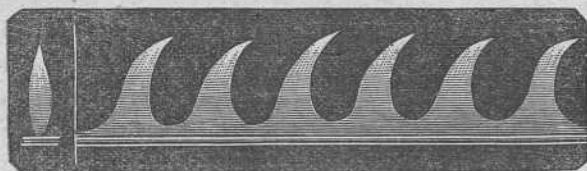


Fig. 184.

221. Interferencia del sonido. — Hemos visto anteriormente que puede haber coexistencia de varias olas ú ondulaciones líquidas, sin dar lugar á su destrucción; pero también es cierto que en la intersección de dos olas, una deprimida y otra elevada, el agua quedará inmóvil y con el nivel que corresponde al equilibrio del líquido. Esto mismo sucede en las ondulaciones del aire al transmitir dos sonidos en condiciones especiales.

Supongamos, en efecto, dos sonidos de igual fuerza emitidos desde dos puntos inmediatos. En el aire que rodea á ambos centros de conmoción se originarán una serie de ondas alternativamente condensadas y dilatadas, las cuales se cruzarán en multitud de puntos, y es claro que al encontrarse dos ondas, una condensada y otra enrarecida, permanecerá el aire en el punto de concurso con su densidad normal; en este espacio no habrá propagación de ninguno de los dos sonidos, y tan notable fenómeno se conoce con el nombre de *interferencia del sonido*.

Se puede obtener la interferencia de dos sonidos haciendo vibrar un diapasón (659) cerca del oído, y, teniéndolo con la mano, se le hace girar alrededor de su eje vertical; procediendo lentamente se obtiene cierta posición en que el sonido de ambas ramas se destruye mutuamente. Mucho mejor se demuestra el mismo fenómeno con el aparato de Kænig (fig. 185). Delante de un tubo *T*, que se bifurca en otros dos *a* y *a'* de longitud variable, se coloca un timbre ó diapasón *D* que se pone en actividad por medio de un macito; estos dos tubos vuelven á reunirse en uno solo, y terminan en una cápsula manométrica *M*. Las vibraciones producidas en *T* por el cuerpo sonoro recorren ambos tubos *a* y *a'*, y van luego á impresionar la llama mano-

métrica, y es claro que, si las longitudes de aquéllos son iguales, la condensación y dilatación del aire se verificará al mismo tiempo en dicha cápsula; pero si se alarga uno de ellos hasta *b*, ó sea en lo que valga la mitad de la longitud de la onda sonora, la membrana de dicha cápsula quedará inmóvil, por destruirse mutuamente las ondas condensadas y dilatadas que llegan á la vez procedentes de ambos tubos, originándose la interferencia del sonido. La llama de la cápsula monométrica, reflejada en un espejo giratorio, acusa perfectamente dicha interferencia con su inmovilidad, la que desaparece tan pronto como se hace variar la longitud del tubo *a'*.

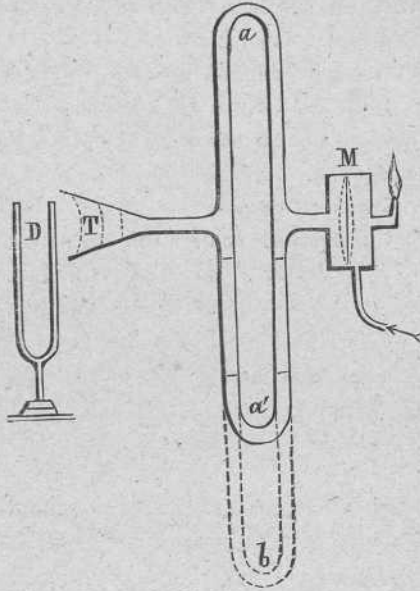


Fig. 185.

222. Dirección en que se verifica la propagación del sonido. —

Cuando el sonido se transmite por un medio homogéneo lo verifica en línea recta. Ofrece serias dificultades la comprobación del anterior aserto por la facilidad con que son reflejados los sonidos por los objetos inmediatos, pero evitando en cuanto es posible toda causa de reflexión, se obtienen verdaderas *sombras* del sonido, que prueban, así como las leyes de su reflexión, de que nos vamos á ocupar, que este fenómeno se propaga en línea recta. Sin embargo, si el medio por donde camina el sonido cambia bruscamente de densidad, deja de verificarse dicha ley, dando origen al fenómeno llamado *refracción del sonido*.

M. Hajech ha probado dicha refracción colocando en el muro de separación de dos habitaciones un tubo de 77 milímetros de diámetro, cerrado por sus extremos con membranas muy flexibles, y cuyo interior se llena de un gas ó un líquido cualquiera; en dicho tubo se ajusta otro terminado por una caja que contiene un timbre movido por un mecanismo de relojería. Una vez lleno el tubo del fluido que se quiere someter á la experiencia, y puesto el timbre en movimiento, se coloca el observador en la otra habitación, y busca, por tanteos, el sitio en que percibe con más claridad el sonido de aquél, resultando que si las membranas están colocadas perpendicularmente al eje del tubo, el lugar más á propósito es la prolonga-

M. H.

cion de su eje; pero si se cortan oblicuamente hay que separarse de dicho eje tanto más, cuanto menor sea la velocidad del sonido en el fluido colocado dentro del tubo. Ya veremos en la Óptica (706) que de esta diferencia de velocidad depende la refracción de la luz á través de los cuerpos.

223. Reflexión del sonido.— Cuando las ondas sonoras se encuentran detenidas en su marcha por un obstáculo resistente y elástico, cambian bruscamente de dirección, produciendo el fenómeno conocido con el nombre de *reflexión del sonido*.

Supongamos una serie de ondas emitidas desde el punto S (fig. 186) y que al avanzar se encuentren con el obstáculo plano y elástico EE . Inme-

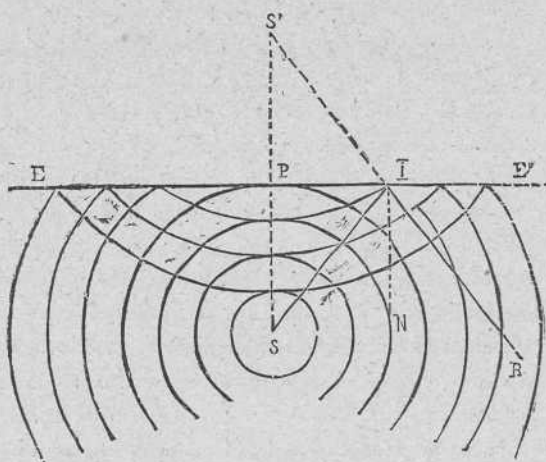


Fig. 186.

diatamente que la primera onda llega á dicho plano retrocede en sentido opuesto, y empieza á formarse una onda cuya curvatura es contraria á la primera; á medida que van llegando las demás ondas directas experimentan la misma reflexión, y su conjunto constituye un sistema de ondas reflejadas, cuyo centro virtual está en el punto S' , simétrico de S . Esto puede observarse perfectamente echando mercurio en un vaso y dejando caer luego gotas del mismo líquido en puntos análogos al S ; al llegar las pequeñas olas así formadas á la pared del vaso, se forman las olas de reflexión con arreglo á lo que acabamos de decir. Resulta de esto, que un observador colocado en R , además del sonido directo procedente de S , puede percibir el sonido reflejado en la dirección IR , normal á la superficie de las ondas reflejadas; ahora bien, llamando *rayo sonoro* la dirección en que se propaga el sonido,

tendremos que el *rayo incidente* SI formará con la normal IN un ángulo de incidencia SIN , igual al ángulo de reflexión RIN , que forma dicha normal con el rayo reflejado IR , y como además las líneas SI , IN é IR están, por razón de simetría, en el mismo plano, podremos expresar las leyes de la reflexión del sonido diciendo que: *el ángulo de incidencia es igual al de reflexión, y ambos ángulos se hallan en el mismo plano.*

Pueden probarse experimentalmente dichas leyes por medio de unos espejos parabólicos de latón. La

curvatura de dichos espejos corresponde á una parábola, y por las propiedades de esta curva resulta, que si se traza una serie de líneas AI , $A'I'$, etc., paralelas á su eje EF (fig. 187),

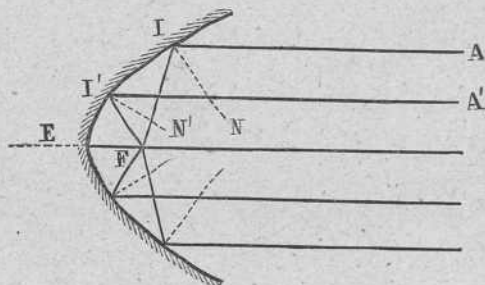


Fig. 187.

y al llegar á la superficie del espejo se forman ángulos de reflexión NIF , $N'I'F'$, etc., iguales á los de incidencia AIN , $A'I'N'$, todas las líneas reflejadas concurren en un punto F , llamado *foco* de dicha parábola. Esto supuesto, si se colocan dos espejos de esta clase (fig. 188),

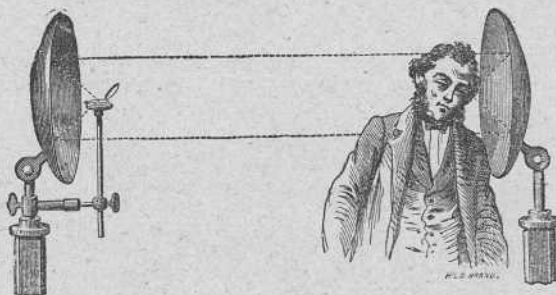


Fig. 188.

de manera que coincidan sus ejes, y en el foco de uno de ellos se pone un cuerpo sonoro, tal como un reloj de bolsillo, las ondulaciones que el sonido de éste produce, se reflejarán en el primer espejo, y saldrán formando un haz de rayos paralelos. Este sistema de rayos paralelos caerá en el segundo espejo, y después de reflejarse, se reunirán nuevamente en el foco del mismo, de manera que al aproximar el oído á dicho punto, se notará perfectamente el tic-tac del reloj, aunque exista gran distancia entre ambos espejos, y, en efecto, hecha la experiencia resulta acorde completamente con la teoría; luego las leyes que hemos hablado son ciertas.

La reflexión del sonido da origen á fenómenos curiosos en ciertas bóvedas. En el Conservatorio de Artes de París existe una sala, llamada *del eco*, en la que dos observadores colocados en los puntos $F F'$ (fig. 189) pueden

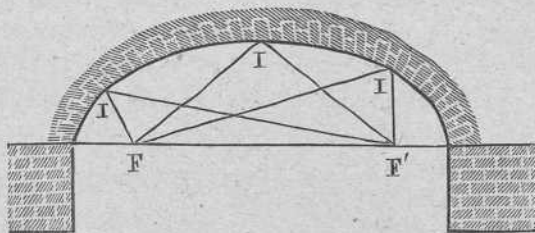


Fig. 189.

entenderse en voz baja, sin que oigan su conversación los que se sitúan en los puntos intermedios. La sola inspección de la figura indica la causa del fenómeno.

224. Eco.—Se llama *eco* la repetición de un sonido por su reflexión sobre un objeto á propósito. En este caso se hallan las rocas, una masa compacta de árboles, un muro de cierta extensión y las mismas nubes. Nunca se verifica el eco en campo abierto ni en el mar, á no ser que haya nubes en condiciones convenientes.

Para que pueda percibirse el eco es necesario que la reflexión del sonido se verifique en dirección del observador, y que el obstáculo ó reflector se encuentre á una distancia mínima de 34 metros. En efecto; para poder percibir dos sonidos articulados, sin que se confundan en uno solo, es necesario que del uno al otro medien por lo menos dos décimas de segundo; en este tiempo el sonido camina 68 metros, y puesto que en el eco tiene que ir el sonido hasta el reflector y volver al punto de partida, el obstáculo que ha de reflejar las ondas sonoras tendrá que estar á la mitad de dicha distancia, ó sean 34 metros. En estas condiciones se llama el eco *monosílabo*, porque sólo puede repetir un sonido articulado ó sílaba; si se tratara de un sonido más breve, como el choque de dos cuerpos, bastaría que el reflector se hallase á 17 metros. Si el objeto que hace oficio de reflector estuviese á 2×34 metros del observador, el sonido reflejado tardaría cuatro décimas de segundo en volver al sitio de origen, y en este tiempo se pueden percibir con claridad dos sonidos diferentes; el eco podrá entonces repetir dos sílabas y será *bisílabo*, y, en general, un eco podrá repetir tantas sílabas como veces contenga á 34m. la distancia á que se encuentra el reflector. En esta clase de ecos cita M. Gassendi uno situado cerca de la tumba de Metella, en Roma, que repite un verso entero de la *Encida*.

Si la distancia del reflector no llega á 34 metros, pero se acerca á este número, no se oye propiamente el eco, pero sí se nota una prolongación en el sonido directo que ha recibido el nombre de *resonancia*.

Ocurre á veces que en frente de un reflector existe otro colocado paralelamente, y entonces el sonido emitido entre ambos se refleja de uno á otro cierto número de veces, constituyendo un *eco múltiple*. Figura entre éstos, como muy notable, el del castillo de Simoneta, cerca de Milán, que repite hasta cuarenta veces el ruido de un pistoletazo.

225. Bocina.—Este aparato se usa para hacer llegar la voz humana á largas distancias, y consiste en un tubo cónico de hoja de lata ó latón (fig. 190), terminado por su parte angosta en una embocadura, para poder

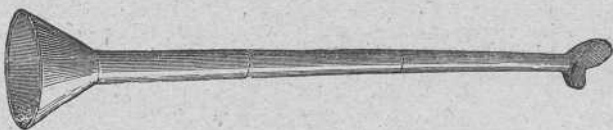


Fig. 190.

hablar con comodidad, y por el otro extremo en un pabellón ó como ensanchado. Al producir un sonido en la embocadura, las ondas sonoras se reflejan diferentes veces en el interior del tubo, y salen sensiblemente paralelas á su eje, resultando así una conmoción más enérgica en las capas de aire. Esta teoría no explica, sin embargo, la importancia del pabellón, que de hecho es grande. Se usa este aparato, principalmente, para comunicarse á bordo de dos buques que se hallan distantes.

226. Trompetilla acústica.—Este aparato tiene por objeto facilitar la audición á las personas cuyo oído carece de la sensibilidad necesaria. Consiste en un cono hecho de hoja de lata ó latón (fig. 191), terminado por una parte estrecha *O*, para introducirlo cómodamente en el tubo auditivo externo. Al hablar cerca de la parte ensanchada *S*, se reflejan las ondas sonoras en las paredes de dicho tubo, y van á reunirse en su terminación, penetrando de este modo en el oído del observador mayor número de rayos sonoros. Suele darse á este aparato formas muy diferentes, pero su principio es siempre el que hemos indicado.

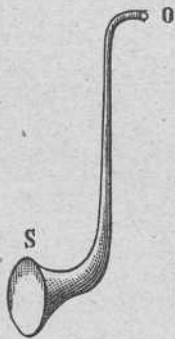


Fig. 191.

ARTÍCULO II.

CUALIDADES DEL SONIDO.

§ 1.º—Intensidad del sonido.

227. Definiciones.—Al comparar entre sí varios sonidos se observan en ellos ciertas diferencias que han recibido el nombre de *cualidades*; éstas son: *la intensidad, el tono y el timbre.*

La *intensidad* es la mayor ó menor energía con que un sonido impresiona nuestro oído.

228. Causas que modifican la intensidad de los sonidos.—La intensidad de un sonido depende de las siguientes causas:

1.ª *De la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro.* Fácilmente se prueba la verdad de esto, dando un pequeño golpe en un timbre, y comparando la intensidad del sonido así originado, con el que se produce por un choque energético; las vibraciones en el primer caso serán de poca amplitud, comparadas con las del segundo.

2.ª *De la distancia á que esté situado el cuerpo sonoro.* Es evidente que á medida que nos separamos de un cuerpo que emite un sonido constante, vamos oyéndole con menos intensidad. Para averiguar en qué relación decrece ésta, supongamos un cuerpo sonoro *S* (fig. 192) colocado en el centro de

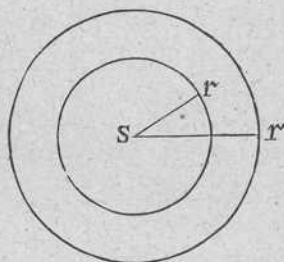


Fig. 192.

una esfera cuyo radio sea igual á *r*. Todos los rayos sonoros emitidos por dicho cuerpo caerán en dicha esfera, y se repartirán proporcionalmente á su superficie, que sabemos es $4 \pi r^2$; llamando *n* el número de rayos emitidos por el cuerpo sonoro, la intensidad *I* del sonido que recibe la unidad de superficie se podrá representar por $I = \frac{n}{4 \pi r^2}$. Consideremos ahora

otra esfera de un radio *r'*, y, por la anterior consideración, podremos representar por $\frac{n}{4 \pi r'^2}$ la intensidad *I'* correspon-

diente á cada una de sus unidades superficiales. Comparando ahora las anteriores igualdades, tendremos:

$$I : I' :: \frac{n}{4 \pi r^2} : \frac{n}{4 \pi r'^2};$$

y suprimiendo los factores comunes y quitando á la vez denominadores tendremos:

$$I : I' :: r'^2 : r^2;$$

lo que nos dice que: *la intensidad del sonido está en razón inversa del cuadrado de la distancia.*

También puede comprobarse esta ley por medio de cinco timbres que produzcan un sonido de igual intensidad; colocando uno de ellos á la distancia de un metro, á la izquierda del observador, y los otros cuatro á una distancia doble, á la derecha, ambos oídos percibirán un sonido de igual fuerza; luego la intensidad de cada uno de los cuatro timbres, sólo es un cuarto de la que corresponde al timbre colocado á la distancia 1, ó sea inversa del cuadrado de la distancia.

3.^a *De la densidad del medio en que el sonido se produce.* En el experimento citado en el párrafo (216), dijimos que á medida que penetraba mayor cantidad de aire en el globo se hacía el sonido más perceptible; por otra parte, puede dejarse entrar en dicho globo ácido carbónico, hidrógeno ó cualquier otro gas, cuya densidad sea conocida, y se observará que el sonido producido por el timbre es tanto más intenso cuanto mayor sea la densidad del gas empleado. En las ascensiones aerostáticas, y en las montañas muy elevadas, hay necesidad de esforzar mucho la voz para entenderse á cierta distancia.

4.^a *De la dirección del viento.* Es un hecho bien conocido que los sonidos se transmiten con más facilidad en la dirección en que se propaga el viento que en sentido contrario. También se ha notado que en el aire tranquilo la propagación del sonido se verifica con más facilidad.

5.^a *De la proximidad de cajas de resonancia.* Para probarlo basta colocar tensa una cuerda sobre un muro resistente y hacerla vibrar; en cuyo caso apenas se percibe sonido alguno; pero si dicha cuerda se apoya sobre una cavidad hueca y de tamaño conveniente, llamada *caja de resonancia*, producirá al vibrar un sonido muy extenso. Un diapasón que vibre en el aire, sin apoyarse en ningún otro cuerpo, produce un sonido débil; pero fijándole sobre una caja de ciertas dimensiones, se obtiene un sonido de gran intensidad. El aparato de Savart es el más á propósito para el estudio de esta cuestión.

Consiste (fig. 193) en un gran timbre metálico *t*, cerca del cual hay un tubo hueco abierto por el lado que mira al timbre, y cuya longitud se puede va-

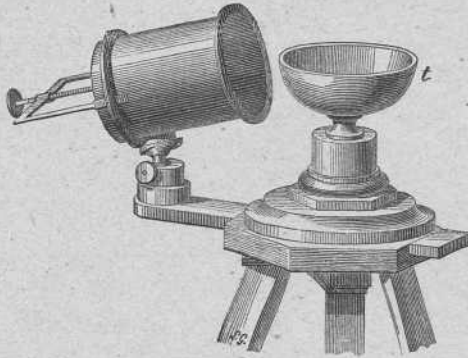


Fig. 193.

riar por medio de un fondo movable. Haciendo vibrar dicho timbre por medio de un *arco de contrabajo*, al aproximar el tubo se obtiene un sonido de una intensidad atronadora, y se observa que la longitud del tubo ha de ser tal, que el aire en él contenido pueda vibrar con la misma rapidez que el timbre, ó sea al *unísono*; separando dicho tubo, el sonido del timbre se debilita extraordinariamente. Resulta, por lo tanto, que las cajas de resonancia aumentan notablemente el sonido, en cuyas inmediaciones se colocan, por vibrar el aire que contienen al unísono del cuerpo sonoro.

629. Intensidad del sonido transmitido por un tubo.— Cuando se emite un sonido dentro de un tubo, las ondas sonoras son reflejadas repetidas veces por sus paredes, y pierden muy poco de intensidad con la distancia. Esta propiedad se ha utilizado para establecer fácil comunicación, por medio de *tubos acústicos*, entre las diferentes habitaciones de un edificio grande, debiendo cuidarse en su colocación de no doblar aquéllos en ángulo recto, y mucho menos agudo, sino que lo verifiquen por curvas bastante abiertas, á fin de facilitar la reflexión de las ondas sonoras; además, la superficie interna de dichos tubos conviene que sea brillante, y no de una materia que evite dichas reflexiones.

§ 2.º— Tonalidad de los sonidos.

A. Número de vibraciones de un sonido.

630. Tono de un sonido.— Se llama *tono* ó *altura* de un sonido la cualidad que posee de impresionar nuestro oído, según el número de vibraciones

que le producen. Bajo este concepto se dividen los sonidos en *graves* y *agudos*, siendo graves los que proceden de un corto número de vibraciones, y agudos los originados por gran número de aquéllas. Bien se comprende que estas denominaciones son relativas, pues un sonido producido por 500 vibraciones por segundo será grave, comparado con otro que proceda de 1.000 vibraciones, y agudo si se le compara con otro originado por 100 vibraciones.

Para demostrar que el tono de un sonido depende del número de vibraciones, puede usarse la *rueda dentada de Savart*, ó la *sirena acústica*; con estos aparatos, que ahora describiremos, se prueba, en efecto, que el sonido se eleva, ó se hace más agudo, á medida que crece el número de vibraciones.

El tono de un sonido es independiente de su intensidad, como puede probarse fácilmente haciendo vibrar un timbre débilmente y luego con mucha energía; el sonido obtenido en ambos casos, aunque de muy diferente intensidad, conserva el mismo tono.

631. Rueda de Savart.— Este aparato tiene por objeto medir el número de vibraciones correspondientes á un sonido en un tiempo dado. Consiste (fig. 194) en una rueda dentada cuyo eje lleva por un lado una polea,

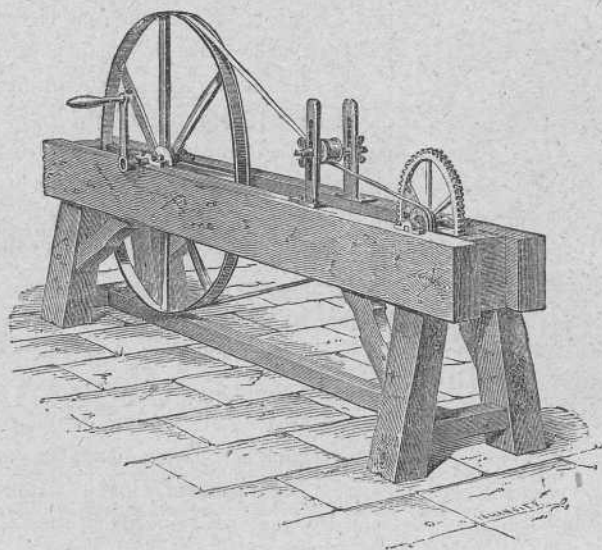


Fig. 194.

y por el otro un contador de vueltas; dicha polea recibe un rápido movimiento de rotación, por el intermedio de una correa sin fin y un gran volante

movido á mano. Haciendo girar la rueda dentada, y presentando delante de sus dientes una tarjeta ó lámina delgada de latón, los repetidos choques que así tienen lugar originan un sonido, tanto más agudo cuanto más rápido es el movimiento de aquella. Esto supuesto, para averiguar el número de vibraciones de un sonido se hace girar la rueda de Savart con velocidad creciente, hasta obtener un sonido idéntico, ó al *unísono*, de aquel que se estudia, y se mantiene constante la velocidad de la rueda durante un tiempo dado; viendo en el contador las vueltas que ha dado la rueda en ese tiempo, y sabiendo el número de dientes de la misma, se puede averiguar fácilmente los choques producidos en la tarjeta ó, lo que es igual, el número de vibraciones del cuerpo sonoro. En efecto; supongamos que el unísono se ha mantenido durante 10 segundos, y que la rueda tenga 25 dientes, habiendo dado en este tiempo 350 vueltas; el número de vibraciones verificadas en los 10 segundos será $25 \times 350 = 8.750$, y, por lo tanto, en un segundo 875 vibraciones completas ó dobles.

632. Sirena.—Este aparato, ideado por Cagniard de Latour, sirve también para averiguar el número de vibraciones de un sonido. Consiste en una caja metálica (fig. 195), en cuyo fondo lleva un tubo para lanzar en su interior una corriente de aire, valiéndose de un fuelle como el representado en la figura 203.

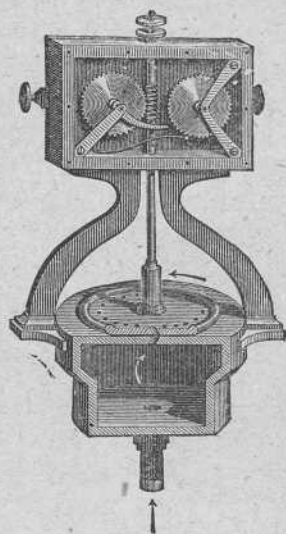


Fig. 195.

La tapa superior de dicha caja tiene practicados circularmente una serie de orificios inclinados de izquierda á derecha, los que corresponden exactamente á los de un disco movable alrededor de un eje vertical, si bien los orificios de éste van en dirección contraria. El eje de dicho disco va provisto en su parte superior de un tornillo sin fin, cuyos filetes engranan en los dientes de una rueda dentada, resultando de esta disposición que, á cada vuelta de aquél avanza la rueda un diente; ésta, á su vez, lleva una uñeta que obliga á otra rueda, colocada á su derecha, á correr otro diente por cada vuelta completa de la primera, y los ejes de ambas están armados, por la cara opuesta, de unas manecillas para indicar su movimiento. El conjunto de estas piezas constituye un *contador de vueltas*, como el usado en la rueda de Savart. Por último, el bastidor en que están fijas las ruedas puede moverse lateralmente, y hacer de este modo que engrane ó no en ellas el tornillo sin fin.

Por último, el bastidor en que están fijas las ruedas puede moverse lateralmente, y hacer de este modo que engrane ó no en ellas el tornillo sin fin.

Esto supuesto, para hacer funcionar la *sirena* se la coloca sobre un fuelle acústico, y se lanza el aire con suavidad; al salir este gas por los orificios de la tapa superior, choca con las paredes, inclinadas en sentido opuesto, de los agujeros del disco movable, y éste toma un movimiento de rotación, originándose á la vez un sonido por efecto de las vibraciones del aire. En efecto, este gas sale ó deja de salir, según coincidan ó no los orificios de la tapa con los del disco, resultando en cada revolución tantas vibraciones dobles cuantos sean los orificios; á medida que se fuerza el viento gira más rápidamente el platillo, y el sonido se hace más agudo.

Para averiguar con este ingenioso aparato el número de vibraciones de un sonido, se procede de un modo enteramente análogo al de la rueda de Savart.

Si en vez de aire se lanza en la *sirena* una corriente de agua, se produce también un sonido por la salida intermitente de dicho líquido, siendo ésta la razón del nombre que lleva el aparato.

En estas experiencias se supone, desde luego, que dos sonidos al unísono proceden de igual número de vibraciones, y, en efecto, poniendo la *rueda de Savart* y la *sirena* al unísono, se observa que el número de vibraciones registrado por ambos aparatos es idéntico.

633. Método gráfico.—En este método, susceptible de mayor precisión que los anteriores, quedan inscriptas las vibraciones del cuerpo sonoro sobre

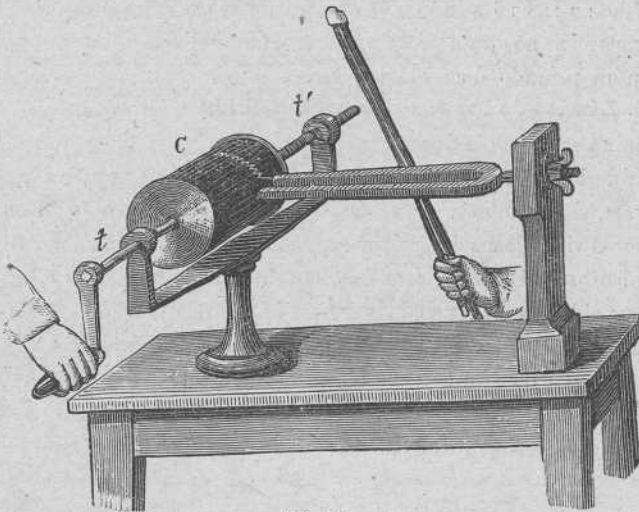


Fig. 196.

un cilindro de cristal ahumado *C* (fig. 196). Dicho cilindro, á la vez que gira, se traslada lateralmente, para lo cual tiene uno de sus ejes en forma

de tornillo, cuyos filetes engranan en la tuerca t' que lleva uno de los apoyos del bastidor. El cuerpo sonoro, cuyas vibraciones se quieren averiguar, se fija en un montante y se le arma de un pequeño estilete de ballena, disponiéndole de tal modo que sus vibraciones sean paralelas al eje del cilindro. Dispuesto así el aparato, se pone en vibración el cuerpo sonoro, á la vez que se hace girar el cilindro, en cuyo caso se obtiene sobre su superficie una línea sinuosa que representa, con toda fidelidad, las vibraciones ejecutadas por aquél en el tiempo que dure la experiencia.

Aun se puede simplificar el experimento si se posee su diapasón cuyo número de vibraciones se conozcan con exactitud; en este caso se hacen vibrar á la vez dicho diapasón y el cuerpo sonoro de que se trate, inscribiendo en el cilindro las ondulaciones de ambos; luego se trazan dos líneas zz y $z'z'$

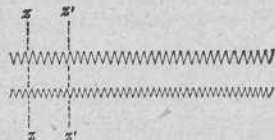


Fig. 197.

(fig. 197) paralelas al eje del cilindro, y se cuentan las ondulaciones de una y otra, y en la relación que estén dichas ondulaciones estarán las vibraciones de ambos sonidos. Supongamos, en efecto, que las vibraciones producidas en un segundo por el diapasón sean 700,

y 8 las inscriptas por él entre las líneas paralelas, siendo 6 las marcadas por el otro cuerpo sonoro. Evidentemente se verificará la siguiente proporción: $700 : n :: 8 : 6$ siendo n el número de vibraciones buscadas. Resuelta esta proporción nos da $n = 525$, que es el número de vibraciones que produce en un segundo el cuerpo empleado.

634. Límite de los sonidos perceptibles.—La sensibilidad del oído humano no es indefinida para cualquier clase de vibraciones, y tiene límites á partir de los cuales cesan de percibirse los sonidos. Según las experiencias de Savart, el sonido más grave que puede impresionar al oído está originado por 8 vibraciones dobles por segundo, y el más agudo por 24.000. Los experimentos de Despretz cambian bastante estos números, y supone éste sabio que el límite de los sonidos graves es de 16 vibraciones dobles, y el de los agudos 36.850. No es extraño que existan estas diferencias si se atiende á que, en esta cuestión, influye, además de la sensibilidad del oído del experimentador, la intensidad del sonido que se produzca, y ambos físicos se valieron en sus experimentos de diferentes medios para llegar á tales resultados.

B. Teoría física de la música.

635. Intervalo de dos sonidos.—Cuando se emiten dos sonidos, ya simultáneos ó bien aisladamente, el oído los compara con gran facilidad, y se impresiona de cierto modo por su relación ó *intervalo*. Se observa, además, que dicho intervalo no

Esta relación es independiente de la altura del primer sonido, y se verifica, por tanto, en todas las gamas.

Determinando los intervalos de cada nota con la precedente, se obtienen los siguientes números:

$$do_1 \text{ re mi fa sol la si } do_2$$

$$\frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{16}{15} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{16}{15}$$

Vemos por esta lista que los intervalos diferentes son tres: $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ y $\frac{16}{15}$.

El mayor, que es $\frac{9}{8}$, se llama *tono mayor*; el siguiente *tono menor*, y el último *semi-tono mayor*. El intervalo entre el tono mayor y el menor es $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ el cual se conoce con el nombre de *coma*.

637. Gama cromática.—En la gamma de que acabamos de hablar, llamada *natural* y *diatónica*, los sonidos se suceden, á partir del *do* fundamental, con cierta relación constante, cuyos intervalos no se verifican exactamente, empezando por otra nota diferente; así, empezando á cantar la gama por la nota *sol*, se obtiene la escala siguiente:

$$sol_1 \text{-} la \text{-} si \text{-} do \text{-} re \text{-} mi \text{-} fa \text{-} sol_2,$$

y en ella se observa que la nota *fa* es más grave de lo que le corresponde. Para obtener el verdadero sonido hay necesidad de *alzarla* en la relación de $\frac{25}{24}$, y á este incremento le han dado los músicos el nombre de *sostenido* (\sharp). La gama exacta resulta entonces la siguiente:

$$sol_1 \text{-} la \text{-} si \text{-} do \text{-} re \text{-} mi \text{-} fa^{\sharp} \text{-} sol_2$$

Si en vez de empezar por la nota *sol*, se empieza la gamma en el *fa*, resultará la siguiente escala:

$$fa_1 \text{-} sol \text{-} la \text{-} si \text{-} do \text{-} re \text{-} mi \text{-} fa_2$$

y para formar una gama, análoga á la primitiva, hay necesidad de *bajar* el *si*, que es demasiado alto, en la relación de $\frac{24}{25}$, á cuyo intervalo llaman los músicos *bemol* (\flat). La gama exacta será, por lo tanto,

$$fa_1 \text{-} sol \text{-} la \text{-} si^{\flat} \text{-} do \text{-} re \text{-} mi \text{-} fa_2$$

Empezando la escala por las otras notas, hay necesidad de bajar y subir algunas de ellas en dichas relaciones, resultando un conjunto de 21 notas que componen la *escala cromática*, á saber:

$$do_1 \text{-} do^{\sharp} \text{-} re^{\flat} \text{-} re \text{-} re^{\sharp} \text{-} mi^{\flat} \text{-} mi \text{-} fa^{\flat} \text{-} mi^{\sharp} \text{-} fa \text{-} fa^{\sharp} \text{-} sol^{\flat} \text{-} sol \text{-} sol^{\sharp}$$

$$la^{\flat} \text{-} la \text{-} la^{\sharp} \text{-} si^{\flat} \text{-} si \text{-} do^{\flat} \text{-} si^{\sharp} \text{-} do_2$$

638. Escala templada.—En los instrumentos que producen sonidos continuos, como el violín y violoncello, se pueden obtener fácilmente las anteriores notas, pero en los de sonidos fijos, como el piano, daría esto origen á una complicación extraordinaria, haciendo muy difícil la ejecución de una pieza musical. Para obviar

esta dificultad, han convenido los músicos en reunir en uno solo los sonidos inmediatos y poco diferentes, tales como el do^{\sharp} y el re^{\flat} , el re^{\sharp} y mi^{\flat} , etc., y han dividido la escala en 12 *semitonos* iguales, formando de esta manera la *escala templada*, cuyas notas e intervalos con el do_1 son los siguientes:

do_1	1	$sol.$	1,498
do^{\sharp} y re^{\flat}	1,060	sol^{\sharp} y la^{\flat}	1,587
re	1,122	la	1,682
re^{\sharp} y mi^{\flat}	1,190	la^{\sharp} y si^{\flat}	1,782
mi y fa^{\flat}	1,260	si y do^{\flat}	1,887
mi^{\sharp} y fa	1,334	si^{\sharp} y do_2	2,000
fa^{\sharp} y sol^{\flat}	1,414		

El intervalo entre cada dos notas es constante, y puesto que el producto de todos ellos ha de ser 2, cada uno valdrá $\sqrt[12]{2} = 1,060$. En realidad ninguna de estas notas es exacta, pero su diferencia con la verdadera es tan pequeña, que no hay inconveniente en adoptarlas como tales. En el piano están representadas las notas naturales por las teclas blancas, y los sostenidos y bemoles, fundidos en una sola nota, por las negras.

639. Número absoluto de vibraciones de las notas de la gama.

—Conociendo el número relativo de vibraciones de las notas de la escala, y fijando la altura ó tono de una nota cualquiera, es fácil hallar el número absoluto de las vibraciones correspondientes á las demás.

Según convenio de varias naciones se ha adoptado, como punto de partida, el la_2 producido por 870 vibraciones sencillas por *segundo*, cuyo sonido se obtiene con el diapasón normal (659). Partiendo de este dato, veamos cómo puede averiguarse el número de vibraciones que correspondan á otra nota distinta, por ejemplo, el re_2 . Desde luego sabemos, con arreglo á la tabla inserta en el número 636, que las mismas notas, en diferente escala, crecen como las potencias de 2, así que el la_2 estará representada por $870 : 2 = 435$ vibraciones; ahora es fácil calcular las vibraciones del re_2 , sabiendo que los números respectivos al re y la son los quebrados $\frac{9}{8}$ y $\frac{5}{3}$; de modo que tendremos la proporción $\frac{5}{3} : \frac{9}{8} :: 435 : x = 293,6$.

640. Longitud de la onda.

— Conociendo el número de vibraciones que produce en un segundo un cuerpo sonoro, es fácil calcular la longitud de la onda correspondiente. En efecto; si el sonido de que se trata estuviera formado por una sola vibración en un segundo, la longitud de la onda sería el espacio que en dicho tiempo recorra en el aire el sonido, ó sea 340 metros;

si dicho sonido fuera producido por dos vibraciones, la longitud de la onda sería $\frac{340}{2}$ metros, y, en general, siendo n el número de vibraciones por segundo que corresponden al sonido que se considera, la longitud de la onda respectiva será $\frac{340}{n}$.

641. Acordes.—Se llama *acorde* el resultado que en nuestro oído produce la emisión simultánea de varios sonidos. Este resultado es unas veces *agradable* y otras *desagradable*; en el primer caso se llama el acorde *consonante* y en el segundo *disonante*.

Los acordes consonantes que más deleitan al oído son: la *tercia* (*do-mi*) y la *quinta* (*do-sol*); los otros son más ó menos disonantes. Se llama *acorde perfecto* la reunión de dos acordes consonantes, tal es el formado por las notas *do mi sol*. Se observa que los acordes son tanto más consonantes cuanto más sencilla es la relación que hay entre el número de sus respectivas vibraciones.

642. Pulsaciones.—Al emitir simultáneamente dos sonidos que se diferencien en pocas vibraciones, se nota de cuando en cuando un refuerzo seguido de una disminución en su intensidad, que ha recibido el nombre de *pulsación*. La razón de este fenómeno se ve bien clara examinando la figura 199; al coincidir la fase de vibración de ambos sonidos, como sucede en el

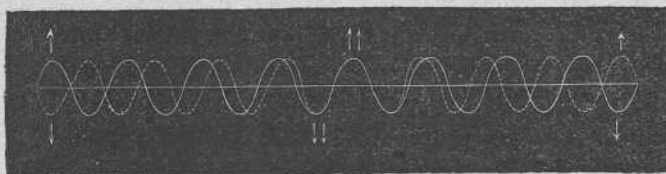


Fig. 199.

centro del grabado, el aire vibra con gran energía, y el sonido resultante es intenso; lo contrario sucede cuando las vibraciones producen en el aire movimientos opuestos, en cuyo caso interfieren las ondas y el sonido se debilita extraordinariamente. Resulta de aquí un procedimiento muy exacto para apreciar si dos sonidos están ó no al unísono; basta, en efecto, emitirlos simultáneamente y observar si dan lugar á dichas pulsaciones; en caso de estar aquéllos al unísono no se notará dicho fenómeno.

643. Armónicos de un sonido.—Reciben este nombre los sonidos

cuyas vibraciones crecen como los números naturales 1, 2, 3....; así los armónicos del sonido do_1 son las notas siguientes:

$$\begin{array}{cccccccc} do_1 & - & do_2 & - & sol_2 & - & do_3 & - & mi_3 & - & sol_3 & \dots \\ 1 & & 2 & & 3 & & 4 & & 5 & & 6 & \dots \end{array}$$

que se hallan en dicha relación. Estos sonidos, combinados entre sí, forman acordes consonantes, sobre todo los primeros, y por esto han recibido el nombre que llevan.

Límite de los sonidos empleados en música.—Los sonidos más graves empleados en las diferentes combinaciones musicales, nunca bajan de 32 vibraciones por segundo, y los más agudos no pasan nunca de 8.352; aquéllos corresponden al do_2 del diapasón normal y estos últimos al do_7 . La voz humana, según el sexo y condiciones del individuo, puede recorrer una serie de notas comprendidas entre el fa_1 y el sol_4 , ó sea desde 174 vibraciones á 1.550 aproximadamente.

C. Vibraciones del aire en los tubos.

644. Tubos sonoros.—Reciben este nombre unos cilindros ó prismas huecos en los que puede vibrar el aire contenido en su interior, produciendo un sonido. Para conseguirlo es necesario hacer llegar á ellos una corriente intermitente de aire, lo que generalmente se verifica por medio de un artificio llamado *embocadura*; ésta puede ser de *flauta* ó de *lengüeta*.

La *embocadura de flauta* consiste en una caja *A* (fig. 200), á la que puede llegar por el tubo *a* una corriente de aire procedente de un fuelle acústico; en uno de sus lados presenta un estrechamiento *e*, llamado *luz*, seguido de una abertura ó *boca* *b*, cuyos bordes reciben el nombre de *labios*. Al llegar el aire á la caja *A*, y salir en forma de lámina por la *luz* *e*, choca con el borde del labio superior *C*, cortado en bisel, y es rechazado hacia la *luz*, produciendo por un momento la detención de la corriente de aire; esta detención es momentánea, por seguir el aire saliendo por la *luz*, pero vuelve á producirse otra vez tan pronto como se establece de un modo continuo la corriente de aire. Estas intermitencias originan dentro del tubo una serie de ondas condensadas y dilatadas, las que, sucediéndose con gran rapidez y regularidad, producen un sonido muy agradable. Estos tubos están unas veces abiertos por su parte superior y otras cerrados; en este caso reciben el nombre de *bordones*, principalmente si son de gran longitud.



Fig. 200.

En las *embocaduras de lengüeta* se originan las dilataciones y condensaciones del aire por medio de una lámina elástica de metal que cierra, á intervalos determinados, la salida de dicho fluido; esta embocadura puede ser de *lengüeta libre* y *lengüeta batiente*.

La *embocadura de lengüeta libre* consiste en una caja *a* (fig. 201), á la que se hace llegar el aire por medio de un fuelle acústico; en la parte superior se halla interrumpida la salida

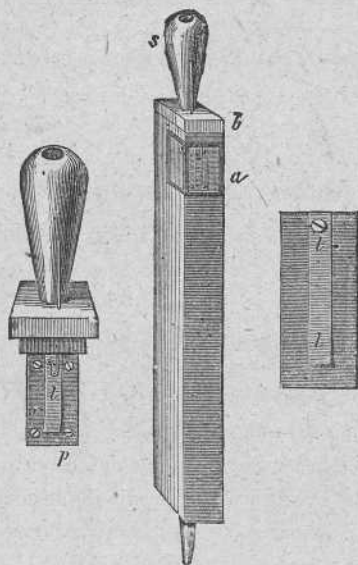


Fig. 201.

de dicho gas por la lengüeta *l*, la que se halla fija por uno de sus extremos sobre una chapa metálica *p*; ésta tiene una abertura capaz de permitir el paso de dicha lengüeta, y, por último, en la parte superior de la caja se fija un tubo *S* para reforzar el sonido. Al salir el aire por la abertura de la chapa *p* arrastra consigo la lengüeta *l*, y queda interrumpida un momento la corriente del gas; pero, efecto de la velocidad adquirida y de la presión del aire, la lengüeta pasa al otro lado de la chapa, y vuelve á establecerse la corriente de aire; un momento después vuelve la chapa por su elasticidad á su primitiva posición, y se verifica otra interrupción

del aire, seguida de otra corriente del mismo, dando origen estas interrupciones á una serie de ondas condensadas y dilatadas que producen un sonido muy armonioso.

La *embocadura de lengüeta batiente* (fig. 202), se diferencia de la anterior en que la lengüeta *l* está colocada sobre una canilla metálica *r*, cuya abertura cierra herméticamente al ser arrastrada por el aire. En el siguiente periodo, la elasticidad de dicha lengüeta la obliga á elevarse un poquito por su extremo libre, permitiendo que se establezca otra vez la corriente de aire, pero al momento es arrastrada de nuevo por dicho gas, quedando interrumpida otra vez la salida del aire. Estas interrupciones dan lugar á las ondas, alternativamente condensadas y dilatadas, que producen un sonido correspondiente á su frecuencia. El sonido originado por esta embocadura es, sin embargo, más estridente que el que se obtiene con la otra embocadura, pero es en cambio de mayor intensidad. Tanto en ésta como en la

embocadura de lengüeta libre, puede variarse, entre ciertos límites, el tono del sonido originado por medio de un alambre z , que pasa á frotación por un orificio b , limitando, según esté más ó menos elevado, la porción libre de la lengüeta. En los tubos de lengüeta pueden obtenerse cambios de intensidad muy notables, y por lo tanto dar *expresión* á los sonidos producidos, para lo que basta lanzar el aire con más ó menos velocidad, cosa que no sucede con los de embocadura de flauta, que en iguales condiciones dan la octava, según vamos á ver muy pronto.

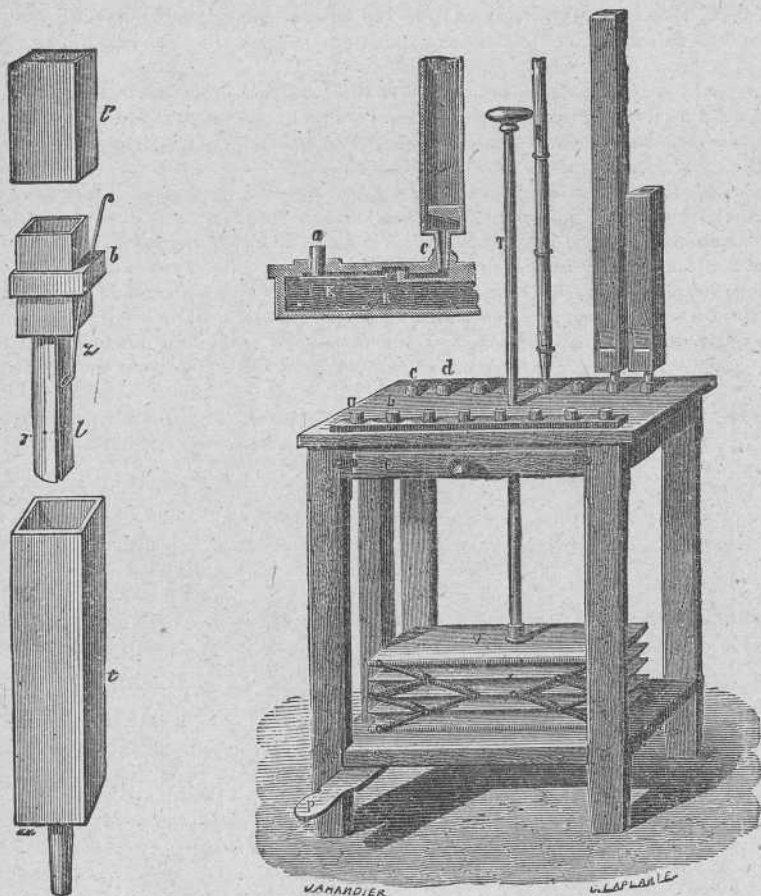


Fig. 202.

Fig. 203.

645. Fuelle acústico.—Para hacer funcionar los tubos sonoros, la sirena y otros aparatos de acústica, se usa un fuelle de doble efecto, análogo al descrito en el núm. 212. En la parte inferior de una mesa (fig. 203) está

colocado el fuelle *V*, que funciona por medio de un pedal *P*; el aire sube á la tabla superior por un ancho tubo, y penetra en una galería *R* (grabado de encima) provista de varios orificios *c d*....., en los cuales se ponen los tubos que hayan de funcionar. Dichos orificios están cerrados por unas válvulas que se abren al oprimir las teclas *a b*....., en cuyo caso el aire se lanza por el orificio respectivo, haciendo sonar el tubo correspondiente; si se necesita aumentar la velocidad del aire se ponen pesos sobre la tabla *V*, ó se oprime la varilla *T*.

646. Sonidos producidos por los tubos.—Estudiando Bernoulli y algunos otros físicos, las relaciones que pudieran existir entre el sonido dado por un tubo y su longitud, han llegado á las siguientes leyes:

1.^a *El sonido originado por un tubo es independiente de la materia de que esté hecho*, con tal que tenga bastante espesor. Para probar esta ley se ponen en el fuelle acústico tres tubos de la misma longitud, uno de madera, otro de cristal y el otro metálico, y al hacerlos funcionar se observa que producen la misma nota.

2.^a *El número de vibraciones de un tubo está en razón inversa de su longitud*. Se demuestra este principio por medio de dos tubos de igual calibre y cuyas longitudes están en la relación de 1 á 2, como indica la figura 203. Al hacerlos sonar, por medio del fuelle acústico, el más largo da la octava grave del sonido producido por el corto; luego sus vibraciones (636) están en la relación de 1 : 2, ó sea, inversa de su longitud.

3.^a *Un tubo cerrado da la misma nota que otro abierto de doble longitud*, ó lo que es igual, dos tubos de igual longitud, uno cerrado y otro abierto, producen sonidos

cuyas vibraciones están respectivamente en la relación de uno á dos. Colocando en el fuelle acústico el tubo representado en la figura 204, dividido en dos partes por la tablilla *p*, se observa que el sonido no varía, ya esté cortado en su mitad por dicha tablilla ó ya ésta esté corrida para que vibre en toda su longitud. También puede comprobarse con un tubo cualquiera haciéndolo sonar abierto y cerrándolo luego con una tablita que ajuste bien en su extremidad abierta, en cuyo caso se obtiene la octava grave del primer sonido.

4.^a *Forzando el aire poco á poco en un tubo abierto, se obtienen sonidos cuyo número de vibraciones crece como los números naturales 1-2-3.....* Se comprueba esta ley por medio de un tubo largo *B* (fig. 205) provisto en su embocadura de una llave; si se le coloca en el fuelle acústico, y se abre dicha llave paulatinamente, se obtiene una serie de sonidos que están en la relación indicada, y forman, por tanto, todos los armónicos del *sonido fundamental*, ó más grave que puede dar el tubo.

5.^a *En los tubos cerrados se obtiene, al forzar el aire, una serie de sonidos cuyas vibraciones crecen como los números impares 1-3-5.....* Para demostrar este principio se usa el tubo *A* (fig. 205), armado igualmente en su embocadura de una llave para hacer variar la velocidad del viento; puesto en el fuelle acústico, y haciendo que



Fig. 204.

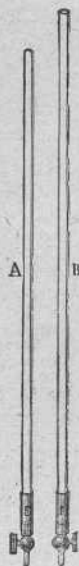


Fig. 205.

el aire penetre cada vez con mayor violencia, se obtienen los armónicos de lugar impar correspondientes al sonido más grave ó fundamental que produce el tubo. Estas dos

últimas leyes son debidas á Bernouilli, y sólo se verifican en los tubos provistos de embocadura de flauta.

647. Modo de vibrar el aire en los tubos.—Para comprender la razón de los anteriores hechos, es necesario estudiar la disposición del aire al producirse el sonido de los tubos. Desde luego puede observarse que, cualquiera que sea el sonido obtenido, la columna de aire se divide en zonas alternativamente tranquilas y agitadas. Para ello se introduce en un tubo, que tenga una de sus paredes de cristal (fig. 206), una laminita de vejiga sujeta en un aro, y sobre ella se echa un poquito de arena; haciéndola descender á lo largo del tubo cuando está sonando, se observa que la arena se conmueve violentamente en ciertos sitios, mientras que en otros permanece tran-

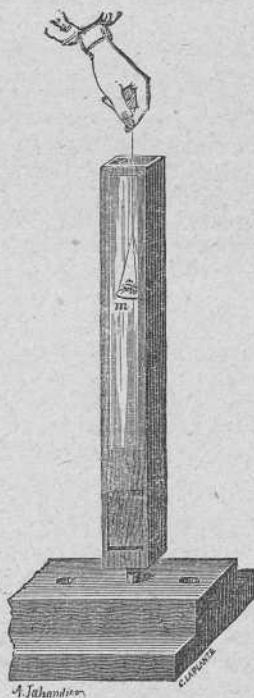


Fig. 206.

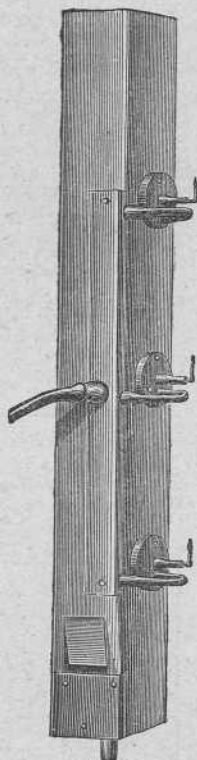


Fig. 207.

quila. Los puntos en que el aire vibra han recibido el nombre de *vientres*, y aquellos en que está tranquilo se llaman *nodos*. La distancia entre dos *nodos* se llama *conca-meración*. En los nodos permanece el aire inmóvil, pero experimenta cambios bruscos en su densidad. Esto puede observarse por medio de un tubo (fig. 207), provisto de llamas manométricas en los nodos y vientres de vibración; encendidas éstas y haciéndole sonar, se conmueven vivamente, y aun se apagan, las llamas colocadas en los nodos, mientras permanecen tranquilas las que ocupan el sitio de los vientres: por esto al abrir un orificio en una de las paredes de un tubo, se altera el sonido si se ha practicado en un nodo, y no cambia si está hecho en un vientre.

648. Situación de los nodos y vientres en los diferentes sonidos

de un tubo abierto.

Si en un tubo abierto se hace entrar el aire con poca velocidad, se obtiene el sonido más grave, ó *fundamental*, de dicho tubo, y por medio de la laminilla de vejiga, de que hemos hablado hace poco, se observa que en el extremo del tubo hay un vientre, y otro en la boca ó principio del mismo, separados por un nodo colocado en su centro (fig. 208. A). Forzando el aire salta el sonido á su segundo armónico, y puede observarse, por el procedimiento anterior, que el número de nodos y vientres es el que indica la figura B. Si se sigue aumentando la velocidad del aire, el sonido producido corresponde al tercer armónico de la nota fundamental, y los nodos y vientres se disponen como indica la figura C, y así van creciendo sucesivamente á medida que se fuerza el aire.

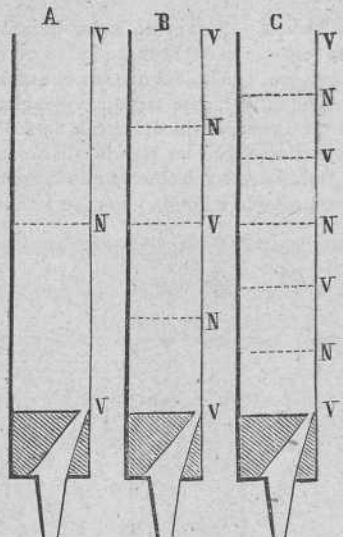


Fig. 208.

sivamente, por cuya razón se obtienen sonidos en que el número de vibraciones crece como los números naturales 1, 2, 3, etc., que es lo que indican las leyes de Bernoulli.

649. Situación de los nodos y vientres en los diferentes sonidos de un tubo cerrado.—Al lanzar poco á poco el aire en un tubo cerrado, se obtiene el sonido *fundamental*, ó más grave, que puede producir dicho tubo, y se observa que en su extremo inferior, ó boca, hay un vientre, y un nodo en su extremo cerrado (fig. 209. A). Forzando un poco el viento da el tubo el tercer armónico, y los nodos y vientres se distribuyen como indica la figura B. Aumentando más la velocidad del aire se obtiene el quinto armónico del sonido fundamental, y aparecen los vientres y nodos en la disposición que indica la figura C, y así sucesivamente.

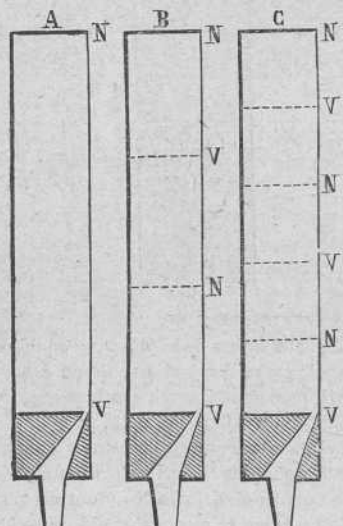


Fig. 209.

La longitud de la onda sonora es siempre el cuádruplo de la distancia de un nodo al vientre inmediato, como puede observarse por la figura 182, de modo que representando por 1 la longitud de la onda en el tubo A, la del segundo será $\frac{1}{2}$, la del tercero un $\frac{1}{3}$, y así sucesivamente.

Si representamos por 1 la longitud de la onda en el primer caso, las longitudes correspondientes al segundo y tercero serán $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$, y los sonidos emitidos corresponderán á un número de vibraciones 3, 5,.... veces mayor, ó sea conforme con lo que indican las leyes de Bernoulli.

650. Causa de los nodos y vientres en los tubos.—Al vibrar el aire dentro de un tubo y llegar las ondas á su extremo, supuesto ahora cerrado, se reflejan en él, y vuelven en sentido contrario; de

extremo, supuesto ahora cerrado, se reflejan en él, y vuelven en sentido contrario; de

aquí resulta que en los puntos en que marchan en igual sentido las ondas directas y las reflejadas, se suman las velocidades, y aparece un vientre; en cambio se anula su velocidad en los puntos en que se encuentran dos ondas que caminan en dirección opuesta, y se origina un nodo. En éstos, sin embargo, resultan condensaciones del aire cuando se encuentran dos ondas que marchan hacia el mismo punto, y dilataciones en dicho gas cuando las ondas se separan á la vez.

En los tubos abiertos la atmósfera hace el papel del fondo en los tubos cerrados, y en ella se reflejan las ondas sonoras producidas por el tubo.

D. Vibraciones de las cuerdas.

651. Cuerdas sonoras.—Reciben este nombre los cuerpos filiformes hechos de una materia elástica, en los que domina la longitud respecto de las otras dimensiones. Generalmente se hacen de acero, latón, tripa ó seda. Para que produzcan sonidos al vibrar, es necesario ponerlas tensas entre dos puntos fijos.

Las cuerdas pueden originar vibraciones longitudinales y transversales. Las primeras se obtienen frotándolas en sentido de su longitud con un paño impregnado de resina, obteniéndose en este caso sonidos muy agudos y desagradables, por lo que rara vez se utilizan en la música. Las vibraciones transversales se originan *pinzándolas* ó frotándolas con un arco de cerdas impregnado de resina, en cuyo caso se obtienen sonidos muy armoniosos y susceptibles de ser aplicados en la música con gran éxito.

652. Vibraciones transversales de las cuerdas.—Para estudiar las leyes á que están sometidas las vibraciones transversales de las cuerdas se usa un aparato llamado *sonómetro*, representado en la fig. 210. Consiste en

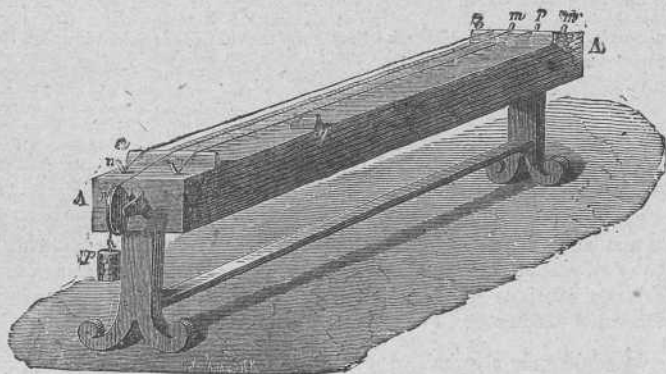


Fig. 210.

una caja sonora de madera *A*, sobre la cual pueden colocarse, con cierta tensión, una ó más cuerdas; éstas se hallan fijas por un extremo en las clavijas

m , p , m , y por el otro se las da la tensión conveniente arrollándolas en otras clavijas n , n , ó suspendiendo de su extremo libre un peso p , después de hacer pasar la cuerda por una polea. En los puntos a y b lleva la caja dos caballetes á la distancia de un metro, los que limitan la parte libre de dichas cuerdas, y además tiene el aparato otro caballete movable g , para reducir lo que convenga la parte vibrante de dichas cuerdas.

Aplicando el cálculo matemático al movimiento vibratorio de estos cuerpos, han deducido los mecánicos que las vibraciones transversales de las cuerdas se verifican con arreglo á la siguiente fórmula:

$$n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}} \quad (a),$$

en la cual n representa el número de vibraciones transversales producidas por la cuerda en un segundo, r su radio, l su longitud, P la tensión ó peso tensor, y d su densidad. Con el sonómetro se comprueba perfectamente, como vamos á ver, esta fórmula. Además, se observa que las vibraciones de diferente amplitud en una misma cuerda se verifican en el mismo tiempo, ó son *isócoronas*, como se prueba sin más que tener en cuenta que el sonido no varía de tono cualquiera que sea la fuerza con que se las pince.

653. Ley de las longitudes.—Suponiendo dos cuerdas, cuyas longitudes sean l y l' , y llamando respectivamente n y n' las vibraciones que producen en un segundo, se verificará en cada una de ellas, con arreglo á la fórmula (a), las siguientes igualdades:

$$n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}, \quad \text{y} \quad n' = \frac{1}{r l'} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}.$$

Estableciendo proporción entre estas dos igualdades, y suprimiendo los factores comunes de la segunda razón, tendremos $n : n' :: \frac{1}{l} : \frac{1}{l'}$. Multiplicando los dos términos de la segunda razón por $l l'$, y suprimiendo los factores iguales, quedará dicha proporción convertida en la siguiente:

$$n : n' :: l' : l,$$

la que nos dice que *el número de vibraciones transversales de dos cuerdas está en razón inversa de su longitud*, con tal que las demás condiciones sean iguales en ambas.

Para comprobar esta ley por medio del sonómetro, se fijan dos cuerdas idénticas en los apoyos $m' m$, y dando vueltas á las clavijas $n n$ se las pone al unisono. En una de ellas se coloca el caballete movable g en su punto medio, y se hace sonar cualquiera de sus mitades; el sonido obtenido en este caso es la octava aguda del que produce la otra cuerda. Colocando el caballete á los $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$ de la longitud total de la cuerda, se obtienen todas las notas de la gama, y como dichos números son inversos de las vibraciones correspondientes á estas notas (636), resulta plenamente comprobada dicha ley.

654. Ley de los radios.—Suponiendo dos cuerdas cuyos radios sean $r r'$, y

aplicando á cada una de ellas la fórmula (a), tendremos las siguientes igualdades:

$$n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}, \quad \text{y} \quad n' = \frac{1}{r' l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}.$$

Siguiendo la misma marcha que antes obtendremos la proporción

$$n : n' :: r' : r,$$

lo que nos dice, que *el número de vibraciones que en un mismo tiempo producen las cuerdas, está en razón inversa de sus radios*, suponiendo idénticas las demás condiciones.

Para comprobar esta ley se fija una cuerda, cuyo diámetro sea 1, en el apoyo n , y en su otro extremo se suspende un peso P . Uno de las cuerdas fijas se pone al unísono de ésta, y después se sustituye la primera por otra cuyo diámetro sea 2, colgando de su extremo el mismo peso P . Comparando el sonido de ambas, se observa que la cuerda fija da la octava aguda de la otra, lo que demuestra la ley citada.

Si el sonómetro tiene dos poleas pueden colgarse pesos iguales de dos cuerdas cuyos diámetros sean respectivamente 1 y 2, y se observará, haciéndolas vibrar, que la primera da la octava aguda de la segunda.

655. Ley de las tensiones. Para dos cuerdas de condiciones iguales y cuyas tensiones sean respectivamente P y P' tendremos las siguientes igualdades:

$$n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}, \quad \text{y} \quad n' = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P'}{\pi d}}.$$

Formando proporción y suprimiendo los factores comunes tendremos:

$$n : n' :: \sqrt{P} : \sqrt{P'},$$

ó sea, que *el número de vibraciones que producen dos cuerdas en el mismo tiempo es proporcional á la raíz cuadrada de sus respectivas tensiones*, supuestas iguales las condiciones restantes.

Para demostrar esta ley se fija una cuerda en el apoyo p y se pone tensa por medio de un peso igual á $4P$; luego se templá una de las cuerdas fijas de manera que dé el unísono de la primera, y se quita peso de aquélla hasta que su tensión sea solamente $1P$. El sonido obtenido en este caso es la octava grave del que produce la cuerda fija, con lo que queda demostrada esta ley, puesto que las raíces cuadradas de $4P$ y $1P$ están en la relación de dos á uno.

656. Ley de las densidades.—Suponiendo dos cuerdas cuyas densidades sean d y d' y que presenten en lo restante condiciones idénticas, tendremos las siguientes igualdades:

$$n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}, \quad \text{y} \quad n' = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d'}},$$

las cuales, después de efectuar en ellas las operaciones necesarias, nos dan la siguiente proporción:

$$n : n' :: \sqrt{d'} : \sqrt{d};$$

lo que nos dice, que *el número de vibraciones verificadas en el mismo tiempo por dos cuerdas, que sólo difieren en sus densidades, están en razón inversa de la raíz cuadrada de dichas densidades*.

Para verificar esta ley con el sonómetro se coloca una cuerda de platino en el apoyo p , y se pone tensa por medio de un peso P . Una de las cuerdas fijas se templá al uni-

sono de ésta, y se sustituye la cuerda de platino por otra de hierro, cargada con el mismo peso *P*, el sonido que ésta produce es más agudo que el obtenido por la cuerda fija. Con el caballete movable se va acortando ésta hasta ponerla al unísono de la de hierro, y entonces se mide la longitud de la parte vibrante; comparando las longitudes *l* y *l'* de la cuerda fija, correspondiente al unísono de las cuerdas de platino y hierro, se observa que están aproximadamente en razón directa de las raíces cuadradas de 21 y 7, 8 que representan, respectivamente, las densidades de dichos metales; mas como sabemos que las vibraciones de dos cuerdas están en razón inversa de sus longitudes, resultará que dichas vibraciones están en razón inversa de la $\sqrt{21}$ y $\sqrt{7,8}$, que es lo que pretendíamos demostrar.

657. Armónicos de las cuerdas.— Además de los sonidos correspondientes á las anteriores leyes, llamados *fundamentales*, pueden dar las cuerdas los diferentes armónicos de las mismas haciéndolas vibrar en condiciones á propósito.

Si se coloca en la mitad de una cuerda el caballete movable, oprimiéndola ligeramente sobre aquél, y se hace vibrar con un arco la otra mitad, la parte no conmovida entra inmediatamente en vibración, como indica la (fig. 1.^a del grabado 211), y el sonido producido es la octava aguda del fundamental, ó sea su segundo armónico. Si se limita la vibración de la cuerda

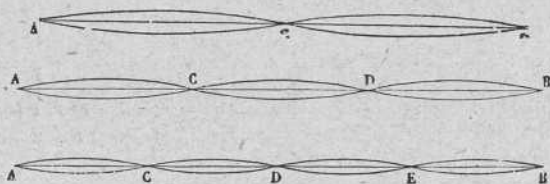


Fig. 211.

en su tercera parte, y se pone ésta en vibración, inmediatamente se divide la porción no conmovida en dos partes, como indica la 2.^a figura, y la nota obtenida corresponde al tercer armónico. Fijando el caballete en la cuarta parte, la cuerda se divide en cuatro vientres, figura tercera, y el sonido producido es la doble octava, ó cuarto armónico correspondiente al sonido fundamental.

Se puede observar fácilmente esta división espontánea de las cuerdas en partes alcuotas colocando caballetes de papel sobre sus respectivos nodos y vientres, en cuyo caso se observará, que los situados en los nodos permanecen fijos, mientras que son lanzados con violencia los que ocupan los vientres de dichas cuerdas.

Al hacer vibrar una cuerda se obtienen generalmente, además del sonido fundamental, los primeros armónicos del mismo, y esto influye notablemente, como veremos pronto, en el timbre especial del sonido que origina.

E. *Vibraciones de los cuerpos rígidos.*

658. Vibraciones de las varillas.—Se llaman *varillas* en acústica los cuerpos sólidos y elásticos en que domina la longitud sobre las demás dimensiones.

Pueden obtenerse en ellas, como en las cuerdas, vibraciones longitudinales y transversales; las primeras se producen frotándolas á lo largo con un paño impregnado de resina, y las segundas con el arco ó golpeándolas con un macito. Según se las fije por uno de sus extremos, por los dos, ó por el centro, se obtienen en ellas diferentes sonidos.

659. Diapasón.—Una aplicación notable de las vibraciones transversales de las varillas es el instrumento llamado *diapasón*, ó *hierro de tono*. Consiste en una varilla de acero *d* (fig. 212), doblada en forma de U y apoyada en su punto medio sobre una caja de refuerzo *A*. Frotando una de sus ramas por medio de un arco, ó introduciendo entre ellas un cilindro de madera y sacándolo bruscamente, se excitan las vibraciones transversales de ambas mitades, y se obtiene un sonido muy lleno y *constante*. La nota obtenida depende de las dimensiones del instrumento, y modificándolas convenientemente se puede producir el sonido que se quiera.

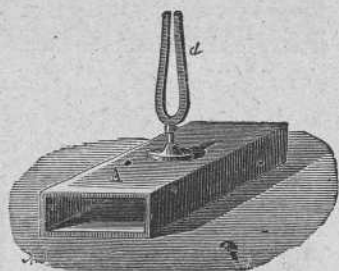


Fig. 212.

Este aparato se usa para poner al mismo tono los diferentes instrumentos de una orquesta, habiendo adoptado casi todas las Naciones como *diapasón normal*, el que corresponde al $la_2 = 870$ v. s.

660. Comparación del sonido de dos diapasones.—Para comparar el sonido que producen dos diapasones se vale M. Lissajous de un método óptico susceptible de gran precisión. Los dos diapasones, cuyos sonidos se quieren comparar, se arman de un pequeño espejo colocado en uno de sus extremos, y se fijan en unos soportes de manera que sus respectivas vibraciones se verifiquen en planos perpendiculares (fig. 213). Por medio de una lámpara se hace llegar un rayo luminoso á uno de dichos espejos, y se dispone el otro de manera que reciba el rayo reflejado y lo mande á un antejo dispuesto convenientemente. En estas circunstancias, si se mira á través del antejo se ve un punto luminoso inmóvil, correspondiente al pequeño orificio por donde sale la luz de la lámpara; pero si se hace vibrar el diapasón vertical, por ejemplo, dicho punto luminoso se convierte en una línea vertical por efecto de la rapidez con que se mueve la imagen del mismo, y se vería una línea horizontal si el diapasón

vibrante fuese el horizontal. Al hacer vibrar ambos diapasones simultáneamente, el punto luminoso describe unas curvas especiales, que indican con toda precisión el in-

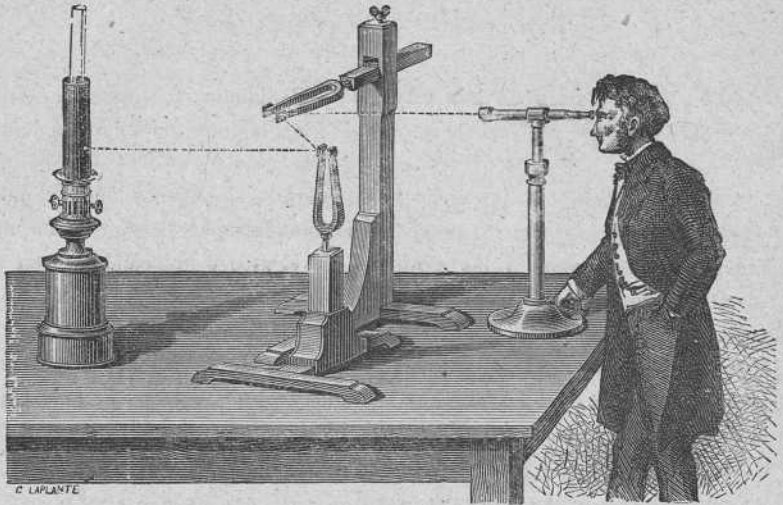


Fig. 213

tervalo musical que existe entre los dos sonidos. La primera línea de la figura 214 indica las formas correspondientes al *unísono*, según la fase de vibración de ambos

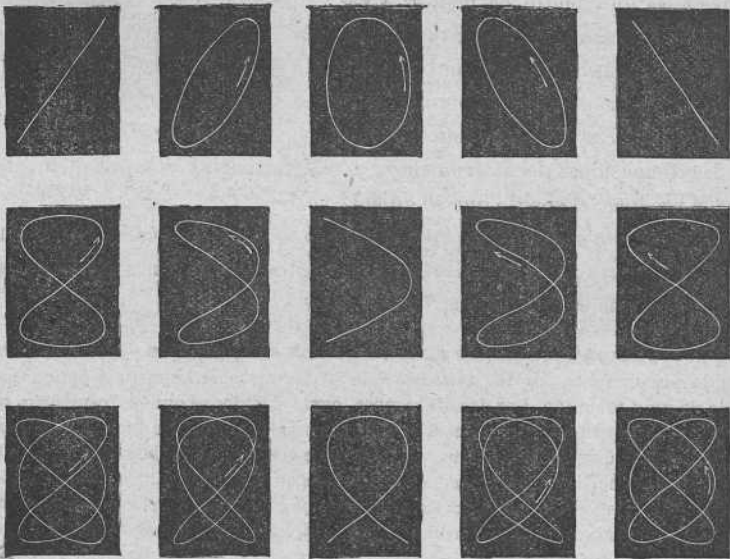


Fig. 214.

diapasones. La segunda línea, las que corresponden á la *octava*, y la tercera, las respectivas de la *quinta*.

661. Vibraciones de las placas.— Reciben el nombre de placas los cuerpos sólidos y elásticos en que el espesor es insignificante comparado con las demás dimensiones. Generalmente se fijan por el centro, y se las hace vibrar pasando el arco por uno de sus bordes. Si se extiende un poco de arena sobre su superficie, y se apoyan los dedos ligeramente en los puntos *m* y *n*, simétricos respecto al conmovido (fig. 215), se obtienen sobre aquella figuras muy variadas que indican la formación de líneas nodales y vientres, cuyos dibujos pueden ser distintos, aunque aquéllas emitan siempre el mismo sonido.

Las leyes de sus diferentes vibraciones han sido objeto de estudios especiales de Chladni y Savart, y la más importante, aplicable igualmente á las varillas, es la siguiente: *el número de vibraciones de dos sólidos semejantes es inversamente proporcional á sus dimensiones homólogas.*

662. Membranas. — Estos cuerpos, efecto de su flexibilidad, no pueden vibrar si no se hallan tensos como las cuerdas. Generalmente se fijan en unos marcos de forma muy variada, y se las pone en vibración golpeándolas con un macito, ó por la influencia de otro cuerpo sonoro. Espolvoreando su superficie con arena fina se obtienen también líneas nodales, y su sonido es tanto más agudo cuanto menor sea su superficie y más tensas se hallen.

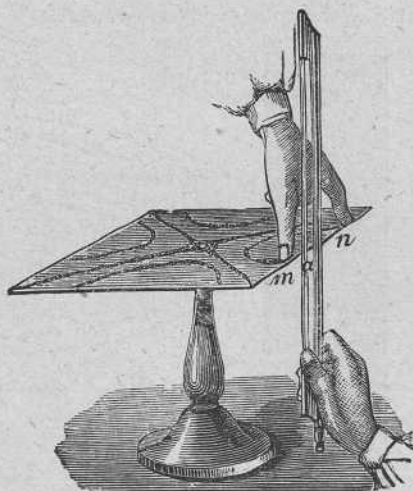


Fig. 215.

§ 3.º—Timbre de los sonidos.

663. Definiciones.—Se llama *timbre* de los sonidos la cualidad que nos permite diferenciarlos aunque sean de igual intensidad y tono. Las mismas notas, producidas con igual intensidad en el violín y la flauta, se distinguen perfectamente. Dos individuos que pronuncien la misma palabra con igual intensidad y tono, se diferencian notablemente, constituyendo esta diferencia el timbre de los sonidos.

Hasta hace poco se desconocía por completo la causa del timbre; pero gracias á los trabajos de M. Helmholtz y de Kœnig se sabe hoy en qué consiste dicha cualidad. Antes de entrar en esta interesante cuestión, nece-

sitamos anteponer algunas ideas relativas á la composición de los sonidos.

664. Sonidos simples y complejos.—Supongamos tensa una cuerda y hagámosla vibrar por un medio cualquiera. Según el procedimiento que para conseguirlo hayamos empleado, se obtendrán en aquella diferentes clases de vibraciones; unas veces vibrará toda la cuerda en su conjunto, formando un vientre en su centro y dos nodos en los puntos fijos *A* y *B* (figura 216), y el sonido producido lo llamaremos *simple*, por ser debido á una sola

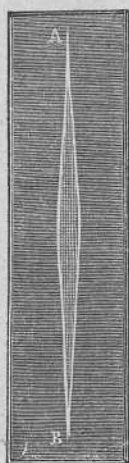


Fig. 216.

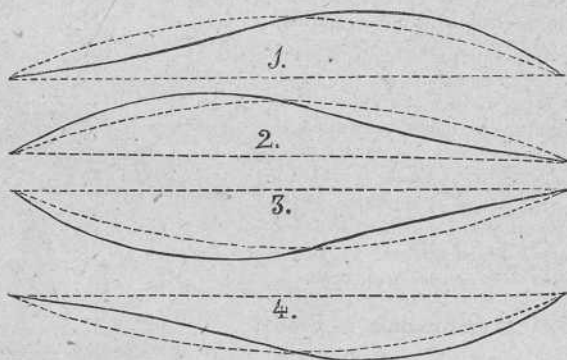


Fig 217.

clase de vibraciones. Otras, en cambio, además de la vibración general, se dividirá la cuerda en dos partes, vibrando el conjunto como anteriormente y cada mitad como indica la figura 217; el sonido producido en este caso será *complejo*, y dependerá del que corresponde á toda la cuerda ó *fundamental*, y del relativo á cada una de sus mitades, que sabemos es la octava aguda ó segundo armónico de aquél. De un modo análogo se puede dividir la cuerda en 3, 4, 5..... partes iguales, y los sonidos obtenidos siempre serán complejos y diferentes, puesto que resultan de la coexistencia del sonido fundamental de la cuerda con alguno de sus armónicos.

665. Análisis de un sonido.—El medio ideado por Helmholtz para averiguar si un sonido es simple ó complejo está fundado en la *resonancia*. Al hablar de las causas que influyen en la intensidad de los sonidos, dijimos (228-3.*), que si cerca de un cuerpo sonoro se coloca una caja cuya masa de aire pueda vibrar al unísono de aquél, se refuerza grandemente el sonido de que se trata, en virtud de la resonancia de dicha caja. Para que tenga lugar dicha resonancia es necesario, sin embargo, que la cantidad de aire conmovida por el cuerpo sonoro esté en ciertas proporciones. Esto se demuestra fácilmente valiéndose de una probeta sobre cuya boca se hace vibrar un diapasón; añadiendo agua poco á poco en aquélla se observa que hay un cierto

volumen de aire que refuerza más el sonido del diapasón que ningún otro. Esto supuesto, Helmholtz se vale de unas esferas huecas de latón (fig. 218) provistas de dos orificios diametralmente opuestos; el mayor sirve para que penetren en su interior las vibraciones excitadas en el aire por los cuerpos sonoros que se trata de estudiar, y el de menor diámetro, terminando en un pequeño cono, para introducirlo en el oído del observador. Según el tamaño de dichas esferas, llamadas *resonadores*, se refuerza con ellas un sonido determinado, escrito generalmente en el mismo aparato.

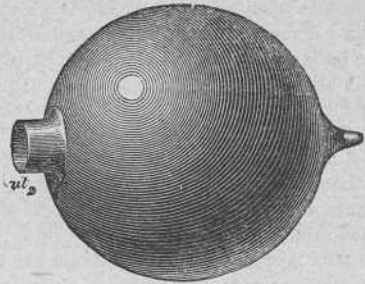


Fig. 218.

Para averiguar con estos resonadores si un sonido es simple ó complejo, no hay más que aplicar al oído una serie de estos aparatos capaz de reforzar la nota de que se trate y sus diferentes armónicos; si el sonido analizado es simple, sólo responderá el primer resonador, y si es complejo resonarán todos los que correspondan á los armónicos de que aquél conste.

666. Analizador de los sonidos de M. Kœnig.—Este célebre cons-

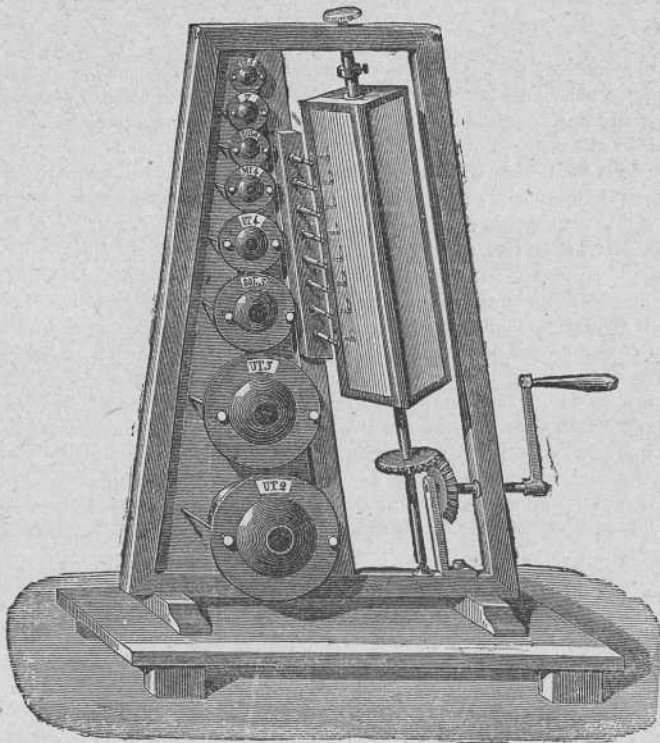


Fig. 219.

tructor ha ideado un aparato que evita la enojosa operación de ir observando uno por uno los diferentes resonadores correspondientes á la nota fundamental que se estudia y á sus diferentes armónicos. Consiste (fig. 219) en un bastidor de hierro en el que se hallan fijos los resonadores que acabamos de indicar. Los orificios correspondientes al oído caen todos al lado oculto en el grabado, y están unidos, por medio de tubos de goma, á otras tantas llamas manométricas, delante de las cuales puede girar un espejo prismático, por intermedio de un engranaje cónico y un manubrio. Produciendo cerca del aparato el sonido que se quiere analizar en el tono do_2 , á que aquél está arreglado, y haciendo girar el espejo, basta observar las llamas manométricas para saber inmediatamente si el sonido que se estudia es simple ó complejo, y en este último caso de qué armónicos está compuesto.

Este mismo aparato le construye también su inventor de modo que pueda analizarse cualquier sonido, aunque no se emita en el tono do_2 . Para ello los resonadores constan de dos tubos que enchufan uno en otro, y de este modo se puede variar fácilmente su capacidad, reforzando así el sonido de que se trate.

667. Causas del timbre.—Analizados por el anterior procedimiento varios sonidos de diferente timbre, y emitidos con igual intensidad y tono, se observa que *acompañan al sonido fundamental diferentes armónicos*, variables de uno á otro, consistiendo en esto precisamente su diferente timbre.

Con el aparato de Koenig se ha visto también que la mayor parte de los sonidos son complejos, y solamente los emitidos por los *bordones* de gran longitud, ó por diapasones de gran tamaño, pueden considerarse como simples. La voz humana, que produce los sonidos más complejos y ricos en armónicos, se acerca mucho á ser simple en la emisión de la vocal *u*. Se observa, además, que el sonido musical, cuando es complejo, está originado solamente por la reunión de algunos de sus armónicos, en número variable, y no, como sucede en el ruido, por sonidos sin relación alguna.

668. Síntesis del sonido.—Como complemento de su aparato de análisis del sonido, ha ideado M. Koenig otro instrumento para componer y sintetizar un sonido determinado. Se vale para ello de una serie de diapasones que pueden producir el sonido fundamental de que se trate y sus diferentes armónicos, puestos todos en vibración constante por un procedimiento eléctrico. Delante de cada diapason hay un resonador cuyo orificio de entrada puede cerrarse ó abrirse por medio de unas teclas análogas á las de un piano, resultando de esta combinación que sólo se oyen los diapasones cuyos resonadores están destapados. Esto supuesto, se empieza por analizar el sonido que se quiere reproducir, emitido en el tono á que estén arreglados los diapasones, y luego en el aparato de síntesis se bajan las teclas correspondientes al resultado del análisis, en cuyo caso se obtiene un sonido compuesto de los mismos elementos que el que se analizó, resultando otro sonido muy análogo al que se estudia. De este modo se han podido reproducir las vocales emitidas por la voz humana.

ARTÍCULO III.

APARATOS ACÚSTICOS.

669. Instrumentos de música.— Todos los instrumentos usados en el arte musical pueden reducirse á dos grupos; de *cuerda* y de *viento*. Los primeros pueden, á su vez, ser de dos clases. En unos, como el *piano*, se necesitan tantas cuerdas como sonidos se han de producir, y combinando su longitud, diámetro y tensión, con arreglo á las leyes expuestas anteriormente, se obtienen con facilidad seis ó siete octavas. En otros, como el *violín*, sólo se necesitan cuatro cuerdas de la misma longitud, pero de diferente grueso y tensión, para obtener todos los sonidos usados en música. Para conseguirlo hay que limitar la parte vibrante de la cuerda, apoyando sobre ella la yema del dedo, á la vez que se la frota con un arco de cerdas impregnado de resina. En este instrumento se pueden obtener las notas con su verdadero valor, ó sea la escala cromática.

Los instrumentos de viento están siempre formados por tubos sonoros, cuyas vibraciones se excitan por embocaduras de diferente clase. En algunos, como el *cornetín*, los labios hacen el oficio de lengüeta, y los diferentes sonidos se obtienen lanzando el aire con la velocidad necesaria para obtener los armónicos del sonido fundamental. En otros, como el *clarinete*, la embocadura consiste en una lámina flexible que vibra al penetrar el aire; para producir diferentes sonidos está provisto el tubo, en sus nodos, de diferentes orificios, los que pueden abrirse, á voluntad del operador, por medio de válvulas á propósito. En la *flauta* se consigue hacer vibrar el aire lanzándolo contra un bisel que tiene el orificio, llamado *boca* del instrumento.

Reuniendo todos los instrumentos de viento en un artefacto, y lanzando en ellos una corriente de aire, por medio de fuelles de doble efecto, se ha construido el aparato más perfecto de todos los que se usan en la música, llamado *órgano*. Por medio de unos *registros*, permite el organista la entrada del aire en las galerías correspondientes á una determinada clase de instrumentos, consiguiéndose las diferentes notas de la gama por medio de un *teclado*, que abre la entrada del aire en el tubo respectivo.

670. Voz humana.— El aparato productor del sonido en el hombre corresponde á los de viento. El aire expulsado, con más ó menos violencia, por los *pulmones*, pasa á la *laringe*, y al atravesar la *glotis*, hace vibrar las membranas ó *cuerdas vocales* con arreglo á su tensión. El sonido así obte-

nido es reforzado por la cavidad bucal, arreglada en forma y volumen para reforzar el sonido que se quiera emitir. En la pronunciación de las consonantes toman parte, además, los dientes, velo del paladar, y sobre todo, la lengua y los labios.

671. Mecanismo de la audición.—Las ondulaciones excitadas en el aire por los cuerpos sonoros, son recogidas por el *pabellón auricular* y conducidas por el *tubo auditivo externo C* á la *membrana del tímpano T* (fig. 220).

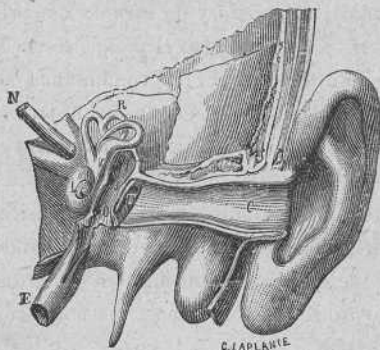


Fig. 220.

Las vibraciones de esta membrana se transmiten al interior por dos medios distintos; unas son conducidas por el aire contenido en la *caja del tímpano*, y van á conmovier la membrana que cierra la *ventana redonda*, y otras, por intermedio de una *cadena de huesecillos*, agitan la *ventana oral*. Al otro lado de esta ventana hay una cavidad *V*, llamada *vestibulo*, terminada por tres *conductos semicirculares*, y á su vez, detrás de la ventana redonda, se encuentra el *caracol L*, de dos rampas, y en comunicación con el vestibulo y conductos semicirculares. Todos estos conductos están llenos de un líquido llamado *linfa de Cotunny*, y se hallan tapizados interiormente de una membrana, en la que se esparcen las ramificaciones del nervio acústico llamadas *fibras de Corti*. Dentro del caracol se han llegado á contar más de 3.000 fibrillas de dicho nervio.

M. Helmholtz admite que cada una de estas fibrillas, según su longitud y tensión, sólo puede vibrar al unísono de un cierto número de vibraciones, de modo que al ser agitadas por las ondulaciones del aire, sólo se conmueven las que están al unísono del sonido, simple ó complejo, que percibimos. Es, por lo tanto, el oído un admirable aparato de análisis del sonido.

672. Fonógrafo.—Ya vimos, al hablar del tono de los sonidos, que podían inscribirse las vibraciones de un cuerpo sonoro sobre una superficie cubierta de negro de humo. Por este procedimiento llegó M. Scott á inscribir las vibraciones correspondientes á la voz humana, valiéndose de un aparato llamado *fonautógrafo*. Últimamente, M. Edisson ha logrado, con su *fonógrafo*, no tan sólo inscribir dichas vibraciones, sino reproducir la palabra humana. Consiste este aparato en un cilindro metálico *R* (fig. 221), sostenido por un eje armado de un manubrio *M*, uno de cuyos lados está provisto de una hélice que se ajusta en la tuerca *T*, y el opuesto lleva un volante *V*,

para regularizar el movimiento del aparato. El cilindro *R* tiene practicada en su superficie una ranura helicoidal, del mismo paso de rosca que el tor-

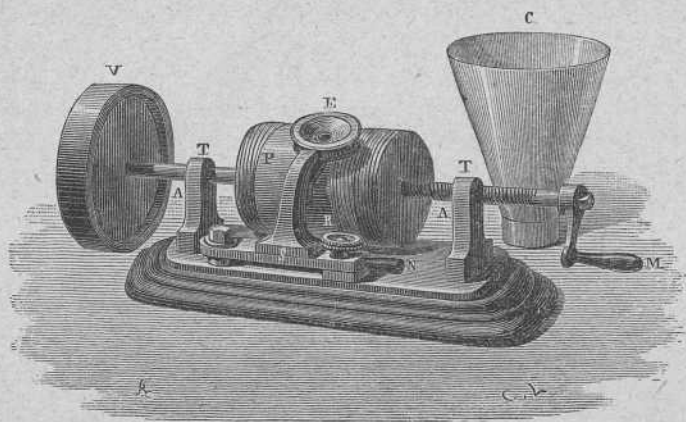


Fig. 221.

nillo del eje, y cerca de aquélla existe una lámina metálica muy delgada, que se apoya por sus bordes en la boquilla *E*; en el centro de dicha lámina se halla fijo un estilete, colocado de tal modo que caiga en la parte hueca de la ranura del cilindro. Esto supuesto, para hacer funcionar este aparato se empieza por pegar sobre la superficie del cilindro una lámina de papel de estaño algo gruesa, y á la vez que se habla, aproximando los labios á la boquilla *E*, se hace girar con uniformidad dicho cilindro. Sucede entonces que las vibraciones de la lámina se imprimen, por medio del estilete, en la hoja de estaño, y como al girar el cilindro avanza lateralmente, los trazos marcados no se superponen, sino que forman una línea helicoidal. Para reproducir la palabra escrita se separa un poco la boquilla *E*, y se hace girar el cilindro en sentido contrario, hasta que el estilete de la lámina vibrante ocupe la posición que al principio: colocando luego sobre dicha boquilla un cono de cartón *C*, para reforzar el sonido, y haciendo girar el aparato con la misma velocidad que anteriormente, al pasar el estilete por las depresiones marcadas en el papel de estaño, la lámina metálica vibra del mismo modo que cuando se habló cerca de ella, y las palabras pronunciadas se repiten con bastante claridad, aunque con un timbre más chillón que el de la voz humana.

Últimamente ha mejorado M. Edison notablemente su aparato, logrando reproducir con mayor perfección toda clase de sonidos.

LIBRO SEGUNDO.

OPTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Propagación de la luz.

673. Fluidos imponderables.—Además de la materia propiamente dicha, de que hasta ahora nos hemos ocupado, los físicos se han visto en la necesidad de admitir otra clase de *sustancia impalpable y sin peso sensible*, dotada de una elasticidad perfecta y sutileza extraordinaria, que produce, en condiciones determinadas, los fenómenos de la *luz, calor y electricidad*. Estas sustancias, suponiendo que exista más de una, han recibido colectivamente el nombre de *fluidos imponderables*.

674. Óptica.—Recibe este nombre la parte de la Física en que se estudian los fenómenos que origina la luz.

La *luz* es el agente por cuyo intermedio vemos los objetos que nos rodean. Su esencia es totalmente desconocida, pero se han ideado varias hipótesis para explicar sus efectos, siendo una de las más importantes la siguiente:

675. Hipótesis de la emisión.—Suponía Newton que la luz era producida por una materia sumamente tenue, compuesta de partículas eminentemente elásticas, condensada en los cuerpos luminosos y lanzada por ellos en todas direcciones. Al llegar á nuestra retina dichas partículas, ya directamente ó después de haber sido reflejadas por otros cuerpos, nos hacen *ver* los objetos de donde proceden. En este supuesto, los diferentes colores que puede presentar la luz, son debidos á la distinta especie de aquellas partículas.

Por esta ingeniosa hipótesis explicó Newton, con gran sencillez, la mayoría de los fenómenos luminosos, por cuya razón ha dominado en la ciencia hasta estos últimos tiempos, en los que, descubrimientos importantes, han inducido á Euler, Huyguens, Fresnel y otros eminentes sabios á adoptar otra teoría más conforme con los adelantos de la ciencia. Esta nueva hipó-

tesis, discutida y comprobada por los principales físicos de nuestra época, es la siguiente:

676. Hipótesis de las ondulaciones.—Admiten los físicos que existe una sustancia llamada éter, eminentemente elástica, sutil y sin peso apreciable, que llena todos los espacios del universo y los poros de todos los cuerpos. Efecto de causas diversas, esta sustancia puede entrar en vibración, y estas vibraciones, propagadas con una rapidez extraordinaria, y suponiendo que adquieran suficiente frecuencia, producen en nuestra retina los fenómenos luminosos. Los colores son debidos, en esta hipótesis, á la diferente velocidad de las vibraciones del éter, resultando de aquí gran analogía entre este modo de considerar la luz y la producción del sonido; no obstante, por consideraciones que más adelante indicaremos, resulta que las vibraciones del éter en la producción de la luz son *transversales* á la propagación del rayo luminoso, mientras que las del aire, en la formación de los sonidos, son *longitudinales*.

677. Diferencias que presentan los cuerpos con relación á la luz.—Existen algunos cuerpos como el Sol, las estrellas y los cuerpos en combustión, que tienen luz propia, y son, por lo tanto, visibles en la obscuridad; éstos reciben el nombre de *cuerpos luminosos*. Los cuerpos no luminosos por sí mismos, pueden verse también si están iluminados por aquéllos, con la condición de que *reflejen* ó devuelvan la luz que reciben.

Se llaman cuerpos *transparentes*, ó *diáfanos*, los que permiten el paso de la luz á través de su masa y dejan ver los objetos colocados detrás de ellos. En realidad no hay ningún cuerpo que posea esta propiedad de un modo absoluto, pues si así fuese, no sería visible, y los hechos nos demuestran que aun los más transparentes, como el aire, el agua y el cristal, presentan cierta coloración cuando se les observan en grandes espesores.

Reciben el nombre de cuerpos *translucientes* los que dejan pasar una gran cantidad de la luz que reciben, pero no permiten ver los objetos colocados detrás de ellos, como el cristal esmerilado, el agua turbia, el papel impregnado de grasa, etc.

Se llaman, por último, cuerpos *opacos* los que detienen la luz que reciben, como los metales, las maderas en suficiente espesor, muchas piedras, etc. Esta propiedad es, sin embargo, relativa, y depende muchas veces del espesor que el cuerpo presente, como lo prueba el hecho de que á través de una lámina de oro muy delgada (*pan de oro*), pasa algo de la luz solar.

Las diferencias que acabamos de indicar, reconocen por causa la distinta relación que existe en los cuerpos entre sus moléculas y el éter. En los transparentes las vibraciones de dichos fluidos pasan por su interior sin alterar-

se, mientras que en los opacos quedan detenidas dichas ondulaciones.

678. Transmisión de la luz por un medio homogéneo.—Cuando la luz atraviesa un espacio vacío, ó lleno de una materia transparente, llamado *medio*, cuya densidad sea igual en todos sus puntos, *lo verifica en línea recta*. Basta para probarlo interponer entre una luz *L* y la retina dos ó más pantallas (fig. 222), provistas de orificios *P* y *P'* colocados en línea recta; si

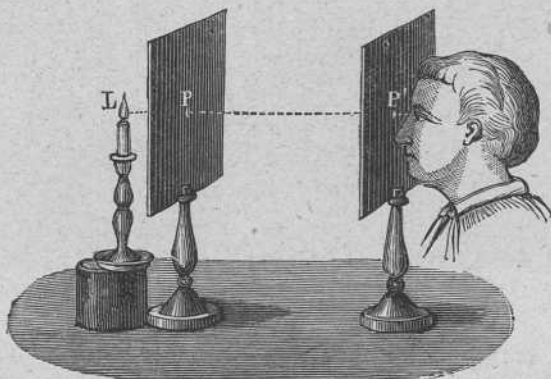


Fig. 222.

una cualquiera de aquéllas se desvía un poco en cualquier sentido, deja de percibirse la luz de la bujía. Haciendo penetrar en una habitación oscura un rayo de sol; éste ilumina las partículas suspendidas en el aire, y puede seguirse su dirección, la que resulta en línea perfectamente recta. Como, además, un cuerpo luminoso se ve, cualquiera que sea la dirección en que uno se coloque, se deduce también que *la luz se propaga en todas direcciones* alrededor del cuerpo luminoso. La dirección que lleva la luz al propagarse recibe el nombre de *rayo*, y la reunión de varios rayos se llama *haz luminoso*.

679. Sombra y penumbra.—Se da el nombre de sombra á la privación de luz que experimenta una superficie cuando se interpone un cuerpo opaco entre ella y un cuerpo luminoso.

Si delante de un punto luminoso colocamos una esfera opaca *M* (fig. 223), los rayos de luz que caigan sobre ella quedarán detenidos, y su ausencia marcará en el espacio un cono de *sombra*, determinado por las tangentes trazadas á la esfera desde aquel punto; este tronco de cono tiene su base menor en la esfera y se prolonga indefinidamente.

Si en vez de considerar un solo punto luminoso se trata de un cuerpo de más ó menos extensión, podrá hacerse con cada uno de sus puntos el mismo

raciocinio que anteriormente, y entonces resulta el cono de sombra rodeado

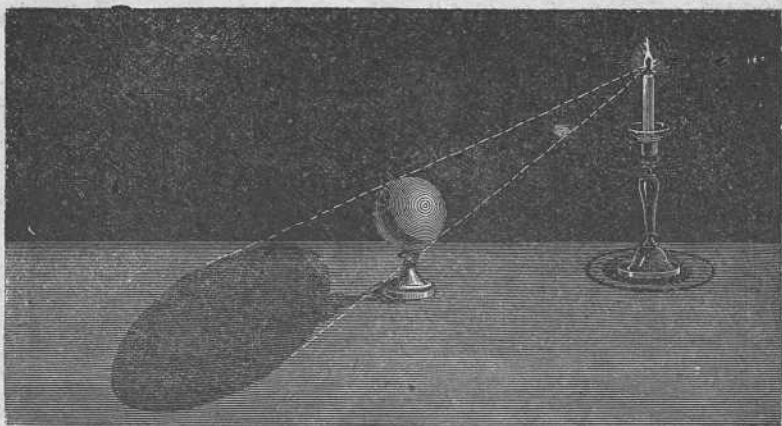


Fig. 223.

de otro (fig. 224) llamado *penumbra*, en el que la luz va creciendo insensiblemente á medida que se consideran puntos más separados de la sombra. Este

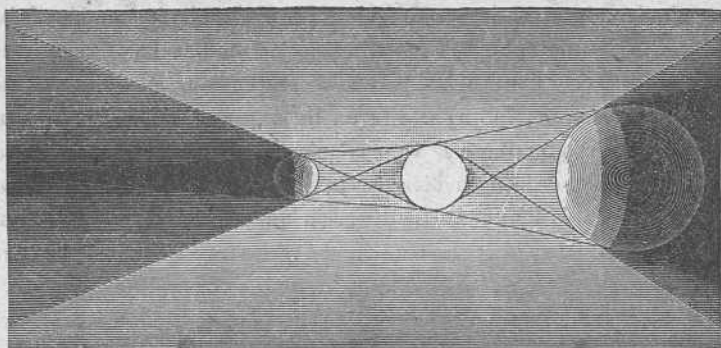


Fig. 224.

cono de penumbra queda determinado, según se manifiesta en la figura, por las tangentes interiores comunes al cuerpo luminoso y al opaco. Resulta de lo expuesto que en la práctica siempre estarán las sombras acompañadas de cierta penumbra, puesto que todos los focos luminosos que pueden emplearse constan de muchos puntos. Ciertamente es que puede limitarse la extensión de aquéllos por medio de pantallas, provistas de un orificio de diámetro insignificante, y entonces sensiblemente desaparece la penumbra.

680. Cámara oscura.—Recibe este nombre todo espacio cerrado en el que puede penetrar la luz por un orificio.

Supongamos un objeto luminoso AB (fig. 225), delante del orificio O , practicado en una de las paredes PP' de la cámara oscura. Si en el interior de ésta colocamos una pantalla MN , los rayos emitidos por la flecha AB , después de pasar por el orificio O , irán á iluminar la porción ab , de dicha pantalla, formando en ella una imagen invertida del objeto en cuestión. Si éste fuera un paisaje se pintaría invertido por igual razón, y con sus propios colores, en el interior de la cámara (fig. 226).

Fig. 225.

La exactitud de la imagen así obtenida depende del diámetro del orificio, pero no de su forma; cuanto menor sea aquél más precisión habrá en las

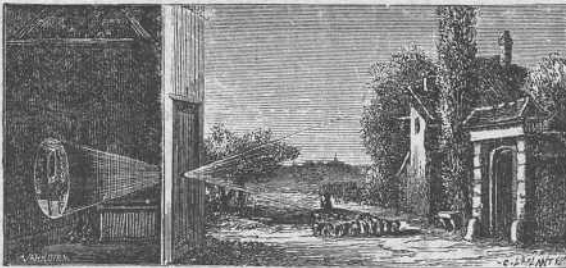


Fig. 226.

líneas, y más clara será la imagen, y se comprende fácilmente que, si es grande el orificio, pasarán por él muchos rayos procedentes de cada uno de los puntos del cuerpo luminoso, y se formará una imagen confusa.

681. Velocidad de la luz.—La rapidez con que se propaga el movimiento ondulatorio del éter, al producir un rayo de luz, es tan grande, que se creyó en un principio era instantánea su transmisión. Cuantas experiencias se hicieron, colocándose dos observadores en puntos muy distantes, dieron por resultado la imposibilidad de apreciar el tiempo que la luz empleaba en recorrer dicha distancia.

La gloria de haber determinado dicha velocidad se debe al astrónomo danés Rømer. Observando dicho sabio, en 1675, las ocultaciones del primer satélite del planeta Júpiter, notó que aquéllas no se verificaban exactamente

en las épocas predichas por el cálculo, sino que, al estar Júpiter y la Tierra en conjunción, se adelantaban los momentos de aquel fenómeno, mientras que se retrasaban al hallarse en oposición dichos planetas. Este retraso, que llega á ser de 16 26'', comprendió Røemer que era ocasionado por el tiempo que la luz empleaba en recorrer el diámetro de la órbita terrestre, y como esta distancia es de unos 196 millones de kilómetros, resulta que *la luz recorre en cada segundo de tiempo unas 77.000 leguas métricas.*

Modernamente M. Fizeau y M. Foucault han podido medir la velocidad de la luz en distancias muy pequeñas, por medio de aparatos especiales, y el último, no tan sólo en el aire, sino en los diferentes cuerpos transparentes. Los resultados obtenidos por estos físicos concuerdan con el que obtuvo Røemer, y además, ha visto Foucault que *la velocidad de la luz decrece á medida que aumenta el poder refringente del medio por donde camina.*

682. Medida de la intensidad de la luz.—Se llama *intensidad de un foco luminoso* la cantidad de luz que manda á una superficie igual á la unidad. Dicha intensidad depende de la distancia que media entre el foco luminoso y la superficie en cuestión, y de la oblicuidad con que á ella lleguen los rayos. Ambas circunstancias están sujetas á las dos leyes siguientes:

1.^a *La intensidad de la luz, recibida normalmente por una superficie, está en razón inversa del cuadrado de la distancia.*

2.^a *Dicha intensidad es proporcional al coseno del ángulo que forma el rayo luminoso con la normal á la superficie.*

La primera de estas leyes se demuestra por medio de un raciocinio semejante al que usamos al hablar de la intensidad del sonido (228-2.^a), y también puede comprobarse prácticamente del siguiente modo: Frente á una de las caras de una cartulina blanca, y á la distancia de un metro, se coloca una bujía encendida, y al otro lado de aquélla, pero á la distancia de dos metros, se ponen cuatro bujías de la misma clase. Examinando atentamente la iluminación de ambas caras de dicha cartulina se observa que es igual; luego una bujía á la distancia de un metro, alumbrá tanto como cuatro bujías á la distancia de dos metros, de donde se deduce que la intensidad de cada una de estas bujías equivale á $\frac{1}{4}$, conforme con el principio enunciado anteriormente. Obsérvese que esta ley se refiere tan sólo á los rayos divergentes emitidos por un cuerpo luminoso, y no cuando aquéllos formen un haz de rayos paralelos, en cuyo caso la intensidad luminosa decrece únicamente por la falta de diafanidad del aire.

La segunda ley antes mencionada se demuestra por el siguiente razonamiento: Supongamos un sistema de rayos paralelos *AB* (fig. 227), que caen normalmente sobre la pantalla *CD*. Si inclinamos esta pantalla, la superficie *C'D* recibirá igual número

de rayos que la CD , y las iluminaciones de ambas estarán, evidentemente, en razón inversa de su extensión; luego llamando I é I' las intensidades luminosas respectivas á CD y $C'D$, tendremos la proporción $\frac{I}{I'} = \frac{C'D}{CD}$; ahora bien, el triángulo rectángulo $CD C'$ nos da, $CD = C'D \cdot \cos CD C'$, y substituyendo el valor de CD , se convertirá dicha proporción en esta otra: $\frac{I}{I'} = \frac{C'D}{C'D \cdot \cos CD C'}$, ó lo que es igual: $\frac{I}{I'} = \frac{1}{\cos CD C'}$, de donde $I' = I \times \cos CD C'$. Por último, si levantamos la normal DN á la superficie DC' , el ángulo BDN resulta igual al $CD C'$, por tener sus lados perpendiculares; luego podremos escribir la anterior igualdad de este modo:

$$I' = I \times \cos BDN$$

que es la expresión algebraica de la ley en cuestión.

683. Fotómetros. — Son unos aparatos destinados á medir la intensidad relativa de dos luces. La unidad adoptada como tipo para medir la intensidad luminosa, es variable de unas naciones á otras, pero las más usadas son: *la bujía de la Estrella* y el *mechero Cárcel*; éste representa la luz que produce una lámpara de resorte y doble corriente que consume cada hora 42 gramos de aceite de colza, y equivale próximamente á 7 bujías.

Entre los diferentes fotómetros inventados, los que más uso tienen son el de Rumford y el de Bunsen.

El *fotómetro de Rumford* consiste (fig. 228) en un cristal deslustrado ab ,

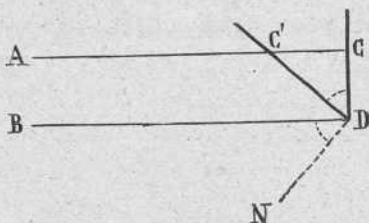


Fig. 227.

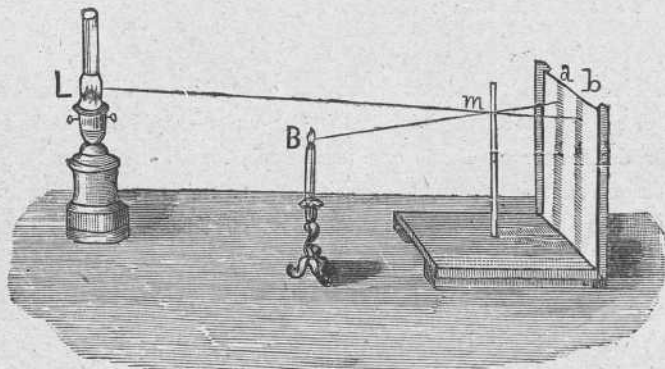


Fig. 228.

colocado verticalmente en el extremo de una tabla, provista en su centro de un estilete de madera m . Colocando las dos luces que se quieren comparar

delante de dicho estilete, se obtendrán sobre el cristal dos sombras *a* y *b*, en general de diferente intensidad, y para igualarlas bastará separar poco á poco la luz más intensa. Una vez conseguida la igualdad de dichas sombras, se mide la distancia del cristal á cada una de las luces, y con arreglo á la primera ley que hemos anunciado, *las intensidades relativas de ambas luces estarán en razón directa de los cuadrados de dichas distancias*. Si, por ejemplo, la distancia del cristal á la bujía que representa el dibujo es de 50 centímetros, y la del quinqué de 150, tendremos $\frac{I}{I'} = \frac{50^2}{150^2} = \frac{1}{9}$; de donde resulta para intensidad luminosa del quinqué $I' = I \times 9$, ó lo que es igual, *nueve bujías*.

El *fotómetro de Bunsen* es más sencillo que el de Rumford, y con él se obtienen resultados bastante exactos. Consiste en una hoja de papel con una mancha de grasa en su centro, y está fundado en que al mirar dicha mancha á través de una luz, se la ve más brillante que el resto del papel, y lo contrario sucede, si se la observa colocando la luz del lado en que está situado el observador. De aquí resulta, que al iluminarla por ambas caras con dos luces de igual intensidad, desaparece dicha mancha, ó al menos presenta igual aspecto por ambos lados. Esto supuesto, para usar dicho aparato se coloca la lámina de papel entre las dos luces cuya intensidad se quiere comparar, y se aproxima ó separa á una de aquéllas hasta conseguir la desaparición de la mancha de grasa; entonces se miden las distancias de cada luz á la lámina de papel, y las intensidades buscadas se hallarán en razón directa de los cuadrados de dichas distancias. Este fotómetro ha sido modificado ventajosamente por M. Burel, colocando la hoja de papel como bisectriz de dos espejos angulares, con cuyo auxilio se ve la mancha simultáneamente por ambas caras.

Bien se comprende, que los dos fotómetros que hemos dado á conocer presentan el grave defecto de dejar sus indicaciones al variable juicio del observador, dando por resultado que las medidas fotométricas no tengan la precisión que sería de desear. Desgraciadamente todos los fotómetros conocidos presentan el mismo defecto.

CAPÍTULO I.

Catóptrica.

ARTÍCULO I.

LEYES DE LA REFLEXIÓN.

684. Definiciones.—Recibe el nombre de *catóptrica* la parte de la Óptica que se ocupa de la *reflexión de la luz*.

Se dice que la luz se refleja cuando cambia bruscamente de dirección al encontrar la superficie de un medio dotado de suficiente pulimento. Los cuerpos cuya superficie presenta esta condición reciben el nombre de *espejos*.

685. Leyes de la reflexión de la luz.—Cuando un rayo luminoso se refleja en un espejo lo verifica con arreglo á las dos leyes siguientes:

1.^a *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.*

2.^a *El rayo incidente, el reflejado y la normal al espejo en el punto de incidencia, están en un mismo plano.*

Es decir, que si la superficie reflectora es AIB (fig. 229), y el rayo incidente es CI , el rayo reflejado IR formará con la normal IN un ángulo de

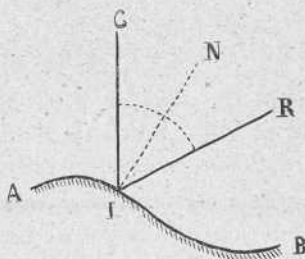


Fig. 229.

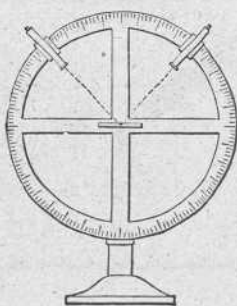


Fig. 230.

reflexión RIN igual al de incidencia CIN ; además, las tres líneas IC , IN é IR estarán en un mismo plano.

Para demostrar estas leyes se usa el aparato representado en la figura 230, el cual consiste en un círculo vertical graduado, en cuyo centro se coloca un espejo horizontal; tiene además el aparato dos alidadas móviles, por una de

las cuales se hace llegar al espejo un rayo luminoso. Colocando convenientemente la otra alidada, se consigue que el rayo reflejado caiga en su centro, en cuyo caso resultan exactamente iguales los ángulos marcados por dichas alidadas, á partir de la vertical, que en el caso presente es la normal al espejo, lo que demuestra la primera ley. La segunda de dichas leyes queda demostrada sin más que tener en cuenta que todo el aparato está, por su construcción, en un mismo plano.

686. Reflexión difusa.—La reflexión que hemos estudiado se llama *especular*, á diferencia de la que se verifica en los cuerpos desprovistos de pulimento que se llama *difusa*.

Sucede, en efecto, que al llegar un haz de rayos luminosos á la superficie de un cuerpo sin brillo, se refleja en todas direcciones, y por esto vemos dicho cuerpo desde cualquier punto de su alrededor en que nos coloquemos. En los espejos no sucede esto, y sólo es visible la imagen de los objetos cuya luz reflejan.

En la reflexión difusa se verifican, sin embargo, las leyes antes enunciadas, pero á causa de presentar los cuerpos una infinidad de partes entrantes y salientes, las normales á dicha superficie forman con ella toda clase de ángulos y, por consecuencia, la luz que á ellos llega se refleja en todas direcciones; prueba de ello es que á medida que se pulimenta la superficie de un cuerpo aumenta la luz reflejada especularmente, y disminuye la reflexión difusa.

ARTÍCULO II.

ESPEJOS PLANOS

687. Definiciones.—Como su nombre lo indica, los *espejos planos* están constituidos por una superficie plana suficientemente pulimentada. Unas veces se construyen con aleaciones metálicas, compuestas en general de una parte de estaño y dos de cobre, las que después de fundidas se vierten en un molde á propósito y por fin se pulimentan. Otras veces se obtienen depositando en un cristal bien plano, llamado *luna*, una amalgama de estaño ó una delgada capa de plata. Los primeros reciben el nombre de *espejos metálicos*, para diferenciarlos de estos últimos que se llaman *espejos de cristal*, por más que la superficie reflectora es en todos metálica.

Se llama *imagen* de un cuerpo la serie de puntos en que se reunen los rayos emitidos por dicho cuerpo después de su reflexión sobre un espejo, ó

bien las prolongaciones de dichos rayos. En el primer caso se dice que la imagen es *real*, y en el segundo *virtual*.

688. Imágenes producidas por los espejos planos.—Supongamos primeramente que se trata de un punto luminoso S situado delante del espejo MN (fig. 231). Desde dicho punto saldrán rayos en todas direcciones,

tales como los SI , SI' , SI'' , los cuales se reflejarán al llegar al espejo, con arreglo á las leyes que ya conocemos. Consideremos el SI , y tracemos en el punto de incidencia I la normal al espejo IN ; dicho rayo, después de la reflexión, seguirá la dirección IO , formando el ángulo NIO igual al SIN . Si prolongamos dicho rayo IO por dentro del espejo, y desde el punto S bajamos una perpendicular al mismo, estas dos líneas se cortarán en cierto punto S' , por estar

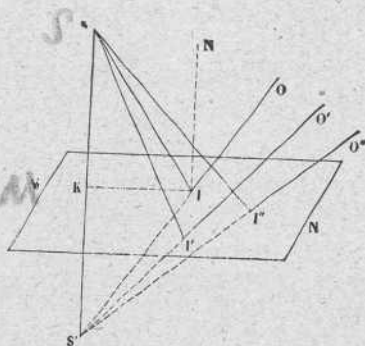


Fig. 231.

en un mismo plano por la segunda ley de la reflexión; además, el punto de encuentro S' distará del espejo una cantidad $S'K = KS$. En efecto; trazando la IK , perpendicular á la SS' , se formarán los dos triángulos iguales SKI y $S'KI$; éstos tienen común el cateto KI é iguales los ángulos en S y S' ; el $KSI = SIN$ por alternos entre las paralelas SK y NI , y el $KS'I = NIO$, por correspondientes entre dichas paralelas; pero los ángulos SIN y NIO son iguales por las leyes de la reflexión, luego los ángulos en S y S' también lo serán. Resulta probada la igualdad de dichos triángulos, y como consecuencia la de sus lados KS y KS' .

Ahora bien; los demás rayos SI' , SI'' se reflejarán en el espejo siguiendo la misma ley, y sus prolongaciones irán á reunirse en el mismo punto S' , que será, por lo tanto, la *imagen virtual del punto S*.

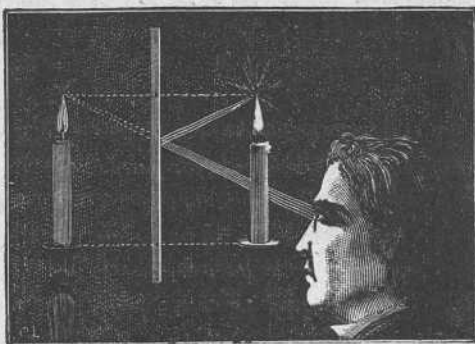


Fig. 232.

Resulta, por lo dicho, que los rayos emitidos por un punto luminoso, después de reflejarse en un espejo plano, parece que proceden de otro in-

terior al espejo, simétrico de aquél, como lo representa claramente la figura 232.

Determinada la imagen de un punto, nada más fácil que verificarlo respecto de un cuerpo cualquiera. Sea la flecha AB , cuya imagen se quiere determinar (fig. 233). Desde los extremos A y B de dicha flecha, bajaremos las perpendiculares al espejo AA' y BB' , y tomaremos las partes PA' y QB' iguales, respectivamente, á PA y QB ; la recta $A'B'$ será la imagen buscada, y, para el observador colocado en O , aparecerá dicha flecha en la forma y magnitud que indica la figura. Resulta de lo expuesto, que la imagen de un objeto, observado en un espejo plano, es *virtual*, del mismo tamaño, y *simétrica respecto de aquél*.

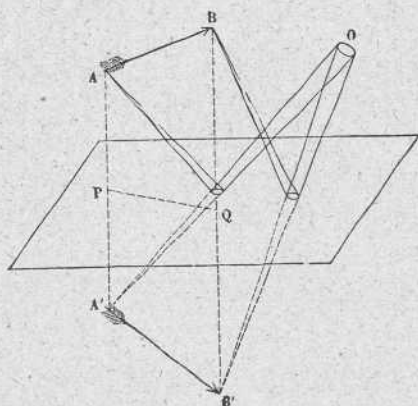


Fig. 233.

689. Repetición de la imagen de un cuerpo por reflexiones sucesivas.

— Si en la dirección en que se reflejan sobre un espejo los rayos luminosos emitidos por un cuerpo, se coloca un segundo espejo, se reflejarán nuevamente dichos rayos, dando origen á una segunda imagen; ésta será simétrica de la primera, y se obtiene considerando á aquélla como un verdadero cuerpo luminoso. Bien se comprende que un tercer espejo, convenientemente colocado, puede dar lugar á una tercera imagen, y así sucesivamente; pero cada vez serán más débiles estas imágenes, por no reflejar los espejos toda la luz que reciben.

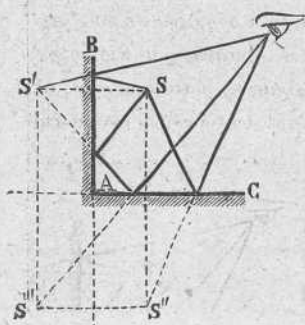


Fig. 234.

Puede también darse origen á varias imágenes con sólo dos espejos, si están dispuestos de modo que los rayos se reflejen del uno al otro cierto número de veces. Sean, en efecto, dos espejos que formen ángulo recto (fig. 234). El punto luminoso S , que representa la figura, produce primeramente dos imágenes S' y S'' ,

una en el espejo vertical y otra en el horizontal; á su vez estas dos imágenes producen otras dos que se confunden en una sola S''' por razón de simetría, resultando en total tres imágenes del cuerpo luminoso. Si el ángulo

de los espejos es de 60° , el número de imágenes es cinco, y, en general, siendo α el ángulo que aquéllos forman, el número de imágenes formadas se obtiene por la fórmula $n = \frac{360}{\alpha} - 1$. Aplicándola al caso de dos espejos paralelos, resulta infinito el número de imágenes; en la práctica no sucede esto, por extinguirse la luz después de cierto número de reflexiones, pero es lo cierto que se obtiene un gran número de imágenes colocando un objeto fuertemente iluminado entre dos espejos paralelos.

690. Aplicaciones de los espejos planos.—Aparte del gran uso que de estos espejos se hace en las aplicaciones comunes de la vida, y otras muchas de la Física recreativa, se emplean con frecuencia en esta asignatura para cambiar la dirección de un sistema de rayos luminosos. Con este objeto, y tratándose de los rayos solares, se usa un aparato llamado *porta-luz* representado en la figura 235, el cual consiste en un espejo $E E'$, que puede

tomar toda clase de inclinaciones por medio de los botones B y Q . Estos se hallan fijos en una lámina metálica $a a'$, colocada en una abertura practicada en el tablero de una ventana, y de su centro sale un tubo R , en el que pueden

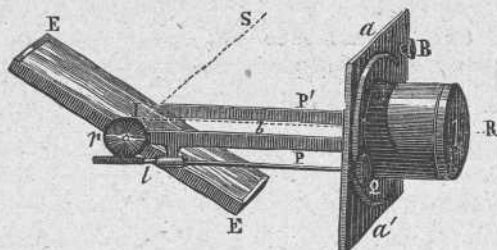


Fig. 235.

colocarse diafragmas con orificios de diferentes formas y diámetros, ó bien lentes de diferentes clases. Cualquiera que sea la dirección de los rayos solares, siempre se podrá dar al espejo la inclinación conveniente, para que aquéllos penetren en la habitación, después de reflejarse, siguiendo el eje del tubo $I R$.

En todas las aplicaciones de los espejos planos hay que tener en cuenta, que los de cristal producen multiplicación de las imágenes, por reflejarse la luz primero en el cristal y luego en la amalgama de estaño; por esto es necesario, cuando esto sea un inconveniente, acudir á los espejos metálicos, que sólo presentan una superficie reflectora.

Kaleidoscopio.—Este aparato es una aplicación curiosa de la repetición de las imágenes en los espejos, y consiste en un tubo de carton, dentro del cual hay dos espejos rectangulares formando un ángulo diedro de 60° . En el principio del tubo existe un orificio por donde se mira, y en el final de aquél una especie de caja de cristales, en la que se colocan objetos de colores vivos, como pedacitos de cristal de colores, musgo, trozos de conchas, etc. Super-

puestos estos cuerpos en una disposición cualquiera, al mirar por la extremidad opuesta del tubo, se observa su imagen, repetida cinco veces, en los espejos angulares, formando en total una estrella de seis radios de gran originalidad y belleza, la cual varía de aspecto al menor movimiento de los objetos que la forman.

ARTÍCULO III.

ESPEJOS CURVOS.

§ 1.º—Espejos esféricos cóncavos.

691. Definiciones.—Se llaman *espejos curvos* aquellos cuya superficie brillante corresponde á una curva cualquiera. Si esta curva es una parábola se llaman *espejos parabólicos*; si una esfera, *espejos esféricos*; si un cono, *espejos cónicos*, etc. En todos los casos pueden ser *cóncavos* ó *convexos*; según tengan el brillo por la parte interior ó exterior de la superficie curva. De todas estas variedades de espejos, los más usados son los esféricos cóncavos.

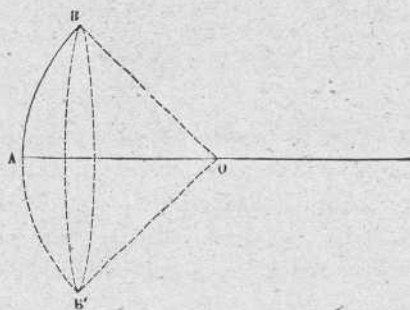


Fig. 236.

En todos los casos pueden ser *cóncavos* ó *convexos*; según tengan el brillo por la parte interior ó exterior de la superficie curva. De todas estas variedades de espejos, los más usados son los esféricos cóncavos.

En estos espejos se llama *centro geométrico* el centro O de la esfera á que corresponde aquél (fig. 236); *centro de figura* es el punto medio A del casquete esférico que forma el espejo; *eje principal* la recta indefinida AO que pasa por dichos centros, y *eje secundario* toda línea, tal como OB , que sólo pasa por el centro geométrico. *Sección meridiana* de un espejo esférico cóncavo es la porción de circunferencia BAB' , que resulta de cortar al espejo por un plano que contenga al eje principal, y *abertura* de esta clase de espejos es el ángulo BOB' , formado por dos radios trazados á los puntos terminales de la sección meridiana. Por último, se llaman *focos* en estos espejos los puntos en que se reúnen varios rayos después de su reflexión, pudiendo ser *reales* y *virtuales*, según se corten realmente los rayos ó solamente lo verifiquen sus prolongaciones.

692. Reflexión de la luz en los espejos esféricos cóncavos.—

Para estudiar esta importante cuestión, supondremos que se trata de un punto luminoso situado en el eje principal, y que aquél va acercándose desde el infinito hasta encontrar á la superficie del espejo.

1.º *El punto luminoso está situado en el infinito.* Sea EE' (fig. 237), la sección principal del espejo, y AO su eje principal. Si suponemos el punto luminoso colocado en dicho eje y á una distancia infinita, los rayos que aquél emite vendrán paralelos al eje principal, y suponiendo que sea LI uno de estos rayos, al tocar en el punto I del espejo, se reflejará

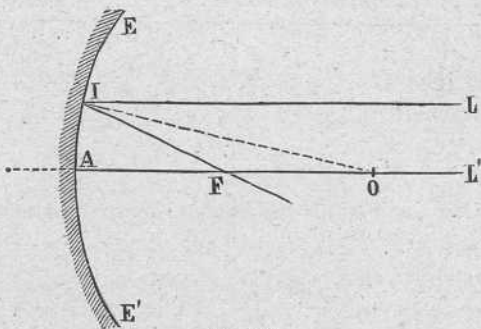


Fig. 237.

con arreglo á las leyes conocidas; luego para hallar el rayo reflejado habrá que trazar en el punto I la normal OI á la curva AE , que en este caso es el radio que pasa por dicho punto, y formar el ángulo de reflexión OIF igual al de incidencia LIO . Otro de los muchos rayos que emitirá el cuerpo luminoso seguirá la dirección $L'A$ del eje principal, y al llegar al espejo se reflejará en dirección de dicho eje, puesto que esta línea se confunde con la normal en el punto A . Los dos rayos reflejados se cortan, por tanto, en el punto F , y así sucederá con todos los que emita el cuerpo luminoso, si el espejo tiene una abertura que no pase de 6 á 8° (fig. 233). El punto F , en que se cortan dichos rayos, se llama *foco principal* del espejo, ó *foco de rayos paralelos*. Este punto tiene la particularidad de equidistar del centro geométrico O y del de figura A .

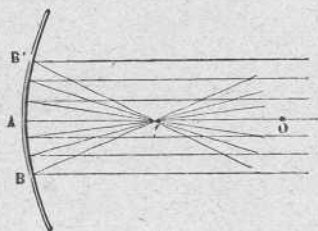


Fig. 238.

Resulta, en efecto, que el triángulo OIF es isósceles, por tener iguales los ángulos FIO y FOI , puesto que ambos son iguales al OIL ; el primero por construcción y el segundo por alternos entre paralelas. Resulta, pues, $FO = FI$; pero FI es sensiblemente igual FA , cuando el espejo tiene poca abertura, luego FO será igual á FA .

Por lo tanto, el *foco principal de un espejo cóncavo se encuentra en la mitad de su radio.*

2.º *El punto luminoso se halla situado entre el infinito y el centro geomé-*

trico. Sea EE' (fig. 239) la sección principal del espejo, y AO su eje principal. Consideremos en

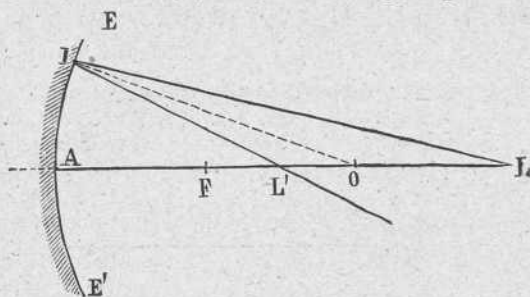


Fig. 239.

L el punto luminoso, y sea LI uno de los rayos que emite. Al llegar dicho rayo al punto de incidencia I se reflejará, formando con la normal OI un ángulo de reflexión OIL' igual al de incidencia OIL .

Otro de los rayos que emite el cuerpo luminoso seguirá la dirección del eje principal, y al llegar al punto A se reflejará según la línea AO , cortando al rayo IL' en el punto L' . En este mismo punto se cortarán los demás rayos emanados del punto L , si el espejo tiene poca abertura; á dicho punto L' se le llama, por lo que pronto diremos, el *foco conjugado del punto L* . Luego si el punto luminoso está situado entre el infinito y el centro geométrico de un espejo cóncavo esférico, su foco conjugado se forma entre el foco principal F y dicho centro geométrico.

3.º El punto luminoso se encuentra en el centro geométrico. Sea el espejo EE' (fig. 240), y O su centro geométrico, en el que suponemos colocado el

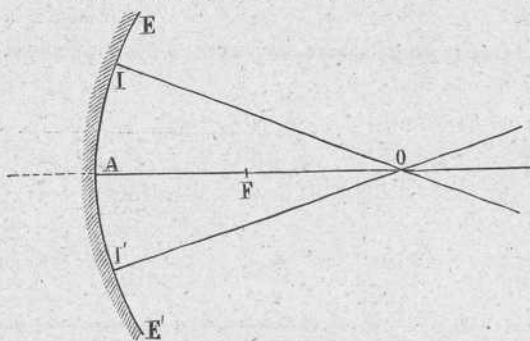


Fig. 240.

cuerpo luminoso. Todos los rayos que emita dicho cuerpo, tales como OI , OA y OI' caen en el espejo en dirección normal, puesto que se confunden con los radios trazados en dichos puntos; luego al reflejarse volverán en la misma dirección, pasando

otra vez por el punto O . Puede decirse en este caso, que se confunden en uno solo el punto luminoso y su foco.

4.º El punto luminoso se encuentra entre el foco principal y el centro geométrico. Siendo EE' la sección principal del espejo (fig. 241) y L' el punto luminoso, situado en las condiciones indicadas, el rayo $L'I$, al llegar al espejo, se reflejará según la recta IL ; otro rayo, tal como el $L'A$, se reflejará en la dirección del eje principal, por ser normal al espejo, y encon-

trará al primero en el punto L , el cual será, por tanto, el foco conjugado del punto L' . Vemos, pues, que si el punto luminoso está en L , su imagen, ó foco, aparece en L' y, reciprocamente; si el foco luminoso se halla situado

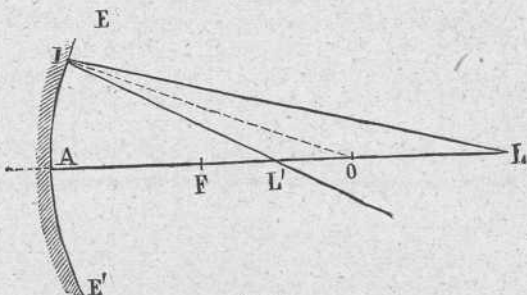


Fig. 241.

en L' su imagen se traslada al punto L . Esta es la razón de haber llamado á los puntos L y L' focos conjugados. Resulta, por lo tanto, que si el punto luminoso está situado entre el foco principal y el centro geométrico, su imagen se forma más allá de dicho centro.

5.º El punto luminoso se encuentra en el foco principal del espejo. Sea EE' el espejo y F su foco principal (fig. 242). El rayo FI se reflejará según la recta IL , paralela al eje, puesto que, según vimos en el primer caso, se reflejaba en la dirección IF' cuando el rayo venía paralelo al eje principal, y no hay motivo para que la luz cambie de dirección en caso de marchar en sentido contrario. Otro rayo, tal como el FA , se reflejará en la dirección AL' , por ser normal al espejo, y lo mismo sucederá á todos los que se quieran trazar desde el punto F ; luego en este caso los rayos reflejados salen paralelos, y puede decirse que no hay foco.

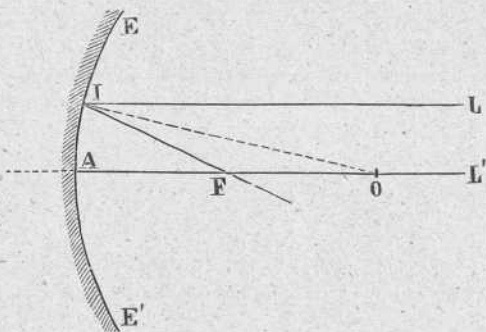


Fig. 242.

6.º El punto luminoso se halla situado entre el foco principal y el espejo. Sea L el punto luminoso (fig. 243) y LI uno de los rayos que de él emanan. Al llegar al espejo se reflejará dicho rayo en la dirección IM , con arreglo á las leyes de la reflexión, y otro rayo LA , que siga la dirección del eje

principal, se reflejará según la recta AO , por ser el rayo incidente normal al espejo. Según se observa en la figura, los dos rayos reflejados IM y AO se van separando cada vez más, y no pueden, por tanto, cortarse; pero sus prolongaciones IL' y AL' se cortan en el punto L' , y en él se formará la imagen del punto luminoso L ; el punto L' es, pues, el foco virtual del punto L .

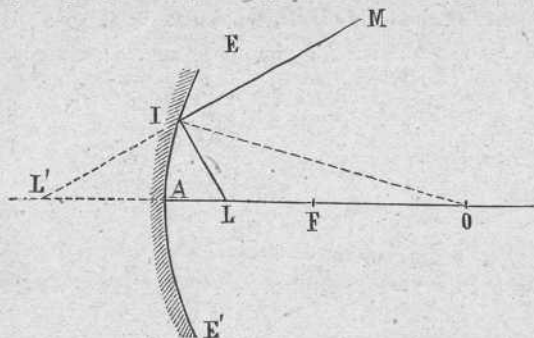


Fig. 243.

Resumiendo todo lo expuesto podremos decir: que si el punto luminoso está situado en el centro geométrico del espejo, ó lo que es igual, al duplo de su distancia focal, el foco conjugado se formará en dicho centro. Si el punto luminoso se encuentra á mayor distancia del mencionado duplo, el foco correspondiente se formará á menor distancia y, recíprocamente, si el punto luminoso dista del espejo menos que el duplo de su distancia focal, el foco respectivo se verifica á mayor distancia.

693. **Fórmula de los espejos esféricos cóncavos.**—Cuando la abertura de estos espejos es muy pequeña, puede establecerse una relación matemática muy sencilla entre la posición del objeto, la de su imagen y los elementos de dicho espejo. En efecto; sea $E E'$ el espejo (fig. 244), L el punto luminoso, I el punto de incidencia, L' su foco conjugado, F el foco principal del espejo, y O su centro de curvatura. En

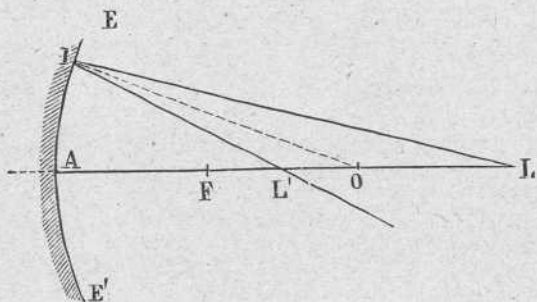


Fig. 244.

el triángulo LIL' la recta IO , por ser bisectriz del ángulo en I , divide al lado opuesto $L L'$ en partes proporcionales á los lados contiguos. Tendremos, por tanto, la proporción $\frac{IL}{IL'} = \frac{OL}{OL'}$, é igualando el producto de medios con el de extremos, resultará

$$IL \times OL' = IL' \times OL \dots (1).$$

Representando ahora por p la distancia del espejo al punto luminoso, por p' la que existe entre la imagen y dicho espejo, y por r su radio de curvatura, los términos de la igualdad (1) se convertirán en los siguientes:

$$\begin{aligned} i &= AL = p \\ l L' &= OA - AL' = r - p' \\ I L' &= AL' = p' \\ O L &= AL - AO = p - r. \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en dicha igualdad se transforma en la siguiente: $p(r - p') = p'(p - r)$ (2), la cual, después de efectuar las operaciones indicadas, y hacer la transposición de términos, nos dará

$$pr + p'r = 2pp' \dots (3).$$

Dividiendo todos los términos de esta igualdad por $pp'r$ resulta, por fin, la ecuación

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{2}{r},$$

que es la fórmula que buscábamos. Representando por f la distancia focal del espejo, y teniendo en cuenta que $r = 2f$, puede también escribirse dicha ecuación de este modo:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \dots (4).$$

Para discutir esta fórmula deduzcamos el valor de p' de la ecuación (3), y obtendremos $p' = \frac{pr}{2p-r}$. Examinemos los casos que antes hemos considerado, y veamos si coincide el resultado que allí obtuvimos con el deducido por esta fórmula.

1.º *El objeto luminoso está á una distancia infinita δ , lo que es lo mismo, $p = \infty$.* El valor de p' , después de introducir esta condición, se convierte en $\frac{\infty}{\infty}$. Para evitar este resultado, que nada dice, dividamos ambos términos del quebrado por p , y así obtendremos

$$p' = \frac{r}{2 - \frac{r}{p}} \dots (5).$$

Haciendo ahora la hipótesis de $p = \infty$, tendremos $p' = \frac{r}{2} = f$, cuyo resultado está conforme con el que allí obtuvimos.

2.º *El punto luminoso está entre el ∞ y el centro geométrico, ó sea $p > r$, sin llegar al infinito.*

El valor de p' resulta entonces mayor que $\frac{r}{2}$ y menor que r , puesto que $\frac{r}{p}$ fluctúa entre 1 y 0.

3.º *El punto luminoso se halla en el centro geométrico, ó lo que es igual, $p = r$.*

En este caso resulta también $p' = r$.

4.º *El punto luminoso se halla entre el foco principal y el centro geométrico ó sea $p > f$ y $< r$.*

El valor de p' resulta entonces comprendido entre el ∞ y r .

5.º *El punto luminoso se halla en el foco principal, ó sea $p = f$.*

El valor de p' resulta entonces igual al infinito.

6.º *Por último; p es menor que f , ó, lo que es lo mismo, el punto luminoso se halla entre el espejo y el foco principal.*

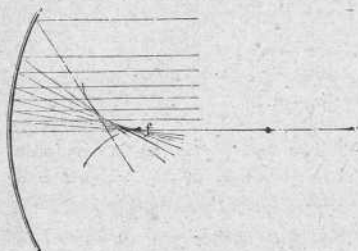


Fig. 245.

rian aproximados, y en vez de reunirse los rayos en un punto, lo verificarían según unas curvas llamadas *caústicas por reflexión* (fig. 245).

El valor p' resulta en este caso negativo, cuyo valor debe interpretarse contando la distancia que le separa del espejo en sentido contrario á la marcha que siguen los rayos al reflejarse, ó sea de A hacia la izquierda, figura 243.

Vemos, por tanto, que en todos los casos está conforme la práctica con los resultados obtenidos por la fórmula. Mas no hay que olvidar que ésta se ha deducido suponiendo que el espejo tenía una abertura inferior á 6° , pues en otro caso los resultados sólo serían aproximados, y en vez de reunirse los rayos en un punto, lo verificarían según

694. Foco de un punto situado fuera del eje principal.—Hasta aquí hemos considerado siempre al punto luminoso en el eje principal del espejo; si no sucede así, bastará trazar el eje secundario correspondiente á dicho punto para hallarse en un caso análogo al primero, puesto que toda recta que pasa por el centro geométrico se halla, respecto del punto en que corta al espejo, en igual caso que el eje principal con relación al centro de figura.

Sea, en efecto, el punto L (fig. 246) situado fuera del eje principal. Tra-

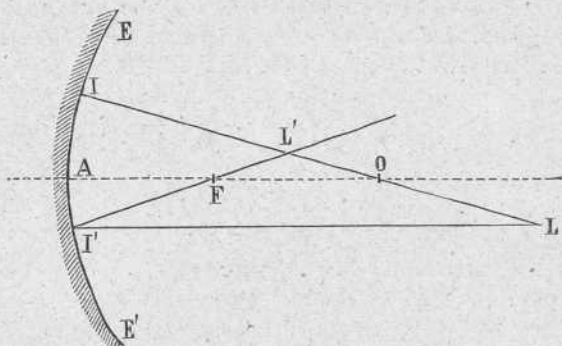


Fig. 246.

zando el eje secundario LI correspondiente á dicho punto, nos encontraremos en caso semejante á los que ya hemos considerado; teniendo además en cuenta que el rayo luminoso LI cae normalmente á la superficie del espejo, tendremos seguridad que, después de la reflexión, volverá dicho rayo en la dirección IL . Otro rayo, de los varios que salen del punto L , seguirá la di-

rección $L I'$ paralela al eje principal; luego cortará á éste en el foco principal F , y al rayo $I L$ en el punto L' , que será, por lo tanto, el foco conjugado del objeto luminoso L .

695. Construcción de la imagen real de un objeto.— Para resolver esta cuestión, basta determinar el foco correspondiente á varios puntos del objeto propuesto, y, uniéndolos entre sí, el conjunto de éstos determinará la imagen buscada.

Sea el objeto $B C$ colocado á bastante distancia del espejo $E E'$ (figura 247). Para determinar el foco conjugado del punto B , trazaremos desde

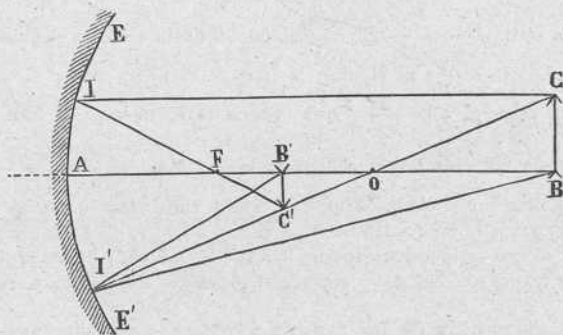


Fig. 247.

dicho punto, como antes lo hemos hecho, los rayos $B A$ y $B I'$, los cuales, después de su reflexión, se cortarán en B' . Para determinar el foco correspondiente al punto C , empezaremos por trazar el eje secundario $C I'$, el cual sabemos es normal á la superficie del espejo, por cuyo motivo, un rayo que marche en dicho sentido se reflejará en la misma dirección. Otro rayo emitido por el punto C , será $C I$, paralelo al eje principal, y éste cortará al dicho eje, después de su reflexión, en el foco principal F , y al rayo $C I'$ en el punto C' , que será á su vez el foco conjugado del punto C . La imagen de la flecha $B C$ será, por tanto, $B' C'$; es decir, que *la imagen de un objeto colocado más allá del centro geométrico de un espejo cóncavo esférico, aparece entre dicho centro y su foco principal, más pequeña que el objeto, invertida y real.*

Á medida que el objeto se acerca al centro geométrico del espejo, su imagen se acerca también á dicho punto, y cuando llega aquél á dicho centro, se confunde con el punto luminoso.

Si dicho cuerpo luminoso se sitúa entre el foco principal y el centro geométrico, su imagen se separará cada vez más del espejo, y la figura anterior,

considerando á $B' C'$ como cuerpo luminoso, nos manifiesta que *su imagen $B C$ es mayor, invertida y real.*

En el caso de situarse el objeto en el foco principal, no puede formarse ninguna imágen, por salir los rayos paralelos.

696. Tamaño de la imagen.—Por la comparación de los triángulos semejantes $B C O$ y $B' C' O'$ (fig. 247) se puede calcular fácilmente la relación que existe entre la imagen $B' C'$ y el objeto $B C$. En efecto, dichos triángulos nos dan la proporción $\frac{B' C'}{B C} = \frac{O B'}{O B}$; pero $O B' = r - p'$ y $O B = p - r$, luego $\frac{B' C'}{B C} = \frac{r - p'}{p - r}$. Pero según la ecuación (2) del número 693 $\frac{r - p'}{p - r} = \frac{p'}{p}$ luego la relación anterior se convierte en esta otra $\frac{B' C'}{B C} = \frac{p'}{p}$ cuya igualdad nos da la relación pedida en función de las distancias del espejo al objeto y la imagen. Si no se conoce el valor de p' se sustituye en su lugar el valor $\frac{p r}{2p - r}$ que obtuvimos al deducir la fórmula general,

con lo que queda reducida la relación buscada á la igualdad $\frac{B' C'}{B C} = \frac{r}{2p - r}$. Pue-

de también decirse que, si el objeto luminoso está á una distancia igual al duplo de la focal, la imagen resulta del mismo tamaño; si está á mayor distancia, la imagen será menor que el objeto, y lo contrario sucederá si está colocada á menor distancia de dicho duplo y mayor que la focal, siendo en todos los casos invertida y real.

697. Construcción de la imagen virtual.—Supongamos (fig. 248)

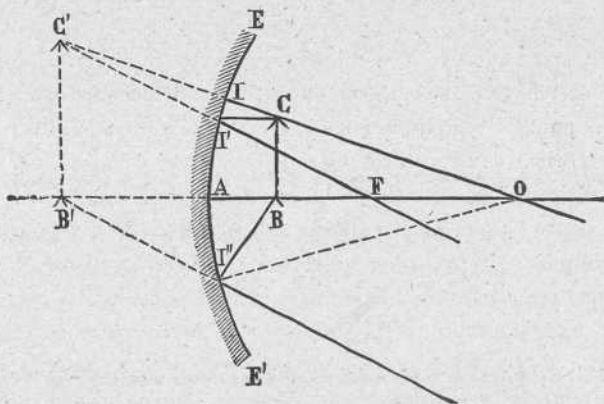


Fig. 248.

el objeto luminoso $B C$ situado entre el espejo y su foco principal. La determinación de la imagen se consigue, como en el caso anterior, uniendo entre sí los focos correspondientes á los puntos B y C . Para determinar el foco del punto B trazaremos los rayos $B A$ y $B I'$, los que no pueden cortarse después de su reflexión por salir divergentes, pero sus prolongaciones se cortan

en B' , foco virtual del punto propuesto. El correspondiente al punto C se obtendrá trazando su eje secundario IO , y un rayo $C'I'$, paralelo al eje principal; éstos se reflejan según las rectas IO ó $I'F$, también divergentes, pero sus prolongaciones se cruzan en C' , que será el foco virtual del punto C . La imagen será, pues, $B'C'$, y vemos, según la construcción, que es *virtual, amplificada y derecha*.

698. Determinación del radio de curvatura de un espejo esférico cóncavo.—Vimos al determinar el foco de un punto luminoso colocado delante de uno de estos espejos, que si aquél se hallaba á una distancia infinita, los rayos reflejados se reunían en su foco principal, cuyo punto demostramos que se hallaba en la mitad del radio de curvatura de dicho espejo. Si exponemos, por tanto, el espejo en cuestión á los rayos procedentes de un objeto muy lejano, tal como el Sol, y recogemos en un cristal deslustrado su imagen, aproximando ó separando dicho cristal del espejo hasta que resulte lo más pequeña y brillante posible, tendremos determinado el sitio que ocupa su foco principal, y duplicando la distancia que media entre dicho foco y el espejo, obtendremos el valor del radio de curvatura del mismo.

§ 2.º—Espejos esféricos convexos.

699. Definiciones.—Ya hemos dicho que estos espejos presentan el brillo por la parte exterior de la esfera á que corresponden, y desde luego advertimos que todas las líneas que se han considerado en los cóncavos reciben aquí idénticas denominaciones.

700. Reflexión de la luz en los espejos esféricos convexos.—Siguiendo la misma marcha que antes, vamos á suponer que el punto luminoso, situado en el eje principal de un espejo esférico convexo, se acerca desde el infinito hasta tocar en la superficie de aquél.

1.º *El punto luminoso se halla á una distancia infinita.*—Sea el espejo $E'E'$ (fig. 249), OL su eje principal y O su centro geométrico. Los rayos emitidos por el cuerpo luminoso vendrán paralelos, por proceder de un cuerpo colocado á una distancia infinita, y considerando el rayo LA se reflejará en la misma dirección, por ser normal al espejo. Otro rayo $L'I$, se reflejará en la dirección IR , formando el ángulo de incidencia igual al de reflexión, y es evidente que no cortará á AL , por ser ambos divergentes; pero sus prolongaciones se cruzan en el punto F , llamado por analogía con los espejos cóncavos, *foco principal virtual*. El punto F tiene además la propiedad, como

en los espejos cóncavos, de ser el punto medio del radio de curvatura $O A$ del espejo, pues que el triángulo $O F I$ es isósceles, y el lado $F I$ es sensi-

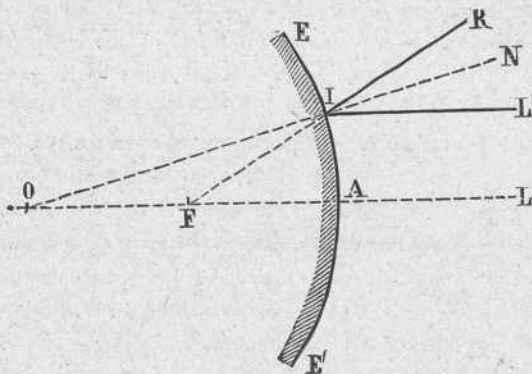


Fig. 249.

blemente igual á la recta $F A$, cuando la abertura del espejo es pequeña.

2.º El punto luminoso está situado entre el infinito y el espejo. Sea el punto L (fig. 250), colocado á una distancia finita cualquiera del espejo $E E'$, y consideremos los dos rayos $L A$ y $L I$ emitidos por aquél. El pri-

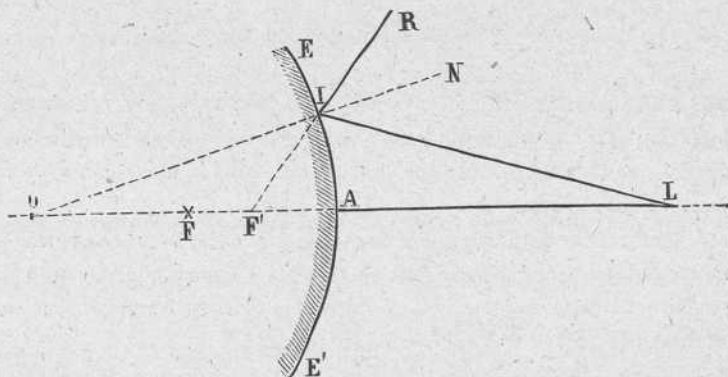


Fig. 250.

mero se reflejará en la dirección $A L$, por ser normal al espejo el rayo incidente; y el segundo lo verificará según la recta $I R$, formando el ángulo de incidencia igual al de reflexión, pero separándose más del eje principal que en el caso estudiado anteriormente. Estos dos rayos, prolongados, se encuentran en F' , *foco conjugado virtual* del punto L , el cual se encuentra entre el espejo y su foco principal, y se acercará tanto más al espejo, cuanto menos distante de éste se halle el punto luminoso.

701. Fórmula de los espejos esféricos convexos.— Por un procedimiento análogo al que seguimos para obtener la fórmula de los espejos cóncavos, podríamos fácilmente deducir la de los convexos, pero nos bastará cambiar en aquélla, con arreglo á la célebre *regla de Descartes*, los signos de las cantidades que han mudado de posición respecto del espejo, y así obtendremos la fórmula en cuestión. Comparando las figuras 244 y 250, observaremos que en la primera todas las distancias p , p' y f se encuentran hacia la parte brillante del espejo, mientras que en la segunda p' y f se hallan hacia el lado contrario del reflector. Ahora bien; puesto que á aquéllas las hemos considerado como positivas, debemos suponer á éstas con signo contrario; es decir, que en los espejos convexos p' y f deberán ir precedidos del signo $-$. Introduciendo esta modificación en la fórmula de los espejos cóncavos resultará:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f},$$

que es la correspondiente á los espejos convexos.

La discusión de esta fórmula no ofrece dificultad alguna, y puede observarse fácilmente que el valor de p' , además de ser siempre negativo, fluctúa entre cero y $1/2 f$; conforme á lo que anteriormente hemos visto.

702. Construcción de la imagen de un objeto.—Sea el espejo $E E'$ y $B C$ el objeto cuya imagen queremos construir (fig. 251). Desde el punto

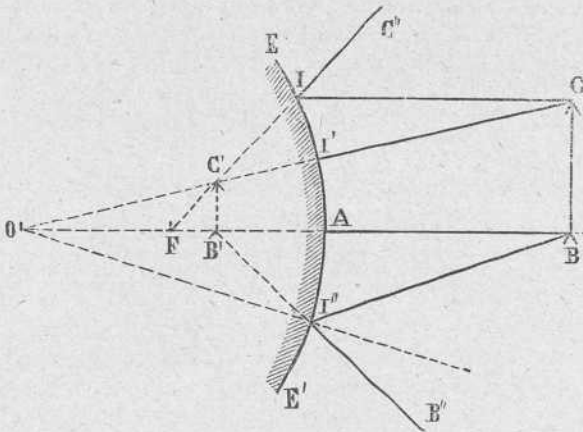


Fig. 251.

B tracemos dos rayos $B A$ y $B I''$; el primero, por ser normal al espejo, se reflejará en la misma dirección $A B$, y el segundo lo verificará según la recta $I'' B''$, formando el ángulo de incidencia igual al de reflexión; estos dos rayos no se cortarán por delante del espejo por ser divergentes, pero sus prolongaciones se cruzan en el punto B' , que será la imagen virtual del punto B . Trazando desde el punto C otros dos rayos $C I C I'$, éste se reflejará, por ser normal á la superficie reflectora, según la misma recta $I' C$, y el segundo lo verificará en la dirección $I C''$, cumpliendo las leyes de la reflexión. Estos

rayos no pueden encontrarse por delante del espejo, pero prolongados se reúnen en el punto C' , foco conjugado del punto C ; luego la imagen de la flecha BC será $B'C'$. Vemos, por tanto, que la imagen de un objeto producida por un espejo esférico convexo es más *pequeña, derecha y virtual*. Esto sucederá siempre, cualquiera que sea la posición del objeto, puesto que hemos visto que estos espejos producen en todos los casos focos virtuales.

703. Tamaño de la imagen.—Considerando los triángulos semejantes $OB'C'$ y OBC (fig. 251), obtenemos la siguiente relación: $\frac{B'C'}{BC} = \frac{OB'}{OB}$, pero $OB' = r - p'$ y

$OB = r + p$, luego aquella igualdad se convierte en esta otra: $\frac{B'C'}{BC} = \frac{r - p'}{r + p}$; en la que tenemos la relación entre la imagen y el objeto luminoso en función del radio de curvatura y las distancias de aquéllos al espejo. Si no se conoce p' se sustituye su valor $\frac{rp}{r + 2p}$, obtenido de la fórmula de estos espejos, en la anterior igualdad, con lo que

resulta, después de las transformaciones necesarias, $\frac{B'C'}{BC} = \frac{r}{r + 2p}$.

704. Determinación del radio de curvatura de un espejo esférico convexo.—Para determinar este importante dato, se cubre el espejo con un papel negro, en el que se practican dos aberturas pp' (fig. 252) á igual distancia del

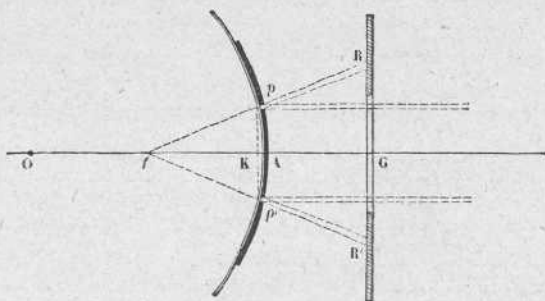


Fig. 252.

centro A de aquél. En un cartón blanco RR' se hace una abertura circular, cuyo diámetro sea un poco mayor que la distancia pp' , y se expone el espejo á los rayos solares que penetran por la abertura citada. Después se aproxima ó separa el cartón del espejo hasta que la distancia RR' , en que se pintan las imágenes del Sol producidas por la luz reflejada en los orificios p y p' , sea el duplo de la distancia pp' ; midiendo entonces la distancia del cartón al espejo se tendrá su *distancia focal principal*, y duplicándola el radio de curvatura.

En efecto; los triángulos semejantes fpp' y fRR' nos dan la proporción $\frac{pp'}{RR'} = \frac{fA}{fG}$; pero la distancia $RR' = 2pp'$, luego $fG = 2fA$, ó lo que es lo mismo, $A G = fA$, y por lo tanto, llamando R el radio de curvatura del espejo, tendremos $R = 2AG$.

705. Aplicaciones de los espejos esféricos.—Los espejos cóncavos han recibido en Óptica diferentes aplicaciones, siendo las principales las siguientes: Si se necesita aumentar la intensidad de la luz recibida por una pantalla, colocada á una cierta distancia de un foco luminoso, puede conseguirse situando aquél en el foco principal de un espejo cóncavo, y como en este caso los rayos salen paralelos, su intensidad no decrece con arreglo al cuadrado de la distancia, y únicamente se debilitan por la falta de diafanidad del aire. Este método se usaba antes en los faros, y continúa usándose actualmente en los teatros, galerías, etc., para iluminar desde lejos un cierto espacio. Al utilizar de este modo los espejos cóncavos, conviene muchas veces que los rayos reflejados sigan la misma dirección que los procedentes del foco luminoso, y esto se consigue colocando éste en el centro geométrico del espejo, como se indica en la figura 240.

Se usan también los espejos cóncavos para obtener con ellos imágenes reales de objetos que han de estudiarse detalladamente, como sucede en los *telescopios*, ó bien imágenes virtuales amplificadas, como sucede en los espejos llamados de *barba*.

Sirven también para aumentar el calor solar sobre una superficie dada, bastando para conseguirlo recibir los rayos solares en un espejo de gran tamaño, y colocar en su foco principal el objeto cuya temperatura se quiere elevar. De este modo han podido fundirse todos los metales, y cuenta la Historia que Arquímedes se valió de estos espejos, llamados *ustorios*, para incendiar la escuadra romana que situaba á Siracusa.

Los espejos convexos no presentan tantas aplicaciones, á causa de producir siempre imágenes virtuales más pequeñas que el objeto. Únicamente se usan algo en pintura para copiar un paisaje reduciendo sus dimensiones, y también para disminuir el tamaño de un cuerpo luminoso, y poder compararle con otro. También se usan como adorno, en los jardines y sitio de recreo, unas esferas de cristal azogadas interiormente, en las que se obtiene la imagen reducida de un panorama de gran extensión; pero resultan los objetos muy deformados á causa de la gran aberración de esfericidad que presentan estos espejos por su enorme abertura.

CAPÍTULO III.

Dióptrica.

ARTÍCULO PRIMERO.

REFRACCIÓN Á TRAVÉS DE MEDIOS HOMOGÉNEOS.

§ 1.º—Leyes de la refracción.

706. Definiciones.—Recibe el nombre de *Dióptrica* la parte de la Óptica en que se estudia la *refracción* de la luz.

Se dice que la luz se *refracta*, cuando cambia de dirección al penetrar oblicuamente en un medio transparente, distinto de aquel por donde venía caminando. Si el rayo luminoso es normal á la superficie de separación de ambos medios, sigue siempre en línea recta, y se dice que no hay refracción.

El ángulo que forma el rayo incidente RI (fig. 253) con la normal NN' á

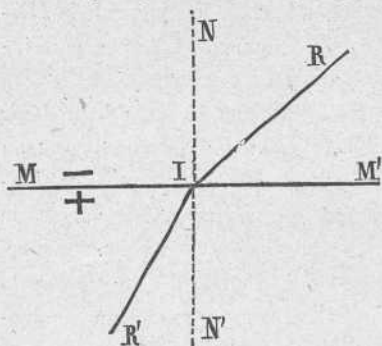


Fig. 253.

la superficie de separación MM' de ambos medios, se llama *ángulo de incidencia*, y el $R'IN'$, que forma con dicha normal el rayo refractado IR' , se llama de *refracción*. En unos casos el ángulo de incidencia es mayor que el de refracción, como sucede en la figura á que nos referimos, y en otros se verifica lo contrario; en el primer caso se dice que el segundo medio es más refringente que el primero, y lo contrario se dice en el segundo. Esta circunstancia se expresa gráficamente con los signos $+$ y $-$, según indica el grabado.

La causa de la refracción se explica, en la teoría de las ondulaciones, por la desigual velocidad que adquiere la luz al atravesar los diferentes medios.

Un cuerpo es más refringente que otro si la luz camina por aquél con menos velocidad que por éste; lo que se supone debido á que el éter tiene más densidad en el primero que en el segundo.

En general, un solo rayo incidente produce tan sólo otro refractado, y el

fenómeno recibe entonces el nombre de *refracción sencilla*. Hay, sin embargo, muchos cuerpos cristalizados que tienen la propiedad de dividir en dos el rayo incidente, y este hecho se expresa diciendo que el medio en cuestión es *birrefringente*, distinguiéndose el fenómeno con el nombre de *doble refracción*.

707. Pruebas de la refracción.—Puede observarse perfectamente el fenómeno de la refracción, haciendo penetrar en una cámara oscura un rayo solar, y colocando en su trayecto una caja de cristal que contenga agua ligeramente turbia (fig. 254). Al llegar el rayo á la superficie del líquido cambia bruscamente de dirección, lo que se observa fácilmente por iluminarse fuertemente el polvillo que tiene el aire y el agua.

Otra experiencia fácil de repetir consiste en colocar en el fondo de un vaso de paredes opacas una moneda, y situarse en un punto tal como *O* (fig. 255), en que la pared *P* del vaso sólo permite ver el principio *m* de aquélla. Si en esta posición se echa agua en el vaso, procurando que la moneda no cambie de sitio, se la llega á ver totalmente, como si el fondo se hubiera elevado. Esto depende del cambio de dirección que sufren los rayos luminosos procedentes de dicha moneda al llegar á la superficie del líquido, continuando después hacia el punto *O* en que se halla colocado el observador; como, además, se supone siempre á los objetos colocados en la prolongación de los rayos que penetran en la pupila, el observador creará situada dicha moneda en *m'*. Este mismo fenómeno se produce en los estanques y lagos con los objetos depositados en su fondo, los que siempre parecen más próximos á la superficie que en realidad se encuentran. Un bastón rectilíneo, introducido oblicuamente

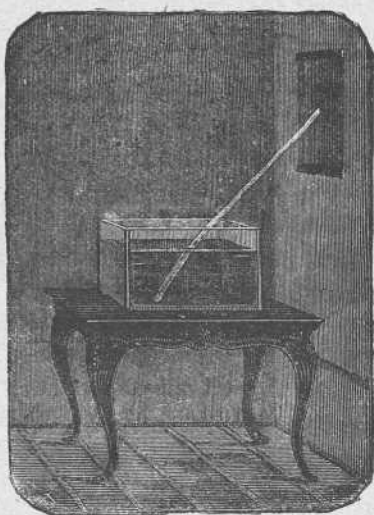


Fig. 254.

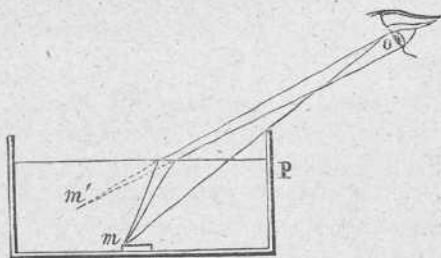


Fig. 255.

en el agua, parece roto en la superficie de aquélla, por refractarse los rayos que proceden de la parte sumergida.

708. Leyes de la refracción.—Este importante fenómeno se halla sujeto á las dos leyes siguientes, descubiertas por Descartes:

1.^a *La relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción, es constante para dos medios determinados.*

2.^a *El rayo incidente, el refractado y la normal en el punto de incidencia, se hallan en el mismo plano.*

Para comprobar dichas leyes se usa el aparato representado por la figura 256. Consiste en un círculo graduado, sostenido por un pie con tornillos

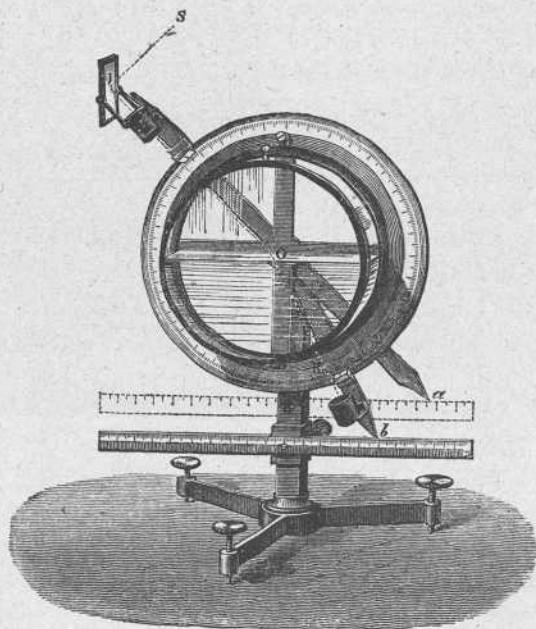


Fig. 256.

para colocar verticalmente la línea 0-180°. En uno de sus lados lleva un vaso cilindrico de cristal, cuyo centro coincide con el del círculo graduado; dos alidadas movibles y una escala horizontal, que puede colocarse á diferentes alturas, completan el aparato.

Para usarle se echa en el vaso cilindrico, hasta su centro *O*, agua ó cualquier otro líquido transparente, y se hace llegar á dicho punto un rayo solar *S*, reflejado por el espejo *I*. Al llegar al líquido dicho rayo se refracta, y con la segunda alidada se marca la nueva dirección que ha tomado, debiendo tener

presente que al salir del vaso no vuelve á refractarse, por ser normal á la pared del mismo. Esto supuesto, por medio de la escala se miden las distancias que hay desde la vertical á las terminaciones a y b de las alidadas, y como estas distancias representan los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, basta dividirlos para tener la relación buscada. Después se hace llegar otro rayo con diferente inclinación, y se repiten todas las operaciones, encontrando que la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción es la misma en todos los casos, lo que demuestra la primera ley de Descartes.

La segunda de dichas leyes queda demostrada por la construcción del aparato, el cual se halla todo en un plano, que es precisamente en el que se mueve el rayo luminoso antes y después de la refracción.

Conviene observar también que, si se hace llegar la luz por el orificio de la alidada OR , el rayo luminoso se refracta al salir del líquido, y va á coincidir con el diafragma de la alidada OI ; ó lo que es lo mismo, que la luz sigue el mismo camino al atravesar los cuerpos transparentes, cualquiera que sea el sentido de su propagación.

709. Índices de refracción.—Hemos dicho que la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una cantidad constante para cada dos medios; pues bien, el valor numérico de dicha relación se llama *índice de refracción relativo* de dichos cuerpos. Así, el del aire al agua es $\frac{4}{3}$, y, puesto que la luz sigue el mismo camino al propa-

garse en sentido contrario, el del agua al aire será $\frac{3}{4}$. Representando la

primera relación por n , esta última lo estará por $\frac{1}{n}$, que es lo que se llaman *índices recíprocos*.

Si el rayo luminoso pasa del vacío á un cuerpo transparente, dicha relación recibe el nombre de *índice absoluto de refracción* del medio á que se refiere, y es un carácter distintivo del cuerpo, tan importante como el peso específico. Como el índice de refracción del aire es muy pequeño, suele tomarse como absoluto el índice de refracción de dicho gas respecto á los demás cuerpos. Á continuación ponemos una pequeña lista del índice de refracción de los cuerpos más usuales.

ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE LOS CUERPOS MÁS USADOS.

SÓLIDOS.		LÍQUIDOS.	
Diamante.....	2,630	Sulfuro de carbono.....	1,678
Rubi.....	1,779	Aceite de linaza.....	1,485
Turmalina.....	1,668	— nafta.....	1,475
Esmeralda.....	1,585	— olivas.....	1,470
Flint-glass.....	1,578	Aguarrás.....	1,470
Cristal de roca.....	1,547	Ácido sulfúrico concentrado..	1,429
Sal gema.....	1,545	— nítrico —	1,410
Bálsamo de Canadá.....	1,532	— clorhídrico —	1,410
Crown-glass.....	1,500	Alcohol rectificado.....	1,372
Espato de Islandia.....	1,564	Éter sulfúrico.....	1,358
Alumbre.....	1,457	Albumina... .	1,351
Hielo.....	1,310	Agua.....	1,336

710. Ángulo límite. Reflexión total.—Llamando i el ángulo de incidencia y r el ángulo de refracción, hemos visto, según la ley de Descartes, que $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ es una cantidad constante para cada dos medios, llamada índice de refracción. Representándola por n tendremos la igualdad $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$, ó $\text{sen } i = n \times \text{sen } r$. Suponiendo $i = 0^\circ$, será también cero $\text{sen } i$, y para que subsista la última igualdad $\text{sen } r$ tendrá también que valer cero; luego si el rayo incidente cae normalmente á la superficie de separación de los dos medios, el rayo refractado seguirá en la misma dirección. Á medida que aumente el valor de i también aumentará el valor de r , aunque no en la misma relación, por no ser proporcionales los senos á los ángulos respectivos.

Cuando $i = 90^\circ$, $\text{sen } i$ será igual á la unidad, y tendremos entonces $1 = n \times \text{sen } r$, de donde $\text{sen } r = \frac{1}{n}$. Resulta, pues, que para los diferentes valores, desde *cero* á 90° , que puede tomar el ángulo de incidencia, el valor del seno del ángulo de refracción fluctúa entre *cero* y $\frac{1}{n}$.

Recíprocamente, si la luz camina en sentido contrario, para los valores

del seno del ángulo de incidencia, comprendidos entre *cero* y $\frac{1}{n}$, el rayo refractado variará desde *cero* á 90° . Luego si un rayo luminoso pasa de un medio más refringente á otro que lo sea menos, y forma con la normal un ángulo cuyo seno sea $\frac{1}{n}$, el rayo refractado será perpendicular á la normal, y coincidirá, por lo tanto, con la superficie de separación de ambos medios. Dicho ángulo de incidencia ha recibido el nombre de *ángulo límite*, porque es, efectivamente, el límite de la inclinación que puede tener un rayo incidente con la normal á un medio, para que pase la luz al otro lado del mismo. Si dicho ángulo aumenta de valor, el rayo vuelve nuevamente hacia el primer medio, y experimenta lo que se llama la *reflexión total*. La

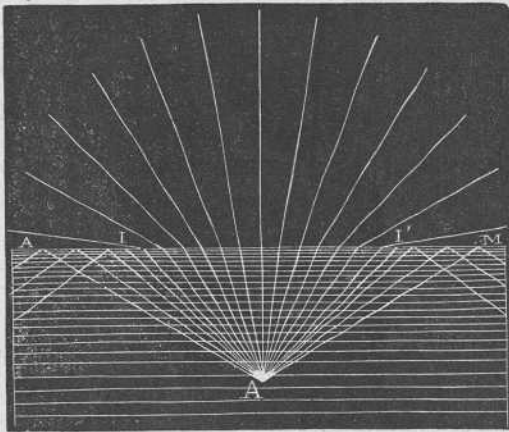


Fig. 257

figura 257 manifiesta claramente dicha reflexión cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo límite.

En efecto; suponiendo un foco luminoso colocado en *A*, dentro de un líquido transparente, todos los rayos emitidos por él, desde el que sigue la dirección de la vertical hasta el rayo *AI*, se refractan y salen al aire, por ser el ángulo de incidencia menor que el ángulo límite. El rayo *AI*, que llega á la superficie del líquido con una inclinación igual al ángulo límite del mismo, ya no sale al exterior, sino que sigue la dirección de la superficie del líquido, y desde este rayo en adelante todos ellos sufrirán la reflexión total, volviendo nuevamente hacia el interior del líquido en cuestión.

Puede observarse este fenómeno, mirando en la superficie interior del agua

contenida en un vaso, la imagen reflejada de un objeto colocado interiormente (fig. 258).



Fig. 258.

711. Construcción del rayo refractado.— Conociendo el índice de refracción n de un medio, y la dirección del rayo incidente, puede construirse el rayo refractado por un procedimiento debido a Huyghens.

Sea SI el rayo incidente (fig. 259), y supongamos que el medio de que se trata sea más refringente que aquel por donde venía caminando la luz. Haciendo centro en I describamos dos semicírculos con los radios $IP=1$ é $IA=n$. Prolonguemos el rayo incidente SI y por el punto B , en que corta al círculo IA , tracemos la tangente BM ; desde dicho punto M trácese la tangente MT al círculo IP y únase el punto de tan-

gencia T con el de incidencia I . Dicha línea IT , prolongada, será el rayo refractado.

En efecto, el ángulo de incidencia es igual al IMB , por tener sus lados perpendiculares, y el seno de éste es igual

$\frac{IB}{IM}$. El ángulo de refracción es

á su vez igual al IMT , por igual razón, y su seno es igual á $\frac{IT}{IM}$.

$$\text{Luego } \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{IB}{IM} : \frac{IT}{IM} =$$

$$\frac{IB}{IT} = \frac{n}{1} = n; \text{ luego el rayo}$$

IT cumple con la ley de Descartes, y es, por tanto, el refractado correspondiente al SI .

Si se conoce el rayo refractado y se quiere hallar el incidente, se describirán los dos semicírculos antes indicados, y en el punto T se trazará la tangente TM ; desde el punto M se tirará la tangente MB y, uniendo el punto de tangencia B con el I , se trazará la línea IS , que será el rayo de incidencia.

Para que la construcción sea posible es necesario que el punto M sea exterior al círculo IA ; si trazamos desde el punto A la tangente Ah al círculo IP , el rayo hI será el más distante de la normal que puede producir un rayo refractado en el medio superior, que hemos supuesto era menos refringente y, por tanto, el ángulo límite del medio inferior será $hIN' = hAI$. Ahora bien el triángulo AhI nos da $\text{sen } hAI = \frac{hI}{AI} = \frac{1}{n}$, que es el mismo valor que obtuvimos antes para el ángulo límite.

En el caso de ser más refringente el medio superior, por donde camina el rayo luminoso, que aquel en que penetra, la construcción es completamente análoga, como puede observarse examinando la figura 260.

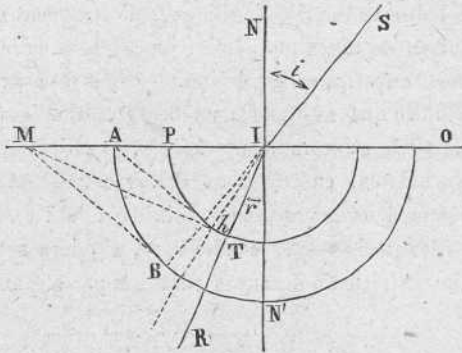


Fig. 259.

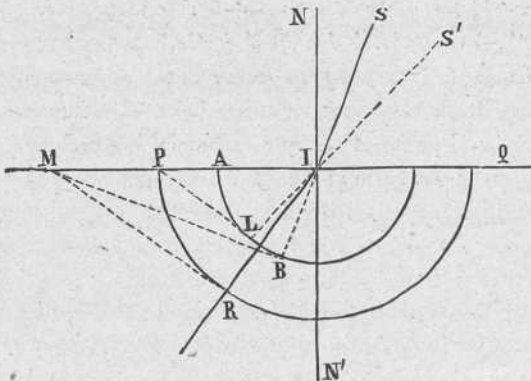


Fig. 260.

712. Espejismo.—Este fenómeno consiste en la aparición sobre el terreno

de una zona brillante, análoga á la superficie de un lago, en la que aparecen invertidas las imágenes de las nubes, árboles y demás objetos colocados delante del observador. Según Monge, este fenómeno es debido á la reflexión total que sufren los rayos luminosos, procedentes de objetos colocados sobre la superficie terrestre, en las diferentes capas de aire próximas á la tierra.

Para que esto pueda verificarse, es necesario que la superficie terrestre, efecto de sus condiciones físicas, se caliente extraordinariamente por los rayos solares, en cuyo caso el aire estará más caliente, y por consecuencia menos denso, cuanto más próximo á la Tierra se le considere.

Satisfechas estas condiciones, siquiera sean de poca duración, resultará que un sistema de rayos emitidos por el punto *A* (fig. 261) al llegar á la

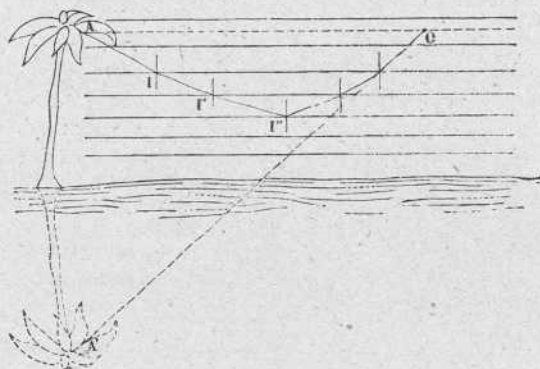


Fig. 261.

superficie *I, I'*..... de las diferentes capas de aire, se irá separando cada vez más de la normal, por pasar de un medio á otro menos refringente; al llegar al punto *I'*, traspasado el ángulo límite de la zona que se considere, se reflejará totalmente dicho rayo, para seguir luego refractándose en sentido contrario, hasta llegar al observador colocado en *C*, el cual referirá la impresión que recibe al punto *A'* en que se reúnen las prolongaciones de los rayos, y el objeto en cuestión aparecerá invertido, como si se hubiera reflejado en un espejo ó lago situado entre el observador y dicho objeto. Este curioso fenómeno se observa con frecuencia en las llanuras arenosas de Egipto en los días serenos y calurosos. Su duración no puede ser larga, por la imposibilidad de mantenerse mucho tiempo en un estado contrario á las leyes de la Mecánica las capas de aire próximas á la Tierra.

713. Fuente luminosa ó mágica.—Se ha sacado partido de la reflexión total de la luz en las gotas de agua, para obtener venas líquidas con luz aparentemente propia. Para esto se usa un vaso (fig. 262) perforado en su

fondo por dos aberturas diametralmente opuestas; por una de ellas se hace salir el agua contenida en el vaso, y por la otra, tapada con un cristal plano, se hace llegar la luz de un foco intenso. Estos rayos, al sufrir la reflexión

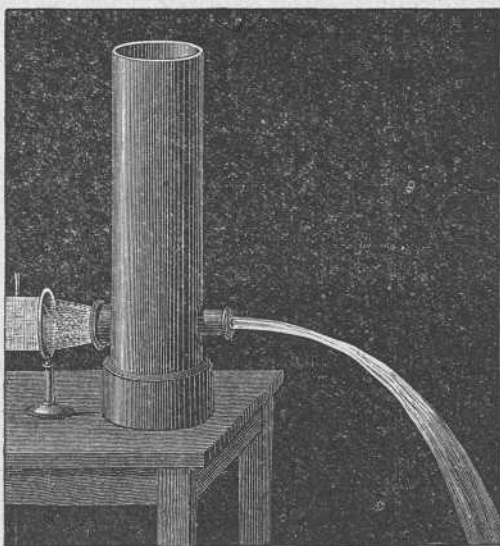


Fig. 262.

total en las gotitas de agua, no pueden continuar su camino rectilíneo, é iluminan fuertemente la vena líquida, la que adquiere un aspecto fosforescente. Interponiendo cristales de colores, se puede comunicar á las venas líquidas los matices de éstos, produciendo un efecto sorprendente cuando se opera en un local obscuro.

714. Refracción astronómica.— Recibe este nombre el desvío que experimentan en su marcha por las diferentes capas de la atmósfera los rayos procedentes de un astro. Supongamos un rayo luminoso procedente del astro E' (fig. 263); mientras dicho rayo se propaga por el espacio vacío marchará en línea recta, con arreglo á las leyes que ya conocemos, pero al penetrar en la primera capa de la atmósfera se desviará un poco de su dirección, acercándose á la normal. Á medida que vaya atravesando capas

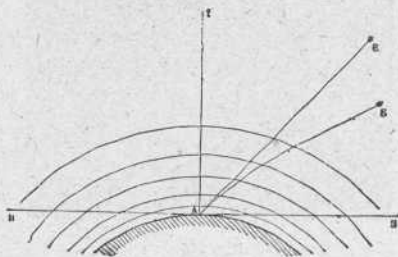


Fig. 263.

de aire más próximas á la Tierra, se irá refractando nuevamente en igual sentido, por ir creciendo la densidad de aquéllas, y al tocar á la superficie terrestre, la dirección de dicho rayo será la recta AE . Un observador colocado en el punto A verá, por tanto, dicho astro en E , ó sea más elevado que realmente se encuentra. En el caso de estar el astro en el zenit Z , los rayos penetrarían normalmente en la atmósfera, y no sufrirían desvío alguno en su dirección.

§ 2.º—Refraccion de la luz á través de cuerpos terminados por superficies paralelas.

715. Cristales planos.—Si suponemos que un rayo luminoso atraviesa normalmente un cuerpo, cuyas caras de *incidencia* y *emergencia* sean paralelas, dicho rayo no sufrirá desvío alguno en su propagación; mas si penetra oblicuamente á dichas caras, experimentará dos refracciones, una al tocar en R

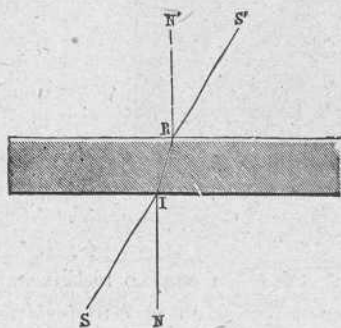


Fig. 264.

(fig. 264) á la cara de incidencia y otra en I al salir por la cara de emergencia. El rayo incidente $S'R$ y el emergente IS resultan paralelos; pues, en efecto, llamando n el índice de refracción del aire al cuerpo de que se trata, en la primera refracción se verificará la igualdad

la $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$, y en la segunda, llamando r' el ángulo de refracción, y teniendo en cuenta que el de incidencia es r , tendremos á su vez la igualdad

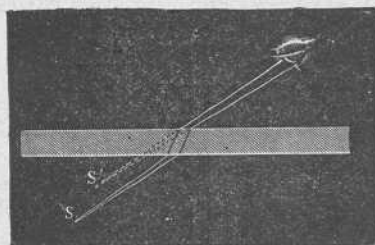


Fig. 265.

$\frac{\text{sen } r}{\text{sen } r'} = \frac{1}{n}$ (709). De la primera igualdad deducimos $\text{sen } i = n \times \text{sen } r$, y de la segunda $\text{sen } r' = n \times \text{sen } r$; luego los ángulos SIN y $S'RN'$ son iguales, y por lo tanto, los rayos SI y RS' paralelos.

Á pesar de dicho paralelismo, que sólo se refiere á cada rayo en particular, la imagen de un objeto cercano, visto al través de una lámina de caras paralelas, resulta algo desviada del sitio que realmente ocupa, como

puede observarse en la fig. 265, en que la imagen S' se acerca más al cuerpo transparente que al objeto S .

§ 3.º—Refracción de la luz á través de cuerpos terminados por superficies inclinadas.

716. Prismas.—Reciben en Óptica el nombre de *prismas* los cuerpos *diáfanos terminados por superficies inclinadas*. La intersección de dichas superficies se llaman *arista* del prisma, y *ángulo refringente* el que entre sí forman aquéllos. *Sección principal* de un prisma es el polígono que resulta de cortarle por un plano perpendicular á su arista.

La mayor parte de los prismas usados en Óptica tienen por sección principal un triángulo, el cual es unas veces equilátero y otras rectángulo. Se llama *cara de incidencia* aquella por donde penetra la luz en el prisma, y *cara de emergencia* aquella por donde sale el rayo después de atravesar el prisma. La tercera cara del prisma no es necesaria para el estudio óptico de estos aparatos, y podría sin inconveniente estar deslustrada. Los prismas suelen hacerse de cristal de varias clases, y también de líquidos y aun de gases, en cuyo caso son huecos para introducir el fluido que convenga. Se les monta de modo que puedan elevarse más ó menos y puedan á la vez tomar toda clase de inclinaciones (fig. 266).

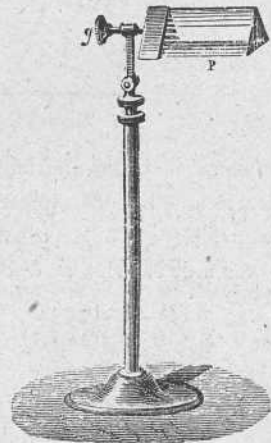


Fig. 266.

717. Refracción de la luz á través de un prisma.—Supongamos que el triángulo ABC , representado en la fig. 267, sea la

sección principal de un prisma de cristal, y que el rayo incidente LI se halle contenido en este plano. Al llegar dicho rayo al punto I se refractará, y puesto que pasa del aire al cristal, que es más refringente, se aproximará á la normal NI . La dirección IE que tomará dicho rayo,

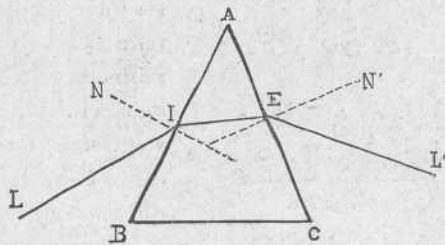


fig. 267.

se aproximará á la normal NI . La dirección IE que tomará dicho rayo,

puede determinarse por la construcción de Huyghens (711), conociendo el índice de refracción de la sustancia de que está hecho el prisma. Al llegar al punto E de la cara de emergencia volverá á refractarse, separándose de la normal EN' , por salir del cristal al aire, que es menos refringente, y tomará una dirección tal como la EL' .

Resulta, por lo tanto, que ambas refracciones tienden á aproximar el rayo á la base del prisma, y puesto que los objetos nos parecen situados en la prolongación del último rayo que impresiona nuestra retina, el observador

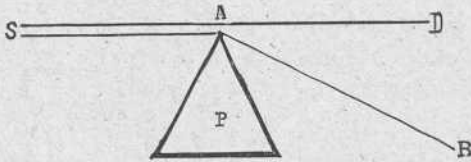


Fig. 268.

colocado en L' juzgaría el punto luminoso L en la prolongación de la línea $L'E$, ó sea, más próximo á la arista del prisma. El ángulo que forma el rayo incidente LI con el emergente EL' , es lo que

se llama en Óptica *desviación* del prisma; puede observarse fácilmente dicha desviación, haciendo llegar un rayo luminoso SA á un prisma colocado de tal modo (fig. 268), que una parte atravesase por la arista del prisma, y otra porción de luz siga su dirección rectilínea; en estas condiciones, el rayo refractado se aproximará á la base del prisma y podrá medirse la desviación BAD que ha sufrido.

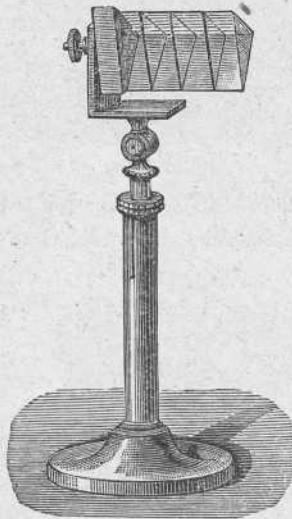


Fig. 269.

—En la desviación que experimentan los rayos luminosos al atravesar un prisma influyen tres condiciones:

718. Causas que influyen en la desviación de la luz á través de un prisma.

—En la desviación que experimentan los rayos luminosos al atravesar un prisma influyen tres condiciones:

1.^a *Índice de refracción del prisma.* Para demostrarlo se usa el *poliprisma* (fig. 269), ó sea uno compuesto de sustancias cuyo índice de refracción sea distinto, pero que todos tengan el mismo ángulo refringente. Haciendo penetrar en una cámara oscura, por una abertura larga y estrecha, un haz de rayos solares, y colocando á su paso el prisma indicado, de manera que su arista sea paralela á la abertura, se observan diferentes desviaciones en una pantalla situada convenientemente, correspondiendo la mayor desviación á la porción del prisma que tenga mayor índice de refringencia.

—En la desviación que experimentan los rayos luminosos al atravesar un prisma influyen tres condiciones:

2.^a *Angulo refringente del prisma.* Para observar el efecto que produce en la desviación de la luz el ángulo refringente de un prisma, se usa un hueco (fig. 270) dispuesto de manera que sus caras opuestas, formadas por dos láminas de cristal plano $B B'$, puedan inclinarse más ó menos. Lleno el prisma de un líquido transparente, y colocadas paralelamente dichas caras, se observa en qué punto de una pantalla se forma la imagen del Sol producida por un rayo que atraviese el prisma normalmente. Aumentando luego poco á poco el ángulo que entre sí forman aquéllas, se observa que la desviación de la luz crece á medida que aumenta el ángulo del prisma.

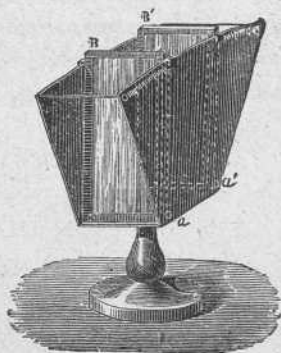


Fig. 270.

3.^a *De la inclinación con que llega la luz á la cara de incidencia del prisma.* Para demostrarlo se hace llegar un rayo solar á un prisma situado en una cámara oscura, y se mide la desviación producida en una pantalla colocada á cierta distancia. Haciendo girar el prisma paralelamente á su arista, se observa que la desviación va disminuyendo hasta una cierta posición del prisma, para aumentar en seguida si se sigue haciendo girar el prisma en el mismo sentido.

Resulta de aquí que hay en todo prisma una cierta posición en la cual se verifica la *desviación mínima* de los rayos que le atraviesan, ó sea que es menor el cambio de dirección que experimentan aquéllos. Ésta tiene lugar cuando el rayo incidente LI y el emergente EL' (fig. 271), forman ángulos iguales con las normales N y N' .

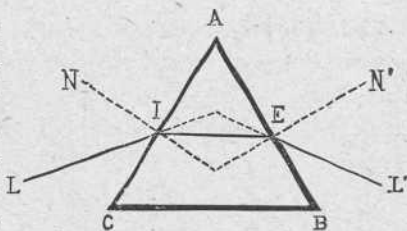


Fig. 271.

Llamando A el ángulo del prisma, D el de desviación, y n el índice de refracción de la sustancia de que está formado, se obtiene por el cálculo la siguiente relación:

$$n = \frac{\operatorname{sen} \frac{D+A}{2}}{\operatorname{sen} \frac{A}{2}}$$

con cuyo auxilio se puede calcular el índice de refracción de los diferentes cuerpos transparentes.

719. Reflexión total en los prismas.—Al atravesar un rayo luminoso por un prisma, y llegar á la cara de emergencia, puede suceder que el ángulo que forme con la normal respectiva sea superior al ángulo límite de la sustancia que constituye dicho prisma, y en este caso no podrá salir al exterior, experimentando la reflexión total. Dicho ángulo límite es de 41° para el cristal, de modo que haciendo llegar á un prisma ABC , de sección rectangular é isósceles (fig. 272), un rayo SI , normal á una de las caras,

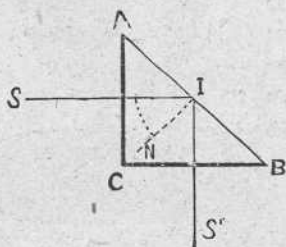


Fig. 272.

éste formará con la normal IN á la cara AB un ángulo de 45° , y, por lo tanto, se reflejará en la dirección IS' , haciendo la cara AB el efecto de un espejo. Además, como el rayo al penetrar y salir del prisma es normal á las caras respectivas, no sufre en ellas refracción alguna, y la imagen no se altera en lo más mínimo. Por esto se usan con frecuencia en Óptica los prismas rectangulares para sustituir á los espejos planos, cuya superficie no refleja la luz con tanta intensidad, por oxidarse fácilmente.

§ 4.º — Refracción de la luz á través de cuerpos terminados por superficies curvas.

§ 4.º — Refracción de la luz á través de cuerpos terminados por superficies curvas.

720. Lentes.—Son las lentes unos cuerpos diáfanos terminados por superficies curvas no paralelas. Generalmente se hacen de *crown-glass* (vidrio sin plomo) y de *flint-glass* (vidrio con plomo), que es más refringente que aquél. La superficie curva de las lentes puede ser esférica, parabólica cilíndrica, etc., pero las de uso más frecuente son las esféricas.

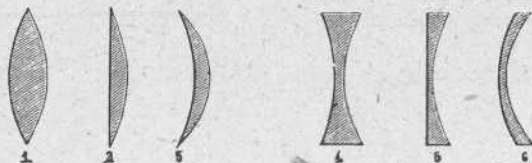


Fig. 273.

Las lentes esféricas se dividen en *convergentes* y *divergentes*; según que los rayos so'ares, después de atravesarlas, se reúnan en un punto ó se dispersen.

En el grupo de las *convergentes* hay tres variedades, á saber (fig. 273), *biconvexa* 1, *plano-convexa* 2 y *convexo-cóncava* 3.

Las *divergentes* pueden, á su vez, ser: *bicóncavas* 4, *plano-cóncavas* 5 y *cóncavo-convexas* 6.

Se distinguen fácilmente al tacto unas de otras, por ser las convergentes más gruesas por el centro que por sus bordes, sucediendo lo contrario en las divergentes.

Se llama *eje principal* de una lente esférica, la recta que une los centros de curvatura de ambas caras, y si una de ellas es plana, la perpendicular trazada á dicha cara desde el centro de curvatura de la otra.

Eje secundario es toda recta que pasa por el *centro óptico* de la lente. Dicho centro se obtiene trazando dos radios de curvatura paralelos CI y $C'I'$, á ambas caras de la lente (fig. 274), y uniendo luego entre sí los dos puntos de contacto II' ; el punto O , en que dicha línea corta al eje principal, es el centro óptico de la lente. Este punto tiene la notable propiedad de no desviar los rayos luminosos que por él pasan, por ser sensiblemente paralelos los elementos que forman las caras de incidencia y emergencia de dichos rayos.

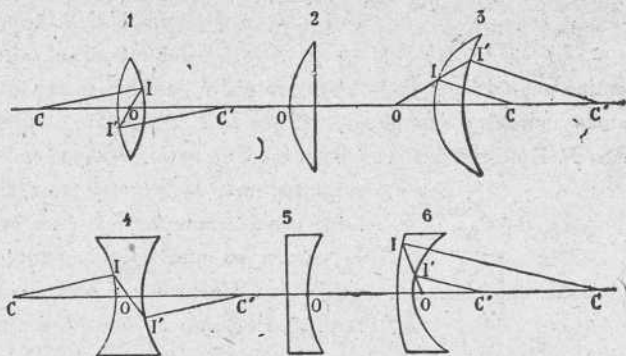


Fig. 274.

Sección principal de una lente es la línea que resulta de cortarla por un plano que pase por el eje principal; por último, *apertura* de una lente es el número de grados que contiene el ángulo formado por dos radios de curvatura de una misma cara, trazados á los extremos de su sección principal.

A. — *Lentes convergentes.*

721. Refracción de la luz en las lentes convergentes.— Para estudiar esta importante cuestión, seguiremos el mismo método que al tratar de los espejos esféricos, es decir, que supondremos el punto luminoso si-

tuado en el eje principal de la lente, y que desde el infinito se va acercando hasta tocar en la superficie de aquélla.

1.º *El punto luminoso se halla situado á una distancia infinita.* Sea MN (fig. 275), la sección principal de una lente convergente, y $C C'$ los centros de curvatura de ambas caras. Desde el punto en cuestión saldrán infinidad de rayos, que podremos considerar paralelos al eje principal por venir de un objeto situado en él, y á una distancia infinita. Uno de dichos rayos seguirá la dirección CA del eje principal, y atravesará la lente sin desviarse, por ser normal á las dos caras de la lente. Otro rayo, tal como el SI , al llegar al punto de incidencia, se aproximará á la normal IC' , por pasar de un medio menos á otro más refringente, y podrá determinarse su dirección por

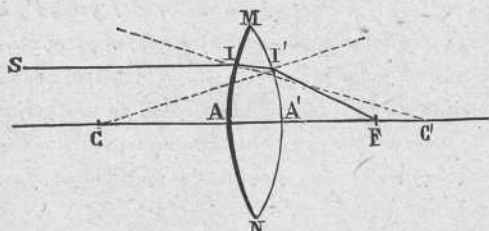


Fig. 275.

el método de Huyghens: Supongamos que aquélla sea la línea II' ; en este último punto volverá el rayo á refractarse, pero ahora se separará de la normal CI' , por pasar del cristal al aire, y el

nuevo camino seguido por dicho rayo, se podrá determinar por el procedimiento antes indicado; suponiendo que sea $I'F$, dicho rayo cortará al otro en el punto F . En este punto se cortan también todos los rayos emitidos por el punto luminoso de que se trata, si la lente

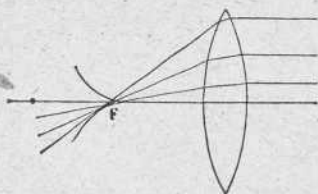


Fig. 276.

tiene pequeña abertura; si ésta es grande se reúnen en una serie de puntos, originando las *cáusticas por refracción* (figura 276). El punto F , en que se reúnen los rayos paralelos al eje principal, se llama *foco principal* de la lente, y resulta, por tanto, que si el objeto luminoso está situado

en el infinito, su imagen aparece en el foco principal de la lente.

La distancia entre el centro de la lente y el punto F , se llama *distancia focal de la lente*, y no varía aunque se invierta la posición de aquélla. Esta distancia, medida en pulgadas, es la que se conoce en el comercio con el nombre de *grado* de una lente. Su valor depende de la curvatura de las caras y del índice de refracción de la sustancia de que esté hecha la lente. *En las de crown el foco principal coincide con su centro de curvatura*, y casi lo mismo sucede en las de vidrio común; en las de *flint* es algo más corta la distancia focal.

2.º El punto luminoso se halla colocado entre el infinito y el foco principal de la lente. Supongamos que dicho punto sea P (fig. 277). Desde luego

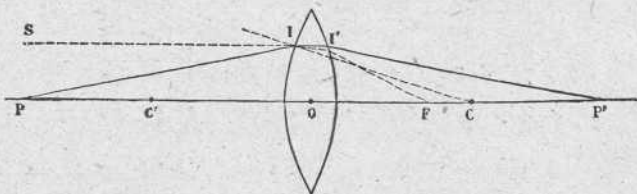


Fig. 277.

el rayo PO , que sigue la dirección del eje principal, atravesará la lente sin sufrir cambio alguno en su dirección. Otro rayo PI se refractará al llegar al punto de incidencia I , tomando el camino II' , para volverse á refractar en este último punto y seguir la dirección $I'P'$. Como puede decirse otro tanto de todos los rayos procedentes del punto luminoso P , resultará que todos se reúnen en el punto P' , llamado por esto *foco conjugado* de aquél. Resulta que *la imagen de un punto situado en el eje principal de una lente, entre su foco principal y el infinito, aparece á su vez entre el infinito y dicho foco principal, y tanto más cerca de éste cuanto mayor sea la distancia de aquél á la lente.*

3.º El punto luminoso se halla en el foco principal. En este caso, recíproco del primero, los rayos salen paralelos al eje principal (fig. 278), y puede decirse que no hay foco.

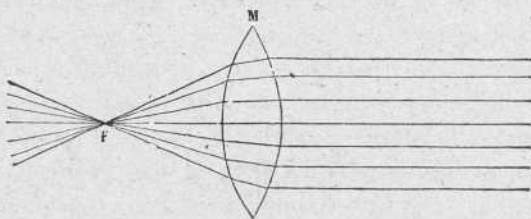


Fig. 278.

4.º Supongamos, por último, el punto luminoso entre el foco principal y la lente. Sea P este punto (fig. 279), y consideremos, como siempre, dos rayos emitidos por él, uno de los cuales marche en la dirección del eje principal. Dicho rayo PC' , atraviesa la lente normalmente á sus dos caras, y no sufrirá desvío en su dirección. Otro rayo, tal como el PI , se refractará, tanto al penetrar como al salir de la lente, en los puntos I é I' ; pero, después de ambas refracciones, saldrá en dirección divergente con el eje principal; su

prolongación $I' P'$ cortará, sin embargo, á dicho eje en un punto tal como P' , que será el *foco virtual* del punto P de que se trata.

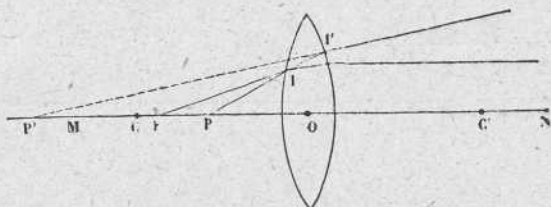


Fig. 279.

722. Construcción del foco conjugado correspondiente á un punto luminoso.—Supongamos primero que se quiera determinar el foco conjugado del punto M (fig. 280), situado fuera del eje principal. Por el

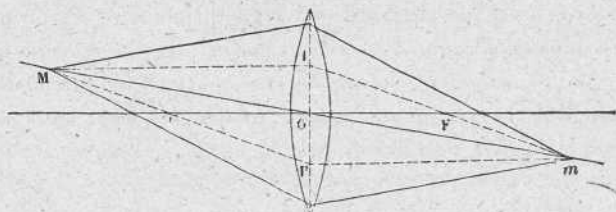


Fig. 280.

punto M trazaremos un rayo que pase por O , centro óptico de la lente, ó sea el eje secundario correspondiente al punto M , y como sabemos que este rayo no se desvia en su dirección, el foco buscado estará en dicha recta. Luego trazaremos un rayo $M I$, paralelo al eje principal, el cual pasará por el foco principal F de la lente, y prolongado cortará al eje secundario en m , que será el foco conjugado del punto M . Aquí se ha prescindido del espesor de la lente, y se ha sustituido, para mayor sencillez, por un plano refringente que produce en los rayos la misma desviación.

También podría determinarse dicho foco trazando un rayo $M I'$, que pase por el foco principal F' de la lente, el que, después de refractarse, saldría paralelo al eje principal, cortando en m al eje secundario del punto dado M .

Si el punto propuesto L se halla en el eje principal, no puede emplearse la anterior construcción. En este caso (fig. 281) se considera un rayo $L I$, que forme un pequeño ángulo con el eje principal, y después se traza un eje secundario $O P$, paralelo á dicho rayo. Supongamos que el foco principal correspondiente á dicho eje secundario esté situado en f ; el rayo $L I$, después

de atravesar la lente, pasará por dicho foco, y prolongado, cortará al eje principal en un punto L' , que será el foco conjugado del punto en cuestión.

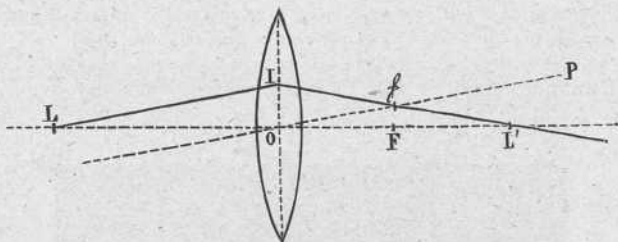


Fig. 281.

723. Fórmula de las lentes convergentes.—Cuando es pequeña la abertura de las lentes, y se prescinde de su espesor, es fácil encontrar una relación sencilla entre las distancias de los focos conjugados a la lente y la distancia focal de aquélla.

En efecto; en el triángulo $L I L'$ (fig. 282) cortado por la paralela a su base $O f$,

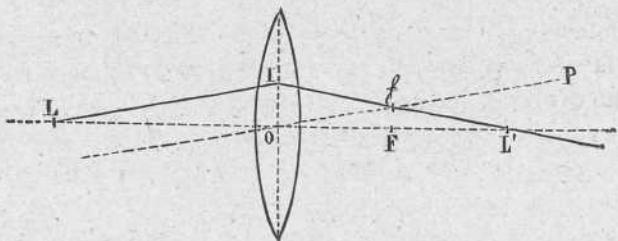


Fig. 282.

tenemos la relación $\frac{L L'}{O L'} = \frac{L I}{O f}$, y teniendo en cuenta que $L O = L I = p$ es la distancia del punto luminoso a la lente, $O L' = p'$ la del foco conjugado a la misma, y $O f = f$, la distancia focal de dicha lente, se convertirá aquella igualdad, después de sustituir dichas cantidades, en la siguiente: $\frac{p + p}{p'} = \frac{p}{f}$, ó lo que es igual, $\frac{p'}{p} + \frac{p}{p'} = \frac{p}{f}$; dividiendo por p todos los términos de esta ecuación, tendremos:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f},$$

que es la fórmula buscada, igual á la que encontramos al hablar de los espejos cóncavos. El valor de p' , deducido de esta ecuación, es $p' = \frac{p f}{p - f}$, en el cual se pueden introducir las hipótesis que antes hemos hecho y deducir los valores correspondientes, los que resultan conformes con la práctica, como sucedió en los espejos cóncavos. El caso más importante resulta cuando p es igual á $2f$, en cuya hipótesis resulta también

para p' el mismo valor $2f$. De modo que la imagen de un objeto colocado á una distancia doble de la focal de una lente convergente, se forma al otro lado de dicha lente y á la misma distancia.

Si el objeto se aleja de la lente, su imagen se acerca á la misma, llegando al foco principal cuando el objeto se halla en el ∞ , y recíprocamente.

724. Construcción de las imágenes.—Supongamos un objeto AB (fig. 283) colocado á una distancia superior al duplo de la distancia focal

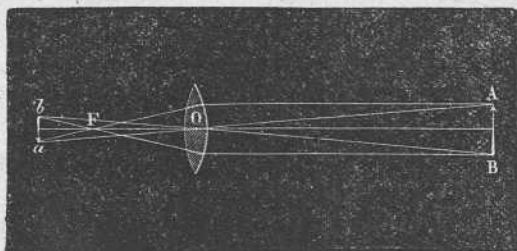


Fig. 283.

de la lente convergente O . Para determinar la imagen de dicho objeto, y siguiendo la misma marcha que en los espejos cóncavos, trazaremos desde cada punto dos rayos, uno de los cuales sea el eje secundario, y el otro paralelo al eje principal; en el punto de concurso aparecerá la imagen buscada. Por tanto, desde el punto A trazaremos primero el eje secundario AOa , que atravesará la lente sin variar de dirección, y luego un rayo paralelo al eje principal, el que forzosamente pasará por el foco principal F , viniendo á cortar al rayo anterior en el punto a ; en este punto se pintará la imagen de la punta de la flecha. Para determinar la imagen del punto B , trazaremos igualmente el eje secundario BOb y otro rayo paralelo al eje principal, los que se cortarán en b , originando la imagen del punto B . La imagen de la flecha AB será, por tanto, aB , ó sea una *imagen real, invertida, más pequeña que el objeto y cerca del foco principal de la lente*.

Es evidente que si el objeto luminoso fuera la flecha aB , la imagen se formaría en AB ; es decir *real, invertida, ampliada y á gran distancia de la lente*.

Si el objeto luminoso AB (fig. 284) se encuentra entre la lente O y su foco principal f , el eje secundario AO y un rayo paralelo al eje principal salen divergentes, pero sus prolongaciones se cortan en el punto a , que será la imagen de aquél, así como b lo será del punto B . La imagen es en este caso *virtual, ampliada y derecha*.

725. Tamaño de las imágenes.—De la comparación de los triángulos se-

mejantes $A O B$ y $a O b$ (fig. 283) resulta la proporción $\frac{A B}{a b} = \frac{p}{p'}$. El valor de p' hemos visto (723) que es $\frac{p f}{p-f}$, de modo que se podrá calcular el tamaño $a b$ de la imagen conociendo el del objeto $A B$, la distancia p á que se halla de la lente, y su

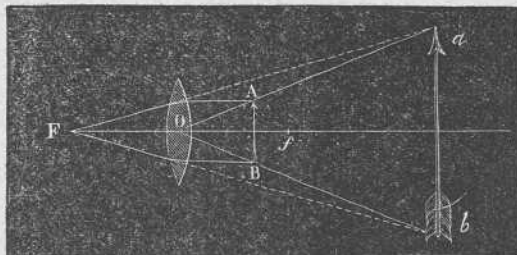


Fig. 284.

distancia focal f . En el caso de ser $p = 2f$, resulta $p' = 2f$, y entonces el objeto y su imagen son iguales. Si $p > 2f$, resulta $p' < 2f$, y entonces la imagen es menor que el objeto. Si $p < 2f$, el valor de $p' > 2f$ y la imagen es mayor que el objeto, siendo real si $p > f$ y virtual si $p < f$.

726. Determinación de la distancia focal de una lente convergente.—Para resolver este problema basta exponer la lente á los rayos solares, de modo que aquéllos caigan paralelos á su eje principal; por medio de un cartón blanco, que se aproxima ó separa convenientemente, se recoge la imagen del Sol lo más reducida posible, y se mide la distancia del cartón al centro de la lente, cuya magnitud representará su distancia focal.

Puede también obtenerse dicha distancia focal, colocando una regla, fuertemente iluminada, delante de la lente, y buscando después el sitio en que hay que colocar una pantalla para que la imagen resulte del mismo tamaño; conseguido esto, bastará, por lo dicho antes, dividir por dos la distancia entre la lente y dicha regla. Este es el fundamento del *foco-metro de Silbermann* destinado á dicho objeto.

B.—Lentes divergentes.

727. Refracción de la luz en las lentes divergentes.—Estas lentes siempre producen focos virtuales. Sean, en efecto, C y C' los centros de curvatura de una lente bicóncava (fig. 285), y supongamos un punto luminoso situado en el infinito sobre el eje principal CC' . Los rayos emitidos por dicho punto vendrán paralelos al eje, y uno de ellos, tal como el SI , se refractará al penetrar y salir de la lente, marchando por último en la dirección $I'T$. Dicho rayo no puede cortar al eje principal hacia la derecha del

grabado, pero su prolongación le corta en el punto F' , en el cual concurrirán las prolongaciones de todos los rayos refractados paralelos al eje principal,

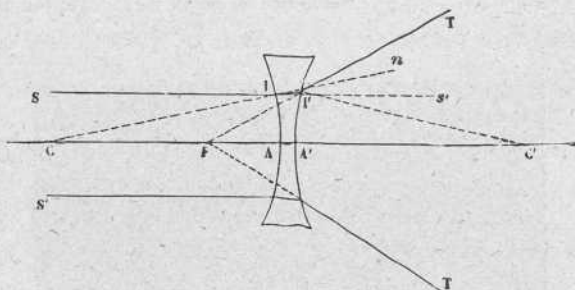


Fig. 285.

si la lente tiene poca abertura. Dicho punto F' recibe el nombre de *foco principal* de la lente y vemos que es *virtual*.

Si el objeto luminoso se acerca á la lente y se coloca en P (fig. 286), el

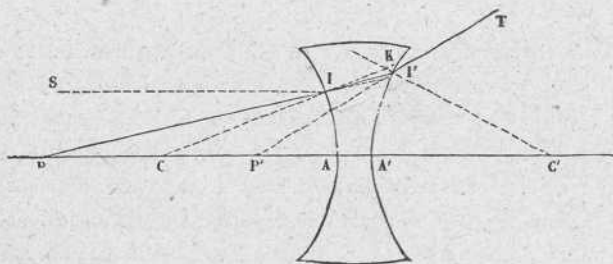


Fig. 286.

rayo PI sufre también dos refracciones, al penetrar y salir de la lente, tomando por último la dirección $I'T$. Este rayo se desvía más del eje principal que el correspondiente del caso anterior, así que su prolongación cortará al eje principal en un punto P' , más próximo á la lente; este es el *foco conjugado* del punto P , y también observamos que es *virtual*. Á medida que se acerque á la lente el punto luminoso, se aproximará también á ella su foco correspondiente, y podemos decir, por lo tanto, que mientras el objeto luminoso avanza desde el infinito hasta tocar en la lente, el foco correspondiente, siempre virtual, recorre tan sólo el espacio que media entre el *foco principal* y la lente.

728. Fórmula de las lentes divergentes.—Por un procedimiento análogo al que hemos empleado para hallar la fórmula de las lentes convergentes, se puede determinar la ecuación de las divergentes, pero podemos deducirla con más facilidad

aplicando á aquélla, como hicimos al ocuparnos de los espejos convexos, la ley de Descartes. Considerando la figura 286 y comparándola con la 282, podemos observar, que las cantidades p' y f tienen signo contrario al que tenían en las lentes convergentes. Mudando, por tanto, los signos de dichas cantidades, queda aquella fórmula convertida en esta otra:

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

que es la fórmula de las lentes divergentes.

729. Construcción de las imágenes.—Supongamos un objeto MN colocado delante de una lente divergente (fig. 287). Para determinar el foco correspondiente á uno

de sus puntos M , trazaremos primeramente el eje secundario MO , sobre cuya línea ha de estar dicho foco. Considerando además el rayo MI , paralelo al eje principal, sabemos que

después de refractarse, su prolongación IF ha de pasar por el foco principal F de la lente, y cortará al eje secundario en un punto m , que será el foco buscado. De igual modo

determinaremos el foco n correspondiente al punto N , y, por tanto, la imagen de la flecha MN será la mn , virtual, más pequeña, derecha y situada entre el foco principal y la lente; en la figura 288 se

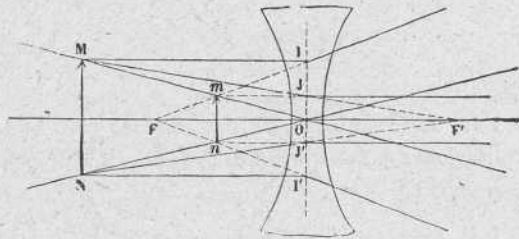


Fig. 287.

ve claramente la disminución que sufre la imagen de un jarrón visto á través de una lente divergente.

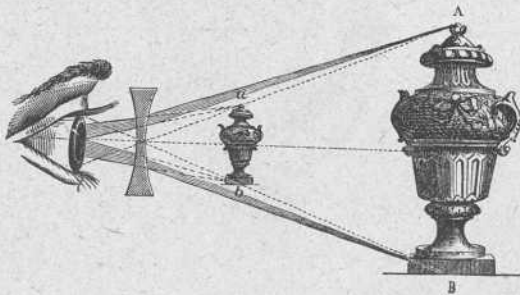


Fig. 288.

730. Tamaño de las imágenes.—Comparando los triángulos semejantes OMN y Omn de la (fig. 287), podemos establecer la proporción $\frac{mn}{MN} = \frac{p'}{p}$. Sustituyendo en esta igualdad el valor de $p' = \frac{pf}{p+f}$ deducido de la fórmula general de estas lentes, tendremos $\frac{mn}{MN} = \frac{f}{p+f}$, y de aquí $mn = MN \times \frac{f}{p+f}$, cuya fórmula resuelve la cuestión.

731. Determinación del foco principal de una lente divergente.

— Para averiguar el valor de la distancia focal de una lente divergente, se sigue un procedimiento análogo al que indicamos al hablar de los espejos convexos. Se recubre la lente II' (fig. 289) con un papel negro, y se hacen en él dos orificios á igual distancia del centro; exponiendo luego la lente á los rayos solares, se recoge la imagen de los dos rayos que penetran por dichos orificios en un cartón blanco, aproximándole ó separándole de la lente hasta que las imágenes SS' disten entre sí el duplo de la distancia que hay entre ambos orificios. Midiendo, por último, la distancia de la pantalla á la lente se tiene la distancia focal principal, como se comprende fácilmente sin más que examinar la figura.

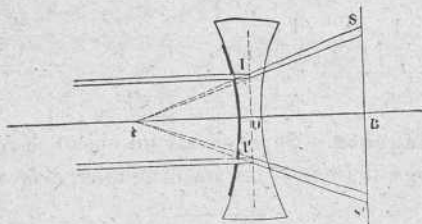


Fig. 289.

732. Aplicaciones de las lentes.—Las lentes han recibido numerosas aplicaciones en los diferentes aparatos de Óptica que dentro de poco tendremos ocasión de enumerar.

Sirven, además, para proyectar los rayos de un foco luminoso á gran distancia, constituyendo en este caso el fundamento de los faros dióptricos.

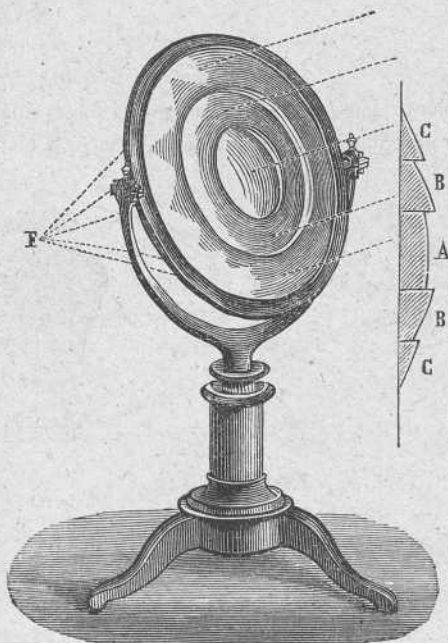


Fig. 290.

Si suponemos, en efecto, una luz intensa colocada en el foco principal de una lente convergente, sabemos (721-3.º) que los rayos luminosos, después de la refracción, salen paralelos al eje principal de dicha lente, y por esta razón no decrecerá su intensidad luminosa sino por la falta de diafanidad del aire. Las lentes destinadas á este objeto deben ser de foco muy corto,

y para evitar el excesivo grueso que sería necesario darlas, y la absorción consiguiente de la luz, ha inventado Fresnel las lentes de escalones (fig. 290). Estas consisten en una serie de aros de cristal cuyas curvaturas correspon-

den á una sola lente plano-convexa; dichos aros se hallan colocados alrededor de una lente central, y sujetos con un círculo metálico. Disponiendo en el foco principal de dichas lentes una luz de gran intensidad, se obtiene un cilindro de rayos luminosos que puede ser visto desde una gran distancia.

ARTÍCULO II.

REFRACCIÓN Á TRAVÉS DE MEDIOS HETEROGÉNEOS.

733. Cristales birrefringentes.—En los cuerpos homogéneos, que hasta ahora hemos estudiado, para un rayo incidente sólo resulta otro refractado, y esto es lo que constituye la *refracción sencilla*; pero hay algunos cuerpos cristalizados, tales como el *espato de Islandia*, que tienen la propiedad de bifurcar el rayo incidente, constituyendo este fenómeno la *doble refracción*.

Existen muchos cuerpos que tienen la mencionada propiedad, tales son: el *espato de Islandia*, la *turmalina*, el *rubi*, el *zafiro*, la *esmeralda*, etc., y puede decirse de un modo general que, á excepción de los que cristalizan en el sistema cúbico, todos los demás cuerpos cristalizados son *birrefringentes*.

734. Cristales de uno y dos ejes.—Examinando la refracción de la luz en los cuerpos birrefringentes, se observa que hay algunos cristales en los que no se bifurca el rayo incidente en una determinada dirección, llamada *eje óptico del cristal*; estos cuerpos han recibido el nombre de *cristales de un eje*, y Brewster ha observado en ellos que su *eje óptico coincide con el cristalográfico*. Corresponden á este grupo, entre otros, el *espato de Islandia*, el *cuarzo* y la *turmalina*.

Hay, en cambio, otros cristales que presentan la refracción sencilla en dos distintas direcciones, y se les llama *cristales de dos ejes*, entre los que figuran la *mica*, *topacio del Brasil*, el *azúcar* y los *sulfatos de níquel*, *magnesia*, *barita*, *potasa* y *hierro*.

735. Marcha de la luz en los cristales de un eje.—El mejor tipo de esta clase de cristales es el *espato de Islandia*, ó sea el *carbonato de cal romboédrico*, cuyo *eje cristalográfico* está representado por la línea que une los vértices *a* y *b*, correspondientes á los triédros obtusos (fig. 291). Se llama *sección principal* la línea que resulta de cortar al cristal por un plano que, pasando por su *eje óptico*, sea perpendicular á una de sus caras; tal es la *abcd*.

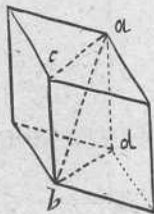


Fig. 291.

Si suponemos que el paralelogramo ab (fig. 292), representa la sección principal de un romboedro de espató islándico, un rayo luminoso PI , procedente del punto P , se bifurcará al penetrar en el cristal, siguiendo dos direcciones, y originará los rayos emergentes o y e . Otro rayo PI' , procedente del mismo punto, dará á su vez origen á los rayos o' y e' , cortándose en c los rayos e y o' . Ahora bien;

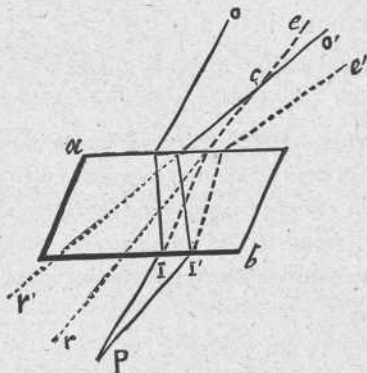


Fig. 292.

si en este punto de concurso c coloca su pupila un observador, percibirá dos imágenes r y r' del punto luminoso P . Si en estas condiciones se hace girar al cristal alrededor de su centro, se nota que la imagen r' permanece fija, mientras que la otra gira en derredor suyo, lo cual prueba que sólo la primera sigue las leyes que ya conocemos de la refracción sencilla (708). A ésta se llama *imagen ordinaria y rayo ordinario* el que la produce, mientras que la otra imagen, y el rayo respectivo,

reciben el nombre de *extraordinarios*. Haciendo una línea negra sobre un papel, y colocando encima un romboedro de espató islándico (fig. 293), al hacer girar éste se observan perfectamente ambas imágenes.

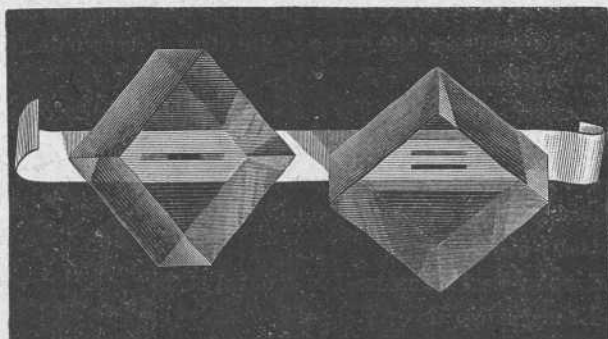


Fig. 293.

En algunos cristales el rayo extraordinario presenta menor índice de refracción que el ordinario, como acontece en el espató de Islandia, en la turmalina y la mica, los que han recibido el nombre de *cristales negativos*. En otros, al contrario, es mayor el índice de refracción del rayo extraordinario

rio, como sucede en el cuarzo y en el hielo, y se llaman *cristales positivos*.

736. Causas de la doble refracción.—Este fenómeno reconoce por causa la falta de homogeneidad que en su masa presentan los cuerpos birrefringentes. Buena prueba de ello es, que ningún cuerpo líquido, ni gaseoso, y lo mismo los sólidos que han estado fundidos, presentan la doble refracción. Lo mismo acontece en los cristales; el único sistema en que estos cuerpos son homogéneos es el cúbico, y por eso nunca se nota la citada propiedad en dichos sólidos.

Confirma, además, esta hipótesis el hecho de poder adquirir el cristal común la doble refracción cuando pierde su homogeneidad, ya por la acción del temple, ó bien por su compresión verificada en un solo sentido.

CAPÍTULO IV.

Dispersión de la luz.

ARTÍCULO PRIMERO.

ANÁLISIS DE LA LUZ BLANCA.

737. Descomposición de la luz á través de los prismas.—Si se hace penetrar por un pequeño orificio, practicado en la pared de una habita-

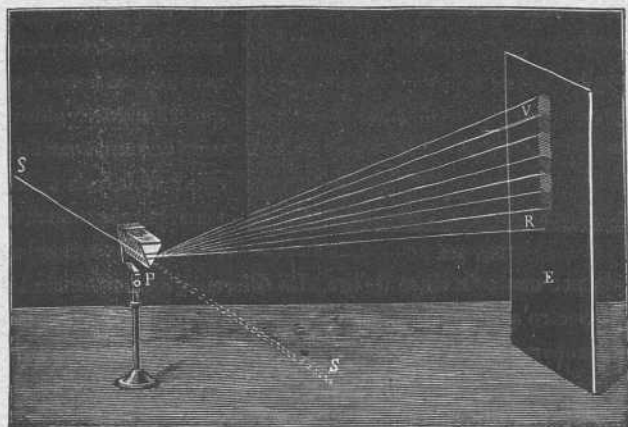


Fig. 294.

ción oscura, un rayo de luz solar, y se interpone en su trayecto un prisma de cristal, se observará que dicho rayo, además de refractarse, se alarga en un sentido perpendicular á la arista del prisma, produciendo en una pantalla *E* (fig. 294), colocada á cierta distancia, una serie magnífica de colores,

cuya reunión ha recibido el nombre de *espectro solar*, y el fenómeno *dispersión de la luz*. Para obtener un buen espectro es necesario que la luz del Sol penetre por una abertura longitudinal de cuatro á seis centímetros, y medio milímetro de ancha, y que el prisma, además de hallarse exento de burbujas, esté colocado con su arista paralelamente á la abertura por donde penetra la luz, y en el minimum de desviación. Si se recibe el rayo solar, después de atravesar dicho prisma, en una pantalla blanca colocada en una cámara oscura á cinco ó seis metros del orificio, aparecerá el fenómeno con toda claridad.

Los diferentes colores que se observan en el espectro, empezando por el que menos se desvía de la dirección que lleva la luz incidente, son éstos: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado*.

Este brillante experimento, verificado la vez primera por Newton, fué explicado por dicho sabio admitiendo que la luz blanca del Sol no es simple, sino que resulta de la superposición de siete clases de rayos, teñidos con cada uno de los colores del espectro; estos diferentes rayos tienen, además, la propiedad de refractarse desigualmente al atravesar un mismo cuerpo diáfano, siendo ésta la verdadera causa de la dispersión.

La hipótesis de Newton se comprueba por las proposiciones siguientes:

738. Los colores del espectro son simples y desigualmente refrangibles.—Esto se demuestra dejando pasar uno de los rayos del espectro por una abertura (fig. 295) practicada en una pantalla *a b*, colocada en

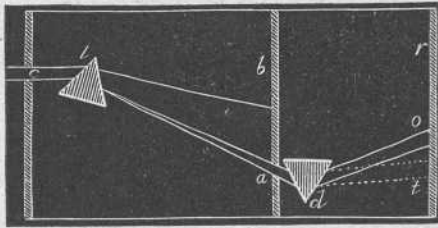


Fig. 295.

una cámara oscura; interponiendo en el trayecto de dicho rayo otro prisma *d*, se observa que el rayo elegido se alarga un poco en sentido perpendicular á la arista del prisma, pero aparece todo él del mismo color, lo que prueba que está

constituido por una sola clase de luz. La diferente refrangibilidad de los colores del espectro queda probada por el mismo hecho de la dispersión, pero puede comprobarse fácilmente, observando á través de un prisma una tira de papel, mitad roja y mitad azul, colocada paralelamente á la arista de aquél; en este caso se observa que, la parte correspondiente al color azul, se aleja mucho más que el rojo de la base del prisma, lo que prueba que el índice de refracción de la luz azul es mayor que el de los rayos rojos.

739. Recomposición de la luz blanca.—Puede comprobarse la teoría de Newton, de que antes hemos hablado, reuniendo los diferentes colores del espectro, y observando que por su mezcla resulta la luz blanca.

distancia focal; dicho cristalino tiene, además, mayor densidad en su centro que en los bordes, circunstancia que evita en parte las aberraciones de refrangibilidad y esfericidad que, de otro modo, presentaría esta lente. Debajo de la parte opaca de la esclerótica se halla colocada una membrana oscura *L*, llamada *coroides*, cuyo papel es absorber la luz difusa que penetra en el ojo, y se halla recubierta por otra sumamente tenue *K*, llamada *retina*, formada por una expansión del *nerbio óptico M*, por el cual se transmiten al cerebro las sensaciones que el ojo recibe. Según lo expuesto, resulta dividido este órgano en dos cavidades, llamadas *cámaras del ojo*; la *cámara anterior B*, comprendida entre la córnea transparente y el cristalino, está llena de un líquido muy fluido, conocido con el nombre de *humor acuoso*, y la *cámara posterior L*, constituida por la cara interna del cristalino y la retina, se halla ocupada por el *humor vítreo*, líquido espeso y transparente contenido entre las mallas del *cuerpo vítreo*.

752. Mecanismo de la visión.—Al atravesar la córnea transparente y el humor acuoso la luz que procede de los objetos colocados delante del ojo, se refracta un poco hacia el eje del órgano, por formar dicho humor una lente plano-convexa. De los rayos que llegan al iris, tan sólo pueden penetrar en la cámara posterior los que caen en la pupila, y éstos, al atravesar el cristalino, vuelven á refractarse, yendo á pintar por fin en la retina una imagen *real, invertida y muy pequeña* del objeto en cuestión. La pupila, por su facultad contráctil, sólo permite el paso de la cantidad de luz necesaria para que la imagen resulte clara. Puede comprobarse esto tomando el ojo de un animal recientemente muerto, y después de adelgazar con un bisturí la parte posterior de la esclerótica, se le coloca delante de una bujía encendida dentro de una habitación oscura, en cuyo caso se observa la imagen de aquélla, invertida y muy pequeña, pintada con toda claridad.

Los fisiólogos han ideado varias hipótesis para explicar por qué vemos los objetos derechos, siendo así que se pintan invertidos en la retina. La más admisible supone que, por el sentido del tacto, aprendemos desde luego á referir la posición de los objetos, no al sitio en que se pintan en la retina, sino al punto de donde proceden los rayos que aquéllos emiten.

Otra cuestión debatida en Fisiología es la *acomodación del ojo* para percibir con claridad las imágenes de objetos colocados á diferentes distancias. Resulta, en efecto, que si el ojo no pudiera variar en sus dimensiones, sólo se verían con claridad los objetos colocados á una cierta distancia del cristalino, pues los que estuvieran más lejanos producirían la imagen delante de la retina, y los más próximos detrás de aquélla. Se explica este fenómeno admitiendo que en un ojo constituido normalmente, se pintan exactamente

en la retina las imágenes de los objetos colocados á una gran distancia. Si el objeto se acerca, los procesos ciliares comprimen el cristalino, aumenta su curvatura y disminuye su distancia focal, hasta que se dibuja con claridad en la retina la imagen de aquél. Esta compresión tiene naturalmente su límite, de donde resulta que, si el objeto se halla demasiado próximo, su imagen se pinta más allá de la retina, y entonces no se ve con claridad. La menor distancia á que puede percibirse claramente la imagen de un objeto se llama *distancia mínima de la visión distinta* y, para los caracteres comunes de imprenta en una vista normal, es de 30 á 35 centímetros.

753. Principales defectos del ojo humano.—En algunos individuos, por un exceso de curvatura en los elementos ópticos del ojo, se pinta la imagen de los objetos delante de la retina, constituyendo esta propiedad el defecto orgánico llamado *miopía*. Para contrarrestarle se usan lentes divergentes de diferente *grado*, las que, separando los rayos luminosos, hacen que se reúnan y formen la imagen en la misma retina. Otros individuos, por el contrario, tienen algo aplanadas las curvaturas de los medios transparentes del ojo, y aunque compriman con el mayor esfuerzo el cristalino, se pintan las imágenes de los objetos próximos detrás de la retina. Para compensar esta falta de acomodación del ojo, llamada *presbicia*, hay necesidad de usar lentes convergentes de diferente *grado*, según la intensidad del defecto, las que hacen converger lo necesario á los rayos luminosos para que la imagen se dibuje claramente en la retina.

Existe también otro defecto del ojo, llamado *astigmatismo*, originado por la irregularidad de las curvaturas de la córnea y cristalino. Éste da por resultado el no percibir con claridad á ninguna distancia, excepto en determinadas direcciones, las imágenes de los objetos; puede corregirse, en algunos casos, por medio de lentes disimétricas, que compensen aquella irregularidad.

754. Percepción de los colores.—Examinando la retina con aparatos de gran amplificación, han observado los fisiólogos que está compuesta de varias capas, siendo la más importante la de *Jacob ó de los bastoncitos*. Dicha membrana se halla formada por la reunión de infinidad de cilindros y conos, colocados perpendicularmente al plano de la retina, y según el color de la luz recibida, se modifican los extremos libres de algunos de ellos, transmitiendo al nervio óptico la impresión correspondiente.

Algunos individuos carecen de aptitud para distinguir ciertos colores, confundiéndo los en un tono intermedio, lo que constituye el defecto llamado *daltonismo*, para cuyo mal no se conoce remedio.

755. Persistencia de las impresiones en la retina.—La impresión de los rayos luminosos en la retina dura un cierto tiempo después de cesar

aquéllos. Basta, en efecto, para comprobarlo, hacer girar rápidamente un carbón encendido atado á una cuerda, en cuyo caso el observador percibe un círculo completo incandescente. Otra prueba de lo mismo es el color agrisado que se observa haciendo girar el disco de Newton (739).

La duración de dicha impresión es variable para cada individuo, y sólo llega á una pequeña fracción de segundo.

En esta propiedad de la retina está fundado el *fenakisticopio*, con cuyo aparato se consigue ver en movimiento un objeto pintado en las diferentes posiciones que adquiere para ejecutar una acción determinada.

756. Visión sencilla y doble.—Se llama *visión sencilla* la que tiene lugar al observar un objeto con sólo uno de los ojos. En este caso las visuales dirigidas á los extremos de aquél forman el *ángulo visual*, el cual disminuye á medida que se aleja el objeto. Existe, pues, una relación determinada entre la distancia, tamaño y ángulo visual con que se percibe un objeto, y basta para hallar el valor de cualquiera de estos elementos, resolver el triángulo formado por los mismos. La costumbre de comparar el ángulo visual de objetos conocidos, nos permite averiguar la distancia aproximada á que se encuentran aquéllos.

Recibe el nombre de *visión doble*, la que se verifica con ambos ojos simultáneamente. *Eje óptico* es la línea para la cual es simétrico el globo del ojo. Á pesar de recibir cada uno de los ojos la impresión del objeto á que se dirigen, la sensación resulta única, y se ve tan sólo una imagen de aquél. Se explica esto admitiendo que los puntos impresionados en ambas retinas, son *correspondientes* á un mismo filete nervioso del cerebro, bifurcado al penetrar en cada uno de aquéllos; por esto, si se desvía el eje óptico de un ojo, comprimiéndole lateralmente, aparece doble la imagen del objeto á que se dirige la vista.

Se llama *ángulo óptico*, el que forman los dos ejes ópticos de ambos ojos, cuando se dirigen á un mismo punto. Su valor depende de la distancia á que esté el objeto, y sirve, como el ángulo visual, para apreciar la distancia á que aquél se encuentra.

La visión doble, ó *vinocular*, nos permite también apreciar el volumen de los objetos, pues la impresión que reciben cada una de las retinas, al mirar un objeto próximo, no es igual para ambas. Puede compróbarse esto, mirando alternativamente con cada uno de los ojos un objeto cualquiera, tal como un *dado*, en cuyo caso las imágenes percibidas por aquéllos corresponde á lo que indica la (figura 302).

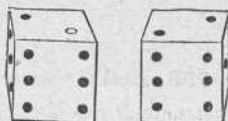


Fig. 302.

757. Estereoscopio.—Fundado en estos hechos ideó M. Wheatstone el aparato conocido con el nombre de *estereoscopio*, con el que se obtiene la ilusión del relieve. Consiste en una caja, dividida en dos por un tabique vertical (fig. 304), en cuyo fondo se ponen dos pruebas fotográficas de un mismo objeto, pero sacadas con una máquina que tiene dos objetivos idénticos, colocados á la distancia de los ojos. En la cara anterior lleva el aparato dos lentes con cierta inclinación, para lograr que ambas imágenes

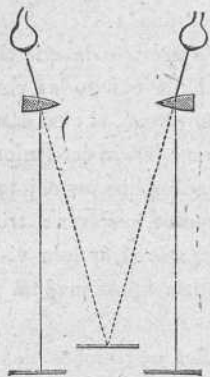


Fig. 303.

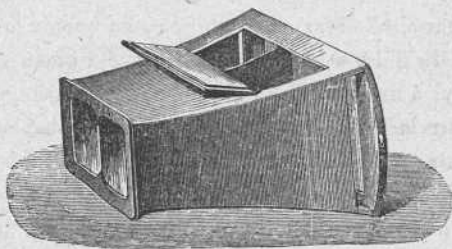


Fig. 304.

lleguen á la retina como si procedieran de un mismo punto (fig. 303), y al mirar por dichas lentes se percibe realmente el relieve del objeto observado.

CAPÍTULO VI.

Instrumentos de Óptica.

ARTÍCULO PRIMERO.

APARATOS DE PROYECCIÓN.

758. Definiciones.—Reciben el nombre de *aparatos de proyección* los instrumentos de Óptica, por cuyo intermedio se obtiene sobre una pantalla la *imagen real* del objeto que se estudia. Los principales son: la *cámara oscura*, la *linterna mágica*, el *microscopio foto-eléctrico* y el *solar*.

759. Cámara oscura.—Se da este nombre á todo recinto cerrado, y

provisto en una de sus paredes de un orificio, por donde pueden penetrar los rayos luminosos emitidos por los objetos exteriores.

Ya indicamos (680) que al penetrar la luz por un pequeño orificio hecho en una cámara oscura, se formaba en la pared opuesta una imagen coloreada del objeto colocado delante; esta imagen resulta siempre débil, por proceder del pequeño número de rayos que pasan por dicho orificio, pero puede obtenerse con gran brillo y claridad agrandando aquél, y colocando delante una lente convergente. Situando un cristal deslustrado en el foco conjugado del sitio que ocupa el objeto, se tendrá una imagen invertida y real de éste, la que puede dibujarse sobre un papel de calcar, aplicado encima. Para evitar la molestia que resulta al aparecer invertida dicha imagen, se puede colocar dentro de la cámara oscura un espejo plano inclinado 45° , en cuya superficie se reflejarán los rayos luminosos, yendo á formar una imagen derecha en la pared superior de la cámara.

De todos modos, siempre resulta muy molesto y de resultados poco prácticos este sistema de dibujo. Afortunadamente se ha conseguido que la luz se encargue de hacer tan penoso trabajo, y la serie de operaciones que se requieren para conseguir tan notable resultado, ha recibido el nombre de *fotografía*.

760. Daguerreotipo.—Los primeros resultados obtenidos con este objeto se deben á Daguerre y Niepce. Dichos físicos observaron, en 1838, que una lámina de plata, expuesta previamente en una habitación oscura á los vapores del yodo, se hacía sensible á la acción de la luz, sufriendo el yoduro de plata, así obtenido, un principio de reducción. Esta acción química puede luego continuarse por el intermedio de ciertos reactivos.

Partiendo de este descubrimiento, lograron reproducir en la cámara oscura la imagen de objetos fuertemente iluminados, y aun hacer retratos exponiendo el sujeto á la acción directa del sol; pero el *daguerreotipo* presentaba, entre otros, dos grandes inconvenientes: uno exigir un tiempo exagerado en la exposición del objeto que se quería reproducir, y otro el no dar más que una *prueba* de dicho objeto, necesitando repetir todas las operaciones si se necesitaba alguna otra reproducción.

Hoy, gracias á los trabajos de muchos físicos y fotógrafos distinguidos, se ha llegado á una gran perfección en este maravilloso arte, cuyos últimos procedimientos vamos á exponer brevemente.

761. Cámara fotográfica.—Los aparatos fotográficos empleados hoy día, no se diferencian en su parte esencial de la cámara usada por Daguerre, pero han sufrido diferentes modificaciones que los hacen más prácticos y de mejores resultados. Uno de los modelos más corrientes es el que representa la figura 305. La cámara os-

cara se halla dividida en dos compartimientos, dispuestos de modo que el *M* pueda penetrar en el *N*, sin dejar por esto paso á la luz. En la parte anterior lleva fijo el objetivo *A B*, y en la cara opuesta un cristal esmerilado *G*, fijo en un marco para po-

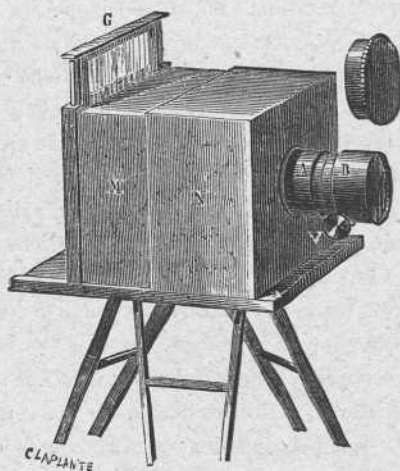


Fig. 305.

derle sacar cuando convenga. Para viaje es preferible el uso de otros aparatos, en los que están sustituidas las paredes de la caja por láminas de tela plegadas en forma de fuelle, é impermeables á los rayos solares, con lo que resultan aquéllos de menos peso y volumen.

Los objetivos que actualmente se usan consisten (fig. 306) en un tubo de latón provisto de dos lentes convergentes acromáticas, cuyas curvaturas están calculadas para producir una imagen clara del objeto que se quiere reproducir. Los hay de diferentes clases, según el trabajo que se quiere realizar, y reciben los nombres de *euroscópicos*, *rectilíneos*, *gran-angulares*, etc. Todo el aparato va sostenido en un tripode que permite colocarle fácilmente en diferentes alturas é inclinaciones.

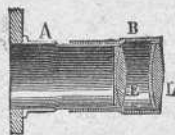


Fig. 306.

762. Procedimiento al gelatino-bromuro de plata.

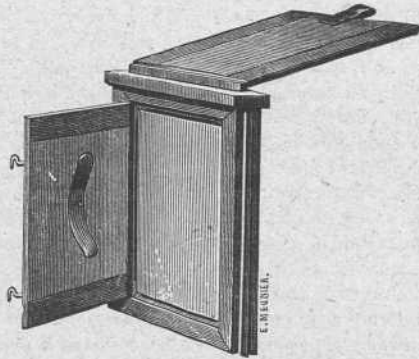
— De los varios métodos usados en la fotografía para reproducir la imagen de un objeto, ninguno reúne las ventajas que el citado, y vamos por eso á describirle con algún detalle.

La sustancia impresionable es, como lo indica su nombre, el bromuro de plata, interpuesto en una masa de gelatina extendida sobre láminas de cristal. Su preparación es bastante delicada, pero la Industria se encarga de tal operación, y se venden cajas de *placas secas al gelatino-bromuro de plata* que dan magníficos resultados, conservándose casi indefinidamente si se las coloca en un paraje bien seco.

Para seguir paso á paso las diferentes operaciones que exige la reproducción fotográfica de un objeto, supondremos que se trata de hacer un retrato en un patio ó jardín con buena luz.

La primera operación es *cargar el chasis* de la máquina (fig. 307), colocando en él una placa al gelatino-bromuro del tamaño conveniente. Para ello es indispensable

instalarse en una habitación privada completamente de la luz del día, llamada por los fotógrafos *gabinete oscuro*, y alumbrarse con la luz de una bujía encerrada en una linterna provista de cristales rojos; de otro modo se alterarían inmediatamente las placas que han de recibir después la impresión de los rayos luminosos. Una vez puesta la placa en el chasis, y bien cerrada la cortinilla de éste, se lleva al sitio que ocupa la cámara y el modelo. Entonces se procede á colocar éste convenientemente, procurando no caiga de frente la luz, pues en este caso resultaría un retrato sin sombras de un efecto poco artístico. Luego, aislándose de la luz exterior por medio de un paño negro, y haciendo funcionar la cremallera de la máquina, se procede á *enfocar* el modelo, ó sea á hacer que se pinte su imagen en el cristal deslustrado con toda claridad. Conseguido esto, se quita el cristal deslustrado y se reemplaza por el *chasis* que contiene la placa, tapando el objetivo con su obturador y descorriendo la cortinilla del chasis. En seguida se llama la atención del modelo para que permanezca inmóvil, y se destapa el objetivo, manteniéndole abierto de 1 á 10", según la intensidad de la luz, rapidez del objetivo y clase de placas usadas. Terminada la *exposición* se tapa el objetivo, se baja la cortinilla del chasis y se lleva éste al gabinete oscuro.



Sacando allí la placa expuesta, se nota, con sorpresa, la falta absoluta de alguna señal que indique en ella la impresión de la luz, y es que la imagen se halla en un estado latente. Para hacerla aparecer hay que valerse de un baño, llamado por esto *revelador*, cuya composición es muy variable, siendo uno de los más usados el siguiente:

Disolución de oxalato de potasa al 30 por %	3 partes.
Disolución de sulfato ferroso al 30 por %	1 »

Se hace la mezcla en una copa graduada, y se echa de una vez sobre la placa, colocada con la cara emulsionada hacia arriba en una *cubeta* de porcelana, procurando, por movimientos convenientes de ésta, que toda ella quede bien cubierta por el baño revelador. Se continúa agitando este baño, y al cabo de 1' próximamente, si la exposición fué la que debía ser, empieza á aparecer la imagen, adquiriendo poco á poco en 4 ó 6' toda la intensidad que debe tener el *cliché*, que así se llama esta primera prueba. Desde luego se observa que en este cliché están invertidos los tonos del modelo, apareciendo blanco el cabello y negra la cara; así debe ser efectivamente, puesto que las partes claras emiten mucha luz é impresionan fuertemente el bromuro de plata, mientras que las partes oscuras no alteran dicha sustancia, por no reflejar casi la luz.

Una vez bien desarrollado el cliché se lava, á ser posible, en agua corriente, y desde este momento ya puede suprimirse el cristal rojo de la linterna, alumbrándose directamente con la luz de la bujía.

Si se expusiera dicho cliché por algún tiempo á la luz blanca, concluiría por ennegrecerse todo el bromuro de plata no descompuesto, perdiéndose la imagen obtenida; para evitarlo se introduce en otra cubeta con el siguiente baño de *fijar*:

Hiposulfito de sosa	20
Agua	100

Al cabo de ocho ó diez minutos la capa blanca de bromuro de plata se disuelve completamente, y entonces puede sacarse el cliché á la luz natural; sólo queda, para terminar el *negativo* así obtenido, lavarle durante ocho ó diez horas y dejarle secar en el *escurridor*.

Para obtener, por medio de dicho negativo, una imagen *positiva*, ó sea con las tintas en el mismo sentido que el modelo, pueden seguirse también varios procedimientos, siendo el más usado el del *papel albuminado*. Para preparar este papel se empieza por disolver 3 gramos de sal común en 100 centímetros cúbicos de claras de huevo batidas y filtradas, y una vez dispuesto el líquido en una cubeta, se coloca sobre su superficie una hoja de papel durante cuatro ó cinco minutos, procurando no queden burbujas de aire; luego se saca con cuidado y se deja secar, colgado por uno de sus lados.

Para sensibilizar este papel, una vez seco, se le deja descansar por la cara albuminada sobre una disolución de nitrato de plata al 10 por %, practicando esta operación, y lo mismo la de secarle colgado por uno de sus ángulos, alumbrándose con luz amarilla ó artificial. El nitrato de plata, en contacto del cloruro de sodio, se transforma en cloruro de plata y nitrato de sosa; esta sal es indiferente á la acción de la luz, pero el cloruro se ennegrece bajo su influencia. Este papel se vende ya perfectamente *albuminado* y *sensibilizado* en todos los comercios de productos fotográficos.

Para sacar con él una prueba positiva, se corta un trozo del tamaño del cliché, y se coloca en una *prensa de imprimir* (fig. 308), pero teniendo cuidado de aplicar la cara

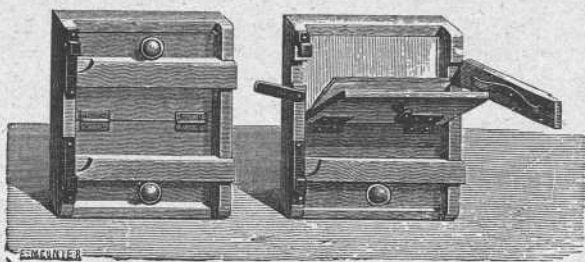


Fig. 308.

albuminada sobre la gelatina del cliché, y que éste, además, reciba primero la luz exterior. Expuesta la prensa á la luz difusa (fig. 309), por un tiempo variable, según la



Fig. 309.

densidad del cliché y el estado del cielo, se va dibujando la imagen en el papel albuminado, pero con las tintas cambiadas respecto á las del negativo, y por lo tanto, en

el mismo sentido que tienen en el modelo. Sucede, en efecto, que por las partes negras del negativo no pasa la luz exterior, y queda el papel blanco, ocurriendo lo contrario en los sitios transparentes de aquél, los que permiten el paso á la luz é impresionan la parte correspondiente del papel sensible. Para juzgar el estado de la impresión y darla por terminada en el momento oportuno, está dividida en dos trozos la tableta que cierra la prensa (fig. 308), y de este modo puede observarse á la luz de una bujía, ó recinto poco iluminado, la marcha de la operación, sin que el papel se mueva y deje de coincidir luego en las mismas partes del negativo. Hay que exceder bastante la impresión, teniendo en cuenta que en las sucesivas operaciones se debilita mucho el tono obtenido.

Terminada esta operación se procede á lavar la prueba en agua, y en seguida se somete al baño de *virar*, cuyo objeto es cambiar el tono sepia que tienen las pruebas por otro color violado más agradable. De las muchas fórmulas que pueden usarse para formar este baño de virar, una de las mejores y más sencillas es la siguiente:

Agua.	1 litro.
Creta en polvo.	10 gr.
Cloruro de oro.	1 gr.

Se agita la mezcla por algun tiempo y se deja reposar veinticuatro horas, pudiendo entonces usarse, después de *decantar* la parte clara. Para ello se van introduciendo en este baño, una á una, las pruebas que se hayan impresionado, cuidando de que el líquido las moje por igual, y evitando por su movimiento que se peguen unas á otras. Transcurridos unos minutos empieza á cambiar el tono de la prueba, empezando por el color purpúreo, violáceo y, por último, negro azulado. Conseguido el tono que se desea, se sacan una á una dichas pruebas, y se ponen en una cubeta con agua abundante.

Después de lavadas pasan las pruebas al *baño de fijar*, cuyo objeto es disolver el cloruro de plata no atacado por la luz. Dicho baño se compone de

Agua.	100
Hiposulfito de sosa.	10

Introducidas las pruebas en este baño, se mantienen en él 15', agitándolas de cuando en cuando, y, por último, se lavan en agua corriente durante seis horas; si esto no fuera posible, se renueva el agua con frecuencia y se prolonga el lavado hasta doce horas. Por último, se colocan dichas pruebas entre papel secante y, húmedas todavía, sepegan con engrudo en cartulinas Bristol.

763. Procedimiento al platino.—Las pruebas positivas obtenidas por el anterior procedimiento presentan gran riqueza de detalles, y una finura admirable, pero tienen el grave inconveniente de alterarse por la acción de los agentes atmosféricos. Para evitar esto puede usarse el *procedimiento al platino*, cuyos principales detalles vamos á exponer. Desde luego advertiremos que los negativos más convenientes para este sistema, son aquellos que presentan fuertes contrastes de luz y sombra, ó sea los llamados por los fotógrafos clichés *duros*. La preparación del papel al platino es algo delicada, y es preferible comprarlo ya preparado. Se impresiona en la prensa de imprimir como el papel albuminado y se retira de la acción de la luz cuando la imagen se dibuja ligeramente. Luego se revelan las pruebas en el siguiente baño:

Agua.	100
Oxalato de potasa.	30
Ácido oxálico.	1

Se coloca este líquido en una cubeta de hierro esmaltado y se eleva su temperatura

hasta cerca de su ebullición. Se toma una prueba y se introduce de una vez en el baño, observando con cuidado el desarrollo de la imagen; llegada ésta al tono conveniente, se saca rápidamente la prueba y se pone en una cubeta con agua ligeramente acidulada con ácido clorhídrico, hasta que desaparezca el color amarillo del papel. Por último, se lavan dichas pruebas durante media hora en agua abundante y, por fin, se pegan en cartulinas á propósito. Las pruebas al platino tienen un tono negro de china muy artístico, y son completamente indelebles, pero no dan la finura ni detalles que las del papel albuminado, por lo que, unido á su mayor coste, no se han generalizado todo lo que era de esperar.

764. Cámara lúcida.—El objeto de este pequeño aparato es reproducir en plena luz la imagen de un objeto colocado á distancia conveniente. El modelo de Wollaston consiste en un prisma cuadrangular (fig. 310), montado en un pie metálico y provisto de una pinza para asegurarle en la tabla de una mesa. Dicho prisma, cuya sección está representada en la (fig. 311),

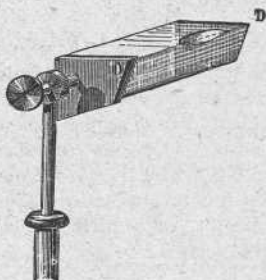


Fig. 310.

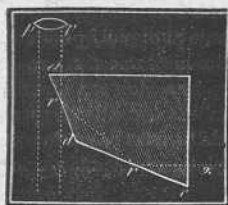


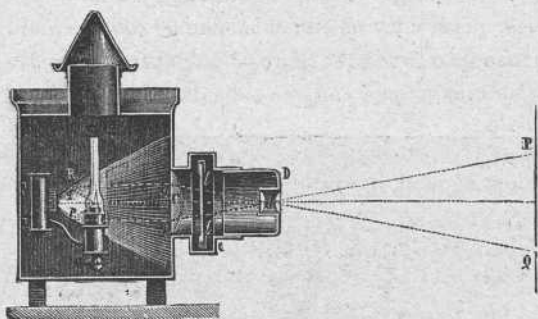
Fig. 311.

tiene un ángulo recto, dos de $67^{\circ} \frac{1}{2}$, y otro de 135° . Colocado delante del objeto que se quiere reproducir, y de tal manera que una de las caras del ángulo recto sea vertical, los rayos emitidos por dicho objeto penetran en ella normalmente, y no cambian su dirección, pero al llegar á la cara *de* sufren la reflexión total, y van á reflejarse nuevamente en la *ad*, saliendo por fin en la dirección *ap*. Situando en esta dirección la *pupila* se verá el objeto sobre un plano horizontal, y en él puede dibujarse sobre un papel, siguiendo sus contornos con un lápiz, cuya punta se percibe directamente.

El inconveniente mayor de este aparato consiste en que la punta del lápiz y la imagen del objeto no se pintan en el mismo plano. Este defecto se puede corregir interponiendo una lente divergente en el camino que llevan los rayos procedentes del objeto, y aun mejor tallando la arista emergente del prisma en forma cóncava, con lo cual se forma una imagen virtual del objeto en el mismo plano que se halla situado el papel. Por último, la diferente intensidad que presentan la imagen del objeto y la punta del lápiz se corrige por medio de cristales ahumados, colocados convenientemente.

765. Linterna mágica.—Este aparato sirve para proyectar sobre una pantalla la imagen ampliada de un objeto.

Se compone de una caja de madera ó metal (fig. 312), en cuyo interior



• Fig. 312.

hay un quinqué, provisto de un reflector cóncavo; en el lado opuesto al reflector se halla implantado un tubo, armado de una lente convergente *C* de gran diámetro, llamada *condensador*, cerca de la cual se colocan, pasándolas por una ranura practicada en el tubo, las vistas pintadas en cristal que quieren proyectarse. Dentro de este tubo penetra, á frotación, otro que lleva en su parte terminal una lente convergente *D*, llamada *objetivo*, la que suele reemplazarse, en los aparatos bien contruidos, por un sistema de dos lentes acromáticas.

Esto supuesto, los rayos luminosos emitidos por el quinqué y su reflector llegan al condensador *C*, el cual los concentra sobre el objeto *ll*, continuando en forma de cono convergente hasta el objetivo *D*; al atravesarle salen aquéllos divergentes, y van á pintar, en la pantalla *PQ*, una imagen ampliada é invertida del objeto. Es evidente que para obtener con este aparato una imagen clara, debe situarse el objetivo de tal modo, que el objeto y la pantalla ocupen dos focos conjugados de dicha lente, lo cual se consigue sacando ó introduciendo el tubo en que está montado dicho objetivo.

La ampliación que puede obtenerse con la linterna mágica depende de la distancia á que esté colocada la pantalla, no olvidando, sin embargo, que debe relacionarse con el foco luminoso colocado en su interior; pues habiendo de repartirse la luz que aquél emite en la superficie ocupada por la imagen, ésta resultaría muy débil, si el foco luminoso careciese de la intensidad conveniente. Bajo este concepto la *luz Drummond*, y aun mejor la *luz eléctrica*, se prestan admirablemente para obtener magníficas proyecciones, que sirven

grandemente para la demostración de ciertos fenómenos ante una gran concurrencia (*).

Algunas veces se usan dos linternas, colocadas paralelamente, para producir cambios en las imágenes proyectadas en el mismo lienzo, obteniendo efectos notables, que se conocen con el nombre de *cuadros disolventes*.

766. Microscopio foto-eléctrico.—Este aparato (fig. 313) sólo se diferencia de la linterna mágica en que el objetivo es de foco muy corto, y el

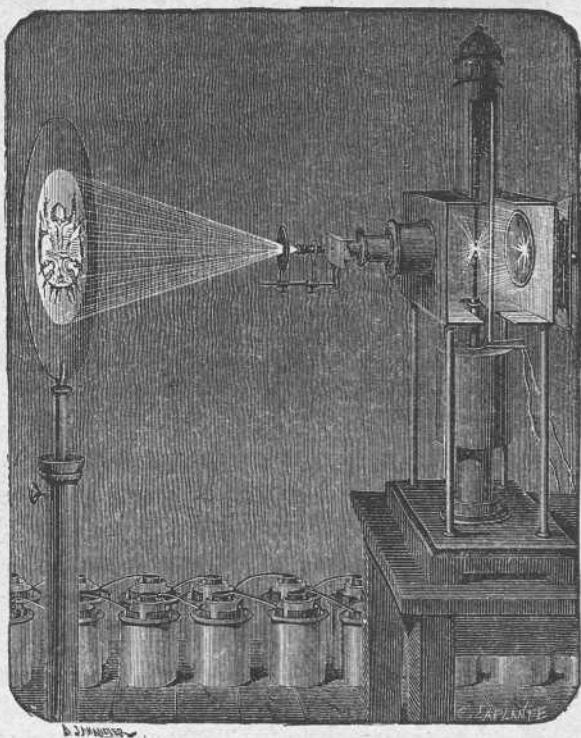


Fig. 313.

origen luminoso es siempre la luz eléctrica. Efecto de la gran curvatura del objetivo, los rayos emitidos por el pequeño objeto que se quiere proyectar salen muy divergentes, y la imagen obtenida en la pantalla resulta extraordinariamente ampliada.

767. Microscopio solar.—La luz eléctrica del anterior aparato puede

(*) Este método le usamos con éxito hace algunos años en nuestras explicaciones valiéndonos de una magnífica linterna que posee el Instituto, alumbrada con un foco de luz eléctrica de 1.000 bujías de intensidad.

sustituirse con la del Sol, y entonces recibe este instrumento el nombre de *microscopio solar*. Para ello se dispone en la parte exterior de una ventana, que mire aproximadamente al Sur, un reflector ó *porta-luz E* que pueda tomar diferentes inclinaciones (fig. 314), y se practica en aquélla un orificio donde se implanta el tubo *T* del microscopio antes descrito. Maniobrando el espejo desde el interior, por medio de unos botones dispuestos convenientemente, se logra dirigir los rayos solares reflejados por aquél al centro del

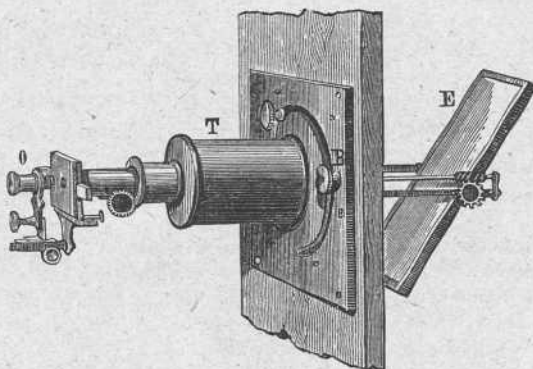


Fig. 314.

microscopio, con lo que se consigue una iluminación magnífica del objeto que se quiere proyectar, y, como consecuencia, una imagen sumamente amplificada del mismo sobre la pantalla colocada al efecto.

El microscopio solar presenta, sin embargo, varios defectos; uno de ellos consiste en la inseguridad de que haga Sol el día que se quiera utilizar, unido á la dificultad de encontrar una ventana convenientemente orientada donde instalarle. Otro inconveniente estriba en el continuo cambio que sufre la dirección de los rayos solares, lo que obliga á estar corrigiendo constantemente la inclinación del espejo. Por estos defectos, es preferible el uso del microscopio foto-eléctrico para experimentos que hayan de repetirse con frecuencia.

ARTÍCULO II.

MICROSCOPIOS.

768. Definiciones.—Reciben el nombre de *microscopios* los aparatos de Óptica destinados á producir una imagen virtual amplificada de objetos que, por sus pequeñas dimensiones, no pueden observarse directamente. Estos importantes instrumentos pueden ser *simples y compuestos*.

769. Microscopio simple.—Este aparato, en su forma más sencilla, consiste en una lente convergente. Supongamos, en efecto, un cuerpo ab (figura 315) colocado entre una

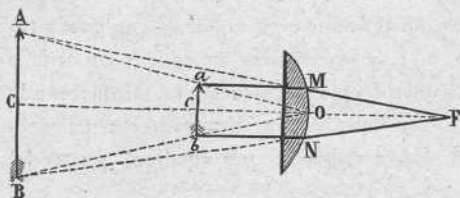


Fig. 315.

lente convergente y su foco principal. Los rayos emitidos por el punto a salen divergentes después de atravesar la lente, y producen en A una imagen virtual de aquél, sucediendo otro tanto con los demás rayos emitidos por el cuerpo; de aquí resulta una imagen de dicho objeto *amplificada, virtual y derecha*. Acercando, más ó menos, el cuerpo ab á la lente se logrará que su imagen AB ocupe el sitio de la visión distinta del observador, en cuyo caso éste la percibirá con claridad.

770. Amplificación del microscopio simple.—Se llama amplificación de una lente la relación que existe entre los diámetros aparentes de la imagen y del objeto, colocados ambos á la distancia de la visión distinta. Para hallar dicha relación supongamos un objeto ab (fig. 315) colocado entre una lente convergente y su foco principal. La imagen del punto a la obtendremos trazando el eje secundario ao y el rayo aM , paralelo al eje principal de la lente, el cual le cortará, después de atravesar la lente, en su foco principal F ; prolongando estos dos rayos, su intersección A nos dará la imagen del punto a . Por igual procedimiento podremos obtener el punto B , imagen del b . Ahora bien; para que la imagen AB se observe con claridad, es necesario que aparezca á la distancia de la visión distinta del observador, luego esta distancia debe ser igual á CO , y á su vez, el objeto ab habría que colocarle en el mismo sitio para observarle sin fatigar la vista. La relación de sus diámetros aparentes resulta entonces $\frac{AB}{ab}$, y como son semejantes los triángulos AOB y aoB , puede sustituirse dicha razón por esta otra $\frac{CO}{cO}$, que representa la amplificación de la lente de que se trata. Pero hemos dicho que CO es la distancia de la visión distinta del observador, y que cO es, aproximadamente, la distancia focal principal de la lente; luego representando aquélla por D y ésta por f , la relación anterior estará expresada por la fracción $\frac{D}{f}$, que es la fórmula de la amplificación de una lente convergente.

770. Amplificación del microscopio simple.—Se llama amplificación de una lente la relación que existe entre los diámetros aparentes de la imagen y del objeto, colocados ambos á la distancia de la visión distinta. Para hallar dicha relación supongamos un objeto ab (fig. 315) colocado entre una lente convergente y su foco principal. La imagen del punto a la obtendremos trazando el eje secundario ao y el rayo aM , paralelo al eje principal de la lente, el cual le cortará, después de atravesar la lente, en su foco principal F ; prolongando estos dos rayos, su intersección A nos dará la imagen del punto a . Por igual procedimiento podremos obtener el punto B , imagen del b . Ahora bien; para que la imagen AB se observe con claridad, es necesario que aparezca á la distancia de la visión distinta del observador, luego esta distancia debe ser igual á CO , y á su vez, el objeto ab habría que colocarle en el mismo sitio para observarle sin fatigar la vista. La relación de sus diámetros aparentes resulta entonces $\frac{AB}{ab}$, y como son semejantes los triángulos AOB y aoB , puede sustituirse dicha razón por esta otra $\frac{CO}{cO}$, que representa la amplificación de la lente de que se trata. Pero hemos dicho que CO es la distancia de la visión distinta del observador, y que cO es, aproximadamente, la distancia focal principal de la lente; luego representando aquélla por D y ésta por f , la relación anterior estará expresada por la fracción $\frac{D}{f}$, que es la fórmula de la amplificación de una lente convergente.

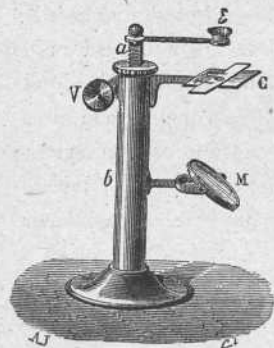


Fig. 316.

La lente que constituye el microscopio sencillo suele montarse, para su fácil manejo, en el soporte representado en la fig. 316. En l se halla la lente, que puede subir ó bajar por medio de un piñón y una cremallera movidos por el botón V ; en C existe una plataforma taladrada en su centro, sobre la que se coloca en un cristal el objeto que se

quiere examinar, y en *M* hay un espejo cóncavo que refleja y concentra sobre aquél los rayos luminosos procedentes del cielo ó de una luz artificial.

Recordando la fórmula $\frac{D}{f}$ de la ampliación de una lente, resulta que para obtener un gran aumento es necesario que *f* sea muy pequeño, lo que obligaría á fabricar las lentes con una curvatura exagerada. Esto originaría una gran aberración de esfericidad y es preferible, para lograr dicho objeto, colocar dos lentes convergentes, una á continuación de otra; generalmente se usan para este fin dos lentes plano-convexas, colocadas en un tubo á cierta distancia y de modo que se miren las caras curvas; este aparato recibe el nombre de *ocular compuesto*, y se usa en varios instrumentos de Óptica.

771. Microscopio compuesto.— Este aparato, reducido á su parte esencial, consiste en dos lentes convergentes colocadas en los extremos de un tubo ennegrecido interiormente. Una de ellas *C* (fig. 317), es de pequeño diámetro y de foco muy corto, y, por hallarse próxima al objeto *ab* que se examina, recibe el nombre de *objetivo*. La otra *o*, es de mayor diámetro, de foco más largo y se la llama *ocular*.

La marcha de la luz en este aparato se verifica del modo siguiente: Colocado el objeto *ab* un poco más allá del foco principal del objetivo *C*, se forma una imagen real, ampliada é invertida, en el plano *a'b'*, cuya imagen se observa á través de la ocular *o*, que vuelve á ampliarla, produciendo en definitiva, una imagen *AB*, ampliada é invertida respecto del objeto que se examina.

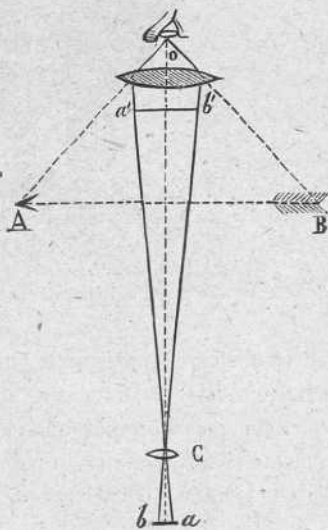


Fig. 317.

772. Amplificación del microscopio compuesto.— El aumento de este aparato, resulta evidentemente del producto de las ampliaciones respectivas del ocular y objetivo, puesto que la relación de la imagen al objeto, es igual á $\frac{AB}{ab} = \frac{AB}{a'b'} \times \frac{a'b'}{ab}$. Calculadas, pues, por medio de la fórmula $\frac{D}{f}$, las ampliaciones respectivas de ambas lentes, bastará multiplicarlas para obtener la ampliación total en diámetros. En los buenos aparatos se obtiene con claridad un aumento de 1.000 *diámetros*, lo que basta para la mayor parte de las investigaciones microscópicas.

Recibe el nombre de *campo del microscopio* el espacio que puede observarse á través del instrumento; dicho espacio se halla limitado por la prolongación del cono

$C a' b'$ hasta el plano en que está situado el objeto. Se comprende fácilmente que cuanto mayor es la amplificación del aparato más reducido será su campo.

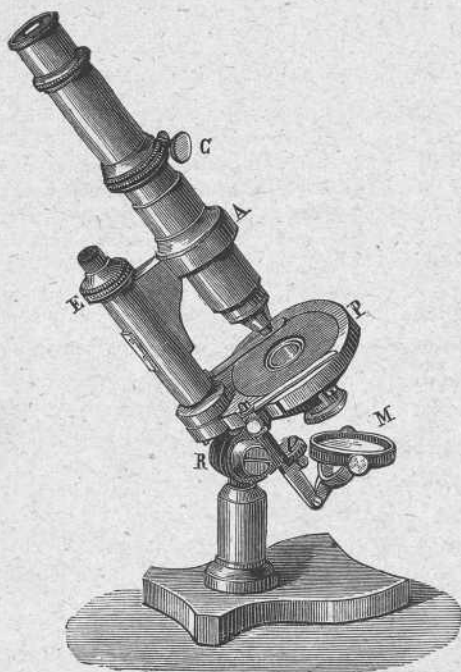


Fig. 318.

llan en el seno de un líquido, pues se comprende fácilmente que en este caso es indispensable que la platina P quede bien horizontal. En cambio, para reproducir por la fotografía los objetos estudiados, debe colocarse horizontalmente el tubo del microscopio, dándole en los demás casos la inclinación con que aparece en el grabado.

Uno de los modelos de microscopio compuesto más usados es el que representa la fig. 318. En A está el tubo que contiene las lentes ocular y objetiva, el cual puede aproximarse ó separarse del *porta-objetos* P por medio del tornillo C , ó moviéndose, á fricción, dentro de otro tubo en que va sujeto. La iluminación de los objetos, que generalmente son transparentes, se obtiene con el espejo M , movable en todos sentidos, y á su vez todo el aparato puede inclinarse más ó menos para servir de él con comodidad.

Esta disposición es muy conveniente para el estudio de los fenómenos que se desarro-

ARTÍCULO III.

ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.

773. Definiciones.—Reciben, en general, el nombre de *anteojos* los aparatos destinados á producir una imagen ampliada de los objetos colocados á gran distancia. Si sólo entran lentes en su construcción, se llaman *anteojos*, y si figura en ellos algún espejo cóncavo toman el nombre de *telescopios*.

774. Anteojo astronómico.—Este instrumento tiene por objeto, como su nombre lo indica, el estudio de los astros. Consiste en un tubo ennegre-

cido interiormente y provisto en sus extremos de dos lentes convergentes L y L' (fig 319). La que mira al objeto, llamada *objetivo*, es de gran diámetro y de foco largo, y aquella por donde se mira recibe el nombre de *ocular*, siendo su distancia focal muy corta y de pequeño diámetro.

Los rayos $A B$, procedentes de un objeto situado á gran distancia, produ-

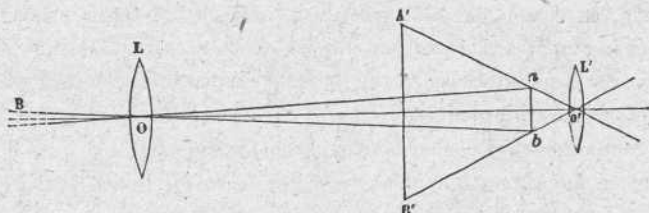


Fig. 319.

cen en el foco principal del objetivo L una imagen real $a b$, invertida y muy pequeña, pero muy brillante, la cual se observa con la lente ocular L' , que hace el papel de un microscopio simple, resultando la imagen virtual $A' B'$ amplificada é invertida. La posición del ocular L' puede variarse introduciendo ó sacando dentro del cuerpo del anteojo un pequeño tubo en que está montada, con lo cual se consigue obtener una imagen clara del objeto, cualquiera que sea su distancia y el grado de vista del observador.

775. Amplificación.—La amplificación de este anteojo resulta, como en el microscopio, de la relación entre los diámetros aparentes de la imagen y del objeto, ó bien del cociente $\frac{a O' b}{a O b}$

formado por los ángulos con que se percibe, desde ambas lentes, la imagen $a b$. Mas, teniendo en cuenta que dichos ángulos son siempre muy pequeños, dicha relación es sensiblemente igual

$\frac{O a}{O' a}$, y puesto que $O a$, es igual á la distancia focal F del objetivo, y $O' a$ á la correspondiente f del ocular, la fracción anterior podrá representarse por $\frac{F}{f}$. Re-



Fig. 320.

sulta, por tanto, que un anteojo, aumentará tanto más cuanto mayor sea la distancia focal del objetivo y menor la del ocular; ó lo que es lo mismo, cuanto más largo sea, puesto que su longitud depende casi exclusivamente de F .

Este aparato en su conjunto está representado en la (fig. 320). En O se halla el objetivo, que debe ser acromático; en O' el ocular, el que por medio de una cremallera y un piñón movido por el botón V , puede cercarse ó separarse de aquél. Por último, en t lleva un pequeño antejo, llamado *buscador*, para dirigir el instrumento al punto del cielo que quiere examinarse.

Sucede, en efecto, que el *campo* de los antejos es tanto menor, cuanto mayor es la amplificación que con ellos se obtiene, y hay bastante dificultad en encontrar el punto del astró que quiere observarse. Esta dificultad se evita con el uso de dicho buscador, el cual, por tener poco aumento, presenta mucho campo; en su foco lleva un retículo formado por dos hilos de araña cruzados en ángulo recto, y una vez colocado su eje óptico paralelo al del antejo, el objeto que aparezca en el cruzamiento de dichos hilos, estará precisamente en el campo del instrumento.

776. Antejo terrestre.—Este instrumento, conocido también con el nombre de *antejo de larga vista*, es una modificación del astronómico para evitar la inversión de las imágenes, inversión que no ofrece inconveniente tratándose de los astros, pero que resulta de muy mal efecto en los objetos terrestres.

Para conseguirlo, se coloca detrás de la imagen $a b$, producida por el objetivo (fig. 321) una lente O'' , cuya distancia focal sea $a O''$, y de este modo

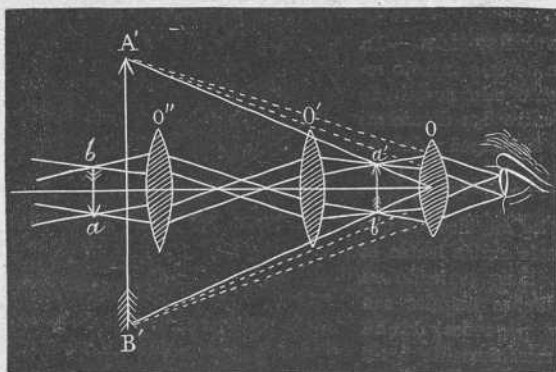


Fig. 321.

los rayos emitidos por dicha imagen siguen paralelos después de atravesarla. A poca distancia se halla otra lente O' , generalmente igual á la anterior, con lo que dichos rayos formarán otra imagen $a' b'$, igual á la primera, pero derecha respecto del objeto; y, por último, se observa esta imagen con un ocular O , como en el antejo astronómico.

El conjunto de las dos lentes $O'' O'$ se llama *vehículo*, y puede retirarse

fácilmente del aparato convirtiéndole en un anteojo astronómico. Como el cristal no es absolutamente transparente y las lentes no son en rigor perfectas, resultan las imágenes observadas con este anteojo menos claras y no tan exactas como en el astronómico.

777. Anteojo de Galileo.— Este anteojo, llamado también *anteojo de teatro*, consiste en un tubo ennegrecido interiormente, en cuyos extremos lleva dos lentes. El *objetivo* O (fig. 322) es convergente y acromático, y el ocular O' es divergente. Aquél tiende á formar una imagen real é invertida

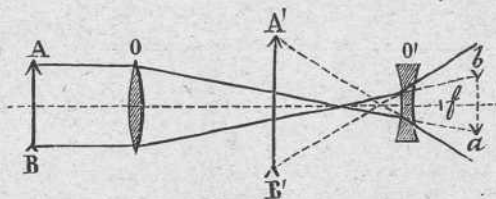


Fig. 322.

del objeto en $a b$; pero antes de que se reúnan los rayos que la habían de formar, se interpone la lente divergente O' que los dispersa. Las prolongaciones de éstos se cortan en $A' B'$, produciendo una imagen virtual derecha y ampliada, la cual se observa mirando desde el punto f . El ocular O' puede aproximarse ó separarse del objetivo, para que la imagen aparezca á la distancia de la visión distinta del observador.

El aumento de este anteojo se obtiene, como en el astronómico, dividiendo la distancia focal del objetivo por la del ocular. Sirve también para la observación de los objetos terrestres cuando no se necesita gran ampliación, y produce imágenes más claras que el anteojo de larga vista, por no tener que atravesar la luz más que dos lentes. Generalmente se montan paralelamente dos anteojos para observar con ambos ojos á la vez.

778. Telescopio de Gregory.— Consiste este aparato, dedicado como todos los de su clase á las observaciones astronómicas, en un espejo cóncavo $M N$ (fig. 323), colocado en el fondo de un tubo ennegrecido interiormente. En el eje del aparato y cerca de su extremo abierto, lleva otro pequeño espejo cóncavo $m n$, sostenido en el centro por un pie delgado. El gran espejo $M N$ tiene una abertura circular en su centro, en la que va montada una lente convergente O . Todo el aparato está sostenido por un pie articulado, de tal modo, que puede dirigirse en todas direcciones.

La marcha de la luz en este telescopio es la siguiente: Los rayos luminosos procedentes del astro observado llegan sensiblemente paralelos, y después de su reflexión en el espejo $M N$, forman una imagen real $a b$ inver-

tida y más pequeña. La luz procedente de esta imagen vuelve á reflejarse en el espejo $m n$, y por estar éste un poco más distante de aquélla que su

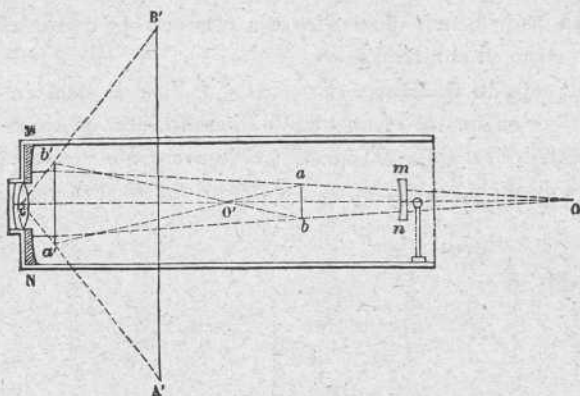


Fig. 323.

distancia focal, forma otra imagen real $a' b'$ invertida y ampliada respecto de la primera; esta imagen se observa á través de la lente ocular O' , que vuelve á ampliarla, produciendo, por último, la $A' B'$ virtual y derecha respecto del astro.

779. Telescopio de Newton.— Otro modelo de telescopio, bastante usado, es el de Newton, el cual consiste (fig. 324) en un espejo cóncavo $M N$

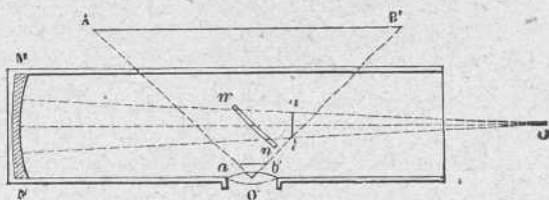


Fig 324.

colocado en el fondo de un ancho tubo de madera. Los rayos procedentes del astro tienden á formar una imagen real $a b$ en el foco principal de dicho espejo, pero antes son reflejados hacia un lado por el espejo plano $m n$, con lo que resulta aquélla transportada á un plano $a' b'$, simétrico del $a b$ respecto del espejo. Esta imagen $a' b'$ se observa á través de la lente ocular O' , que la amplifica y conserva en la misma posición $A' B'$.

La amplificación de estos aparatos resulta igual á $\frac{F}{f}$, siendo F la distancia focal del espejo cóncavo y f la de la lente ocular.

780. Comparación de los telescopios y anteojos astronómicos.

— Si se atiende tan sólo á la reflexión y refracción de la luz en esta clase de aparatos, queda desde luego la ventaja en favor de los telescopios, pues mientras que en los espejos todos los rayos, cualquiera que sea su color, se reflejan del mismo modo, en las lentes se dispersan con arreglo á su diferente índice de refracción, obligando, para evitarlo, á valerse de lentes acromáticas, difíciles de construir y de un precio muy elevado. Mas este defecto de las lentes está largamente compensado por la facilidad con que los espejos se oxidan y pierden su brillo, produciendo entonces imágenes muy débiles y confusas. Además, un pequeño defecto en la superficie de un espejo, ó un cambio en la temperatura de alguna porción del mismo, produce mayor alteración en la imagen que si se trata de igual imperfección en una lente. Por último, á igualdad de abertura, los telescopios presentan un *campo* mucho más reducido que los anteojos.

Todas estas razones han hecho que poco á poco vayan abandonándose los telescopios, sobre todo desde que el acromatismo de las lentes ha llegado á la perfección que hoy tiene.

CAPÍTULO VII.

Fenómenos producidos por la naturaleza especial de las vibraciones del éter.

ARTÍCULO PRIMERO.

INTERFERENCIAS.

781. Naturaleza de las vibraciones del éter.— Al exponer la teoría de los fenómenos luminosos (676), indicamos que éstos se suponían originados por el movimiento vibratorio de un fluido sumamente sutil y elástico, llamado *éter*. También apuntamos la idea de que dichas vibraciones eran transversales, ó sea, perpendiculares á la dirección en que se propaga el rayo luminoso.

Vamos ahora á describir una serie de fenómenos que prueban la verdad de lo antes expuesto.

782. Experimento de Fresnel. Interferencias.— Sobre dos espejos EO y OE' (fig. 325), que formen un ángulo muy obtuso, y situados en una habitación oscura, se hacen caer dos rayos luminosos LI y LI' , procedentes de un foco L de luz roja. Dichos rayos, después de reflejarse, van á concurrir en el punto N , al cual llegan como si procediesen de L' y L'' , imágenes respectivas del punto L en cada espejo. Esto supuesto, si se coloca en N un cartón blanco, paralelo á la intersección O

de dichos espejos, se observa en su centro una franja roja, y á derecha é izquierda franjas alternativamente oscuras y rojas, cuya intensidad va decreciendo á medida que se las considera más apartadas de la franja central. Si se intercepta uno de los

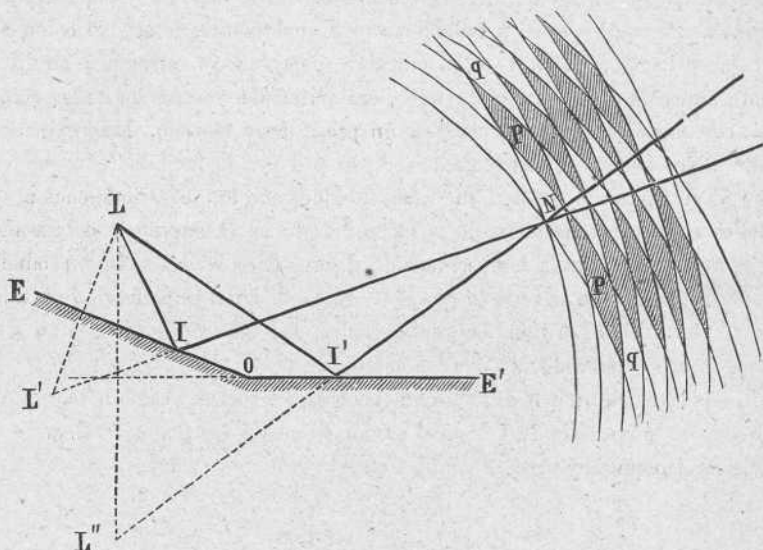


Fig. 325.

rayos IN ó $L'N$, inmediatamente desaparecen las franjas oscuras, quedando el cartón iluminado uniformemente por el rayo no destruido.

Resulta, por tanto, que cualquier sitio ocupado por las franjas oscuras recibe la luz de los dos puntos L' y L'' y, sin embargo, su efecto final es la destrucción mutua de ambas vibraciones; puede, pues, decirse en este caso, que *luz agregada á luz produce obscuridad*. Tal es el fenómeno conocido por *interferencias de la luz*.

La teoría de tan notable hecho, descubierto primeramente por Th. Young, y desarrollada admirablemente por Fresnel, es la siguiente: El éter luminoso, conmovido por los focos L' L'' , produce ondas de la misma amplitud é intensidad, puesto que ambos provienen de la reflexión del foco L en los dos espejos, y, además, en cada instante que se les considere han de estar, por la misma razón, en igual fase de su movimiento. Ahora bien; si trazamos desde dichos puntos L' y L'' una serie de círculos cuyos radios se vayan diferenciando en una semi-ondulación del éter, resultarán, de su mutuo cruzamiento, unos espacios romboidales NPQ , en los que el éter estará en equilibrio, ó vibrará con doble intensidad de la que corresponde á cada uno de los focos L' ó L'' , según correspondan aquéllos á vibraciones discordantes ó acordes. En efecto, en el espacio romboidal N , el éter se encuentra conmovido con doble intensidad de la que corresponde á cada foco, por pertenecer á dos semi-ondulaciones concordantes, y al colocar una pantalla en dicho espacio aparecerá en él una franja luminosa. Lo contrario sucederá en el espacio romboidal P , pues éste proviene del cruzamiento de dos ondulaciones que se hallan en fases opuestas y, como ambas son de igual intensidad, se destruirán mutuamente, dando lugar al equilibrio del éter; luego en la pantalla aparecerá en este sitio una franja oscura. En el rombo siguiente Q ambas ondulaciones vuelven á ser concordantes y, por tanto, habrá una franja bri-

llante, seguida de otra obscura, y así sucesivamente. Vemos, por tanto, que las interferencias de la luz reconocen una causa análoga á las del sonido, y prueban de un modo concluyente que la luz es originada por un movimiento vibratorio. Por la teoría de la emisión es absolutamente inexplicable este hecho.

Puede realizarse también el fenómeno de las interferencias por medio del *biprisma de Arago*, ó bien por medio de una pantalla con dos pequeños orificios muy próximos, como lo practicaron Grimaldi y Young. En todos estos métodos se consigue que un mismo foco luminoso se desdoble y produzca el efecto de otros dos de igual intensidad y en el mismo período de vibración, condición indispensable para que se realice el fenómeno.

Si en vez de usar, como hemos supuesto, la luz roja, nos valemos de un foco luminoso de otro color del espectro, notaremos que las franjas aparecen tanto más próximas unas de otras cuanto más refrangible sea la luz empleada; de donde resulta que, al valerse de la luz blanca para la obtención de las interferencias, se formarán separadas las franjas correspondientes á cada rayo, y aparecerán una serie de espectros con los rayos azules hacia el centro de la pantalla, á excepción de la franja central, que será blanca por superponerse todos los colores.

El fenómeno de las interferencias tiene una importancia capital en la Óptica, pues aparte de explicarse con su auxilio gran número de fenómenos interesantes, decide la cuestión sobre las hipótesis de la luz en favor de la teoría de las ondulaciones.

Puede, además, con su auxilio resolverse un problema interesante, cual es averiguar la longitud y velocidad de las diferentes vibraciones del éter, y de los cálculos relativos á este asunto, han deducido los físicos los siguientes números:

Colores.	Longitud de la onda.	Número de vibraciones por segundo.
Rojo.	0,000620 milímetros.	480 billones.
Anaranjado.	0,000583 »	511 »
Amarillo.	0,000551 »	541 »
Verde.	0,000512 »	582 »
Azul.	0,000475 »	622 »
Añil.	0,000449 »	664 »
Violado.	0,000423 »	704 »

Vemos aquí comprobado lo que indicamos al hablar de la teoría de las ondulaciones, es decir, que los diferentes colores que la luz puede presentar, dependen únicamente de la velocidad con que se verifiquen las vibraciones del éter, así como el tono de los sonidos depende, según vimos, de la rapidez con que vibra el cuerpo sonoro.

Esta teoría acaba de recibir una bellísima confirmación por M. Lippmann, miembro del Instituto de Francia, el que ha logrado reproducir fotográficamente los colores del espectro haciendo que interfirieran los rayos directos con los reflejados por la superficie del mercurio contenido en un chasis especial. Acaso este notable hecho sea el principio de la reproducción de los colores en fotografía.

783. Principio de Huyghens.—Efecto de la elasticidad del éter, y de su gran movilidad, resulta que las vibraciones de los diferentes puntos de la superficie de una onda no son independientes, y los rayos luminosos, al propagarse, no lo verifican aisladamente.

Fundado en esta consideración, y ayudado por el cálculo matemático, estableció Huyghens el siguiente principio:

« Los diferentes puntos de la superficie de una onda luminosa, tal como a b (figura 326), correspondientes á un foco F , pueden considerarse como otros tantos centros de vibración, de los que parten una serie de ondas secundarias que, avanzando con igual rapidez, producirán en su conjunto una nueva superficie de onda c d , por la cual podrá ser reemplazada la onda primitiva ab cuando ésta llegue al punto n .» De este importante principio resulta que un punto m recibe, no sólo la vibración rectilínea correspondiente al foco luminoso F , sino las radiaciones que

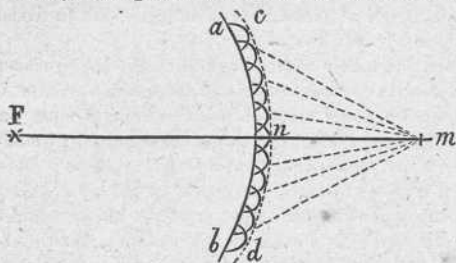


Fig. 326.

proviene de todos los puntos de la onda, considerados como nuevos centros de comoción del éter.

784. Difracción.—Si delante de un foco L de luz roja (fig. 327) se interpone

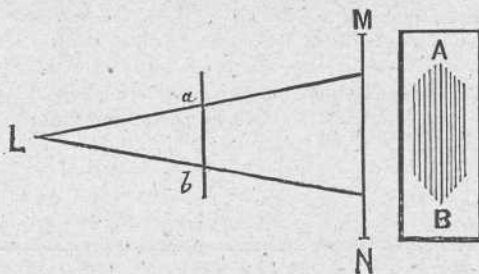


Fig. 327.

un cuerpo a b de dimensiones muy reducidas, tal como un cabello, y se hace caer sobre una pantalla M N la sombra que éste produce, se observará, tanto en dicha sombra como á su alrededor, una serie de franjas alternativamente rojas y oscuras A B , que constituyen el fenómeno de la difracción.

Si se mide la distancia que media entre cada dos franjas consecutivas, y se reemplaza la luz roja por otra más refrangible, tal como la azul, se obtienen, igualmente las franjas indicadas, pero éstas se hallan más próximas entre sí. Como consecuencia de esto resulta que, valiéndose de la luz blanca, las franjas obtenidas aparecerán irisadas, por separarse unos de otros los colores que constituyen dicha luz.

Si en vez de un cabello se interpone una pantalla, provista en su centro de un pequeño orificio, se obtendrán una serie de anillos consecutivos, irisados, si es luz blanca la empleada, y alternativamente oscuros y del color de la luz, si ésta es monocromática.

Se puede observar fácilmente este fenómeno, mirando la luz de una bujía á través de una abertura estrecha practicada con un cortaplumas en una tarjeta, ó bien observando un foco luminoso de dimensiones reducidas con los ojos entornados, en cuyo caso las pestañas sirven de pequeñas pantallas.

Este fenómeno lo explicó Fresnel fundándose en el principio de Huyghens, y es debido á la interferencia de los rayos que proceden directamente del foco luminoso con los que se originan en la superficie de la onda cortada por la pantalla.

785. Interferencias producidas por las mallas.—Si en una lámina

de cristal se practica con un diamante una multitud de rayas paralelas y muy próximas, y se observa á su través un foco de luz homogénea, se observan á los lados del punto que ésta ocupa una serie de bandas, alternativamente oscuras y brillantes, del color de la luz que se haya usado. Según sea la luz empleada más ó menos refrangible, así aparecen más ó menos esparcidas las bandas oscuras y, como consecuencia, usando en este experimento la luz blanca, dichas franjas se convierten en otros tantos espectros de una pureza admirable, en los que pueden distinguirse con un microscopio las principales rayas de Fraunhofer.

Se puede observar fácilmente este fenómeno mirando una luz intensa á través de un trozo de batista fina, ó de una pluma de ave, cuyas fibras producen el efecto de las rayas del cristal, de que antes hablamos. La causa y explicación de este hecho es la misma que hemos indicado al hablar de la difracción.

786. Anillos de Newton.—Si sobre un cristal plano (fig. 328), se coloca

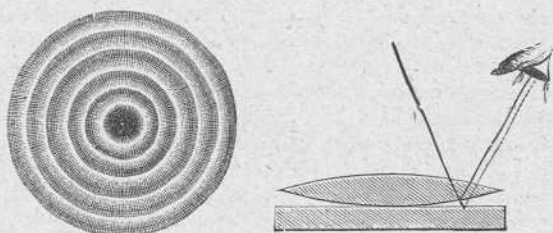


Fig. 328.

una lente convexa de foco muy largo, y se mira por reflexión, alumbrándose con luz roja, resulta en el punto de contacto una mancha negra, rodeada de varios círculos alternativamente rojos y oscuros. Valiéndose de la luz azul aparece el fenómeno de un modo análogo, pero los círculos resultantes tienen menor radio, resultando, como consecuencia, que al emplear la luz natural los diferentes círculos aparecen irisados. Igual fenómeno se observa examinando la luz transmitida por el anterior aparato, pero los colores resultan complementarios de los que antes indicamos. Estos anillos fueron descubiertos por Newton, por cuya razón se les conoce con el nombre de este sabio.

La causa de tan curioso fenómeno no es otra que la interferencia de los rayos reflejados respectivamente en la superficie curva de la lente y en la del cristal plano.

Estas irisaciones se observan siempre que la luz es reflejada por dos superficies que forman un pequeño ángulo y están muy inmediatas; como sucede en una burbuja de jabón próxima á estallar; en el nácar y en las hojas de talco y mica, en la superficie algo oxidada de los metales, en las plumas de muchas aves, etc.

ARTÍCULO II.

POLARIZACIÓN DE LA LUZ.

787. Definiciones.—Se dice que un rayo de luz está *polarizado* cuando pierde la propiedad de reflejarse ó refractarse en ciertas condiciones; esto no sucede nunca con la luz *natural*, cuyos rayos sabemos que se reflejan ó refractan siempre, cualquiera que sea la dirección en que se les considere.

La palabra *polarización* viene de haber supuesto en la teoría de la emisión que las moléculas del luminico tienen *polos y ejes*, los que después de refractarse ó reflejarse se orientan y colocan en una dirección determinada, suposición tan compleja que no es posible adoptarla.

La luz se puede polarizar por *reflexión, refracción, y por doble refracción.*

788. Polarización por reflexión.—Si se hace llegar un rayo de luz natural sobre un espejo de cristal negro, de modo que forme con su superficie un ángulo de $35^{\circ} 25'$, queda aquél polarizado después de la reflexión. Si el ángulo de incidencia no es el indicado, la luz sólo se polariza parcialmente, y por esto se ha convenido en llamar *ángulo de polarización* de una sustancia, aquel en que el rayo incidente se polariza lo más posible. También ha recibido el nombre de *plano de polarización* el plano de reflexión en que se polariza la luz; este plano coincide con el que forman los rayos incidente y polarizado.

Todas las sustancias polarizan la luz por reflexión más ó menos completamente; pero hay algunas, como los metales, en que esta modificación es apenas apreciable, mientras que en otras, como la *obsidiana*, el *mármol negro* y el *cristal de igual color*, se verifica dicho fenómeno con gran intensidad. El ángulo de polarización de cada sustancia es, en general, diferente de unos á otros cuerpos, y constituye un dato interesante de su naturaleza.

789. Polarización por refracción sencilla.—Si se hace caer un rayo de luz natural sobre una lámina de vidrio de caras paralelas, de modo que forme con su superficie un ángulo igual al de polarización ($35^{\circ} 25'$), parte de él se reflejará y otra parte se refractará á través de dicho cuerpo. Examinando ambos rayos, por los medios que ahora indicaremos, se observa que ambos están polarizados en planos perpendiculares entre sí; además, cada rayo contiene igual cantidad de luz polarizada, y reunidos constituyen la luz natural. Puede, por tanto, decirse con Arago que la luz natural está formada por dos haces de luz polarizados en ángulo recto.

790. Polarización por doble refracción.—Ya indicamos, al hablar de la doble refracción, que las sustancias birrefringentes tenían la propiedad de producir dos rayos emergentes para uno solo incidente. Aquellos rayos están ambos polarizados, pero en planos perpendiculares entre sí. El correspondiente á la imagen ordinaria está polarizado en el plano de la sección principal del cuerpo birrefringente, y el de la imagen extraordinaria en un plano perpendicular á dicha sección.

791. Propiedades de la luz polarizada.—Un rayo de luz polarizada que cae sobre un cristal negro, bajo un ángulo de $35^{\circ} 25'$, no puede reflejarse nuevamente, si el plano de incidencia es perpendicular al plano en que está polarizada la luz. Si dichos planos no son perpendiculares, se reflejará con tanta más intensidad cuanto más se acerquen aquéllos al paralelismo.

Al atravesar una sustancia birrefringente un rayo de luz polarizada, sólo produce una imagen, si la sección principal de aquélla es perpendicular ó paralela al plano de incidencia; en cualquiera otra inclinación aparecen dos imágenes de intensidad variable.

La luz polarizada no se transmite á través de una lámina de turmalina, cuyo eje de cristalización sea paralelo al plano de incidencia. Á medida que el eje y plano mencionados tienden á hacerse respectivamente perpendiculares, se transmite más fácilmente la luz polarizada.

792. Polariscopios ó analizadores.—Reciben este nombre los aparatos que sirven para indicar si la luz está ó no polarizada. Todos los cuerpos que polarizan la luz pueden servir para este objeto, pero los usados con más frecuencia son los siguientes:

Una lámina de cristal negro. Si se hace caer sobre un cristal de dicho color, bajo

un ángulo de $35^{\circ} 25'$, el rayo de luz que se quiere analizar, y, haciendo variar el plano de incidencia, no se observa cambio ninguno en la intensidad del rayo reflejado, puede asegurarse que aquél no está polarizado. Si, por el contrario, se llega á una posición en que se extingue dicho rayo más ó menos completamente, éste se hallará polarizado parcial ó totalmente en un plano perpendicular al de incidencia.

Una lámina de turmalina. La turmalina parda, tallada paralelamente al eje de cristalización, tiene la propiedad de no dejar pasar la luz polarizada en un plano paralelo á dicho eje. Por lo tanto, si se observa á través de dicha lámina el rayo de luz que se quiere analizar, y éste conserva siempre igual intensidad, aunque se haga girar en su plano la turmalina, será prueba de que la luz analizada es natural. Si se extingue dicha luz en alguna posición de la turmalina, nos demostrará este hecho, que se halla polarizado el rayo que se analiza en el plano determinado por la visual y el eje de dicha turmalina.

Prisma de Nicol. El espató de Islandia, como todos los cuerpos birrefringentes, puede servir de analizador, pero presenta el inconveniente de producir dos imágenes. M. Nicol tuvo la ingeniosa idea de evitar este defecto, cortando un romboedro de espató islándico *a b c d* (fig. 329), por un plano que pase por las diagonales mayores *c b*, y volviendo á reunir ambos trozos en el mismo orden con *bálsamo de Canadá*. Esta sustancia tiene un índice de refracción intermedio entre los correspondientes al rayo ordinario y extraordinario del espató, de donde resulta, que al llegar la luz procedente de un punto luminoso *r*, el rayo ordinario sufre la reflexión total en *n*, y sólo pasa al otro lado del romboedro el rayo extraordinario *e*.

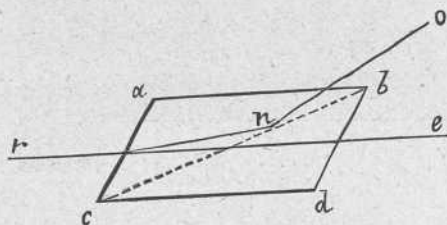


Fig. 329.

Para usar el prisma de Nicol como analizador, se hace girar alrededor de su eje, y se observa si el rayo analizado presenta ó no cambios en su intensidad, lo mismo que hemos dicho al hablar de la turmalina.

793. Polarización rotatoria.—Si se hace pasar un rayo de luz polarizada por una lámina de cuarzo tallada perpendicularmente á su eje de cristalización, se observa, por medio de los analizadores, que dicho rayo sigue polarizado, pero en distinto plano que anteriormente. Este fenómeno se conoce con el nombre de *polarización rotatoria*, y las sustancias que tienen la propiedad de hacer girar dicho plano de polarización se llaman *activas* para la luz. Algunas de éstas hacen girar dicho plano hacia la derecha, y se las conoce con el nombre de *dextrogiros*, y á las que le hacen girar hacia la izquierda se las llama *levogiras*.

Las disoluciones de azúcar de caña, dextrina, ácido tártrico, alcanfor y esencia de limón son dextrogiros, y las de goma arábica, esencia de trementina y de laurel, son levogiras. Entre los cuerpos sólidos el más activo para la luz polarizada es el cuarzo, con la particularidad que unos ejemplares son dextrogiros y otros levogiros.

Para estudiar la polarización rotatoria de los cuerpos, pueden usarse diferentes aparatos, pero el más sencillo y que, además, sirve para reproducir los principales fenómenos de la luz polarizada, es el de Noremborg. Consiste en una caja *B* (fig. 330), provista de dos columnas metálicas *C C*, entre las cuales puede girar un cristal plano *L* alrededor de un eje horizontal. Dicho eje lleva una aguja que recorre un pequeño círculo graduado, é indica el ángulo que forma con la vertical el plano de dicho cristal. Entre los pies de dichas columnas existe un espejo plano, colocado horizontalmente, y en el final de aquéllas tiene el aparato un círculo graduado *A*, dentro del

cual puede girar un platillo. Encima de una abertura cuadrangular que tiene dicho platillo, puede colocarse un espejo negro con una inclinación de $35^{\circ} 25'$, ú otro analizador cualquiera. Además, un soporte anular y graduado *P*, puede colocarse á diferentes alturas, y su platillo central recibe á voluntad diferentes inclinaciones.

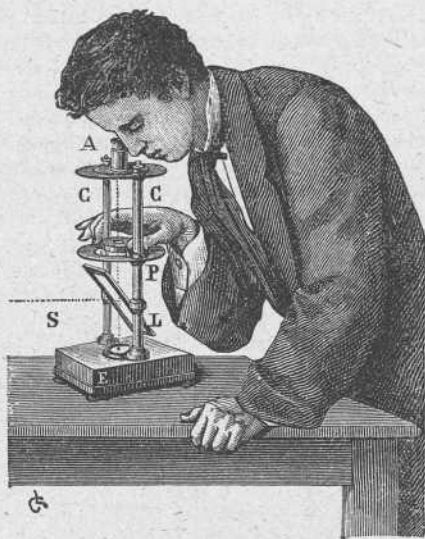


Fig. 330.

Esto supuesto, si se coloca el cristal *L* de modo que forme con la vertical un ángulo de $35^{\circ} 25'$, y se hace llegar á su centro un rayo luminoso *S*, que forme el mismo ángulo con su superficie, dicho rayo al reflejarse se polarizará, siguiendo después la dirección vertical, y al llegar al espejo inferior volverá á reflejarse, subiendo verticalmente por el centro del aparato. Si se recibe este rayo en un espejo negro, y su plano es perpendicular al del cristal *L*, se extinguirá el rayo luminoso; pero si se hace girar dicho espejo se reflejará dicho rayo, con tanta mayor intensidad cuanto más se acerquen al paralelismo ambas superficies.

En vez del espejo negro puede usarse una lámina de turmalina ó el prisma de Nicol, y podrán comprobarse fácilmente todas las propiedades de la luz polarizada.

Para estudiar con este aparato el poder rotatorio de los cuerpos activos, basta colocarlos en el platillo *P*, después de haber extinguido el rayo polarizado con el analizador que se use, y observar cuántos grados, á la derecha ó izquierda, hay que hacer girar al analizador para que vuelva á desaparecer el rayo luminoso. Esto nos indicará si la sustancia es dextrogiro ó levogiro, y cuál es su poder rotatorio en el espesor empleado.

Las principales leyes, obtenidas por Biot, respecto á la polarización rotatoria de los cuerpos, son las siguientes:

1.ª *La rotación del plano de polarización no es la misma para los diversos colores del espectro, y es tanto mayor cuanto más refrangibles son aquéllos.*

2.ª *Para un mismo color simple la rotación es proporcional, en cada cuerpo, al espesor de la lámina empleada.*

3.ª *El poder rotatorio de las disoluciones, bajo igual espesor, es proporcional á la cantidad de sustancia disuelta.*

En esta última ley está fundado un interesante aparato, llamado *saccharimetro*, por medio del cual se puede averiguar fácilmente la cantidad de azúcar que contiene una disolución de dicho cuerpo.

794. Polarización cromática.—Así se llama la coloración que se obtiene haciendo pasar la luz polarizada á través de láminas delgadas de cuerpos birrefringentes.

Si en el soporte móvil del aparato de Noremburg se coloca una lámina delgada de mica, yeso cristalizado ó cualquiera otra sustancia birrefringente, y se hace pasar á su través un haz de rayos polarizados, se observan con el analizador unos tonos

irisados, que cambian con la rotación de aquel y con el espesor de la lámina empleada. Este fenómeno es consecuencia de la primera de las leyes antes mencionadas.

En vez del aparato de Noremburg puede usarse otro más sencillo, formado por dos turmalinas talladas paralelamente á su eje, engastadas en unos discos de cobre, superpuestos con cierta presión por el efecto de un muelle de alambre, cuyo conjunto constituye el aparato conocido con el nombre de *pinzas de turmalina* (fig. 331).

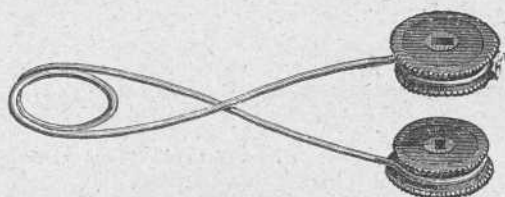


Fig. 331.

Si se interpone entre ambas turmalinas una lámina delgada de una sustancia birrefringente, y los ejes de las turmalinas se hallan colocados paralelamente, se observa en el centro del cristal, mirando la luz del cielo á través de su conjunto, una cruz blanca, rodeada de anillos irisados de un efecto sorprendente (fig. 232). Estos anillos cambian de colores, y llegan á adquirir los complementarios, si se hacen girar las turmalinas hasta colocar sus ejes perpendiculares; en este caso la cruz central se hace negra (fig. 333).

Estos efectos son debidos principalmente á la interferencia de los rayos de luz polarizados por la primera turmalina y analizados después por la segunda.



Fig. 332.

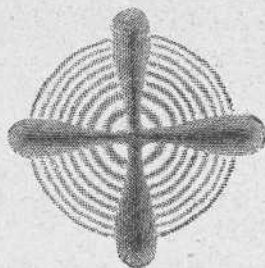


Fig. 333.

Las pinzas de turmalina permiten fácilmente distinguir el vidrio común del *crystal de roca*. Para ello se mira la luz

del cielo á través de las turmalinas, y se hace girar una de ellas hasta que se extinga dicha luz; entonces se introduce entre ambas el cristal que se quiere analizar, y si es de roca se observarán franjas irisadas, mientras que si es vidrio común seguirá extinguida la luz que se observó.

795. Teoría de la polarización.—Para darse cuenta de los fenómenos que acabamos de exponer, se han visto precisados los físicos á admitir que, *las vibraciones luminosas del éter son transversales*, ó sea, perpendiculares á la dirección en que se propaga el rayo luminoso. En la luz natural dichas vibraciones se verifican en todos sentidos sobre la superficie de la onda; pero atendiendo á sus efectos, puede suponerse que sólo lo verifican en dos planos respectivamente perpendiculares. Si por una causa cualquiera (reflexión, refracción sencilla ó doble) se aniquilan, en todo ó en parte, las vibraciones que tienen lugar en uno de aquellos planos, quedará el rayo luminoso polarizado en el otro plano. Esta teoría se halla confirmada en el fenómeno de la doble refracción, pues los dos rayos, ordinario y extraordinario, en que se divide el rayo incidente se hallan polarizados en ángulo recto, y reunidos forman nuevamente la luz natural.

CAPÍTULO VIII.

Manantiales de luz.

796. Diferentes orígenes de la luz.—Los orígenes luminosos conocidos hasta hoy, son: el *Sol*, las *estrellas*, el *calor*, las *combinaciones químicas*, la *electricidad*, *algunos meteoros* y la *fosforescencia*.

797. Luz solar y de las estrellas.—El Sol es el manantial de luz más importante. Supónese que dicho astro se encuentra rodeado de una atmósfera gaseosa incandescente, por efecto del calor extraordinario que en él reina. La intensidad de la luz que emite no se ha podido precisar, pero á las doce del día en verano no es inferior, en nuestras latitudes, á la de 50.000 bujías colocadas á la distancia de un metro; su intensidad depende, además, de la latitud, estación y hora en que se considere, influyendo también de un modo notable la mayor ó menor transparencia del aire.

La luz de las estrellas se supone originada por una causa análoga á la solar, y aunque debe ser de una intensidad extraordinaria, llega á la Tierra muy debilitada, efecto de la gran distancia á que nos hallamos de dichos astros.

798. Luz producida por el calor y combinaciones químicas.—Calentando progresivamente un cuerpo en la oscuridad llega á hacerse luminoso, y, según Pouillet, esto se verifica hacia los 500° de calor. Á medida que su temperatura se eleva, la luz que emite el cuerpo se va acercando al blanco, á cuyo color llega en el momento de fundirse, si se trata de un metal, como el platino ó el iridio, que resisten sin liquidarse las más altas temperaturas.

Las combinaciones químicas son también un abundante origen de calor, y, por consiguiente, producen luz cuando la temperatura es suficientemente elevada. Así, las combinaciones del carbono con el oxígeno, que originan una considerable elevación de temperatura, producen al mismo tiempo una luz bastante intensa, que se aprovecha en los diferentes usos de la vida.

No se crea por esto que la luz producida en las combinaciones es proporcional á la temperatura de las mismas, pues hay cuerpos, como el oxígeno é hidrógeno, que se combinan con gran desprendimiento de calor, y la luz obtenida en dicho fenómeno es sumamente débil. En general, depende aque-

lla de los productos de la combinación, siendo las luces más intensas las que proceden de combinaciones que dan como producto resultante cuerpos sólidos.

799. Electricidad y meteoros luminosos.—Aunque dejamos el estudio de estas cuestiones para la *Electricidad y Meteorología*, advertiremos ahora, no obstante, que por medio de la *corriente eléctrica* se obtiene una luz de intensidad extraordinaria, pudiendo en muchas circunstancias competir con la solar.

Respecto á la luz producida por ciertos meteoros sólo citaremos, como un hecho conocido de todos, el *relámpago* y las *auroras polares*.

800. Fosforescencia y fluorescencia.—Los orígenes de la luz que acabamos de estudiar van siempre acompañados de mayor ó menor elevación de temperatura, pero hay otros, como la *fosforescencia* y *fluorescencia*, en que no se ha podido demostrar la presencia del calor.

Se llaman cuerpos *fosforescentes* los que tienen la propiedad de emitir luz por sí mismos en determinadas condiciones, tales como el fósforo.

La fosforescencia de los cuerpos puede ser *espontánea* y producida *por el calor*. La primera tiene lugar en el *gusano de luz*, el *porta-linterna*, algunos *hongos* y los pescados en cierto estado de descomposición. La originada por el calor se verifica en el *diamante* y *espatofluor*, que á los 300° se hacen luminosos, produciendo una luz azulada de bastante intensidad.

La acción de los *rayos solares* determina, á su vez, la fosforescencia de gran número de cuerpos, como el sulfuro de bario, calcio y estroncio. Estos, después de la insolación, producen una luz bastante viva durante algunas horas, de cuya propiedad se ha sacado partido para construir objetos que sean visibles por algún tiempo en la oscuridad.

Las *acciones mecánicas* pueden determinar también la fosforescencia de varios cuerpos. Rompiendo en la oscuridad un pedazo de azúcar, ó frotando dos pedernales, se origina una luz azulada muy visible.

Por último, la *electricidad* es también capaz de producir fenómenos de fosforescencia en determinados cuerpos, como en el vidrio de urano, sulfuro de calcio, etc.

La *fosforescencia* recibe el nombre de *fluorescencia* cuando cesa al mismo tiempo que la causa que la haya producido. Si se expone á la acción de los rayos ultravioletados del espectro solar un pedazo de espatofluor, adquiere instantáneamente un color violáceo, que dura todo el tiempo que estén actuando sobre él dichas radiaciones; pero tan luego como cesen éstas, desaparece la luz producida por aquél. Igual fenómeno se observa en el vidrio de urano y en las disoluciones de sulfato de quinina, esculina y clorofila, pero el tono de la luz engendrada por cada una de dichas sustancias varía

con su naturaleza. Por medio de estas sustancias se ha visto que la radiación luminosa del espectro solar se extiende más allá del violado, lo que prueba que la acción de estos cuerpos consiste en disminuir la rapidez de las vibraciones del éter correspondiente á dichas radiaciones, transformándolas en otras menos refrangibles capaces de impresionar nuestra retina.

LIBRO TERCERO.

CALÓRICO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos generales.

801. Efectos que produce el calor.—Ha recibido el nombre de *calórico* la causa que determina en nuestro organismo la sensación del *calor*. Por oposición se llama *frío* á la falta relativa de calor. Este agente produce en los cuerpos fenómenos muy variados. Los seres orgánicos necesitan para su existencia una cantidad determinada de calor, y tanto su falta como un exceso del mismo, produce la muerte de aquéllos.

Los seres inorgánicos experimentan, á su vez, cambios notables bajo el influjo de este agente, empezando por separarse sus moléculas, aumentando por consiguiente de volumen; si se les continúa calentando progresivamente cambian de estado, ó sea, se transforman de sólidos en líquidos y luego en gases, y, por último, sus moléculas se separan, destruyéndose la atracción que las mantenía unidas.

802. Hipótesis sobre la naturaleza del calórico.—Por más que este agente sea desconocido en su esencia, se han ideado varias hipótesis para explicar sus efectos, siendo las dos más importantes la de la *emisión* y la de las *ondulaciones*.

La primera, debida á Newton, admite que el calórico es un fluido material imponderable, constituido por pequeñísimos átomos dotados de la propiedad de repelerse mutuamente. Este fluido penetra en el interior de los cuerpos y, á la vez que los calienta, aumenta su volumen. Efecto del estado repulsivo de sus átomos, es lanzado por los cuerpos calientes hacia los fríos en todas direcciones, y con una velocidad extraordinaria. Esta hipótesis, á la que se oponen varios hechos que más adelante daremos á conocer, ha sido abandonada en el día, y sustituida por la de las *ondulaciones*.

En la teoría de las ondulaciones, desarrollada admirablemente por Mayer,

Joule, Tyndall y otros, se admite que los átomos de los cuerpos están animados de un movimiento vibratorio excesivamente rápido, de cuya amplitud y velocidad depende el calor que posee cada cuerpo. Estas vibraciones se transmiten de unos cuerpos á otros por el intermedio de un fluido eminentemente elástico y sutil, llamado *éter*, el cual llena los poros de todos los cuerpos y los espacios vacíos de materia.

Esta hipótesis resulta comparable con la del sonido, y así como éste reconoce por causa las ondulaciones de los cuerpos elásticos, el calor es debido, en esta teoría, á las vibraciones de los átomos de los cuerpos. Para transmitirse el sonido de un punto á otro se necesita, como sabemos, la presencia de un medio elástico; del mismo modo, para propagarse el calor es necesario admitir la existencia del *éter*. Al chocar en un cuerpo las ondulaciones del aire, excitadas por un cuerpo sonoro, producen en él nuevas ondulaciones, y aquél emite un sonido, si está en condiciones para ello; á su vez, las vibraciones del *éter* excitadas por un foco de calor comunican mayor velocidad á las moléculas de los cuerpos con quienes chocan, y éstos se calientan.

Vemos que en esta hipótesis el calor es debido exclusivamente al *movimiento* de la materia, por cuya razón se la conoce con el nombre de *teoría dinámica del calor*. Más adelante estudiaremos varios hechos que dan carácter de gran certeza á dicha teoría.

CAPÍTULO II.

Dilatación de los cuerpos.

ARTÍCULO PRIMERO.

TERMÓMETROS.

803. Dilatabilidad.—Así se llama la propiedad que poseen todos los cuerpos de aumentar de volumen por la acción del calor.

Para demostrar esta propiedad en los sólidos se usa el *anillo de S. Gravesande*. Consiste este aparato (fig. 334) en un aro metálico por el que pasa con facilidad, cuando está fría, una esfera de latón; si se calienta ésta con una lamparilla de alcohol, se observa entonces que no puede pasar por dicho anillo, lo que prueba su aumento de volumen. Dejándola enfriar se contrae poco á poco dicha esfera, y llega un momento en que vuelve á pasar por aquél.

Los líquidos también se dilatan por la acción del calor, y su aumento de volumen, para una determinada cantidad de este fluido, es mucho mayor

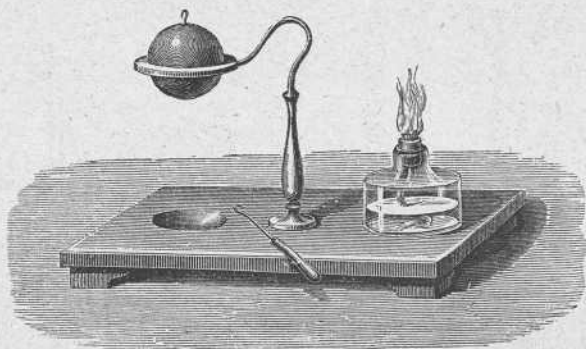


Fig. 334.

que en los sólidos. Se demuestra esto por medio de una esfera hueca de cristal, provista de un tubo largo y estrecho (fig. 335). Llenando la esfera y parte del tubo con un líquido cualquiera, é introduciéndola después en un vaso con agua caliente, se observa que el nivel del líquido sube rápidamente por el tubo, indicando claramente su aumento de volumen.

Por último; los gases también se dilatan por la acción del calor y, en igualdad de condiciones, aumenta más su volumen que el de los líquidos. Para probarlo se usa el mismo aparato que anteriormente, aunque suele darse mayor capacidad á la esfera de cristal. Separando el aire contenido interiormente del exterior, por medio de una gota de mercurio, si se aplican las manos sobre la esfera, según indica la figura 336, se notará que el índice de mercurio recorre el tubo con gran rapidez, demostrando la gran dilatabilidad del aire encerrado en aquélla. Si en vez de aire, se introduce en dicha esfera un gas cualquiera, resulta el experimento igual que anteriormente.

804. Temperatura.—Recibe el nombre de *temperatura* de un cuerpo el *grado de calor sensible que éste posee*. La medida de las temperaturas es de la mayor importancia en la Física.

Nuestros órganos aprecian la relación entre la temperatura de los cuerpos, pero no sirven para su medida. Sucede, en efecto, que al apoyar la mano sobre un cuerpo, éste nos parecerá frío si aquélla estaba más caliente, y, á su vez, sentiremos una sensación de calor si la mano estaba más fría que dicho cuerpo. Por esta razón, al penetrar en una cueva, cuya temperatura casi no varía en todo el año, nos parece caliente en invierno y fresca en el verano.

305. Termómetros.—No sirviendo nuestros órganos, según acabamos de ver, para la medida de las temperaturas, han ideado los físicos aparatos

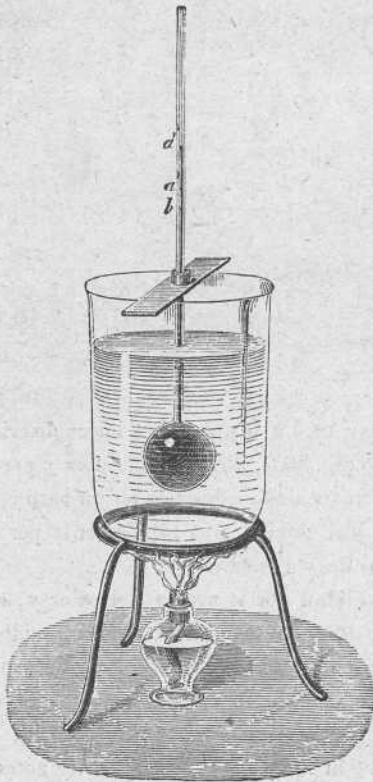


Fig. 335.

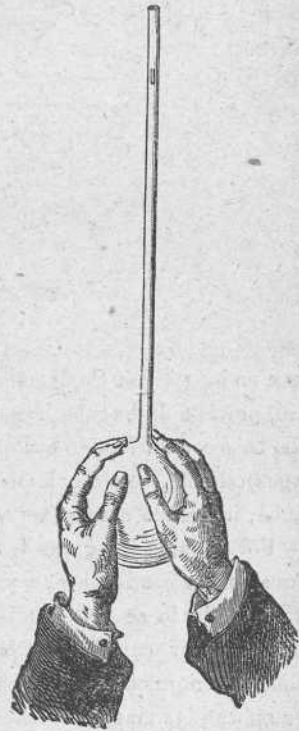


Fig. 336.

con que lograr tan importante objeto, á los que han dado el nombre de *termómetros*.

El fundamento de estos aparatos es el siguiente: Supongamos que un cuerpo, á una cierta temperatura, tenga un volumen conocido; si se aumenta su temperatura, aumentará su volumen en una cierta cantidad, y si la dilatación de dicho cuerpo es uniforme, cada aumento en su volumen, igual al anterior, indicará un incremento en su temperatura igual al que recibió primeramente. Partiendo, por tanto, de una cierta temperatura, podremos averiguar el incremento de ésta, ó sea su medida relativa, por el aumento de volumen que sufra el cuerpo de que nos valgamos.

306. Elección de la sustancia termométrica.—Por lo que acaba-

mos de indicar, la materia con que hayamos de construir un termómetro debe dilatarse con uniformidad, es decir, que los aumentos de su volumen deben ser proporcionales á los incrementos de temperatura. Además, dicha sustancia no debe ser poco ni muy dilatible, porque los dos extremos serían un inconveniente para la construcción de dichos aparatos.

Examinados por los físicos la mayor parte de los cuerpos, han dado la preferencia al mercurio, por ser el único que reúne con poca diferencia las anteriores condiciones.

807. Construcción del termómetro.—Para hacer un termómetro se toma un tubo de cristal de un diámetro muy pequeño, y se examina si éste se conserva igual en toda su longitud. Para ello se introduce uno de sus extremos en una copa que contenga mercurio, y por el otro se hace una ligera succión; de este modo penetrará en el tubo una pequeña columna de mercurio, cuya longitud se mide con toda exactitud. Inclinando el tubo, y dando pequeñas sacudidas, se hace que dicha columna le recorra en toda su extensión, y si en todas las posiciones que ocupe resulta siempre de igual longitud dicha columna de mercurio, será prueba de que el tubo tiene igual diámetro, ó está bien *calibrado*.

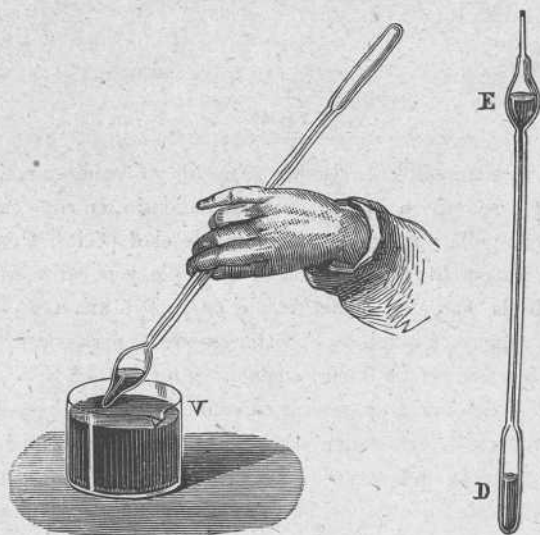


Fig. 337.

Escogido el tubo de este modo *se sopla* en uno de sus extremos, por medio de la *lámpara de esmaltar*, un depósito cilíndrico *D'* (fig. 337), y en el

otro una ampolla *E* terminada por una punta afilada, procediendo después á llenarle de mercurio.

Para conseguirlo se calienta con una lámpara de espíritu de vino el depósito y la ampolla del tubo, con cuya operación se dilatará el aire contenido en su interior, saliendo fuera parte de él. Inmediatamente, y sin dar tiempo á que se enfríe, se intrduce la punta en que termina la ampolla en un vaso *V* que contenga mercurio algo caliente, y al enfriarse el aire interior penetrará dentro, en virtud de la presión atmosférica, cierta cantidad de mercurio; colocando después el aparato verticalmente, descenderá al depósito alguna cantidad de dicho líquido. Para que se llene por completo, se traslada el termómetro á una rejilla inclinada (fig. 338), y se calienta con carbones encendidos la ampolla y el depósito; en éste se aviva el fuego hasta

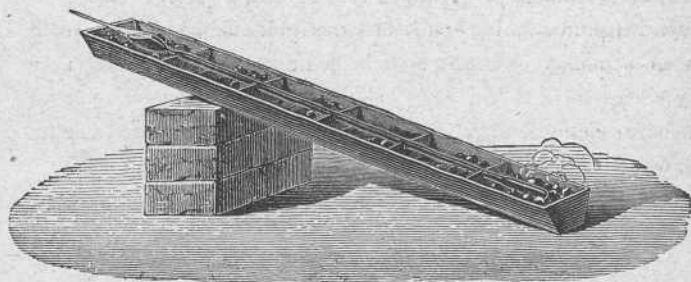


Fig. 338.

que hierva el mercurio durante algunos minutos, y después se retiran los carbones para que se enfrien los vapores del mercurio, en cuyo caso bajará el líquido de la ampolla y llenará completamente el depósito. Cuando el aparato está completamente frío se quita de la rejilla, y se corta con una lima por la base de la ampolla, sometiéndole después á una temperatura algo superior á la máxima á que haya de estar expuesto, para que salga el exceso de mercurio. Sin dar tiempo á que se contraiga mucho el líquido, se cierra el tubo con auxilio del *soplete*, y se deja en este extremo una pequeña cavidad, que evita la rotura del aparato en caso de una gran dilatación del mercurio.

308. Graduación del termómetro.—Siendo imposible medir la *temperatura absoluta* de los cuerpos, ha sido necesario recurrir á la que se obtiene en dos fenómenos, fáciles de reproducir y que suministran siempre, como más adelante veremos, un grado constante de calor. Estos dos fenómenos son: la *fusión del hielo* y la *ebullición del agua*. Al grado de calor con que se verifica el primero se le ha llamado *cero* de la escala, y al que tiene lugar en el segundo, *ciento*.

Para obtener el *cero* de la escala termométrica se introduce el aparato en un vaso agujereado en su fondo, lleno de hielo machacado (fig. 339). El mercurio se contrae rápidamente al principio, pero llega un momento en que se detiene, en cuyo punto se marca el *cero*.

Para obtener el otro punto fijo se expone el aparato á los vapores del agua hirviendo. Esto se practica introduciéndole en una caldera metálica *A* (fig. 340), que lleva en su tapa superior dos tubos *B* y *C*, uno de los cuales, el interior, comunica con dicha caldera, y el otro con la atmósfera por medio de un tubo largo *D*; el tubo central está, además, provisto de un manómetro *M* para observar la

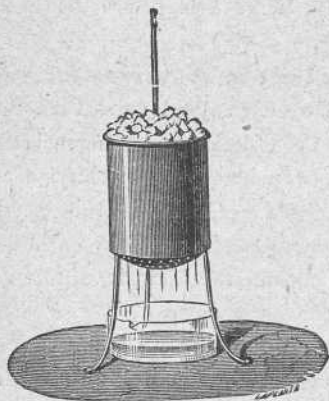


Fig. 339.

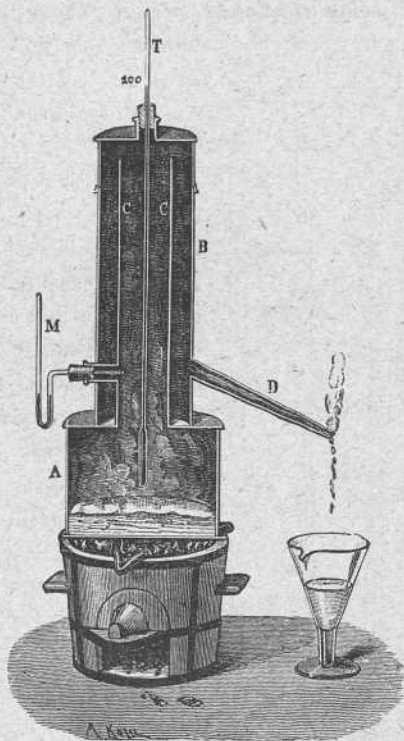


Fig. 340.

presión interior. Al hervir el agua de la caldera, sus vapores suben á lo largo del tubo central, rodeando por completo al termómetro, y después pasan al tubo exterior, saliendo á la atmósfera por el tubo lateral *D*; la presión interior no debe sobrepasar á la exterior durante la ebullición del agua, lo que se conoce por permanecer á la misma altura en las dos ramas del manómetro el líquido contenido en él. Cuando la columna termométrica cese de elevarse, después de mantener la ebullición durante unos minutos, se marca 100 grados en el punto donde llegue el mercurio, suponiendo que el barómetro indique la presión de 760 milímetros. Por último, se divide en cien partes iguales el espacio comprendido entre el *cero* y el *ciento*, y se tiene

graduado el termómetro con arreglo á la escala de *Celsio* ó *centígrado*.

809. Otras escalas termométricas.—Además de la graduación anterior, que es la más usada, también se han adoptado en algunos países la escala de *Reaumur* y la de *Fahrenheit*.

Para graduar un termómetro con arreglo á la primera, se practican exactamente las mismas operaciones que anteriormente, poniendo el *cero* en el punto correspondiente á la fusión del hielo, y *ochenta* en el de ebullición del agua; después se divide el intervalo en 80 partes iguales, con lo que queda graduado con arreglo á la escala de *Reaumur*.



Fig. 341.

Fahrenheit obtiene el *cero* de su escala introduciendo el termómetro en una mezcla de partes iguales de sal amoníaco y hielo, y en el punto correspondiente al agua hirviendo escribe 212, dividiendo, por fin, el intervalo entre ambas indicaciones en 212 partes iguales. En esta escala el punto correspondiente á la fusión del hielo marca 32 grados.

810. Conversión de las temperaturas observadas en una escala á otra cualquiera.—Para resolver esta cuestión basta considerar que la diferencia de temperaturas entre el hielo fundente y el agua hirviendo, está representada en la escala de *Celsio* por 100 partes iguales ó grados, en la de *Reaumur* por 80 y en la de *Fahrenheit* por 180, según manifiesta bien claramente la figura 341. Representando, pues, por *C*, *R* y *F* una misma temperatura expresada en grados de cada escala, las relaciones que unen entre sí dichas cantidades serán las siguientes:

$$100 : 80 :: C : R$$

$$100 : 180 :: C : F$$

$$80 : 180 :: R : F$$

La aplicación de dichas proporciones no presenta dificultad alguna, y únicamente, tratándose de grados *Fahrenheit*, hay que tener en cuenta que el *cero* de dicha escala corresponde á los 32°; así, que al convertir grados de esta escala en los de otra cualquiera, lo primero que debe hacerse es restar dichos 32°. Sea, por ejemplo, convertir en centígrados 50° *F*. Restando de esta temperatura los 32° á que corresponde el *cero* de dicha escala, tendremos como resto 18°, que son los que hay que sustituir en la se-

gunda de las anteriores proporciones, con lo que resulta $100 : 180 :: C : 18$;

de donde $C = \frac{100 \times 18}{180} = 10^\circ C$.

A su vez, para convertir en Fahrenheit los grados de cualquiera otra escala, hay que añadir al resultado que se obtenga aplicando las anteriores proporciones, los 32° del cambio del cero. Ejemplo: Convertir en Fahrenheit $24^\circ R$. Aplicando la tercera proporción, tendremos: $80 : 180 :: 24 : F$; de donde resulta $F = \frac{180 \times 24}{80} = 54$; y añadiendo los 32° susodichos, resulta, por fin, $54 + 32 = 86 F$.

En todas las escalas se ha convenido en considerar como positivas las temperaturas indicadas por el termómetro sobre el *cero* de la escala, y como negativas, afectándolas del signo —, las correspondientes á temperaturas inferiores á dicho *cero*. Así, para representar una temperatura de quince grados sobre cero, escribiremos $+ 15^\circ$, ó simplemente 15° ; y para denotar una de ocho grados bajo cero, pondremos $- 8^\circ$.

811. Sensibilidad de un termómetro.—Un termómetro será sensible, ya porque puedan apreciarse con él pequeñas variaciones de temperatura, ó bien porque acuse con rapidez la temperatura del medio en que se le coloque.

Para construir un termómetro que reúna la primera condición, es necesario hacerle con un depósito de gran volumen, en cuyo caso podrá dividirse cada grado en diez ó más partes, y, por consecuencia, se podrá apreciar con el décimas de grado, ó fracciones más pequeñas de temperatura.

Para que tenga la segunda clase de sensibilidad, y obedezca rápidamente á los cambios de temperatura, debe elegirse su depósito muy pequeño y un tubo muy capilar; de este modo, la pequeña cantidad de mercurio que le forma se dilatará ó contraerá rápidamente, é indicará con gran celeridad la temperatura del medio en que se coloque.

812. Termómetro de alcohol.—Cuando se trata de medir temperaturas inferiores á $- 39^\circ$, no puede usarse el termómetro de mercurio, por solidificarse este líquido. En este caso se acude al alcohol, que se mantiene líquido aun á los mayores fríos que pueden obtenerse. La construcción del termómetro del alcohol presenta, sin embargo, gran dificultad en cuanto á su graduación, pues este líquido se dilata y contrae muy irregularmente; en este caso, es indispensable formar la escala por comparación, de 10 en 10 grados, con otro bueno de mercurio, y los grados inferiores á $- 39^\circ$ comparándole con el termómetro *de aire*, de que más adelante hablaremos (829).

813. Termómetros de máxima y mínima.—En muchas ocasiones conviene conocer la más alta ó más baja temperatura de un medio durante

un cierto tiempo. Para obtener estos datos sin necesidad de observar continuamente el aparato, se han inventado los termómetros de *máxima* y *mínima*.

El termómetro de *máxima* más usado es el de Negretti. Se diferencia este termómetro de los usuales, en que cerca del depósito (fig. 342 superior) pre-

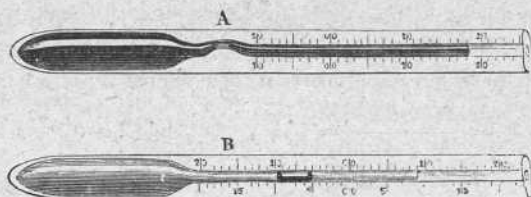


Fig. 342.

senta el tubo una curvatura y estrechamiento, representada en A. Al dilatarse el mercurio pasa al tubo á pesar de su angostura, por no ser apenas compresible, como todos los líquidos; más al contraerse aquél, no puede vencer su cohesión la resistencia que le opone el estrechamiento del tubo, y se divide la columna mercurial, permaneciendo en el tubo todo el mercurio que había pasado á él; el extremo de la columna mercurial nos indicará, por lo tanto, la máxima temperatura por que ha pasado el medio en que estuvo introducido el aparato. Para ponerle en disposición de servir nuevamente, es necesario darle algunas sacudidas, que obliguen á penetrar en el depósito el mercurio que estaba en el tubo.

El termómetro de *mínima* que da mejores resultado es el de Rutherford. Consiste este aparato (342 inferior) en un termómetro de alcohol incoloro, dentro de cuyo líquido se ha introducido un pequeño índice de esmalte. Al dilatarse el alcohol pasa este líquido por el espacio que queda entre las paredes interiores del tubo y el índice, el cual queda en su sitio; pero al contraerse dicho líquido arrastra al índice hacia el depósito del termómetro, efecto de la atracción capilar que entre ambos existe, y la extremidad del índice que mira á la terminación del termómetro marcará la mínima temperatura á que estuvo expuesto.

Cuando se va á usar este aparato, se inclina de modo que el depósito quede en alto, en cuyo caso el índice cae por su peso hasta tocar en la superficie interior del alcohol, quedando dispuesto para funcionar de nuevo.

814. Termómetros diferenciales.—La gran dilatabilidad de los gases se ha aplicado para la construcción de termómetros muy sensibles, destinados á medir pequeñas diferencias de temperatura.

Uno de los más usados es el de Leslie (fig. 243). Consiste en un tubo de cristal doblado dos veces en ángulo recto, y terminado por dos esferas de igual

capacidad. La parte horizontal del tubo y la mitad de las dos ramas verticales están ocupadas por ácido sulfúrico teñido de rojo. Suponiendo que el aire de ambas esferas esté á la misma temperatura, si el aparato está bien arreglado, debe quedar el líquido á la misma altura en ambas ramas; en la terminación de ambas columnas líquidas se escribe el *cero* de la escala. Para obtener los demás grados se rodea una de las esferas de hielo fundente, y la otra se somete á una temperatura conocida, por ejemplo 10°. El aire de ésta al dilatarse empujará al líquido hacia la otra esfera, y en el punto en que se fijen las dos columnas líquidas *a* y *b* se escribirá el *grado diez*. Dividiendo en diez partes iguales dicho espacio, y prolongando la escala en ambas ramas con arreglo á la división obtenida, se tendrá graduado el termómetro.

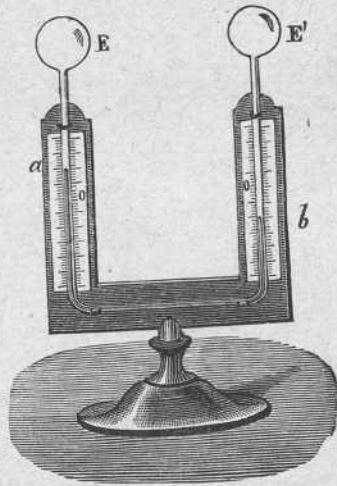


Fig. 343.

315. Termo-multiplicador de Nobili.—Con objeto de medir pequeñas radiaciones de calor, se ha valido Nobili de un aparato *termo-eléctrico* de una sensibilidad exquisita. Consiste este notable instrumento, reformado ventajosamente por Melloni, en una *pila termo-eléctrica pn* (fig. 344) unida por alambres de cobre á un *galvanómetro* sensible *a b*.

No es posible exponer en este lugar el fundamento de éstos aparatos, pero nos basta por ahora saber que, la mencionada pila está formada por una porción de barritas alternadas de bismuto y antimonio, encerradas en una especie de caja cúbica, y dispuestas de modo que las soldaduras pares de dichos metales caigan todas hacia una cara de la caja, y las impares hacia la cara opuesta. Ahora bien; si se coloca una de las caras de tan interesante aparato delante de un cuerpo caliente, procurando que la otra cara no reciba calor, inmediatamente se origina una *corriente eléctrica* proporcional á la diferencia de temperatura de aquéllas.

Para medir esta corriente eléctrica sirve el *galvanómetro*, el cual tiene una aguja *a b* que, en su posición normal, marca el *cero* de un limbo graduado; al pasar por este aparato, conducida por los alambres de cobre, la corriente eléctrica originada por la pila, gira dicha aguja, y forma un ángulo con su posición primitiva proporcional á la intensidad de la corriente eléctrica, y por lo tanto, á la intensidad del calor recibido por la pila. Cuando se quiere hacer

más sensible este aparato, se concentra el calor del foco que se estudia adosando á una de las caras de la pila un cono de latón bruñido interiormente.

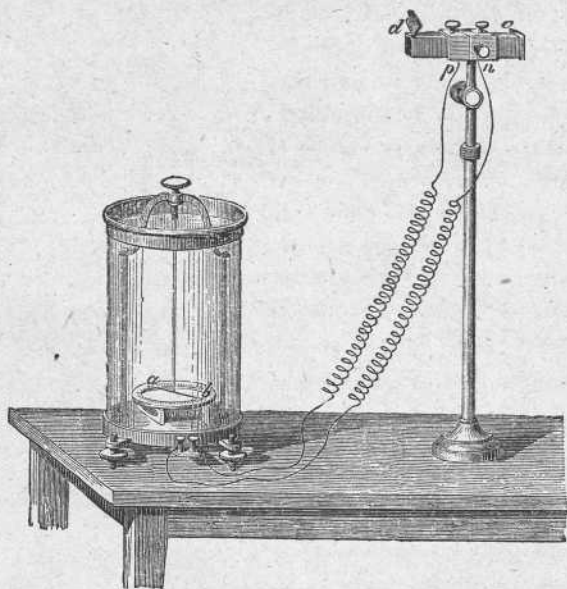


Fig. 344.

En éstas condiciones es tan sensible este instrumento, que permite medir radiaciones de calor imposibles de apreciar con los demás termómetros conocidos.

El lector que quiera averiguar el fundamento de tan importante *termoscopio* puede consultar la parte de la *electricidad dinámica* en que se trata esta cuestión.

816. Pirómetros.— Para medir elevadas temperaturas, cual sucede en los hornos de porcelana, no sirven los termómetros que hemos dado á conocer, pues todos ellos se deterioran con tan excesivo calor. Ha sido, pues, necesario idear instrumentos que resistan á dichas temperaturas, los que han recibido el nombre de *pirómetros*.

Uno de los más usados es el de Brongniart. Consiste en una barra de hierro (fig. 345) alojada en una cavidad practicada en una placa de porcelana, la que se halla colocada dentro del horno cuya temperatura se quiere medir. Dicha barra está apoyada en la lámina de porcelana por uno de sus extremos, y por el otro empuja, al dilatarse, un cilindro de porcelana que atraviesa la pared del horno; la terminación de dicho cilindro descansa sobre una palanca angular, y ésta, por medio de un engranaje, mueve una aguja que recorre un

círculo graduado. Por las divisiones que avanza la aguja se calcula, aproximadamente, la temperatura del horno.

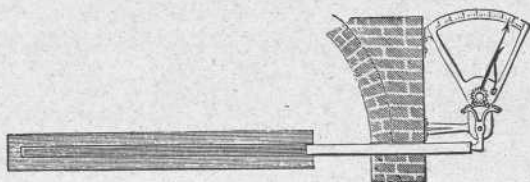


Fig. 345.

La medida exacta de altas temperaturas ofrece grandes dificultades en la ciencia, y para obtenerla hay que recurrir á los termómetros construídos con gases que más adelante describiremos (829).

ARTÍCULO II.

DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS.

817. Coeficientes de la dilatación.—Ya hemos visto anteriormente que todos los cuerpos se dilatan por la acción del calor. Para apreciar el aumento que en sus dimensiones sufren aquéllos, por una cierta elevación de temperatura, se ha convenido en llamar *coeficiente de la dilatación de un cuerpo el aumento que experimenta éste, bajo la unidad de volumen, al pasar su temperatura de cero á un grado.*

Es evidente que al dilatarse los cuerpos lo verifican siempre en sus tres dimensiones, pero, efecto de tener los sólidos forma constante, puede considerarse en ellos la dilatación en un solo sentido, prescindiendo de las otras dos dimensiones. En este caso se llama dilatación *lineal* la que experimenta la longitud de un cuerpo, y *superficial* la que tiene lugar en dos de sus dimensiones.

En los líquidos y en los gases sólo puede considerarse la dilatación *cúbica*.

Con arreglo á lo anteriormente expuesto, llamaremos *coeficiente de la dilatación lineal de un cuerpo sólido, el aumento que sufre la unidad de longitud de aquél al pasar su temperatura de cero á un grado.* La determinación de este coeficiente en los diferentes sólidos es de la mayor importancia, y puede obtenerse por varios procedimientos.

El método seguido por Lavoisier y Laplace consiste esencialmente en lo que sigue: Se construye una barra del metal de que se trate de dos á tres metros de longitud *AB*,

(figura 346), y se la coloca en una caja de cobre de modo que se apoye por una de sus extremidades en una pieza de porcelana *A*, invariablemente fija, y su otro extremo *B* se aplica á una varilla *OB*, provista de un anteojo *LL* que puede girar alrededor del punto *O*. Esto supuesto, se llena la caja de cobre de hielo fundente, y cuando la barra *AB* ha tomado la temperatura de 0°, se mira por el anteojo una escala *CC'*, colocada á gran distancia del aparato, marcando con exactitud el punto *C* señalado por el hilo horizontal del micrómetro del anteojo; luego se reemplaza el hielo de la caja por aceite, y se calienta por medio de un hornillo en que descansa el aparato, cerrando los ventiladores cuando la temperatura es de unos 200°. Efecto del aumento de temperatura, se dilata

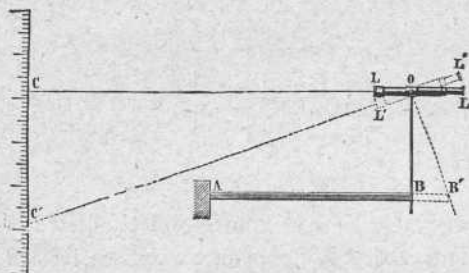


Fig. 346.

la barra hasta un punto tal como el *B'*, y empujando á la varilla *BO* obligará ésta al anteojo á tomar la dirección *L'L'*; entonces se vuelve á observar el punto *C'* marcado por el micrómetro, y á la vez se mide, por medio de varios termómetros, la temperatura del aceite.

Esto supuesto, el aumento de longitud *BB'* que ha sufrido la barra, puede determinarse con gran exactitud por medio de la comparación de los triángulos *OB B'* y *OC C'*. Estos triángulos son semejantes, por ser rectángulos y tener los ángulos en *O* iguales, y de la comparación de sus lados homólogos resulta $\frac{BB'}{CC'} = \frac{OB}{OC}$, de donde

$BB' = \frac{CC' \times OB}{OC}$. En esta igualdad se conoce, por medición directa, el valor de

todas las cantidades del segundo miembro y, por tanto, queda determinado con toda exactitud el valor de la dilatación *BB'*. Para hallar ahora el coeficiente de la dilatación lineal del cuerpo sometido á la experiencia, bastará dividir *BB'* por el número de metros que tenga la barra *AB* á 0°, y por la diferencia de las dos temperaturas á que estuvo expuesta. Representando por *k* dicho coeficiente, por *l* la longitud de la barra expresada en metros, y por *t* la diferencia de dichas temperaturas, tendremos, por último, $k = \frac{BB'}{l \times t}$.

Por este procedimiento se han obtenido los coeficientes de dilatación lineal de los diferentes cuerpos sólidos, cuyo valor respectivo á los más usados exponemos en la siguiente tabla:

COEFICIENTES DE LA DILATACIÓN LINEAL DE ÁNGULOS SÓLIDOS.

Madera de pino.....	0,0000035	Cobre.....	0,0000172
Cristal.....	0,0000087	Latón.....	0,0000188
Platino.....	0,0000088	Plata.....	0,0000191
Acero.....	0,0000112	Estaño.....	0,0000228
Hierro.....	0,0000120	Plomo.....	0,0000287
Oro.....	0,0000147	Zinc.....	0,0000295

De la inspección de esta tabla resulta que el metal más dilatable es el zinc, así como el platino es el que menos se dilata; las maderas son de todas las sustancias las menos dilatables.

818. Relación entre los coeficientes de la dilatación lineal, superficial y cúbica.—Medido directamente, como acabamos de indicar, el coeficiente de la dilatación lineal de los cuerpos sólidos, se puede determinar por un sencillo cálculo el valor de los coeficientes superficial y cúbica.

En efecto; si consideramos un cuerpo cuya superficie á 0° sea de un metro cuadrado, y suponemos que su temperatura se eleva hasta 1°, cada uno de sus lados habrá aumentado en longitud lo que valga el coeficiente de dilatación lineal del sólido empleado. Llamando k á este coeficiente, el lado del nuevo cuadrado será $1+k$, y su área total $(1+k)^2 = 1^2 + 2 \cdot 1 \cdot k + k^2 = 1 + 2k + k^2$; luego el aumento de superficie habrá sido $2k + k^2$. Pero el término k^2 puede despreciarse sin error sensible, por ser su valor insignificante, pues siendo siempre k una cantidad muy pequeña, mucho más lo será su cuadrado. Queda, pues, como aumento de superficie el término $2k$ que representa, por tanto, el coeficiente de dilatación superficial del cuerpo, el cual vemos que es el *dúplo del coeficiente de su dilatación lineal*.

Supongamos que se trate ahora del coeficiente de dilatación cúbica. Si consideramos un metro cúbico de un cuerpo medido á 0°, y elevamos hasta 1° su temperatura, todo el sólido se habrá dilatado, y sus aristas tendrán una longitud representada por $1+k$. El nuevo sólido tendrá por volumen $(1+k)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 \cdot k + 3 \cdot 1 \cdot k^2 + k^3 = 1 + 3k + 3k^2 + k^3$, y el aumento total de volumen será, por consiguiente, $3k + 3k^2 + k^3$. Por las razones antes expuestas, se puede prescindir de $3k^2$ y k^3 , y queda como verdadero incremento del cubo primitivo la cantidad $3k$; luego el *coeficiente de dilatación cúbica de un sólido es el tripto del coeficiente lineal*.

819. Fórmulas de la dilatación de los cuerpos.—Hemos llamado coeficiente de la dilatación de un cuerpo el incremento que experimenta la unidad de volumen del mismo al elevar un grado su temperatura, y hemos convenido en representarle por la letra k ; luego si aumenta 2, 3,..... t^o la temperatura de dicho cuerpo, sus respectivos incrementos serán $2k, 3k, \dots, tk$, y el cuerpo, que á 0° tenía un volumen igual á 1, se habrá convertido á t^o en $1+kt$. Si en vez de considerar la unidad de volumen, suponemos que el cuerpo tiene V unidades, su dimensión á t^o vendrá representada por $V(1+kt)$. La expresión $1+kt$ se llama *binomio de la dilatación*.

Sentado esto, supongamos que se quiere determinar el volumen de un sólido á la temperatura de t^o conociendo su volumen á 0°.

Para simplificar las operaciones representaremos por V_0 el volumen del cuerpo á 0°; por V_t su volumen á t^o y por $V_{t'}$ el volumen del mismo á t' grados y, además, llamaremos k su coeficiente de dilatación cúbica.

Por lo dicho anteriormente el V_0 del cuerpo se convertirá en $V_0(1+kt)$ al pasar aquél á la temperatura de t^o ; luego

$$V_t = V_0(1+kt) \dots (a).$$

De aquí podemos deducir el V_0 de un cuerpo conocido el V_t , y tendremos

$$V_0 = \frac{V_t}{1+kt} \dots (b).$$

Podemos también fácilmente deducir el $V_{t'}$ de un cuerpo conocido su V_0 y recíprocamente. En efecto, por la fórmula (a) tenemos que $V_{t'} = V_0(1+kt')$ y dividiendo aquélla por ésta resulta

$$\frac{V_t}{V_{t'}} = \frac{1+kt}{1+kt'} \dots (c).$$

lo que nos dice que los volúmenes de los cuerpos son respectivamente proporcionales á los binomios de su dilatación. De la última fórmula se deduce, por fin,

$$V_t = V_v \frac{1+kt}{1+kt'} \dots (d).$$

Todo lo dicho, respecto de los volúmenes de los cuerpos, puede aplicarse á las superficies y á las longitudes de los mismos, sin más que tener en cuenta el valor que en tales casos debe darse al coeficiente de la dilatación.

Las anteriores fórmulas son de un uso muy frecuente en la Física y, entre otras aplicaciones, sirven para deducir la densidad de los cuerpos á 0°, conociendo la densidad de los mismos á t_0 .

Para ello basta considerar que, á igualdad de peso, las densidades están en razón inversa de los volúmenes de los cuerpos, de modo que podemos establecer la proporción $\frac{d_v}{d_t} = \frac{V_t}{V_v}$. Pero hemos visto (c) que $\frac{V_t}{V_v} = \frac{1+kt}{1+kt'}$, luego $\frac{d_v}{d_t} = \frac{1+kt}{1+kt'}$; de donde $d_v = d_t \frac{1+kt}{1+kt'}$; y suponiendo $t' = 0$ tendremos, por fin,

$$d_0 = d_t (1+kt);$$

lo que nos dice, que para hallar la densidad de un cuerpo á 0°, basta multiplicar su densidad á t_0 por el binomio de la dilatación del mismo.

820. Aplicaciones.—La dilatación de los cuerpos sólidos ha recibido interesantes aplicaciones, alguna de las cuales vamos á citar.

Al construir las líneas férreas es necesario tener en cuenta la dilatación de los rails y dejar un pequeño espacio entre ellos, pues de otro modo se encorvarían al dilatarse y harían saltar los pernios que los unen á las traviesas. Al cubrir un techo con planchas metálicas sólo deben clavarse por un lado, para permitir su dilatación. Por igual motivo, los hierros de las rejillas de un hogar sólo se deben fijar por un extremo. Cuando se fabrican las ruedas de los carruajes se calienta fuertemente el aro metálico que une las pinas, y una vez colocado se enfría con agua, en cuyo caso las aprieta extraordinariamente al contraerse. Si el tapón de un frasco de cristal se encuentra muy adherido al cuello, y se resiste á salir, puede conseguirse casi siempre su salida calentando el cuello del frasco con una lamparilla de espíritu de vino, en cuyo caso se dilata éste y no el tapón, por ser el cristal un cuerpo que conduce mal el calor. La fuerza que desarrollan los cuerpos, tanto al dilatarse como al contraerse, es enorme, y ha servido en algunas ocasiones para producir presiones extraordinarias. Como ejemplo notable de esto podemos citar la unión de los muros de una bóveda del Conservatorio de Artes de París, que habían perdido la vertical por efecto del gran peso del edificio. Para conseguirlo se les atravesó por gruesas barras de hierro, terminadas exteriormente por tuercas, y se calentaron fuertemente las de orden impar; entonces se apretaron las tuercas de estas barras, que por su dilatación habían quedado flojas, y al enfriarse y contraerse atrajeron tras de

si dichos muros. Á su vez se calentaron las barras de orden par, y se repitió con ellas la misma operación, y continuando de este modo se consiguió volver dichos muros á la vertical.

821. Péndulos compensadores.—Una de las aplicaciones más notables de la dilatación de los metales es para compensar la variación de longitud que los péndulos experimentan al cambiar la temperatura. Resulta, en efecto, que si un péndulo oscila segundos exactos á la temperatura de 10° , oscilará más despacio á los 20° , y el reloj de que forme parte retrasará, sucediendo lo contrario si la temperatura fuese inferior á dichos 10° . Para evitar este grave defecto han ideado los físicos los *péndulos compensadores*, en los cuales, por medio de una combinación ingeniosa de dos metales, se consigue que no varíe su longitud por los diferentes cambios de temperatura.

Uno de los sistemas más usados es el *péndulo de parrilla*, ideado por Leroy. Consiste (fig. 347) en una lenteja de gran peso sostenida por una serie de láminas alternadas de acero y latón, y dispuestos sus puntos de apoyo de manera que al dilatarse las de acero descienda el centro de oscilación del péndulo, y al verificarlo las de latón se eleve igual cantidad dicho centro. Haciendo que la longitud total de las barillas de latón sea los $\frac{2}{3}$ de las de acero, se consigue que el péndulo quede compensado, puesto que la dilatación del acero es aproximadamente los $\frac{2}{3}$ de la del talón.

De más fácil construcción que el anterior es el *péndulo de Graham*, el cual consiste en una barilla de hierro *B* (fig. 348), de la que se halla suspendido un tubo de cristal *V*, casi lleno de mercurio; éste forma en realidad la lenteja del péndulo, y se halla sostenido entre unas láminas de latón *PP'*. Al dilatarse la barilla de hierro baja el centro de oscilación del péndulo, pero el mercurio al dilatarse produce un efecto opuesto, y se concibe, si la cantidad de mercurio está bien calculada, que el péndulo no variará de longitud con los cambios de temperatura.

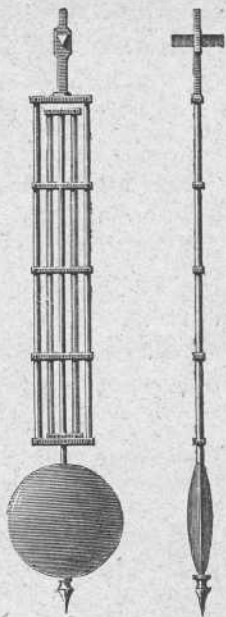


Fig. 347.



Fig. 348.

ARTÍCULO III.

DILATACIÓN DE LOS LÍQUIDOS.

822. Dilatación real y aparente.—Ya indicamos que los líquidos se dilatan más que los sólidos por la acción del calor; además, en estos fluidos sólo puede considerarse el coeficiente de dilatación cúbica, puesto que carecen de forma propia. En los líquidos, sin embargo, se distinguen dos clases de dilatación: la *dilatación real*, ó sea la que sufre el líquido prescindiendo del vaso en que está contenido, y la *dilatación aparente*, ó sea la que se observa cuando el líquido está contenido en una vasija que á su vez se dilata. Es evidente que la dilatación real de un líquido es igual á la aparente sumada con la dilatación del vaso; luego llamando R la dilatación real de un líquido, A la aparente y V la dilatación del vaso tendremos:

$$R = A + V,$$

con cuya fórmula se puede calcular el valor de una de dichas cantidades conocidas las otras dos. No se usa, sin embargo, este procedimiento para evitar la acumulación de errores, y se prefiere calcular directamente la dilatación que se desea conocer.

823. Dilatación real del mercurio.—El líquido cuya dilatación real más interesa conocer, por sus constantes aplicaciones en Física y Química, es el mercurio, y para calcularle procedieron Dulong y Petit del modo siguiente: En dos tubos de cristal A y B , comunicantes mediante otro muy estrecho y horizontal CD (fig. 349),

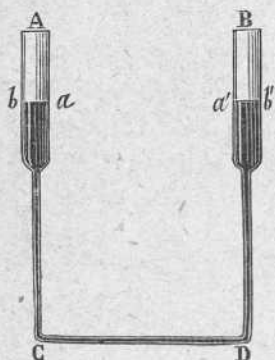


Fig. 349.

se echa mercurio á la temperatura de cero grados. En virtud de la ley de equilibrio de los líquidos en tubos comunicantes, la altura del líquido, á partir del eje del tubo horizontal, será igual en ambas ramas; pero si se calienta el mercurio contenido en una de ellas, éste se dilatará, y las alturas dejarán de ser iguales. En éste caso dichas alturas estarán en razón inversa de sus densidades, puesto que en realidad se trata de líquidos distintos, de modo que llamando a_0 y d_0 la altura y densidad del mercurio á 0° , y a_t y d_t las mismas variables á la temperatura de t° , tendremos la proporción siguiente:

$$\frac{a_0}{a_t} = \frac{d_t}{d_0}; \text{ pero } d_0 = d_t (1 + K t) \quad (819)$$

siendo K el coeficiente de la dilatación real del mercurio. Sustituyendo este valor en la última

igualdad, resulta $\frac{a_0}{a_t} = \frac{d_t}{d_t (1 + K t)}$, ó $\frac{a_0}{a_t} = \frac{1}{1 + K t}$.

Resuelta esta ecuación tendremos, por último:

$$K = \frac{at - a_0}{a_0 \times t};$$

con cuya igualdad se obtiene el valor de K en función de las alturas del mercurio en ambas ramas á 0° y á t° . El valor obtenido por Dulong y Petit para la dilatación absoluta del mercurio fué $\frac{1}{5550}$, pero este valor sólo es exacto para temperaturas comprendidas entre 0° y 100° , pues como sucede en la mayor parte de los cuerpos, dicho coeficiente crece en la temperatura.

824. Dilatación aparente de los líquidos.— Para determinar el coeficiente de dilatación aparente de los líquidos puede seguirse el siguiente procedimiento empleado por Dulong y Petit para hallar el del mercurio. En un grueso tubo de cristal T (fig. 350) terminado por otro muy estrecho y doblado dos veces el ángulo recto, se introduce mercurio hasta que quede completamente lleno á la temperatura de 0° . Conociendo el peso del aparato vacío y pesándole después de lleno, tendremos el peso P del mercurio á 0° sin más que restar ambos datos. Si después se calienta el aparato á una temperatura de t° , se dilatará el mercurio, y por consecuencia saldrá por la abertura capilar en que termina cierta cantidad de dicho líquido; recogiendo éste en una capsulita C y pesándole, tendremos un cierto peso p , y por lo tanto en el tubo sólo quedará $P-p$; luego esta cantidad de mercurio se dilata el peso

p al pasar de 0° á t° , y por 1° solo se dilatará $\frac{p}{t}$. Pero esta cantidad representa la dilatación por 1° de $P-p$ unidades de mercurio, luego una unidad se dilatará $\frac{p}{t}$: $P-p = \frac{p}{t(P-p)}$, que será, por tanto, el coeficiente de dilatación aparente del mercurio en vasija de cristal. Calculando con gran esmero estas cantidades, encontraron Dulong y Petit para valor de dicho coeficiente la fracción $\frac{1}{6480}$. Este mismo procedimiento puede seguirse para determinar el coeficiente de la dilatación aparente de todos los líquidos, y aplicado por Dalton con gran esmero, le ha dado los siguientes resultados:



Fig. 350.

COEFICIENTE DE LA DILATACIÓN APARENTE
DE ALGUNOS LÍQUIDOS.

Mercurio	0,02	Aguarrás	0,07
Agua destilada	0,05	Éter sulfúrico	0,07
Ácido sulfúrico	0,06	Alcohol	0,11
— clorhídico	0,06	Ácido nítrico	0,11

825. Termómetro de peso.— El aparato anterior ha recibido el nombre de *termómetro de peso*, porque sirve para determinar la temperatura á que ha llegado el mercurio, conociendo el peso p del líquido vertido y el peso P del mercurio que cabe en el aparato á 0° . Tenemos, en efecto, por lo anteriormente dicho $\frac{p}{t(P-p)} = \frac{1}{6480}$ y quitando denominadores resultará $6480.p = t(P-p)$, donde $t = \frac{6480.p}{P-p}$, con cuya ecuación se puede calcular la temperatura t en función de P y p ,

826. Dilatación del agua.—El agua presenta la propiedad notable de cesar de contraerse á la temperatura de 4° centígrados y, al contrario de lo que sucede á la mayoría de los cuerpos, se dilata desde esta temperatura si sigue enfriándose. Resulta, pues, que á 4° presenta el agua su máxima contracción y, por consecuencia, su *máxima densidad*. Se puede probar este interesante fenómeno por medio del siguiente aparato, debido á Hope. En una probeta de cristal (fig. 351), se introducen, por unas aberturas practicadas cerca del fondo la una y próxima á la boca la otra, dos termómetros bien graduados; el aparato lleva además un espacio anular hacia su parte media,

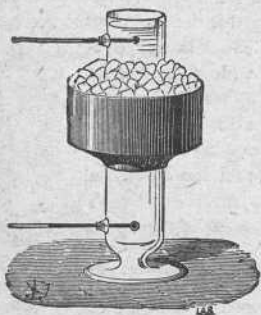


Fig. 351.

donde se pone hielo machacado y sal común. Esto supuesto, si se llena la probeta de agua, á 10° por ejemplo, se observará que el termómetro superior desciende inmediatamente á 9°, y como el agua á esta temperatura es más densa que á los 10°, desciende dicho líquido y hace bajar á 9° el termómetro del fondo. El agua de la parte superior sigue enfriándose por su contacto con el hielo y, por la razón antes expuesta, desciende á medida que se enfria, de modo que el termómetro inferior sigue con un poco de retraso las indicaciones del superior. Bajando de este modo la temperatura, llega un momento en que ambos termómetros marcan 4°, y desde este instante el termómetro inferior permanece fijo, mientras que el de la parte superior sigue bajando á 3, 2, 1 y 0°. Esto prueba que el agua á 4°, es más densa que á ninguna otra temperatura.

del superior. Bajando de este modo la temperatura, llega un momento en que ambos termómetros marcan 4°, y desde este instante el termómetro inferior permanece fijo, mientras que el de la parte superior sigue bajando á 3, 2, 1 y 0°. Esto prueba que el agua á 4°, es más densa que á ninguna otra temperatura.

827. Corrección de la altura barométrica.—Ya indicamos al hablar de este aparato (173), que había que someter á varias correcciones la altura directamente observada, siendo una de ellas la relativa á la temperatura, y ahora podemos ocuparnos de tal asunto.

Se comprende, en efecto, que la altura barométrica depende no tan sólo del peso del aire en el momento en que se haga la experiencia, sino además de la temperatura del mercurio. Para que todas las observaciones sean comparables, han convenido los físicos en suponer á 0° el mercurio del barómetro. Veamos cómo se puede verificar esta corrección. Sean a_t y a_0 las alturas del barómetro á t° y 0° , y representemos por d_t y d_0 la densidad del mercurio á dichas temperaturas. Sabemos desde luego que en los tubos comunicantes las alturas de los líquidos están en razón inversa de sus densidades; luego tendremos la proporción siguiente: $\frac{a_0}{a_t} = \frac{d_t}{d_0}$. Pero sabemos también (819), que $d_0 = d_t (1 + Kt)$, siendo K el coeficiente de la dilatación absoluta del mercurio, de modo que sustituyendo resultará $\frac{a_0}{a_t} = \frac{d_t}{d_t (1 + Kt)}$, ó lo

que es igual: $\frac{a_0}{a_t} = \frac{1}{1 + Kt}$, de donde tendremos $a_0 = \frac{a_t}{1 + Kt}$. Reemplazando

ahora K por su valor $\frac{1}{5550}$ resultará, por fin, que

$$a_0 = \frac{a_t}{1 + \frac{1}{5550} t} = \frac{5550 \times a_t}{5550 + t}$$

Con esta fórmula se puede fácilmente hallar la altura a_0 conociendo la altura a_t y la temperatura t . Para evitar, sin embargo, esta pequeña molestia se han calculado unas tablas que se hallan insertas en todos los anuarios meteorológicos.

ARTÍCULO IV.

DILATACIÓN DE LOS GASES.

228. Coeficiente de la dilatación de los gases.—Ya dijimos, al hablar de la dilatación en general, que los gases se dilatan por la acción del calor mucho más que los sólidos, y aun más que los líquidos. Por carecer, además, de forma propia, sólo se puede considerar en estos cuerpos el coeficiente de su dilatación cúbica; por otra parte, su volumen depende, como sabemos, de la presión á que estén sometidos, y es, por lo tanto, necesario medir su dilatación á una *presión constante*.

El aparato usado por Gay-Lussac para determinar el coeficiente de dilatación de los gases, está representado en la figura 352. Consiste en una caja

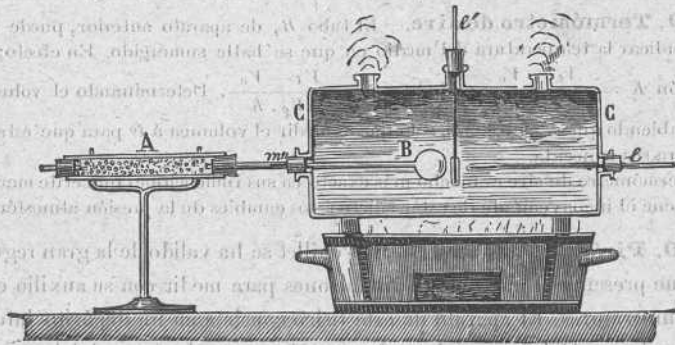


Fig. 352.

metálica C provista de cinco tubuluras, dentro de la cual se pone hielo fundente; en los orificios l y l' se colocan dos termómetros bien contruídos, y por la tubulura m se introduce el tubo termométrico B . Este tubo se halla

dividido en partes de igual capacidad, y contiene dentro el gas que se quiere someter á la experiencia. Para que dicho gas se despoje de la humedad se le hace pasar por un tubo *A*, lleno de fragmentos de cloruro de calcio, y se le separa del aire exterior por medio de un pequeño índice de mercurio *m*.

Anotando la división marcada por el índice se tendrá el volumen ocupado por el gas á 0°. Después se sustituye el hielo fundente por agua, que se calienta por medio de un hornillo hasta la temperatura de su ebullición, y se vuelve á observar la posición del índice de mercurio.

Suponiendo que no haya variado la presión atmosférica durante la experiencia, se calcula el coeficiente de dilatación del gas del modo siguiente: Sean 0° y *t*° las temperaturas á que ha estado sometido el gas, y representemos por *V*₀ y *V*₁ los volúmenes correspondientes. Sabemos (819) que entre estos volúmenes existe la relación $V_1 = V_0 (1 + Kt)$, siendo *K* el coeficiente de dilatación del gas. Deduciendo de esta ecuación el valor de *K*, tendremos $K = \frac{V_1 - V_0}{V_0 \cdot t}$.

Aplicando Gay-Lussac este método á la investigación del coeficiente de dilatación de diferentes gases, dedujo las siguientes leyes:

1.ª *Todos los gases tienen el mismo coeficiente de dilatación, á saber: 0,00375.*

2.ª *El coeficiente de dilatación de los gases es independiente de la presión.*

Posteriormente otros físicos, y principalmente Regnault, han podido observar, valiéndose de aparatos más perfectos, que las leyes de Gay-Lussac no se cumplen con entera exactitud, sobre todo en aquellos gases que se licuigan con facilidad; pero las diferencias son tan pequeñas que no hay inconveniente en considerar dichas leyes como exactas.

829. Termómetro de aire.—El tubo *B*, de aparato anterior, puede servir para indicar la temperatura del medio en que se halle sumergido. En efecto; de la ecuación $K = \frac{V_t - V_0}{V_0 \cdot t}$, se deduce $t = \frac{V_t - V_0}{V_0 \cdot K}$. Determinando el volumen á 0°, y sabiendo que *K* = 0,00375, sólo queda medir el volumen á *t*° para que esta temperatura sea conocida.

El termómetro de aire es mucho más exacto en sus indicaciones que el de mercurio, pero tiene el inconveniente de estar sujeto á los cambios de la presión atmosférica.

830. Pirómetro de aire.—M. Pouillet se ha valido de la gran regularidad que presenta el aire en sus dilataciones para medir con su auxilio elevadas temperaturas. El aparato de este físico consiste en un depósito infusible de porcelana vidriada, provisto de un tubo que sale fuera del horno cuya temperatura se quiera determinar. El aire del interior del aparato se halla separado del exterior por medio de un índice de mercurio, y por un cálculo análogo al del termómetro de aire, se determina la temperatura de dicho horno sin más que observar las diferentes posiciones del índice del mercurio.

831. Peso específico de los gases.—Como quiera que los gases son mucho más ligeros que el agua, no conviene referir sus densidades á la de este líquido, pues resultarían fracciones muy pequeñas. Por otra parte, influyendo mucho en el volumen de los gases la presión atmosférica, y no siendo igual en los diferentes puntos de la Tierra el peso de una columna de mercurio de 760 milímetros de altura, las densidades de los gases, con relación al agua, serían números variables de un sitio á otro; por estas razones, se ha convenido en comparar dichos pesos específicos con el aire.

Para que los resultados sean comparables, es necesario, evidentemente, que tanto el gas como el aire se hallen en iguales condiciones de temperatura y presión, y en este supuesto *se entiende por peso específico de un gas, la relación entre el peso de un cierto volumen del mismo, y el de otro volumen igual de aire, medidos ambos á 0° y 760 milímetros de presión.*

Para obtener estos datos, se usa un gran globo de cristal, provisto en su cuello de una llave de fuente, y después de hacer en su interior el vacío y pesarle con exactitud, se llena del gas cuya densidad se quiere averiguar. Volviéndole á pesar, se obtendrá fácilmente el peso del gas encerrado en el globo, á la temperatura que entonces marque el termómetro, y á la presión indicada por el barómetro. Repitiendo con el aire igual serie de operaciones, tendremos, á su vez, el peso del aire contenido en el globo en las condiciones que entonces señalen el termómetro y el barómetro. Ambos resultados, hay que reducirlos á 0° y 760 milímetros, y para ello tenemos las fórmulas de la dilatación (819) y la ley de Mariotte (178). Últimamente, sólo resta dividir el peso del gas por el del aire, y el cociente nos dará el peso específico del gas sometido á la experiencia.

Tomando Regnault todo género de precauciones á fin de evitar errores, ha dado la siguiente tabla:

DENSIDADES DE ALGUNOS GASES Á 0° Y 760 mm. DE PRESIÓN.

Aire.	1,0000	Oxígeno.	1,1056
Hidrógeno.	0,0693	Ácido sulfuroso.	1,1912
— protocarbonado.	0,5590	— clorhídrico.	1,2472
Gas amoníaco.	0,5967	— carbónico.	1,5290
Óxido de carbono.	0,9569	— sulfuroso.	2,2474
Nitrógeno.	0,9714	Cloro.	2,4216

Con esta tabla se puede hallar fácilmente el peso de un cierto volumen V de un gas, medido á 0° y á 760 milímetros de presión.

Sabemos, en efecto (115), que $P = V \cdot D$, y como el peso de un litro de

aire es = 1,293 gramos, resultará que el peso de un litro del gas de que se trate, vendrá expresado por la igualdad $P = V \cdot D$. 1,293 gramos.

Si se quiere referir el peso específico de los gases, no al aire, como generalmente se hace, sino al agua, bastará multiplicar los números de la tabla anterior por la densidad del aire relativamente á dicho líquido. Ahora bien; un litro de aire pesa, como acabamos de indicar, 1,293 gramos, y como el mismo volumen de agua pesa 1 kilogramo, la densidad de que hablamos estará representada por $\frac{1,293}{1000} = 0,001293$.

CAPÍTULO III.

Cambios de estado.

ARTÍCULO PRIMERO.

FUSIÓN.

832. Definiciones.—Hemos visto que la elevación de temperatura produce en los cuerpos un aumento creciente en su volumen, y se comprende fácilmente que su cohesión disminuirá progresivamente hasta anularse; en este caso, el cuerpo sólido cambia de estado, y pasa al de líquido. *Es, pues, la fusión de los cuerpos el tránsito del estado sólido al de líquido, por el intermedio del calor.*

Existen muchos cuerpos, generalmente del reino orgánico, que no se pueden fundir, por destruirse antes de alcanzar la temperatura que sería necesaria para hacerlos cambiar de estado; tales son las maderas, el papel, las fibras textiles, etc. Otros se descomponen antes de conseguir su fusión, como el mármol; pero se puede conseguir aquélla calentándolos en un aparato herméticamente cerrado. En general, todos los cuerpos son susceptibles de fundirse sometidos á una temperatura conveniente; sólo se ha resistido hasta ahora el carbono, y aun éste ha logrado reblandecerse M. Despretz someténdole á la acción de una corriente eléctrica de gran intensidad. Los cuerpos difíciles de fundir, como el platino, iridio, porcelana, etc., se llaman refractarios.

833. Leyes de la fusión.—Este fenómeno se halla sometido á las dos siguientes leyes, deducidas por la experiencia:

1.^a Cada cuerpo empieza siempre á fundirse á una temperatura dada, llamada punto de fusión.

2.^a Durante la fusión de un cuerpo la temperatura permanece invariable.

Para que se verifique la primera ley es, sin embargo, necesario que las circunstancias sean las mismas; pues si se les comprime ó pone en presencia de otros cuerpos, puede cambiar su temperatura de fusión.

He aquí una lista de la temperatura á que se funden algunos cuerpos:

TEMPERATURA DE FUSIÓN, AL AIRE LIBRE, DE LOS CUERPOS
MÁS USUALES.

Mercurio.	— 39,5	Plomo.	334°
Hielo.	+ 0°	Plata.	954°
Fósforo.	44,2	Oro.	1035°
Estearina.	70°	Cobre.	1054°
Azufre.	114,5	Hierro.	1500°
Estaño.	228°	Platino.	1775°
Bismuto.	247°	Iridio.	1950°

834. Particularidades que acompañan á la fusión de algunos cuerpos.—Al pasar los cuerpos del estado sólido al de líquido suelen, en general, aumentar de volumen; pero algunos, como el agua, el bismuto, antimonio y algún otro, se contraen en vez de dilatarse. En comprobación de esto basta recordar que el hielo flota en el agua, y lo mismo le sucede al bismuto y antimonio en sus respectivos líquidos.

La presión á que se hallen sometidos los cuerpos durante la fusión, tiene bastante influencia sobre la temperatura á que se verifica dicho cambio de estado, y puede decirse, en general, que con ella se eleva el punto de fusión de los cuerpos que aumentan de volumen al fundirse, mientras que descienden algunos grados si se aplica á cuerpos, como el agua, que disminuyen de volumen al liquidarse.

835. Rehelo.—Recibe este nombre la propiedad que tienen los trozos de hielo de soldarse unos á otros, cuando se les somete á una cierta presión.

La influencia que hemos dicho tiene la presión de hacer que descienda la temperatura de fusión del hielo, explica perfectamente el fenómeno del rehelo. Sucede, en efecto, que al comprimir dos trozos de hielo se funde dicha sustancia en los puntos de contacto, y el líquido resultante penetra en los intersticios inmediatos; como en éstos no existe dicha presión, vuelve á congelarse el agua resultante, y suelda los puntos en que se alojó, y como

esto se verifica en todos puntos de contacto, resulta inmediata la soldadura de los trozos de hielo comprimidos.

Fundándose en esta propiedad se suele hacer el siguiente experimento: Sobre un prisma de hielo, apoyado por sus extremos, se cuelgan dos pesas unidas por un alambre, y, efecto de la presión, éste va penetrando en el hielo hasta pasar al otro lado, sin que dicha sustancia se corte. La explicación de este curioso fenómeno es la misma que hemos indicado hace poco. Por efecto de la presión se funde el hielo de los puntos en que descansa el alambre, y al pasar el líquido encima de aquél, en que ya no sufre presión, vuelve á congelarse.

Tyndall explica el notable fenómeno de la marcha de los *ventisqueros* por igual causa.

836. Calórico de fusión.—Hemos indicado al hablar de las leyes de la fusión, que la temperatura de un cuerpo al fundirse no varía mientras se está produciendo el fenómeno, y es natural preguntarse: ¿qué se ha hecho del calor emitido por el foco durante ese tiempo? Antes se suponía que dicho calor quedaba como oculto entre las moléculas del cuerpo fundido, y se le llamó por esta razón *calórico latente*; hoy, mejor estudiada la cuestión, se admite que dicho calor se consume en producir un verdadero *trabajo*, cual es el de vencer la cohesión molecular del sólido para que adquiera el estado líquido, y se le llama *calórico de fusión*. Más adelante veremos cómo puede determinarse la cantidad de calórico que necesita cada cuerpo para fundirse.

837. Disolución.—Los cuerpos sólidos pueden pasar al estado líquido no sólo por causa del calórico, sino también por la acción de un disolvente. La sal común, el azúcar, el nitro, etc., se transforman en líquidos por la acción del agua; el alcanfor y muchas resinas por intermedio del alcohol; el azufre y el fósforo echándolos en el sulfuro de carbono.

El trabajo necesario para vencer la cohesión molecular de los sólidos exige siempre una cierta cantidad de calórico, y como en este caso no existe ningún foco de calor que se lo preste al fenómeno, el líquido resultante lo roba al disolvente, y éste se enfria.

Hay algunos casos, sin embargo, en que la disolución va acompañada de un desprendimiento más ó menos grande de calórico, pero esta anomalía aparente se explica muy bien teniendo en cuenta que, en la disolución de un cuerpo tienen lugar simultáneamente dos fenómenos antitéticos: uno de ellos físico, la disolución propiamente dicha, y que produce siempre cierto descenso de temperatura en el disolvente; y el otro químico, representado por la combinación que tiene lugar entre el sólido y dicho disolvente, cuya acción siempre va acompañada de calor. Según la energía relativa de ambas

acciones, resulta la fusión acompañada de un descenso ó de un aumento de temperatura, y cuando se equilibran ambas causas no se altera la temperatura del líquido resultante. Ejemplos: El nitrato amónico al disolverse en el agua produce mucho frío; el ácido fosfórico anhidro, al verificarlo en el mismo líquido, le calienta extraordinariamente, y el azúcar, por último, no altera la temperatura del agua en que se disuelve.

838. Mezclas frigoríficas.—La propiedad que hemos visto presentan los cuerpos de absorber calor para fundirse ó disolverse, se ha utilizado para obtener *mezclas frigoríficas*, y conseguir con ellas grandes descensos de temperatura. Todas ellas consisten en la mezcla de un líquido, ó sólido que puede convertirse en líquido, con un sólido que se disuelve en aquél, y elegidos de tal suerte que domine la acción física sobre la reacción química.

Las mezclas frigoríficas más usuales son las siguientes:

Sulfato de sosa.	8 partes.	} + 10° á — 17°
Ácido clorhídrico	5 »	
Hielo machacado	2 »	} + 10° á — 19°
Sal común.	1 »	
Fosfato de sosa.	9 »	} + 10° á — 29°
Ácido nítrico diluido.	4 »	
Cloruro de calcio.	4 »	} + 10° á — 51°
Nieve.	3 »	
Ácido carbónico sólido.	1 »	} + 10° á — 110°
Eter sulfúrico.	2 »	

839. Solidificación.—Recibe este nombre el tránsito de un cuerpo del estado líquido al de sólido. Para obtener la solidificación de los líquidos, basta hacer desaparecer las causas que motivaron la fusión de los sólidos correspondientes, y como hemos visto que aquéllas eran el calor, ó la acción de los disolventes, bastará, por tanto, para solidificar dichos cuerpos, someterlos á un cierto enfriamiento ó provocar la evaporación del disolvente empleado.

La solidificación está sometida á leyes análogas á las que rigen en la fusión de los cuerpos, á saber:

1.^a *Cada líquido empieza á solidificarse á una determinada temperatura, igual á la que necesita para fundirse.*

2.^a *Durante la solidificación de un líquido la temperatura permanece invariable, debido á que el calor que desapareció en la fusión en forma de trabajo, es ahora devuelto, y mantiene líquido el resto del cuerpo fundido.*

La primera ley, sin embargo, sólo se verifica, como sucede en la fusión de los cuerpos, si las circunstancias que rodean al fenómeno son las mismas.

840. Particularidades que acompañan á la solidificación de al-

gunos cuerpos.—Puede decirse, por regla general, que todos los líquidos se solidifican someténdolos á un descenso de temperatura conveniente. El alcohol, sin embargo, se ha resistido á los mayores fríos que pueden obtenerse, y sólo se ha conseguido ponerle en estado pastoso. Así como la presión hemos visto que aceleraba ó retardaba la fusión de los cuerpos, según éstos disminuían ó aumentaban de volumen al cambiar de estado, del mismo modo influye en la solidificación de aquéllos; en el agua, por ejemplo, que sabemos aumenta de volumen al solidificarse, la presión retarda notablemente su punto de solidificación, y puede permanecer líquida hasta cerca de 20° bajo cero, si la presión es muy considerable. El fenómeno que presentan algunos líquidos, como el agua, de permanecer en estado líquido por bajo de su temperatura de solidificación, se conoce con el nombre de *sobrefusión* de los mismos. Las principales causas que pueden motivar dicha sobrefusión, son las siguientes:

1.^a *Las materias disueltas en ellos.* El agua saturada de sal común, no se solidifica hasta — 21°.

2.^a *La falta de gases disueltos en el líquido.* El agua bien hervida puede llegar á — 12° sin congelarse.

3.^a *Una gran quietud.* El azufre puede llegar sin solidificarse hasta la temperatura ordinaria, si se enfría lentamente y se cuida de que permanezca en completa inmovilidad.

4.^a *Una gran agitación.* El agua de los torrentes se solidifica á temperaturas inferiores á 0°.

5.^a *La falta de espacio para agruparse las moléculas que han de originar el cuerpo sólido en la posición que les sea propia.* El agua encerrada en tubos capilares puede llegar á — 20° sin congelarse, porque para verificarlo tienen que formarse agujas cristalinas que no caben en el pequeño espacio que ofrece un tubo capilar; admirable previsión del Omnipotente que evita de este modo la muerte de las plantas, aunque se hallen expuestas á una temperatura de algunos grados bajo cero.

841. Cristalización.—La mayoría de los cuerpos líquidos al solidificarse lo verifican agrupándose sus moléculas de un modo regular, cuyo fenómeno se conoce con el nombre de *cristalización*. Los sólidos resultantes, formados por caras planas y ángulos diedros y poliedros, se llaman *crisales*. La cristalización de los cuerpos se puede conseguir por *via seca* y por *via húmeda*. Se dice que un cuerpo cristaliza por *via seca*, cuando después de fundido se le deja enfriar lentamente para que se solidifique; de este modo puede cristalizarse el bismuto y algunos otros metales. Para obtener la cristalización de un sólido por *via húmeda*, se le disuelve en un líquido y se deja

evaporar lentamente el disolvente; la mayor parte de las sales se cristalizan por este procedimiento. Hay algunos cuerpos que pueden cristalizar por ambos métodos; el azufre, por ejemplo, se puede cristalizar por fusión y también disolviéndole en el sulfuro de carbono.

842. Fuerza expansiva del agua al congelarse.—Ya hemos dicho que algunos líquidos, y entre ellos el agua, se dilatan al pasar del estado líquido al sólido; y como en estos dos estados son los cuerpos poco comprensibles, resulta una fuerza expansiva extraordinaria al operarse este aumento de volumen. Congelando el agua dentro de una bomba de hierro, logró Williams hacerla estallar (fig. 353). Las piedras porosas se cuartejan en invierno

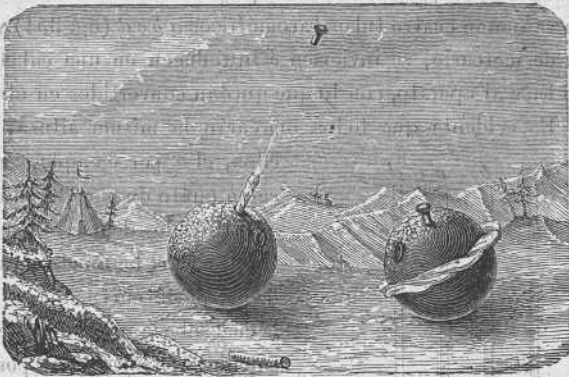


Fig. 353.

por congelarse el agua que tienen entre sus poros. Al helarse la savia en los vegetales, produce la ruptura de los vasos capilares por donde circula, y como consecuencia mueren aquéllos.

ARTÍCULO II.

VAPORIZACIÓN.

§ 1.º—Evaporación.

843. Vapores.—La mayoría de los líquidos sometidos á una temperatura conveniente pasan al estado gaseoso. Este fenómeno recibe el nombre general de *vaporización*, y el de *vapores* los fluidos resultantes.

Si la producción de vapores tiene lugar solamente en la superficie de los

líquidos, se llama *evaporación*, y se distingue con el nombre de *ebullición* cuando se originan dichos vapores en el interior de la masa líquida.

Hay algunos líquidos, como el aceite de olivas, que no producen vapores á ninguna temperatura, y se llaman por esto líquidos *fijos*, para diferenciarlos de los que se transforman fácilmente en vapores que reciben el nombre de *volátiles*. Algunos cuerpos sólidos, como el hielo y el alcanfor, producen vapores sin transformarse previamente en líquidos, fenómeno que se conoce con el nombre de *sublimación*.

844. Evaporación en espacios vacíos.—Para estudiar el fenómeno de la vaporización de un modo general, conviene conocer las circunstancias que acompañan á la evaporación de un líquido en el vacío.

Para esto se toman cuatro tubos barométricos *a b c d* (fig. 354) y, después de llenarlos de mercurio, se invierten é introducen en una cubeta común, que sirve de base al aparato, con lo que quedan convertidos en otros tantos barómetros. Es evidente que todos marcarán la misma altura, y uno de

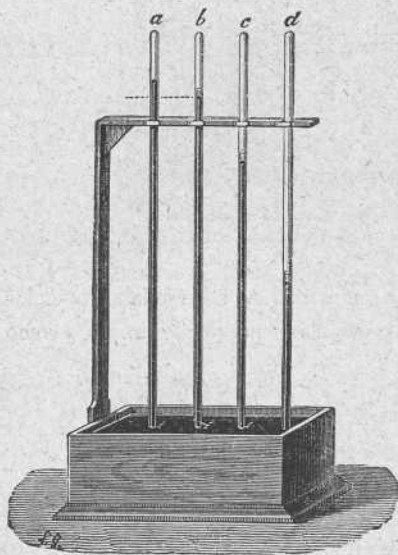


Fig. 354.

ellos, el *a* por ejemplo, se conserva como punto de partida para medir la altura de los demás. Después se introduce en el barómetro *b*, valiéndose de una pipeta curva, una gota de agua, la cual sube inmediatamente á la parte superior del mercurio, por ser más ligera que este líquido. Al llegar aquella á la cámara barométrica desaparece súbitamente, transformándose en vapor, y el nivel del mercurio desciende bruscamente cierta cantidad. Si se vuelve á introducir otra gota de agua, se repite igual serie de fenómenos, y el barómetro desciende nuevamente, y así sucede sucesivamente varias veces, hasta que llega un caso, en que la gota de agua última-

mente introducida se conserva líquida sobre la superficie del mercurio, cesando entonces el descenso del barómetro aunque se siga introduciendo más líquido. En este caso se dice que el espacio en que tiene lugar la evaporación está *saturado* de dicho vapor.

En el barómetro *c* se puede introducir, por el mismo procedimiento, varias gotas de alcohol, y en el *d* otras de éter, y observaremos idénticos

fenómenos en todos los casos, con la diferencia, sin embargo, de que la depresión del mercurio correspondiente al éter será mayor que la respectiva al alcohol, y ésta, á su vez, mayor que la del agua. Si se calienta cualquiera de dichos tubos con una lamparilla de espíritu de vino, observaremos que la depresión y cantidad de liquido evaporado aumentan rápidamente.

De estos hechos podemos deducir las siguientes consecuencias:

1.^a *Los líquidos volátiles se evaporan instantáneamente en el vacío.*

2.^a *La cantidad de vapor que puede formarse en un cierto espacio es limitada, y depende de su temperatura, y cuando ha llegado á la SATURACIÓN cesa por completo la evaporación del líquido.*

3.^a *La depresión que sufre un barómetro, en cuya cámara se verifica dicha evaporación, va aumentando hasta que aquella está SATURADA, en cuyo caso alcanza el mayor valor posible, llamado por esto TENSIÓN MÁXIMA.*

4.^a *La tensión máxima de los vapores correspondientes á diferentes líquidos es distinta de unos á otros, y crece rápidamente con la elevación de temperatura.*

845. Diferencia entre los vapores y los gases.— El estudio de la compresión de unos y otros fluidos nos va á dar á conocer inmediatamente las analogías y diferencias que existen entre dichos cuerpos.

Para llevar á cabo la compresión de los vapores se usa un barómetro llamado de *cubeta profunda*, *a b* (fig. 355). Es efectivamente un barómetro formado con un tubo largo, y cuya cubeta *M N* está provista de una prolongación tubular para introducir aquél cuanto convenga; en la cubeta se coloca, además, otro barómetro que sirve de tipo para medir la depresión del primero.

Si se introduce en el barómetro *a b* un liquido, tal como el éter, hasta que la cámara barométrica se halle saturada, observaremos que la tensión de dicho vapor es la misma que en el experimento anterior. Si ahora comprimimos dicho vapor, introduciendo el tubo *a b* en la

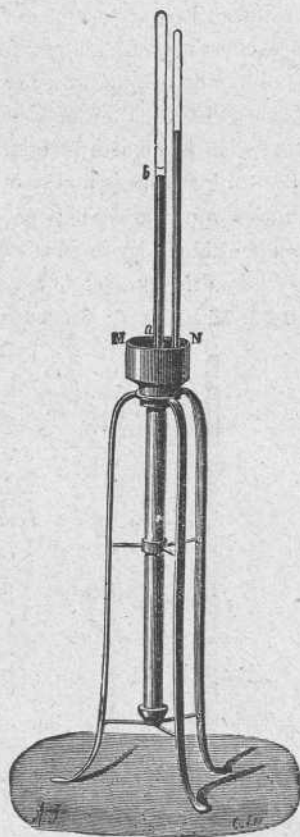


Fig. 355.

cubeta, notaremos que la diferencia de nivel de ambos barómetros permanece constante, y, por tanto, que la tensión del vapor que estudiamos no pasa del valor que adquirió al estar aquel saturado, ó sea, de su *tensión máxima*. En cambio observaremos al aumentar dicha presión, que la cantidad de líquido que existe sobre el mercurio aumenta cada vez más, sucediendo lo contrario al elevar el tubo y disminuir la presión á que está sometido el vapor. Si seguimos elevando el tubo hasta que se evapore todo el líquido, cambia el fenómeno completamente, y podremos observar entonces que los volúmenes ocupados por el vapor *no saturado* están en razón inversa de las presiones que sufre; es decir, que siguen la ley de Mariotte.

De estos hechos podemos deducir que, los vapores se pueden presentar en dos estados muy diferentes; uno cuando están saturados, ó sea en contacto con el líquido de que proceden, y entonces su tensión depende de la naturaleza de dicho líquido y de la temperatura á que se hallen sometidos, pero dicha tensión permanece invariable cualquiera que sea el espacio que ocupe el vapor. Si los vapores no están saturados, ó lo que es lo mismo, están secos, entonces son comparables en un todo á los gases, y puede aplicárseles sin error sensible la ley de Mariotte; su coeficiente de dilatación es, asimismo, muy poco diferente del de los gases (0,00375).

846. Medida de la tensión de los vapores.—Para determinar la

fuerza elástica del vapor de un líquido, y especialmente el del agua, que es el que más aplicaciones ha recibido, se procede del siguiente modo:

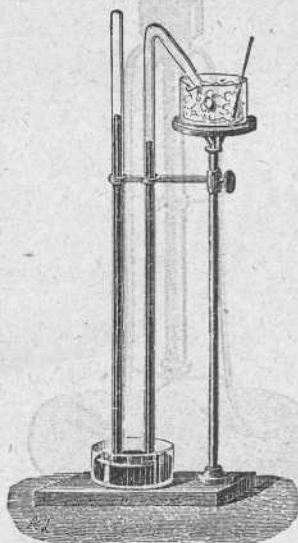


Fig. 356.

1.º *Tensión del vapor de agua á temperaturas inferiores á cero grados.* En una misma cubeta (fig. 356) se montan dos barómetros, uno de los cuales presenta en su parte superior una porción doblada en ángulo agudo. En éste se introducen unas gotas de agua, ó del líquido cuyo vapor se quiere estudiar, y se sumerge la extremidad superior en un recipiente, donde existe una mezcla frigorífica á la temperatura que se desea. El líquido contenido en este barómetro se evaporará, y el vapor formado deprimirá algo la columna barométrica; midiendo luego la diferencia de alturas de ambos barómetros tendremos el valor de la tensión correspondiente al vapor que se estudia y á la temperatura de la experiencia.

Podría creerse que el vapor no tendrá en este experimento la tensión que corresponde á la mezcla frigorífica, por estar mucha parte de él expuesto á la temperatura ambiente, que es muy superior; pero hay que tener en cuenta, que el equilibrio de dicho vapor exige que todo él tenga la tensión que corresponde á la *pared más fría*, pues de otro modo, al ponerse en contacto con dicha pared el vapor procedente de otras partes más calientes, se condensaría inmediatamente, perdiendo su exceso de tensión. Este importante principio fué descubierto por Watt, y generalmente se enuncia diciendo que, *la tensión de un vapor que ocupa espacios desigualmente calientes es la que corresponde al más frío.*

2.º *Tensión del vapor de agua á temperaturas comprendidas entre cero y cien grados.* Para estudiar Dalton esta cuestión se valió del siguiente aparato. En una cubeta de hierro *H* que contenga cierta cantidad de mercurio (fig. 357), se introducen dos barómetros *A* y *B*, teniendo cuidado de hacer llegar á la cámara de uno de ellos unas gotas de agua. Dichos barómetros se rodean de un tubo de cristal *p q*, que penetra unos centímetros en el mercurio de la cubeta, pudiendo de este modo llenar de agua dicho tubo hasta su parte superior, y, por último, se coloca la cubeta con todo lo que contiene sobre un hornillo. Esto supuesto, para hallar la tensión del vapor á una cierta temperatura, basta observar los termómetros *m* y *n* colocados dentro del tubo, agitando frecuentemente el agua para igualar su temperatura; una vez alcanzada la que se desea, se procura mantener constante el calor del hornillo, y se mide la diferencia de alturas de ambos barómetros. Esta diferencia, reducida á 0º, nos dará la tensión del vapor empleado.

Con el aparato anterior no puede observarse la tensión del vapor de agua á temperaturas superiores á 100º, pues á este calor rompe á hervir dicho líquido, y el mercurio del barómetro en que está contenido aquel descende hasta el nivel que tiene en la cubeta, lo que nos indica que *su tensión es igual á la presión atmosférica*. Si en vez de agua se pone

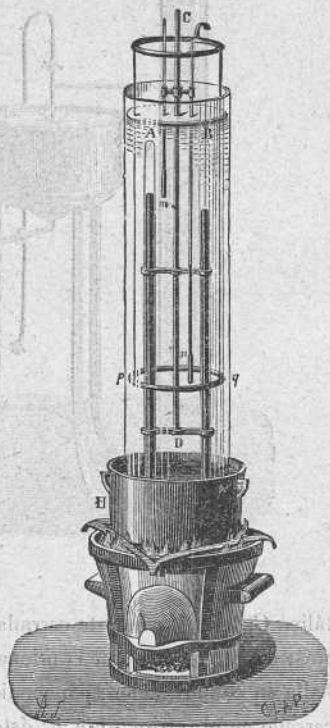


Fig. 357.

otro cualquier líquido volátil dentro del barómetro *B*, observaremos que, al llegar á hervir este líquido, su tensión alcanza también el valor que antes dijimos, lo que se expresa diciendo que, *la tensión del vapor de todos los líquidos al hervir es igual á la presión exterior, en el momento de verificarse la experiencia.*

3.º *Tensión del vapor de agua á temperaturas superiores á cien grados.* Para el estudio de este interesante asunto se ha fundado Regnault en la ley que acabamos de enunciar; basta, en efecto, hacer hervir el agua á una presión conocida, y ésta nos indicará la tensión de su vapor á la temperatura que marque el líquido.

El aparato usado por dicho sabio consiste (fig. 358) en una caldera me-

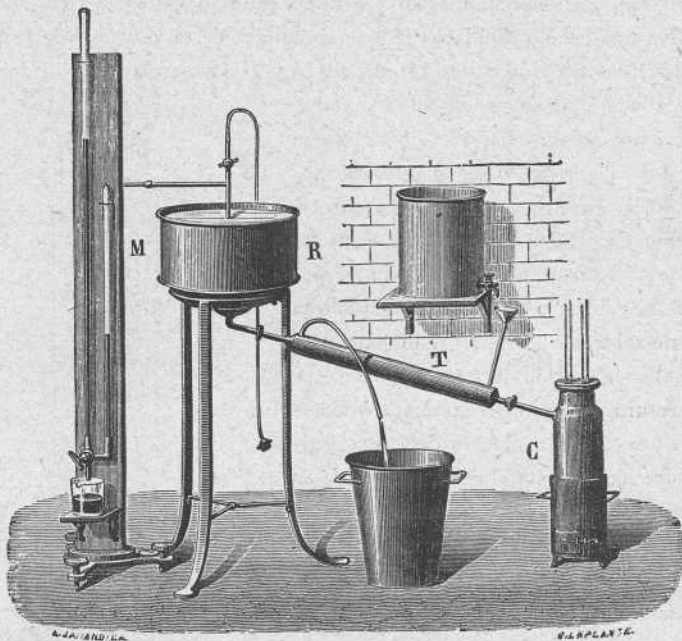


Fig. 358.

tática *C*, herméticamente cerrada, y provista en su tapa de varios termómetros; dicha caldera, que contiene agua y está colocada sobre un hornillo, se halla en comunicación, por medio de un tubo *T*, con un depósito de aire encerrado en el refrigerante *R*; éste comunica, á su vez, con el manómetro *M* y con una bomba de compresión. Esto supuesto, para hacer el experimento se empieza por inyectar aire en el tubo *T* por medio de la bomba antes mencionada, hasta que la presión interior, indicada por el manómetro *M*, sea

la que se desee. Después se calienta progresivamente el agua de la caldera *C*, y se observan los termómetros; éstos marcan al principio temperaturas cada vez más altas, hasta que llega un momento en que se detienen, lo que indica que el agua de la caldera ha empezado á hervir. Entonces se observa la temperatura de dichos termómetros y se lee con exactitud la presión indicada por el manómetro; ésta será la tensión máxima del vapor acuoso á dicha temperatura. Como los vapores emitidos por la caldera se condensan al llegar al tubo *T*, por el que circula constantemente una corriente de agua fría, y vuelven otra vez á dicha caldera, no hay necesidad de reponer el agua de ésta, y pueden en poco tiempo hacerse varias experiencias.

De un gran número de éstas ha deducido Regnault la siguiente tabla:

TENSIÓN DEL VAPOR ACUOSO Á DIFERENTES TEMPERATURAS.

Temperaturas.	Milímetros.	Temperaturas.	Atmósferas.
— 20°	0,93	110°	1,42
— 10°	2,09	120°	1,96
0°	4,60	130°	2,67
10°	9,17	140°	3,58
20°	17,39	150°	4,71
30°	31,55	160°	6,12
40°	54,91	170°	7,84
50°	91,98	180°	9,93
60°	148,79	190°	12,4
70°	233,09	200°	15,4
80°	354,64	210°	18,8
90°	525,45	220°	22,9
100° 1 atm. =	760,00	230°	27,5

847. Evaporación en espacios ocupados por un gas.—Estudiada la formación de los vapores en el vacío, vamos á ocuparnos del mismo fenómeno cuando tiene lugar en contacto con los gases.

Si en el interior de un vaso cerrado que contenga un gas, colocamos un líquido volátil, observaremos, en primer lugar, que la evaporación de aquél no se realiza de un modo instantáneo, como sucedía en el vacío, sino que el fenómeno se verifica lentamente, y depende en gran parte de la temperatura.

Mas á pesar de esta diferencia, si damos tiempo á que el líquido se evapore cuanto sea posible, observaremos que *la cantidad y tensión del vapor formado es igual que si el hecho tuviese lugar en un espacio vacío.*

Esta importante ley, descubierta por Dalton, se demuestra con auxilio del aparato representado en la figura 359. Consiste éste en un tubo ancho de cristal, que comunica por su parte inferior con otro estrecho y más largo; el

tubo ancho, está provisto de dos llaves de fuente, una colocada en su parte superior y otra en la inferior, y se halla sostenido verticalmente por un montante de madera. Lo primero que se hace es llenar ambos tubos de mercurio, y luego se atornilla en la tuerca superior del tubo ancho un matraz que contenga aire seco ó cualquier otro gas en iguales condiciones; en seguida se abre la llave inferior y la de dicho matraz, y se recoge en un vaso el mercurio que saldrá por aquella, con lo cual habrá penetrado en el tubo ancho un poco de aire del matraz. Entonces se cierran las dos llaves y se destornilla el matraz, y como el nivel del mercurio será más bajo en el tubo estrecho, se echa en él este líquido hasta que se iguale en ambos tubos. En la tuerca en que antes se atornilló el matraz se coloca ahora una especie de embudo, representado á la izquierda del grabado, el que tiene la particularidad de no quedar nunca abierto por la llave que obtura su fondo; para ello el macho de ésta no se halla horadado de parte á parte, sino tan sólo unos cuantos milímetros, de donde resulta que, al llenar aquél de un líquido y hacer girar la llave, va cayendo gota á gota dicho fluido. Haciéndolo así, se observa

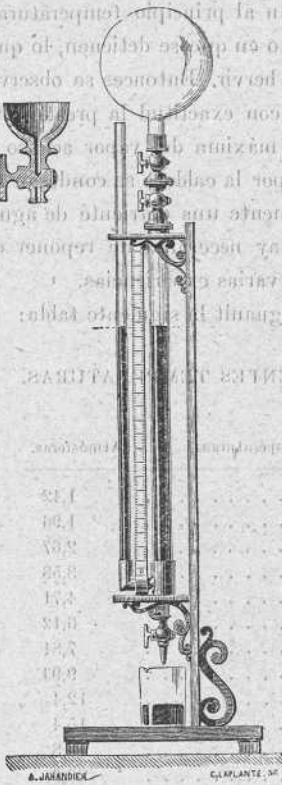


Fig. 359.

que el mercurio del tubo ancho desciende poco á poco, mientras que sube en el tubo estrecho, y el líquido empleado desaparece por evaporación. Si se continúa añadiendo gotas de líquido, llega un momento en que cesa la depresión del mercurio, y al mismo tiempo deja de evaporarse aquél, por hallarse saturado el gas del vapor de dicho líquido. Llegado este caso, se añade mercurio por el tubo estrecho hasta que en el ancho presente la misma altura que al principio. Si entonces medimos la diferencia de nivel que el mercurio presenta en ambos tubos, veremos que es precisamente la depresión que sufre un barómetro en cuya cámara se haya introducido el líquido en cuestión, de donde se deduce que la ley de Dalton, antes citada, es cierta. Como corolario de esta ley puede decirse que, *la fuerza elástica de una mezcla de un vapor y un gas es igual á la suma de las tensiones que cada uno tendría, encerrados separadamente en el espacio que ambos ocupan.*

848. Evaporación espontánea.— Ya dijimos, al hablar de la evaporación en general, que recibe el nombre de *evaporación* la producción de vapores en la superficie de un líquido, llamándose *evaporación espontánea* si sólo interviene en el fenómeno la acción del medio ambiente.

Para que un líquido se evapore, es necesario que la tensión máxima de su vapor, á la temperatura en que se encuentra, sea superior á la fuerza elástica que presenta el vapor del mismo líquido en el espacio que le rodea; ó de otro modo, que dicho espacio no se halle saturado del vapor de que se trate. Si el líquido se encuentra en contacto libre de la atmósfera, esta condición no puede realizarse fácilmente, y la evaporación de aquél no cesa hasta desaparecer completamente el líquido. Esto sucede si se coloca al aire libre un vaso que contenga cierta cantidad de agua, alcohol ó cualquier líquido volátil.

La cantidad de líquido que se evapora en dichas condiciones, durante un cierto tiempo, depende, entre otras cosas, de la superficie que aquél presente, y puesto que el fenómeno sólo se verifica en dicha superficie resulta proporcional á ésta.

La temperatura ambiente influye también poderosamente sobre la rapidez de la evaporación, lo que se comprende fácilmente recordando que, á medida que aquélla aumenta, crece también la tensión del vapor del líquido. Por esto algunos líquidos dejan de emitir vapores á temperaturas bajas, y se evaporan á otras más elevadas. El ácido sulfúrico, por ejemplo, no da vapores á temperaturas inferiores á 30°, y el mercurio cesa de evaporarse á unos 6° bajo cero.

Á su vez depende el fenómeno de que nos ocupamos, de la cantidad de vapor del mismo líquido que previamente exista en la atmósfera que le rodea, y es evidente que, si ésta se halla saturada, cesará por completo dicha evaporación.

El estado de agitación del aire acelera notablemente la evaporación de los líquidos, puesto que evita la saturación de las capas gaseosas que se hallan en contacto con aquél.

De todas estas causas se saca gran partido, tanto en la Industria como en las necesidades de la vida, para activar la evaporación de los líquidos. Así es como se obtiene la sal común procedente del agua del mar, para lo cual se la deja penetrar en balsas de gran extensión y poca profundidad, donde se evapora rápidamente bajo la influencia de los rayos solares. Bien sabido es, además, que para secar un lienzo conviene colocarle extendido á una corriente de aire, donde reciba, si es posible, la radiación solar.

849. Frío que produce la evaporación.— La transformación de un

líquido en vapor supone un trabajo considerable, tanto en vencer la cohesión de las moléculas líquidas, como en la expansión necesaria para que afecte el líquido el estado gaseoso. Ahora bien; este trabajo exige una cantidad de calor equivalente, y si no tiene el líquido ningún foco artificial de donde tomarlo, lo adquirirá de sí mismo, dando lugar á su enfriamiento.

La práctica prueba la verdad de este aserto, pues resulta efectivamente que al evaporarse un líquido desciende su temperatura, tanto más, cuanto más rápida es su evaporación. Rodeando un termómetro con una capa de algodón en rama, y vertiendo en ella un poco de éter, se logra hacerle bajar en poco tiempo hasta -10° . Si se echa un poco de este líquido en la mano se siente una gran impresión de frío al evaporarse. El frío que se nota al lavarse, aun con agua templada, depende del calor que á la piel roba dicho líquido para pasar al estado de vapor. El uso de las *alcarrazas*, para refrescar el agua en verano, está fundado en esto mismo; efecto de la porosidad de dichas vasijas exuda al exterior una capa de agua que, al evaporarse, refresca algunos grados el resto de la masa líquida. Si la evaporación es rápida pueden obtenerse descensos considerables en la temperatura de los líquidos; por la evaporación del ácido sulfuroso líquido, ó del amoníaco, en aparatos especiales, se obtiene industrialmente el hielo á un precio muy económico.



Fig. 360.

En los cursos de Física suele helarse un poco de agua introduciéndola en

un tubo de ensayo, y evaporando, por medio de un fuelle (fig. 360), el éter contenido en una copa, en la que se coloca dicho tubo.

§ 2.º—Ebullición.

850 Definiciones.—Ya dijimos que recibe este nombre la producción rápida de vapores en el seno de una masa líquida, y se comprende desde luego que, para verificarse el fenómeno, es necesario que la tensión máxima del vapor del líquido, á la temperatura en que se opera, sea igual, por lo menos, á la presión exterior.

Para apreciar las circunstancias que acompañan á la ebullición, basta colocar un matraz con agua sobre un hornillo encendido (fig. 361), y observa-

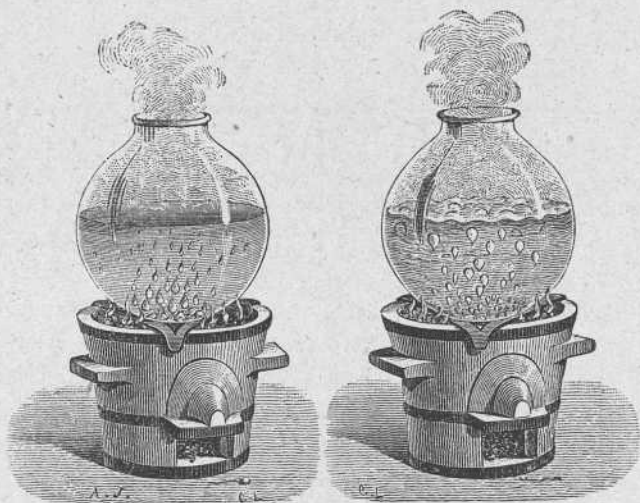


Fig. 361.

remos que al poco rato empiezan á desprenderse del líquido una porción de burbujas muy finas, debidas al aire disuelto en el agua. Más tarde, al alcanzar el líquido próximamente 100 grados de calor, se nota en el fondo la formación de gruesas burbujas de vapor, las que, al elevarse, se condensan en las capas superiores que están más frías; esta condensación produce un ruido particular, ó *canto*, y al poco rato de manifestarse entra el líquido por completo en ebullición.

851. Leyes de la ebullición.—El fenómeno de la ebullición se halla sometido á las leyes siguientes:

1.ª *Cada líquido, á una presión dada, hierve siempre á la misma temperatura, con tal que las demás condiciones que rodean al fenómeno sean idénticas.*

*Bevan José Badiola alumno de la
Normal maestros de Geo. y
D*

- 2.^a Durante la ebullición de un líquido permanece constante su temperatura.
 3.^a La tensión del vapor procedente de un líquido en ebullición es igual á la presión exterior.

Las dos primeras leyes se demuestran fácilmente del modo siguiente: Introduciendo un termómetro en el matraz de la figura anterior, se observa que su temperatura se eleva progresivamente hasta que el líquido rompe á hervir, y desde este momento permanece estacionada durante toda la ebullición del líquido; además, siempre que el fenómeno se repita en las mismas condiciones, se observará que se verifica á la misma temperatura.

A continuación exponemos una lista de la temperatura de ebullición de los líquidos más usados á la presión de 760 milímetros.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE ALGUNOS LÍQUIDOS
 BAJO LA PRESIÓN DE 760 MILÍMETROS.

Ácido sulfuroso.	— 10°,1	Agua destilada.	100°
Éter sulfúrico.	+ 34°,9	Aguarrás.	157°
Sulfuro de carbono.	46°,2	Fósforo.	290°
Cloroformo.	60°,4	Ácido sulfúrico.	325°
Alcohol.	78°,3	Mercurio.	357°,3
Bencina.	80°,3	Azufre.	449°,2
Ácido nítrico.	86°	Zinc.	1040°

La segunda de dichas leyes prueba, además, que el calor producido por el

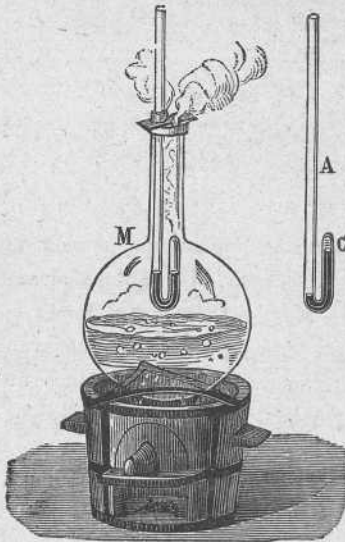


Fig. 362.

foco, una vez empezada la ebullición, se emplea únicamente en vencer la cohesión de las moléculas líquidas, y en producir la expansión necesaria para que pasen al estado de vapor. Ésta ley nos explica también por qué no se funden, colocadas al fuego, las vasijas de metales fusibles cuando tienen agua, y se agujerean y desueldan si están vacías.

La tercera ley de la ebullición se prueba echando un poco de agua en la rama corta y cerrada *C* de un tubo *A* en forma de sifón (fig. 362), en el que se añade la cantidad de mercurio necesaria para llenar dicha rama cerrada y el principio de la abierta, como indica el grabado. Después se introduce este tubo en un matraz *M* que contenga agua hirviendo, en cuyo caso el agua de dicho tubo se va calentando

hasta que se eleva a la temperatura de ebullición del agua en el matraz, momento en el que se produce la ebullición en el tubo y el agua hierve en él.

y llega á hervir; en este momento se iguala el mercurio en ambas ramas, lo que prueba que la tensión del vapor del agua contenida en la rama corta es igual á la presión exterior.

852. Circunstancias que modifican la temperatura de ebullición de los líquidos.—La primera ley de la ebullición depende, según hemos dicho antes, de la presión que actúe sobre el líquido, y de las circunstancias que rodean al fenómeno; vamos á indicar ligeramente en qué sentido influyen estas condiciones.

Presión exterior.—Á medida que aumenta la presión á que está sometido el líquido, se eleva su punto de ebullición. Esto se demuestra fácilmente por medio de la *marmita de Papin*. Consiste este aparato (fig. 363), en un cilindro resistente de metal, tapado herméticamente con un disco metálico, y provisto de una válvula de seguridad. Echando agua en su interior, y colocando la marmita sobre un

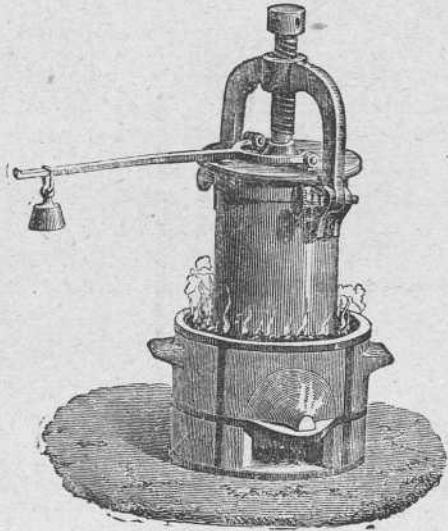


Fig. 363.

hornillo, la presión interior aumenta considerablemente á medida que se evapora el agua, y ésta puede llegar á temperaturas muy elevadas sin hervir. Por este procedimiento se logra disolver la gelatina contenida en los huesos, cosa imposible cuando el agua hierve á 100°.

Así como el aumento de presión retarda el punto de ebullición de los líquidos, la disminución de dicha fuerza acelera notablemente la producción de aquel fenómeno. Se puede demostrar esto fácilmente por medio del experimento de Franklin. Para verificarlo se hace hervir agua en un matraz, prolongando bastante la operación á fin de expulsar el aire que dicho líquido pueda tener; una vez conseguido, se separa aquél del fuego y se tapa con un corcho que ajuste herméticamente, y aun conviene introducir el cuello del matrás invertido en una vasija con agua hervida y caliente, para evitar que penetre el aire exterior. Dejando pasar algún tiempo, para que se enfríe el agua del matraz, puede reproducirse la ebullición, á pesar de estar el líquido tan sólo á 60 ó 70 grados, sin más que echar con una esponja

agua fría en la parte superior del matraz, como indica la (fig. 364). Resulta, en efecto, que al contacto del agua fría se condensan los vapores que llenan dicha vasija, y disminuyen extraordinariamente la presión interior, en cuyo caso el agua rompe á hervir desde el momento en

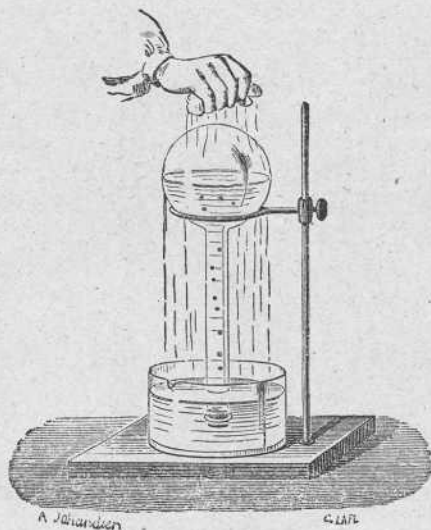


Fig. 364.

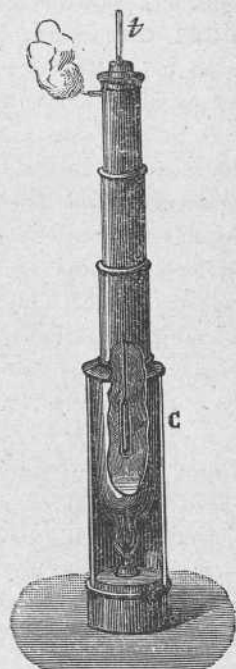


Fig. 365.

que la tensión máxima de su vapor iguala á aquella presión. Puede también probarse esto mismo colocando bajo la campana de la máquina neumática una cápsula que contenga agua á 30 ó 40°, y al hacer el vacío rompe á hervir el líquido inmediatamente. Por último, ya sabemos que en el vacío de la cámara barométrica hierven los líquidos á cualquier temperatura.

853. Hipsómetro.—Acabamos de ver que existe una relación íntima entre el punto de ebullición de los líquidos y la presión á que se verifica el fenómeno. De aquí han sacado partido Wollaston y Regnault para la construcción del *termómetro hipsométrico*, con el cual se puede averiguar la presión exterior midiendo la temperatura á que hierve el agua. Consiste este sencillo aparato (fig. 365) en una calderita de cobre *C*, colocada sobre una lamparilla de espíritu de vino; la parte superior de aquella está provista de una serie de tubos de latón, que pueden penetrar unos en otros, para hacer menos voluminoso el aparato, presentando el último tubo dos aberturas para introducir por una un termómetro *t* y dar salida por la otra al vapor de agua

formado. Echando un poco de agua en dicha calderita, y haciéndola hervir con auxilio de la lamparilla, los vapores de este líquido envuelven por completo el termómetro, que no debe penetrar en el agua, y aquél marcará la temperatura á que se verifica la ebullición. Obtenido este dato no hay más que buscar en la tabla de las tensiones del vapor de agua (846) la que corresponde á dicha temperatura, y ésta será la presión exterior. Hacia los 100° de temperatura, cada grado que se adelanta ó retrasa la ebullición del agua supone una diferencia de 27 mm., en la columna barométrica.

854. Temperatura de ebullición de las disoluciones salinas.— Disolviendo en el agua una sal, se observa que el punto de ebullición del líquido resultante se eleva tanto más, cuanto mayor es la proporción de sal disuelta, influyendo también notablemente la mayor ó menor afinidad del agua para con dicha sal. La siguiente tabla demuestra perfectamente lo que acabamos de exponer.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN A 760 MILÍMETROS
DE ALGUNAS DISOLUCIONES SALINAS.

Agua saturada de carbonato de sosa.	104°,6
— de sal marina.	108°,4
— de nitrato de potasa.	115°,9
— de carbonato de potasa.	135°,6
— de cloruro de calcio.	179°,5

Hay que observar, sin embargo, que si bien la temperatura de ebullición del agua se eleva por la causa de que nos vamos ocupando, no sucede lo mismo con el vapor que aquélla emite, el cual permanece á 100° bajo la presión normal; por esto indicamos al hablar de la graduación del termómetro, y lo mismo al describir el hipsómetro, que no debía introducirse aquél en el agua, pues de hacerlo así sería necesario usar siempre agua destilada.

855. Influencia de los gases en la ebullición.—Según la opinión de los más distinguidos físicos, para determinar la ebullición de los líquidos es necesario la presencia de una atmósfera gaseosa en el seno de aquéllos, pues de no existir ésta no se pueden formar las burbujas de vapor que caracterizan el fenómeno. Pruébese esto limpiando cuidadosamente un matracito é hirviendo en él un poco de agua por bastante tiempo, para desalojar el aire, cuidando á la vez de introducir un termómetro para observar la temperatura del líquido; retirada la vasija del fuego se echa encima una capa de aceite, y si después se vuelve á colocar dicho matrás sobre un foco de

calor, se observa que puede llegar el líquido á 120° sin hervir, bastando para determinar una violenta ebullición introducir en él una varilla de madera, ó cualquier otro cuerpo que lleve en su superficie alguna cantidad de aire.

ARTÍCULO III.

LIQUEFACCIÓN DE LOS VAPORES Y GASES.

356. Destilación.—Acabamos de ver que sometidos los líquidos á una cierta elevación de temperatura se convierten en vapores; pues, recíprocamente, enfriando convenientemente un vapor regresará al primitivo estado de líquido.

Este doble cambio de estado constituye la *destilación* de los líquidos, operación que tiene por objeto separar de ellos las sustancias que los impurifican. El aparato con que se practica, llamado *alambique* (fig. 366), consiste en una caldera ó *cucurbita* a colocada sobre un hornillo y cerrada en su

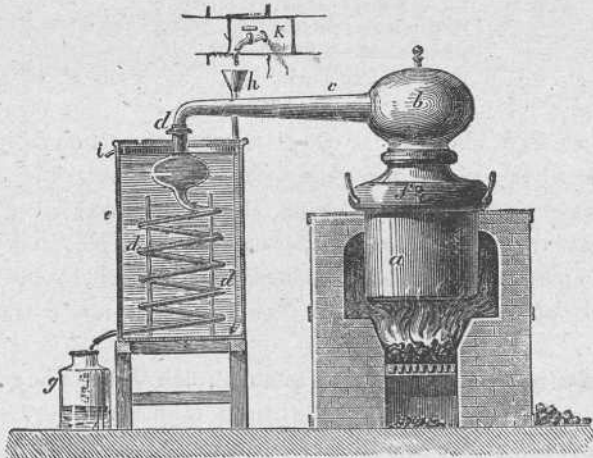


Fig. 366.

parte superior por una cavidad ó *capitel* b; éste comunica por medio del tubo c con otro d encorvado en hélice, llamado *serpentín*, alojado en un gran vaso lleno de agua fría, llamado refrigerante. Echando en la caldera el líquido que se quiere destilar y encendiendo el hornillo, los vapores de aquél

marchan por el tubo *c* al serpetín, en el que se condensan al contacto de sus paredes enfriadas por el agua exterior, y van á recogerse en el frasco *g*. Al condensarse dichos vapores calientan el agua del refrigerante, por lo que es necesario renovarla continuamente; para esto tiene dicho vaso un embudo *h*, que llega hasta el fondo del mismo, y un tubo de desagüe *l* colocado cerca de su borde. Haciendo llegar agua fría por dicho embudo, ésta obliga á salir por el tubo de desagüe la que ocupa la parte superior, que es la caliente, y de este modo no cesan de condensarse los vapores que llegan al serpetín. Cuando se trata de destilar el agua y otros líquidos que no atacan á los metales, se hace el alambique de cobre estañado; pero para líquidos corrosivos es necesario construirle de cristal ó de platino.

857. Liquefacción de los gases.—Ya dijimos (845) que no hay diferencia esencial entre los vapores y los gases, y lo prueba por completo el hecho de poderse liquidar hoy día todos los gases. Algunos de ellos, como el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, etc., no se ha logrado liquidarlos hasta fines del año 1877, por cuya razón se les llamaba antes *gases permanentes*, pero desde dicha época los Sres. Cailletet y Pictet han resuelto por completo tan interesante problema.

El método general para liquidar los gases consiste en someterlos á un cierto enfriamiento á la vez que se les comprime fuertemente.

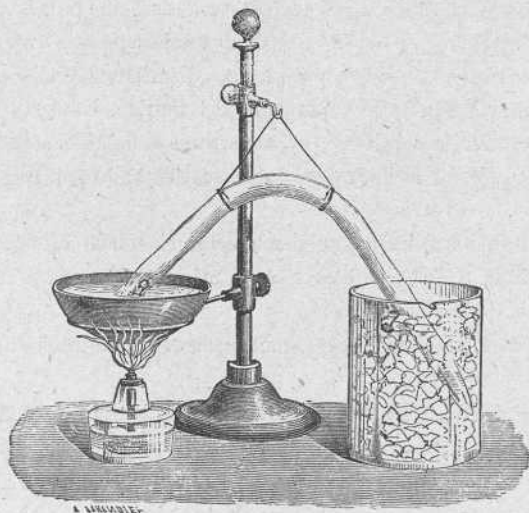


Fig. 367.

Con el *tubo de Faraday* se consigue liquidar fácilmente el amoniaco y algunos otros. Este aparato consiste (fig. 367), en un tubo de vidrio resis-

tente, doblado en ángulo obtuso, en el que se colocan los cuerpos que han de producir el gas que se desea liquidar; después de cerrado dicho tubo á la lámpara de esmaltar, se introduce el extremo vacío en una mezcla frigorífica y el otro en un baño de agua ó aceite caliente. En estas condiciones se desprende el gas sometido á la experiencia, y como no tiene salida al exterior se comprime á sí mismo, cuya causa, unida al efecto de la mezcla frigorífica, produce la liquefacción del gas empleado.

Este medio, sin embargo, es insuficiente para liquidar ciertos gases, y entre ellos los llamados antes permanentes, habiendo necesitado Cailletet y Pictet valerse de aparatos especiales para conseguirlo. Estos físicos han logrado liquidar el oxígeno sometiéndole á una temperatura de -130° bajo la presión de 273 atmósferas, y el hidrógeno á -140° y una presión de 650 atmósferas.

ARTÍCULO IV.

ESTADO ESFEROIDAL.

858. Calefacción de los líquidos.—Si se vierte un poco de agua sobre una plancha metálica cuya temperatura se halle próxima al rojo, se observa que el líquido se divide en glóbulos esféricos que recorren aquella con rápidos movimientos, y van poco á poco disminuyendo de tamaño, hasta que, al fin, desaparecen por evaporación del líquido. Este fenómeno, estudiado con gran detalle por Boutigny, constituye el llamado *estado esferoidal*, denominación que, por lo impropia, se va sustituyendo por la palabra *calefacción*.

Todos los líquidos volátiles pueden afectar el estado esferoidal, pero la temperatura de la plancha ha de ser tanto más elevada cuanto más alto tengan aquéllos su punto de ebullición.

Los principales fenómenos que caracterizan el estado esferoidal de los líquidos son los siguientes:

859. El glóbulo líquido no toca á la plancha metálica.—Para probar este hecho, que es la base de todas las particularidades del fenómeno, se calienta fuertemente una lámina bien plana y colocada horizontalmente, echando en su centro unas gotas de agua. Éstas toman inmediatamente la forma globular, y para evitar que se escapen de la plancha se tocan ligeramente por su parte superior con un alambre de platino fijo en un soporte; si entonces se mira una bujía colocada al lado opuesto del observador, se notará

(fig. 368) que la luz se ve por el espacio que queda entre el glóbulo y la lámina.

Puede también demostrarse la falta de contacto entre el glóbulo y la plancha caliente, valiéndose de una cápsula que tenga varios orificios en su centro, por encima de los cuales pasa el glóbulo esférico sin derramarse el líquido. La causa de esta repulsión puede referirse, en parte, á un efecto de capilaridad, puesto que ya vimos,

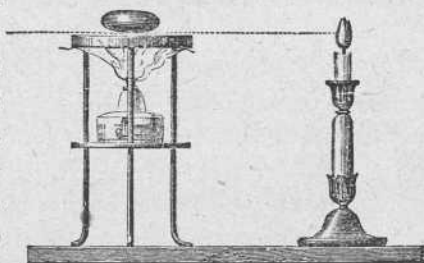


Fig. 368.

al tratar de éstos fenómenos, que la adhesión de los líquidos respecto de los sólidos disminuye con la elevación de temperatura, y á cierto grado se concibe que aquélla se transforme en repulsión, análoga á la que existe entre el mercurio y el cristal. Por otra parte, el vapor que se desprende de la parte inferior del glóbulo, efecto de su gran tensión, puede sostenerle, evitando su contacto con la lámina, lo que explica, además, el constante movimiento de que están animados los líquidos en estas circunstancias.

860. La temperatura del glóbulo es inferior á su punto de ebullición.—De dicha falta de contacto resulta que el líquido sólo se calienta por radiación, y como, por otra parte, la evaporación se verifica en toda su superficie, no llega á acumularse en su masa suficiente calor para determinar su ebullición. Puede probarse directamente este hecho poniendo al rojo un crisolito de cobre ó platino y echando en él un poco de agua; ésta toma inmediatamente el estado esferoidal, y con un termómetro de pequeño depósito se puede fácilmente observar la temperatura del líquido, que en el agua no pasa de 96°.

Si se enfría la plancha en que un líquido se halla en estado esferoidal, cesa la repulsión entre ésta y el glóbulo esférico, y poniéndose ambos en contacto, la temperatura del líquido sube inmediatamente, produciéndose entonces la ebullición con gran violencia.

Algunos hechos, al parecer extraordinarios, se explican satisfactoriamente por el estado esferoidal de los líquidos. Es muy frecuente ver en los circos á un individuo que se pasa por la lengua una barra de hierro candente, y también hay obreros en las fundiciones que introducen la mano dentro de un crisol lleno de hierro fundido. Ambos hechos se explican por la falta de contacto que se establece entre el metal candente y la lengua humedecida ó la mano mojada, siendo de todos modos gran imprudencia el ejecutar tales pruebas que pueden ocasionar fácilmente terribles quemaduras.

CAPÍTULO IV. Propagación del calor.

ARTÍCULO PRIMERO.

CONDUCTIBILIDAD.

861. Diferentes modos de propagarse el calor.—El calor puede propagarse de unos á otros cuerpos por *radiación* ó por *conductibilidad*. Se dice que se transmite por conductibilidad cuando la elevación de temperatura de unas moléculas se verifica después de haberse calentado todas las que existen entre aquéllas y el foco de calor; así sucede cuando se calienta por uno de sus extremos una barra metálica, en cuyo caso las moléculas calentadas directamente por el foco transmiten su calor á las que están inmediatas, éstas á las siguientes, y así sucesivamente hasta una cierta distancia.

En la transmisión del calor por radiación los cuerpos intermedios no sufren alteración en su temperatura. Ejemplo de este modo de propagación es el calor que recibimos del Sol ó de una chimenea, sin que se caliente el aire intermedio, y aun puede interponerse un pedazo de hielo sin que por esto deje de percibirse el calor de dicho astro.

862. Conductibilidad de los sólidos.—Estos cuerpos presentan grandes diferencias en su manera de conducir el calor. En efecto; puede tenerse impunemente en la mano una varilla de madera que esté ardiendo por uno de sus extremos, y no puede cogerse, sin quemarse, otra de hierro que esté bien caldeada por el extremo opuesto. Este hecho se expresa diciendo que el

hierro es *buen conductor* del calor y que las maderas no conducen este fluido.

Para estudiar la diferente conductibilidad de algunos sólidos, se valió el físico Ingenhousz de una caja de latón (fig. 369), en

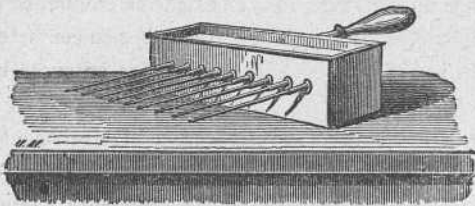


Fig. 369.

una de cuyas caras tiene practicados, á la misma altura, una serie de orificios iguales; introduciendo en dichos orificios cilindros de diferentes metales, cubiertos de una ligera capa de cera, y llenando de agua caliente la caja, se funde la cera en aquéllos á tanta mayor distancia cuanto mejores

conductores sean. De este modo averiguó dicho físico que el metal mejor conductor es la plata, siguiéndola después el cobre, latón, zinc, hierro y platino. Las piedras, las maderas, el cristal y el carbón vegetal son malos conductores.

M. Despretz siguió un procedimiento más exacto para determinar dicha conductibilidad. Al efecto hizo con los metales sometidos á la experiencia varillas prismáticas *A B*, de igual longitud y sección (fig. 370), y en una de sus caras practicó una serie de orificios equidistantes, en los que colocaba termómetros muy pequeños y sensibles t_1, t_2, \dots , rellenando con mercurio dichos orificios. Exponiendo uno de los extremos *A* de dichas varillas á la influencia de un foco constante de calor, observó que los termómetros indicaban temperaturas menos elevadas á medida que se separaban del dicho foco, hasta llegar á uno de ellos cuyas indicaciones coincidían con la temperatura del medio ambiente. Relacionando de este modo los

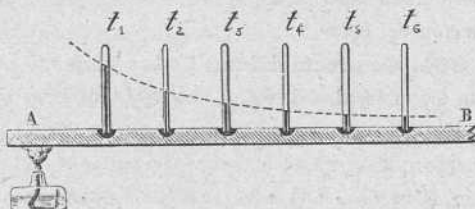


Fig. 370.

Resultados obtenidos con diferentes cuerpos, formó aquel físico una tabla de conductibilidades de los metales más usados, la que después ha sido corregida por Wiedemann y Franz, valiéndose de *pinzas termo-eléctricas* (976), para evitar la perforación de las barras sometidas á la experiencia.

Representando por 100 la conductibilidad de la plata, la de los otros metales es la siguiente:

Plata.	100	Hierro.	11,9
Cobre.	73,6	Acero.	11,6
Oro.	53,2	Plomo.	8,5
Latón.	23,6	Platino.	8,4
Zinc.	19	Paladio.	6,3
Estaño.	14,5	Bismuto.	1,8

Respecto á la conductibilidad de los cuerpos sólidos no metálicos, es en general muy escasa, y algunos de ellos, como las maderas ligeras, el corcho, lana, y algodón puede decirse que apenas conducen dicho fluido.

863. Conductibilidad de los líquidos.—Estos fluidos, excepción hecha del mercurio, apenas permiten el paso del calor por el interior de su masa.

Para probarlo se hace flotar sobre la superficie de un líquido una pequeña cápsula metálica, en la que se echa un poco de alcohol, y dentro de aquel líquido se coloca un termómetro cuyo depósito se halle á poca distancia del

fondo de la cápsula. Prendiendo fuego al alcohol se calienta fuertemente la cápsula, y lo mismo las capas del líquido que están inmediatas, más á pesar de esto el termómetro permanece fijo, ó cuando más se eleva uno ó dos grados.

El fenómeno cambia por completo cuando en vez de calentar un líquido por su superficie, como en la experiencia que acabamos de indicar, se le calienta por la parte inferior. En este caso, que es el más común, las capas inferiores que se hallan en contacto del foco se dilatan y elevan inmediatamente, siendo reemplazadas por otras más frías, las que, una vez calientes, se elevan á su vez, para ser sustituidas por otras, y así sucesivamente. De aquí resulta que toda la masa líquida se pone en contacto inmediato con el fondo del vaso, y en muy poco tiempo se eleva notablemente su temperatura. Este modo especial de calentarse los líquidos ha recibido el nombre de *convección del calor*.

864. Conductibilidad de los gases.—La gran movilidad que presentan las moléculas de estos cuerpos hace muy difícil la comprobación de su poder conductor, pero teniendo en cuenta la poca conductibilidad de todo cuerpo que tenga en su interior gran cantidad de estos fluidos, como el edredón, el corcho, lana, etc., se deduce que el poder conductor de los gases es casi nulo; únicamente el hidrógeno conduce un poco el calor, cuya propiedad, descubierta por Magnus, está en armonía con el carácter de metal que hoy se atribuye á dicho cuerpo.

Á pesar de su escasa conductibilidad los gases se calientan rápidamente por *convección*, cualquiera que sea el punto de su masa en que se aplique el calor, pues la renovación de capas, debida á su dilatación y movilidad, hace que en poco tiempo se pongan en contacto del foco calorífico todas las moléculas del gas en cuestión.

865. Aplicaciones de la conductibilidad.—La mayor ó menor conductibilidad para el calor que los cuerpos presentan, se utiliza en diferentes circunstancias, algunas de las cuales vamos á indicar.

Para evitar que un cuerpo caliente se enfríe, así como para impedir que otro frío se caliente, se le rodea de sustancias malas conductoras, como la lana, corcho, paja, etc. De este modo se conserva el hielo en los *pozos de la nieve*, y, á su vez, puede mantenerse el agua próxima á su ebullición durante varias horas. Para evitar que descienda demasiado la temperatura de las habitaciones en los países fríos se usan dobles vidrieras, entre las cuales queda una capa de aire que evita el enfriamiento por su mala conductibilidad. El uso de los abrigos de lana, piel ó pluma, está fundado también en la mala conductibilidad de estos cuerpos. La rotura de los vasos de cristal de paredes gruesas, al exponerlos al fuego, se debe á la mala conduc-

tibilidad del vidrio. Resulta, en efecto, que las capas exteriores se dilatan por el calor, mientras que las interiores no lo verifican por seguir frías, y este desequilibrio en la dilatación de las diferentes partes del vaso origina su fractura; por esta razón los matraces y retortas, tan usados en las operaciones de química, deben tener muy delgado el fondo que se ha de exponer al fuego. La diferente conductibilidad que presentan los metales, comparados con las maderas, nos produce, al tocarlos, la impresión de ser aquéllos más calientes, ó más fríos que éstas, según estén expuestos á más ó menos temperatura que nuestra mano. En la buena conductibilidad de los metales se funda la *lámpara de Davy*, formada por telas metálicas de cobre, que enfrían los gases incandescentes, y evitan las explosiones del *fuego grisou* en las minas de carbón de piedra.

ARTÍCULO II.

RADIACIÓN DEL CALOR.

866. Propagación del calórico radiante.—Al colocar un termómetro á cierta distancia de un foco de calor, su temperatura se eleva inmediatamente, cualquiera que sea el estado de agitación del aire interpuesto, y aun puede observarse el fenómeno interponiendo una capa de agua que continuamente se esté renovando. Esto nos prueba que los cuerpos intermedios no toman parte en este modo especial de transmitirse el calórico, cuyo fluido puede propagarse atravesando espacios completamente vacíos.

Buena prueba de esto último es el calor que recibimos del Sol, después de atravesar el inmenso espacio vacío que de dicho astro nos separa. Mas como el calor solar es luminoso, podría dudarse si el calor oscuro seguirá las mismas leyes en su propagación. Para desvanecer esta duda se valió Rumford de un termómetro *a* colocado en el vacío barométrico (fig. 371); si se introduce este aparato en un vaso con agua caliente se observa al momento una cierta elevación en la columna termométrica, lo que no puede explicarse por la conductibilidad del cristal, que sabemos es muy escasa.



Fig. 371.

867. Velocidad del calórico radiante.—No se ha podido medir di-

rectamente la velocidad con que se propaga este agente por el espacio, pero por consideraciones teóricas se deduce que debe ser igual á la de la luz, ó sea 300.000 kilómetros por segundo.

868. Leyes de la transmisión del calórico radiante.—Al comunicarse este agente por radiación de unos á otros cuerpos, lo verifica siguiendo leyes análogas á las que expusimos al tratar de la propagación de la luz. Dichas leyes son las siguientes:

1.^a *El calor radiante se propaga en línea recta por los medios homogéneos.* Fácilmente se demuestra esta ley, interponiendo entre un termómetro y un foco de calor una serie de pantallas provistas de un orificio; mientras que éstos se hallen en línea recta el termómetro indicará el aumento consiguiente en su temperatura, pero cesa ésta tan luego como se separa de la línea recta cualquiera de dichas pantallas. La dirección rectilínea que en su marcha sigue el calor ha recibido el nombre de *rayo calórico*.

Dicha propagación deja de verificarse en línea recta, cuando el medio por donde tiene lugar no es homogéneo, y entonces el rayo calórico se desvía, dando lugar á la *refracción del calórico radiante*. Este fenómeno está sujeto á las mismas leyes que la refracción de la luz, y puede hacerse patente recogiendo los rayos solares por medio de una lente convergente ahumada, en cuyo foco principal se eleva la temperatura hasta el punto de poderse inflamar la yesca ó un pedazo de madera.

2.^a *La radiación del calor se verifica con igual intensidad en todas direcciones.* La práctica parece al pronto contradecir esta proposición, pues bien sabido es que un foco de calor cualquiera, hace sentir sus efectos con mucha más energía en sentido de la vertical que lateralmente. Esto es debido á las corrientes de aire caliente que se establecen al dilatarse por el calor este fluido, las cuales comunican por contacto su elevada temperatura á los objetos colocados sobre dicho foco. Para probar la ley de que nos ocupamos es necesario operar en el vacío, y para elló se usa un aro metálico provisto de varios termómetros situados á igual distancia del punto central, en el que se coloca una espiral de platino enrojecida por medio de una corriente eléctrica. Colocado el aparato bajo la campana de la máquina neumática, se observa que todos los termómetros indican igual elevación de temperatura, lo que prueba la verdad de la ley enunciada.

3.^a *La intensidad del calórico radiante se halla en razón inversa del cuadrado de la distancia.* Se entiende por intensidad del calórico radiante la cantidad que recibe la unidad de superficie durante la unidad de tiempo. Esto supuesto, para probar la ley de que nos ocupamos, puede emplearse igual raciocinio que hicimos al tratar de la luz (682), y también puede pro-

barse experimentalmente por medio del siguiente aparato, debido á Tyndall. Delante de una caja metálica C , llena de agua caliente y ennegrecida por una de sus caras (fig. 372), se coloca la pila termo-eléctrica de Melloni (976), teniendo cuidado de ennegrecer interiormente el cono de que va provista para evitar que se refleje el calor en su superficie. Haciendo comunicar los reóforos de la pila con el galvanómetro, y observando la desviación marcada por su aguja, se notará que

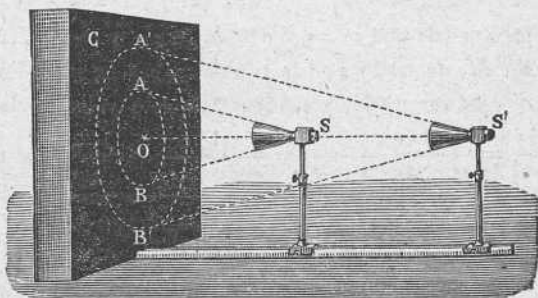


Fig. 372.

dicha desviación permanece invariable, ya se acerque ó se separe la pila de la caja C , lo que demuestra, como vamos á ver, la ley antes citada. En efecto, la pila colocada en la primera posición S sólo recibe los rayos de calor emitidos por la superficie AB , mientras que en la segunda posición S' recoge los rayos que emite la superficie $A'B'$; dichas superficies son circulares y sus radios están en proporción con las distancias OS y OS' , luego sus áreas respectivas serán proporcionales á los cuadrados de dichos radios, y, por lo tanto, á los cuadrados de las distancias OS y OS' ; ahora bien, puesto que la pila recibe igual cantidad de calor en ambos casos, la intensidad de la radiación debe variar *en razón inversa de los cuadrados de dichas distancias*.

4.^a *La intensidad del calor radiante es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos caloríficos, bien con la normal á la superficie que los emite ó con aquella que los recibe.* Para probarlo basta considerar la super-

ficie S de un cuerpo caliente (fig. 373), y una serie de rayos paralelos MN , interceptados por la pantalla PP' , cayendo sobre la superficie ac . Si consideramos otra superficie $a'c$ limitada por dichos rayos, es evidente que la intensidad total del calor recibido por ambas superficies será igual,

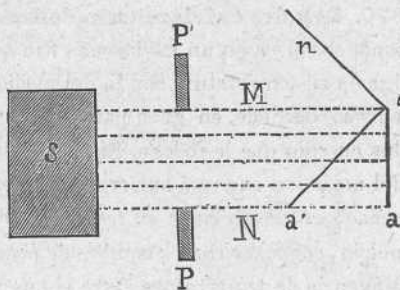


Fig. 373.

puesto que recogen igual número de rayos caloríficos; pero siendo mayor la superficie $a'c$, la intensidad del calor sobre la unidad de superficie será me-

nor en ésta que en la ac , y es evidente que las intensidades respectivas estarán en razón inversa de dichas superficies; luego llamando i é i' dichas intensidades tendremos la proporción $\frac{i}{i'} = \frac{a'c}{ac}$ (1); pero se sabe por la Tri-

gonometría que $ac = a'c \times \cos. aca'$ y como el ángulo aca' es igual al ncM , formado por la normal nc á la superficie $a'c$, tendremos $ac = a'c \times \cos. ncM$, y sustituyendo este valor en la ecuación (1), resultará $\frac{i}{i'} = \frac{a'c}{a'c \times \cos. ncM} = \frac{1}{\cos. ncM}$, de donde obtendremos por fin

$$i' = i \times \cos. ncM,$$

que es lo que se quería demostrar.

Por el mismo raciocinio hallaríamos una fórmula análoga en el caso de ser los rayos oblicuos respecto de la superficie emisora.

869. Cambio recíproco del calor que tienen los cuerpos.—Siempre que dos cuerpos poseen diferente temperatura, y se hallan en presencia uno del otro, sucede que el más caliente va enfriándose, mientras que el más frío se calienta hasta igualarse la temperatura de ambos. Este hecho se explica admitiendo que todo cuerpo, por baja que sea su temperatura, radia calor; pero los rayos caloríficos serán tanto más intensos cuanto más elevada sea su temperatura. De aquí resulta que, puestos dos cuerpos en presencia, se establece un cambio recíproco de rayos caloríficos, cuyo cambio da por resultado que se eleve la temperatura del más frío, por recibir rayos más intensos que los que emite, mientras que el más caliente se enfría, por perder más calor que recibe; una vez igualada la temperatura de ambos cuerpos, cada uno emite tanto calor como recibe, y permanecen en *equilibrio móvil de temperatura*.

870. Ley del enfriamiento de los cuerpos.—Siempre que un cuerpo caliente se coloca en un medio más frío que él, va perdiendo calor hasta que se iguala su temperatura con la del medio. La rapidez con que dicho cuerpo se enfría, depende en gran parte de su naturaleza y de la conductibilidad de los cuerpos que le rodean. Si la temperatura de aquél no excede mucho á la del medio en que está sumergido, *el enfriamiento del cuerpo resulta proporcional al exceso entre su temperatura y la del medio que le rodea*. Este principio, conocido con el nombre de *ley de Newton*, sólo es exacto cuando la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio que se considere es poco considerable. De aquí se deduce una consecuencia importante, á saber: que las indicaciones del termómetro diferencial, ó de la pila termo-eléctrica, son proporcionales á las cantidades de calor que dichos aparatos reciben. En

efecto, expuestos estos instrumentos á la acción de un foco calorífico, su temperatura va elevándose hasta permanecer estacionaria, en cuyo caso reciben igual cantidad de calor que emiten. Pero, según la ley de Newton, las pérdidas de calor son proporcionales al exceso entre la temperatura de dichos aparatos y la del medio ambiente, ó lo que es lo mismo, al número de grados que marcan dichos instrumentos; luego estas indicaciones serán también proporcionales á la cantidad de calor que los mismos reciben.

371. Reflexión del calórico.—Al llegar los rayos del calor á una superficie pulimentada, experimentan un cambio brusco, ó retroceso, en su dirección, que se conoce con el nombre de *reflexión del calor*. Dicho fenómeno se verifica con arreglo á las mismas leyes que expusimos al tratar de la luz (685), á saber:

- 1.^a *El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.*
- 2.^a *El ángulo incidente, el reflejado, y la normal á la superficie reflectante se hallan en el mismo plano.*

Se demuestran estas leyes con auxilio del aparato de Melloni (fig. 374). Este aparato consiste en una regla metálica dividida en centímetros, á lo largo de la cual pueden colocarse diferentes accesorios, según el fenómeno que se quiera demostrar. Para probar el que actualmente nos ocupa se coloca al principio de dicha regla un foco de calor, tal como un cubo de hoja

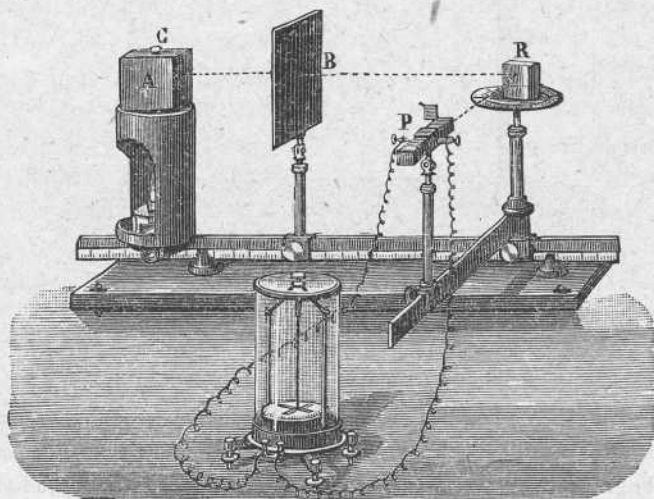


Fig. 374.

de lata *C* lleno de agua caliente, cuyos rayos se permiten avanzar bajando la pantalla *B*; estos rayos caen sobre la superficie pulimentada de un

cuerpo *R*, colocado en una plataforma graduada, y, después de reflejados, llegan á la cara descubierta de la pila termo-eléctrica *P*, situada al extremo de una alidada movible. La corriente eléctrica originada por el calor hace moverse cierto número de grados á la aguja del galvanómetro, y se observa que su desviación es la máxima, cuando se coloca la pila de modo que el rayo incidente y el reflejado, á partir de la normal, sean iguales; lo que prueba la primera ley. La segunda queda comprobada por estar construido todo el aparato en el mismo plano.

Pueden también comprobarse las leyes de la reflexión del calórico por medio de unos espejos parabólicos de latón (fig. 375). Colocando en el foco de uno de ellos una rejilla con carbones encendidos, los rayos calóricos, después de reflejados, salen formando un haz paralelo, y éstos vuelven á reflejarse en el segundo espejo concentrándose en su foco, lo que produce

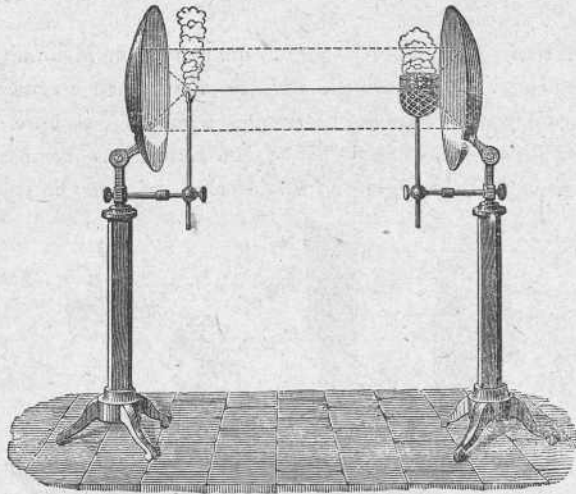


Fig. 375.

una elevación de temperatura suficiente para inflamar la yesca, ó cualquier otro cuerpo análogo; esto no sucedería si el calor no se reflejase con arreglo á las leyes antes enunciadas. Reuniendo en un punto el calor solar, por medio de grandes espejos cóncavos, llamados *ustorios*, se ha logrado fundir en poco tiempo todos los metales.

872. Poder reflector de los cuerpos.—En igualdad de condiciones no todos los cuerpos reflejan igual cantidad de calor, y se llama *poder reflector* de los mismos la relación entre el calor recibido y el reflejado. Para estudiarle

puede usarse el aparato de Melloni descrito anteriormente. Primero se hace llegar directamente á la pila, colocada en la prolongación de la barra principal, la radiación calorífica del foco que se use, y se anota la desviación del galvanómetro; luego se hace girar la alidada y se coloca en la plataforma el cuerpo sometido á la experiencia, cuidando de que los rayos, después de la reflexión, caigan en la pila termo-eléctrica; el galvanómetro nos indicará entonces la cantidad de calor reflejado por el cuerpo, y dividiendo por ésta la que recibía directamente la pila, tendremos el poder reflector de que se trata.

M. M. Laprovostaye y Desains han obtenido por este procedimiento los siguientes resultados:

Plata.....	0,96	Metal de espejos.....	0,85
Oro.....	0,95	Acero.....	0,83
Cobre.....	0,93	Platino.....	0,83
Latón.....	0,93	Hierro.....	0,77

Los trabajos de Melloni y Nobili han hecho ver, además, que el mercurio es el cuerpo más reflector de todos, y á su vez han observado que el ángulo de incidencia tiene, como en la luz, una gran influencia sobre el poder reflector de las sustancias transparentes, mientras que en los metales apenas produce ninguna variación. En éstos, en cambio, depende en parte su poder reflector de la naturaleza del foco calorífico, como puede observarse fácilmente substituyendo el vaso *A* por un trozo de hierro enrojecido, por una lámpara de aceite, alcohol, petróleo, etc.

873. Poder difusivo.—Por mucho que se pulimente la superficie de un cuerpo, nunca dejará de presentar ciertas elevaciones y oquedades debidas á su porosidad, de donde resulta que, al llegar á dicha superficie un haz de rayos caloríficos, parte de éstos se reflejarán con arreglo á las leyes que acabamos de enunciar, y otra parte lo verificarán en todas direcciones; esta parte de calor reflejada en todos sentidos se llama *calor difuso*.

La difusión del calor depende, principalmente, del estado de la superficie del cuerpo, así como también de su naturaleza y foco calorífico empleado.

Estudiado por los físicos últimamente citados el poder difusivo de los cuerpos, y representando por 100 el calor que reciben normalmente, han encontrado los siguientes números:

PODER DIFUSIVO.

Cinabrio.....	48
Cromato de plomo.....	66
Plata en polvo.....	76
Albayalde.....	82

El gran poder difusivo de los cuerpos blancos, explica el calor que se nota en verano al acercarse á una pared de dicho color iluminada por los rayos solares, aunque el observador se halle sumergido en la sombra, pues dicho cuerpo refleja en todas direcciones el calor que recibe.

874. Poder emisivo.—La cantidad de calor que radia un cuerpo en la unidad de tiempo no depende tan sólo de su temperatura, sino de su naturaleza y condiciones de su superficie, constituyendo la mayor ó menor facilidad de su radiación el *poder emisivo* de los cuerpos.

Para estudiar esta propiedad se valió Leslie de un cubo de hoja de lata lleno de agua caliente, cuyas caras, pintadas con diferentes sustancias, se presentaban delante de un termómetro diferencial, deduciendo de sus indicaciones el poder emisivo de aquéllas.

Hoy se usa el aparato termo-eléctrico de Melloni (fig. 376), que ya cono-

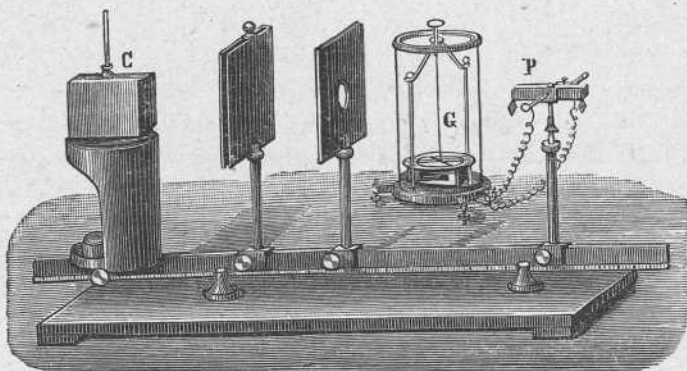


Fig. 376.

ccmos. El cubo de Leslie *C* se sitúa al principio de la regla metálica que sirve de base á todas las piezas del aparato, y para evitar que durante la experiencia se enfríe el agua, se coloca sobre una lamparilla de alcohol; á continuación se pone una pantalla, para interceptar cuando convenga la radiación del calor; luego otra con un orificio, y por fin, la pila de Nobilli *P* unida al galvanómetro *G*. Haciendo radiar hacia la pila las diferentes caras del cubo, y esperando á que el galvanómetro quede estacionado, sus diferentes indicaciones nos darán el poder emisivo de las sustancias empleadas; de todas ellas el negro de humo es el que tiene mayor facultad emisiva. Representando por 100 su poder emisivo, el de algunos otros cuerpos es el siguiente:

PODER EMISIVO.

Negro de humo.....	100	Acero.....	17
Albayalde.....	100	Platino.....	17
Papel.....	98	Latón (pulimentado).....	7
Cristal.....	90	Cobre id.....	7
Tinta de China.....	85	Oro id.....	3
Goma laca.....	72	Plata id.....	3

875. Causas que modifican el poder emisor de los cuerpos.—

La facultad de emitir un cuerpo más ó menos cantidad de calor á una cierta temperatura, parece residir en las últimas capas que limitan su superficie, siendo independiente de la naturaleza interior del mismo. En general, aumenta el poder emisor de los cuerpos, suponiendo iguales las demás condiciones, á medida que las capas superficiales son menos densas y tienen colores más oscuros, por más que hay excepciones, como sucede con el albayalde, que tiene el mismo poder emisor que el negro de humo.

876. Poder absorbente.—Así se llama la diferente facultad que presentan los cuerpos de calentarse con más ó menos rapidez, expuestos á un foco de calor en las mismas condiciones.

Para estudiar el poder absorbente de los cuerpos se cubre con ellos una de las caras de un disco metálico muy delgado *D*, pintando la otra con negro de humo. Dicho disco se coloca muy cerca de la pila termo-eléctrica, á la que mira por su cara ennegrecida, ordenando las demás partes del aparato como indica la figura 377; bajando la primera pantalla, y observando las in-

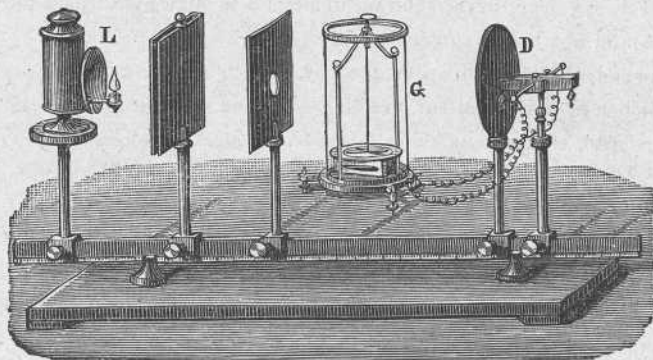


Fig. 377.

dicciones del galvanómetro *G*, notaremos que el poder absorbente de los

cuerpos es idéntico á su poder emisivo, lo que, además, puede demostrarse del modo siguiente: En un matraz ennegrecido interiormente se coloca un termómetro cuya temperatura sea superior en 10° , por ejemplo, á la del medio ambiente, y se anota el tiempo que tarda en enfriarse dichos 10° ; luego se coloca en el mismo matraz dicho termómetro, cuidando que su temperatura sea 10° más baja que la del aire que le rodea, y se cuenta el tiempo que tarda en calentarse los mismos 10° ; ambos tiempos resultan exactamente iguales, lo que no tendría explicación si el poder emisivo y absorbente del cuerpo de que está hecho el termómetro no fueran iguales.

877. Diatermancia de los cuerpos.—Algunos cuerpos tienen la propiedad de permitir el paso del calor por el interior de su masa, sin que su

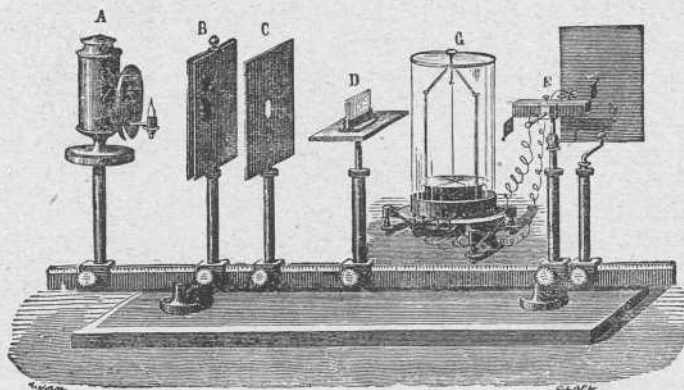


Fig. 378

temperatura se eleve, cuya facultad, análoga á la diaphanidad para la luz, se conoce con el nombre de *diatermancia*.

Los principales conocimientos que hoy se tienen de tan interesante cuestión se deben al físico Melloni. La disposición de su aparato para el estudio de este asunto, es la que indica la figura 378. En *A* se coloca un foco calorífico, que puede ser la lámpara de Locatelli figurada en el grabado, ó bien algunos de los focos representados en las figuras 379, 380 y 381. La primera es una lámpara de alcohol provista de una espiral de platino; la segunda una placa de cobre ennegrecida *i* y calentada por una lamparilla de espíritu de vino, y la última el cubo de Leslie *R*, lleno de agua caliente y mantenida á la ebullición.

Á lo largo de la regla que sostiene las diferentes piezas del aparato, se coloca primero una pantalla *B*, para interceptar, cuando convenga, los rayos emitidos por el foco; á continuación la pantalla *C*, provista de un orificio;

en seguida un soporte para sostener, á la altura conveniente, el cuerpo *D* cuya diatermancia se quiere estudiar, y, por último, la pila *E* unida al galvanómetro *G*.

Para determinar el poder diatérmico de un cuerpo, se hace llegar directamente sobre la pila el calor emitido por el foco, y se anota la desviación del



Fig. 379.

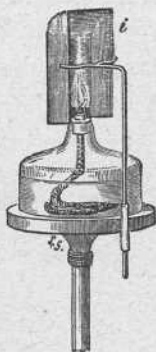


Fig. 380.

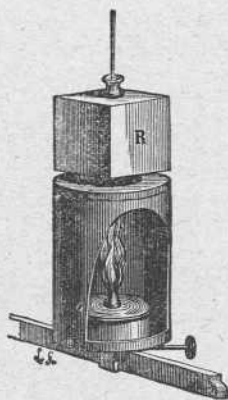


Fig. 381.

galvanómetro; luego se interpone el cuerpo sometido á la experiencia, y se observa igualmente los grados que indica dicho galvanómetro, que serán menos que antes; dividiendo este número por el primero tendremos una fracción propia, que representará el poder diatérmico buscado.

Haciendo el experimento sobre diferentes sustancias, y valiéndose de diferentes focos, dedujo Melloni que, en la diatermancia de los cuerpos, influyen el espesor de la lámina, su naturaleza y la del foco calorífico. Á medida que aumenta el grueso de la sustancia que ha de atravesar el calor disminuye su diatermancia, pero no proporcionalmente á dicho espesor, sino más lentamente, tanto que á partir de cierto grueso la cantidad de calor transmitido permanece constante, aunque aumente el espesor. Respecto al influjo que en esta propiedad tienen la naturaleza de la sustancia y la del foco empleado, la siguiente tabla indica claramente los resultados obtenidos:

PODER DIATÉRMICO.

	Lámpara de Locatelli.	Platino incandes- cente.	Cobre á 400°	Cubo de Leslie á 100°
Sal gema.	0,92	0,92	0,92	0,92
Espato fluor.	0,78	0,69	0,42	0,33
Espato de Islandia.	0,39	0,28	0,06	0
Vidrio.	0,39	0,24	0,06	0
Cristal de roca.	0,37	0,28	0,06	0
Alumbre.	0,09	0,02	0	0
Hielo.	0,06	0	0	0

De aquí se deduce que la única sustancia completamente diaterma es la sal gema, puesto que siempre deja pasar el 92 por 100 del calor incidente, y las 8 centésimas restantes son, sin duda, reflejadas por las caras de dicho cuerpo. Los demás cuerpos varían mucho en su poder diatérmico, y pueden compararse á los cristales coloreados, que sólo dejan pasar determinados rayos luminosos. El alumbre sólo deja pasar el calor luminoso y detiene el oscuro, propiedad que se utiliza para disminuir, en parte, la elevación de temperatura que se obtiene en el microscopio solar y foto-eléctrico, cuyo calor llevaría consigo la destrucción del objeto colocado en el foco de dichos aparatos.

Del examen de la tabla anterior se deduce también que, la transparencia de un cuerpo para la luz es independiente de su poder diatérmico; el cristal incoloro y el hielo son transparentes, y, sin embargo, detienen completamente el calor oscuro. Recíprocamente, algunos cuerpos opacos para la luz dejan pasar fácilmente las radiaciones caloríficas; tal es la sal gema ahumada, y la disolución de yodo en el sulfuro de carbono. Por último, los datos expresados en dicha tabla prueban que el calor emitido por diferentes focos no es idéntico, y que así como en la luz existen diferentes radiaciones, que conocemos por su distinto color, existen, á su vez, en el calor emitido por los cuerpos calientes diferentes radiaciones, que son transmitidas con más ó menos facilidad por los cuerpos.

878. Identidad del calor y la luz.—Al hablar en la Óptica del espectro solar indicamos que, además del espectro luminoso y químico, había un espectro calorífico. Efectivamente; formando un espectro solar por

medio de un prisma de sal gema, que según acabamos de ver, permite el paso de toda clase de radiaciones caloríficas, se puede comprobar con la pila de Nobilli, que el máximo de calor aparece mucho más allá del rojo extremo, y donde no existen radiaciones luminosas. Por otra parte, las experiencias de Masson y Jamin prueban que, siempre que se detiene cierta clase de rayos luminosos, haciendo pasar un determinado color del espectro por un cuerpo imperfectamente transparente, se detienen, en igual grado, las radiaciones caloríficas que le acompañaban, de donde se deduce la imposibilidad de separar la luz del calor en la parte visible del espectro.

De todo esto se deduce que el espectro está formado por una serie de radiaciones, cuya refrangibilidad crece de un modo continuo; las radiaciones menos refrangibles sólo producen calor, y las más refrangibles provocan la descomposición química de ciertas sustancias; las radiaciones intermedias afectan á nuestra retina y á la vez van acompañadas de cierta cantidad de calor. El calor y la luz no son, por lo tanto, fenómenos distintos, sino el resultado de las vibraciones del éter, las que, según su velocidad y amplitud, producen calor sólo, luz y calor, ó una acción química capaz de descomponer ciertos cuerpos, como las sales de plata.

CAPÍTULO V.

Calorimetría.

379. Objeto de la calorimetría.—Se propone ésta interesante parte de la Física la medida relativa del calor que los cuerpos necesitan para elevar su temperatura cierto número de grados.

La unidad adoptada para este objeto ha recibido el nombre de *caloría*, y es la cantidad de calor necesaria para elevar de 0° á 1° un kilogramo de agua. La práctica enseña, además, que para elevar de 1 á 2 grados, de 2 á 3, etc., la temperatura de un kilogramo de agua, se necesita siempre la misma cantidad de calor, y, recíprocamente, que al enfriarse un grado la temperatura de un kilogramo de agua deja en libertad la misma cantidad de calor; podemos, pues, definir la *caloría* diciendo que, es la cantidad de calor que absorbe ó deja libre un kilogramo de agua cuando su temperatura varía un grado centígrado.

380. Calor específico.—Para elevar á la misma temperatura pesos iguales de diferentes cuerpos se necesita emplear cantidades distintas de

calor; así, por ejemplo, mientras que un kilogramo de agua necesita una caloría para elevar su temperatura un grado, el mismo peso de mercurio sólo necesita 0,03 de dicha unidad. Esto se expresa diciendo que los cuerpos poseen diferente *calórico específico*.

Puede probarse que los cuerpos tienen diferente calórico específico por el siguiente experimento, debido á Tyndall. Se construyen balas del mismo peso con distintos metales, y se las sumerge en un baño de aceite á 200°; cuando han adquirido esta temperatura, se las saca y coloca sobre un disco de cera *C*, sostenido en el soporte representado en la (fig. 382), y se observará que unas funden rápidamente la cera y pasan al otro lado, otras se incrustan profundamente en el disco, y, por fin, algunas sólo penetran unos cuantos milímetros.

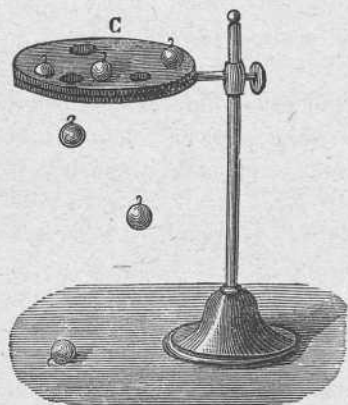


Fig. 382.

Esto sentado, se llama *calórico específico*, ó *capacidad calorífica* de un cuerpo, el número de calorías que se necesitan para elevar un grado la temperatura de un kilogramo del mismo. Veamos cómo pueden obtenerse tan importantes números.

Esto sentado, se llama *calórico específico*, ó *capacidad calorífica* de un cuerpo, el número de calorías que se necesitan para elevar un grado la temperatura de un kilogramo del mismo. Veamos cómo pueden obtenerse tan importantes números.

Veamos cómo pueden obtenerse tan importantes números.

881. Determinación del calórico específico de los cuerpos.—

Dos son los principales métodos que se usan para este fin; uno el de las *mezclas* y el otro el de la *fusión del hielo*.

El primer método consiste en mezclar un peso determinado del cuerpo cuyo calórico específico se quiere determinar, elevado á cierta temperatura, con otro peso conocido de agua fría. Puestos ambos en contacto, el cuerpo caliente se enfría, cediendo al agua su calor, y llega un momento en que se iguala la temperatura de los dos; midiendo con exactitud la temperatura de la mezcla, puede calcularse con estos datos, como vamos á ver, el calor específico del cuerpo empleado.

Admitamos que en un vaso que contenga 0,427 kilogramos de agua á 5°, introducimos un trozo de hierro á 90°, cuyo peso sea de 0,500 kilogramos, y supongamos que, después de cierto tiempo, adquieran ambos la temperatura de 15°. Para mayor claridad pondremos estos datos en la siguiente forma:

Cuerpos.	Pesos.	Temperaturas.
Hierro	0,500 kilogramos. . . .	90°
Agua	0,427 » 	5°
		Mezcla = 15.°

Cada kilogramo de agua absorbe una caloría para elevar su temperatura un grado, luego los 0,427 kilogramos empleados absorberán 0,427 de caloría para dicho aumento

de temperatura; mas habiéndose elevado la temperatura del agua de 5 á 15°, ó sea 10°, habrá necesitado $10 \times 0,427$ calorías para subir á dicha temperatura. Ahora bien; este calor ha sido cedido por el hierro; veamos, pues, cuántas calorías ha dejado en libertad este cuerpo para enfriarse. Llamando x el calórico específico del hierro, cada kilogramo de este metal deja libre x calorías para bajar un grado su temperatura, luego los 0,500 kilogramos habrán dejado libre $x \times 0,500$ calorías por cada grado que su temperatura haya descendido; y como dicho metal ha bajado de 90° á 15°, ó sea 75°, habrá desprendido $x \times 0,500 \times 75$ calorías. Evidentemente esta cantidad de calor es la que absorbió el agua para calentarse, luego igualando ambas expresiones tendremos la ecuación $x \times 0,500 \times 75 = 10 \times 0,427$, de donde deduciremos,

$$x = \frac{10 \times 0,427}{0,500 \times 75} = 0,114,$$

que es el calor específico del hierro.

Para llevar á cabo este método se usa un aparato llamado *calorímetro*, que consiste en un vaso cilíndrico de latón, de poco peso y paredes bruñidas, donde se echa un peso determinado de agua fría. El cuerpo cuyo calórico específico se quiere determinar, y previamente pesado, se somete al calor de un chorro de vapor de agua, cuya temperatura se mide exactamente, y con la rapidez posible se introduce en el agua del calorímetro, cuya temperatura también se habrá determinado. Midiendo, por último, la temperatura de la mezcla, se calcula el calor específico del cuerpo empleado por medio de la ecuación antes indicada.

Cuando se trata de un líquido se le encierra en un vaso de latón ó de platino, y se procede de igual modo.

Para determinar el calórico específico de los gases se les hace pasar por un serpentin introducido en el calorímetro, anotando la temperatura del agua y del gas al empezar y terminar la operación, así como el peso del agua y gas empleados. Por un método análogo, al que antes hemos expuesto, se determina luego su calor específico.

382. Método de la fusión del hielo.—Este método consiste en rodear de hielo el cuerpo cuyo calor específico se busca, y deducir su calórico específico por la cantidad de hielo fundido. Este procedimiento está fundado, como dentro de poco demostraremos, en que un kilogramo de hielo absorbe para fundirse 79 calorías.

El aparato consiste en un grueso trozo de hielo, llamado *pozo de Black*, en el que se practica una cavidad por medio de un hierro candente, tapándole con otro trozo plano de la misma sustancia (fig. 383). En el interior se coloca el cuerpo, previamente pesado y á una temperatura conocida, y cuando ha pasado algún tiempo, se destapa el *pozo de hielo* y se recoge cuidadosamente el agua, enjugando el cuerpo y el pozo con papel de filtro, que se pesa antes y después de la operación; del peso del agua recogida se deduce fácilmente el calor específico del cuerpo del siguiente modo:

Supongamos que el cuerpo fuese el plomo y pesara 0,500 kilogramos, estando á la temperatura de 80°, y que el agua recogida haya sido 0,018 kilogramos. Cada kilogramo de plomo, para bajar un grado, cede x calorías, siendo x el calórico específico de dicho metal; luego los 0,500 kilogramos habrán cedido $0,500 \times x$ calorías por cada grado, y como la temperatura de este cuerpo ha bajado de 80° á 0° habrá cedido en su total enfriamiento $80 \times 0,500 \times x$ calorías. Ahora bien; este calor ha fundido 0,018 kilogramos de hielo, y como cada kilogramo de agua resultante su-
pone 79 calorías, dicho peso habrá adsorbido $0,018 \times 79$ calorías. Igualando, por último

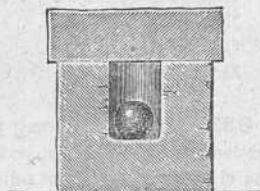


Fig. 383.

ambas cantidades de calor, tendremos $80 \times 0,500 \times x = 0,018 \times 79$, de donde se deduce,

$$x = \frac{0,018 \times 79}{80 \times 0,500} = 0,035,$$

que es, aproximadamente, el calor específico del plomo.

Este método ha sido modificado por Lavoisier y Laplace, valiéndose del aparato representado en la (fig. 384). Consiste éste en tres vasos concéntricos, provistos los dos exteriores de llaves de fuente, y cubiertos con una tapa en forma de vaso achatado. En el vaso interior, que está agujereado en toda su superficie, se coloca el cuerpo caliente y previamente pesado; en los otros dos y en la tapa se pone hielo machacado, y, por fin, se recoge el agua procedente del vaso intermedio. Por el peso de ésta se calcula luego, como acabamos de indicar, el calorífico específico del cuerpo. El hielo de la tapa y vaso exterior, sólo tienen por objeto evitar que el calor ambiente funda parte del hielo contenido en el vaso intermedio, y de este modo hay seguridad que el hielo de este vaso sólo se funde por el calor del cuerpo empleado.

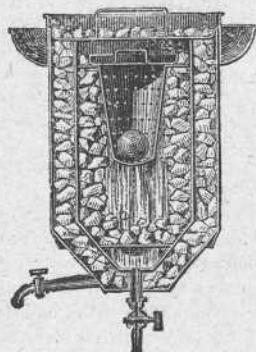


Fig 384.

Tanto el método del pozo de hielo, como éste, no son susceptibles de la precisión que se obtiene por el método de las mezclas. Por este procedimiento ha obtenido Regnault los siguientes resultados:

CALOR ESPECÍFICO DE LOS CUERPOS MAS USADOS.

Cuerpos.	Calores especificos.	Cuerpos.	Calores especificos.
Agua.	1,000	Cobre.	0,095
Azufre.	0,202	Latón.	0,094
Grafito.	0,202	Plata.	0,057
Vidrio.	0,197	Estaño.	0,056
Diamante.	0,147	Antimonio.	0,051
Acero.	0,117	Mercurio.	0,033
Hierro.	0,113	Oro.	0,032
Nikel.	0,108	Platino.	0,032
Cobalto.	0,107	Plomo.	0,031
Zinc.	0,095	Bismuto.	0,031

883. Ley de Dulong y Petit.—Estudiando estos físicos las relaciones que existen entre el peso atómico de los cuerpos simples, y su calor específico, observaron que el producto de ambos números era el mismo próximamente, é igual, como término medio, á 6,38. Representando, pues, el peso atómico de un cuerpo simple por P , y su calor específico por C , tendremos la igualdad

$$P \times C = 6,38,$$

de cuya ecuación puede obtenerse, aproximadamente, el valor de C conociendo el peso atómico del cuerpo.

884. Calórico de fusión.—Ya dijimos (833) que se llama calórico de fusión de un cuerpo, el que éste necesita para fundirse sin que varíe su temperatura, ó bien, el que absorbe al solidificarse, permaneciendo á igual grado de calor.

Para determinar el calórico de fusión de los cuerpos se usa el método de las mezclas, y como ejemplo, supondremos que se quiera determinar el calórico de fusión del hielo. Se pone en el calorímetro cierta cantidad de agua caliente, y se echa dentro un trozo de hielo, previamente pesado. Este cuerpo empezará por fundirse, y luego se elevará su temperatura hasta cierto grado, que se anotará con exactitud; con estos datos, y recordando que el calor específico del agua es la unidad, se puede calcular el calórico de fusión buscado.

Supongamos, en efecto, que se haya puesto en el calorímetro 1 kilogramo de agua á 90°, y que hayamos echado dentro un trozo de hielo de 0,550 kilogramos, siendo 30° la temperatura final de la mezcla. Los 0,550 kilogramos de hielo á 0° habrán empezado por fundirse, y, llamando x el calórico de fusión de este cuerpo, habrán absorbido $0,550 \times x$ calorías; después de liquidarse el hielo, se elevó la temperatura del agua resultante hasta 30° y habrá absorbido, por tanto, $0,550 \times 30$ calorías. La suma de ambas cantidades de calor proceden del agua caliente puesta en el calorímetro, la que ha bajado de 90° á 30°, ó sea 60°, luego habrá cedido 1 kg. \times 60 calorías.

Igualando ambos números tendremos la ecuación $0,550 \times x + 0,550 \times 30 = 1 \times 60$, de donde

$$x = \frac{1 \times 60 - 0,550 \times 30}{0,550} = 79,$$

que es el calórico de fusión del hielo.

Por un procedimiento análogo se puede hallar el calórico de fusión de los demás cuerpos, y de los resultados obtenidos aparece que el hielo tiene un calórico de fusión mucho mayor que el de los demás, propiedad de gran importancia para el juego de las fuerzas naturales.

En el uso del método de las mezclas, tanto para determinar el calor específico, como el de fusión de los cuerpos, hemos prescindido, por no complicar la cuestión, del calor absorbido por el calorímetro, pero se comprende fácilmente que, sabiendo su peso y el calor específico del metal que le forma, puede tenerse en cuenta en la ecuación correspondiente.

885. Calor de vaporización.— Al hablar de este cambio de estado dijimos que, se llamaba *calor de vaporización* el que absorbe un cuerpo líquido para pasar á gas sin elevar su temperatura (851).

El aparato usado por M. Despretz con este objeto, aparece representado en la (fig. 385). El vapor se produce en la retorta F , cuya temperatura se aprecia por medio

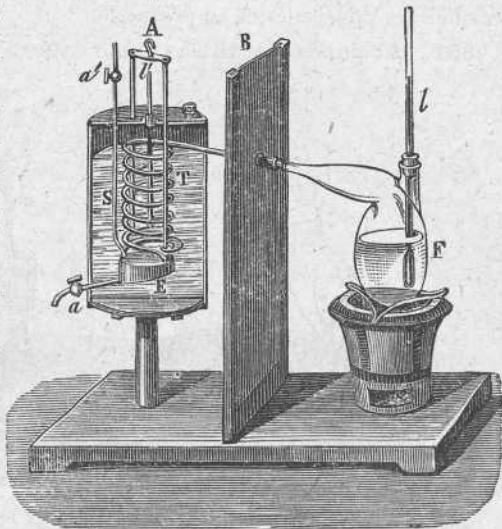


Fig. 385.

cuyo fenómeno se calienta la lima y el cuerpo frotado. De igual modo, las planchas de los frenos en los carruajes adquieren una elevada temperatura al rozar con la llanta de las ruedas. Al taladrar una plancha de acero se calienta tanto la barrena que hay necesidad de enfriarla por medio de un chorro de agua fría. Lo mismo sucede al afilar un cuchillo, en cuyo caso las partículas de acero desprendidas llegan á inflamarse en el aire. Tyndall demuestra la producción del calor por el rozamiento sirviéndose del aparato representado en la figura 386.

Sobre una tabla fuerte hay un volante *V* y una pequeña polea *S*, enlazados por una *correa sin fin*, y del eje de esta última sale un tubito de cobre *T*, en el que se echa un poco de agua, tapándole después con un corcho. Si se hace girar el volante, la polea y tubo lo hacen con gran rapidez, y al verificarlo roza el tubo con unas pinzas de madera *P*, entre cuyas láminas se sujeta aquél con cierta presión. Efecto de este rozamiento se eleva la temperatura del agua hasta su punto de ebullición, y el vapor producido concluye por lanzar con violencia el corcho que tapaba el tubo.

Para probar que la percusión desarrolla calor, puede golpearse fuertemente una bala de plomo colocada sobre un yunque; repitiendo los choques con la mayor rapidez posible, llega aquélla á fundirse. Igualmente, al chocar una bala disparada por un arma de fuego con una plancha resistente, se enrojece, si es de hierro, ó se funde, si es de plomo. El choque del eslabon con el pedernal produce una temperatura suficiente para inflamar las partículas de acero desprendidas.

De igual modo, la compresión de los cuerpos va acompañada de un notable desprendimiento de calor. Lo prueba perfectamente el *eslabón neumático* (fig. 387), con el que se puede inflamar un trozo de yesca comprimiendo fuertemente un gas encerrado en él.

888. Orígenes físicos del calor.—Los más importantes son el *Sol*, la *Tierra*, los *cambios de estado* y la *electricidad*.

De la electricidad nos ocuparemos en breve, y respecto de los cambios de estado ya hemos visto que al pasar los cuerpos del estado gaseoso al líquido, ó de éste al sólido dejan en libertad todo el calor que absorbieron para verificar el cambio opuesto.

El Sol es el más importante de todos los orígenes del calor, y es, además, la causa de todo movimiento y vida terrestre. A pesar de los veintisiete millones de leguas que dista de la Tierra, ha calculado Pouillet, por medio de un aparato llamado *actinómetro*, que el calor que ésta recibe del Sol durante un año, sería capaz de fundir una capa de hielo de 31 metros de espesor que la rodeara completa-



Fig. 387.

mente. Hay que tener en cuenta, además, que á la Tierra sólo llega una mínima parte del calor emitido por el Sol, y teniendo en cuenta el tamaño de nuestro planeta, y su distancia á aquel astro, puede calcularse que el calor total producido por el Sol pasa de 230 millones de veces la cantidad que recibe la Tierra.

Varias hipótesis se han emitido para explicar la causa de tan inmenso foco de calor y luz, y si bien es cierto que todas dejan mucho que desear, la más admitida es la de los *bólid*os. Supónese en esta teoría que continuamente esta cayendo sobre el Sol una lluvia de *asteroides*, que producen con su choque el calor y luz que observamos, bastando que el número de dichos *bólid*os formase una capa anual de 20 metros de espesor para que, sin aumentar sensiblemente el volumen de dicho astro, produjera el calor de que hemos hecho mención. Thomson y Helmholtz, acaso con mayor fundamento, atribuyen el calor solar á una contracción de su volumen, y según ellos, bastaría una reducción en su radio de 39 metros anuales para explicar el fenómeno en cuestión. Esta disminución de volumen es tan insignificante, que sería necesario el transcurso de doscientos siglos para que fuera posible observarla con los mejores anteojos.

889. Calor terrestre.—Independientemente del calor que la Tierra recibe del Sol, posee además nuestro planeta un calor propio. En efecto, haciendo excavaciones á gran profundidad, se observa un aumento progresivo de temperatura, que se ha calculado en 1° centígrado por cada 30 metros; los volcanes, y las aguas calientes que arrojan los *geyseres*, prueban, á su vez, la existencia de un calor central. Si el aumento de temperatura crece progresivamente hasta el centro de la Tierra, deberían estar fundidos todos los cuerpos que allí existan, opinión combatida por muchos sabios con razones de gran peso. Los que admiten el calor interior de la Tierra, suponen que este astro estuvo fundido en su origen primitivo, enfriándose después, por radiación en el espacio, hasta solidificarse su corteza, pero continuando todavía en el estado líquido las capas más profundas.

Otros físicos suponen que el calor observado en el interior de nuestro planeta se debe únicamente á combinaciones químicas, resultantes de las aguas filtradas al obrar sobre las sustancias que componen su interior. Sea cierta una ú otra teoría, la verdad es que á la superficie terrestre no llega apenas dicho calor, por impedirlo la mala conductibilidad de la costra solidificada, que suponen los geólogos tiene unos 60 kilómetros.

890. Orígenes químicos del calor.—Se demuestra en la Química que toda combinación va acompañada de cierto desprendimiento de calor, pero de todas ellos, la única que se utiliza en la práctica es la del carbono ó

hidrógeno con el oxígeno del aire. Los carbones naturales, y los que se obtienen por la calcinación de los vegetales, son los combustibles más usados para obtener artificialmente el calor.

La cantidad de calor desprendido por la combustión de un kilogramo de estos diferentes cuerpos, es muy distinta de unos á otros, y calculada por medio de colorímetros especiales, ha dado el resultado siguiente:

Calorías desprendidas por la combustión de un kilogramo de

Hidrógeno con oxígeno.	34462	Carbón de piedra.	8560
Petróleo.	11800	Carbón vegetal.	8080
Aguarrás.	16852	Alcohol.	7184
Aceite de olivas.	9862	Azufre.	2262

891. El movimiento como causa del calor.—Reflexionando acerca de los orígenes de calor que acabamos de exponer, se observará que todos pueden referirse en realidad al movimiento de la materia. En efecto; en los orígenes mecánicos es evidente la transformación del movimiento de las partículas de los cuerpos en calor. En los físicos, cualquiera que sea la teoría que para explicarlos se adopte, siempre resultan debidos á choques entre las moléculas de los cuerpos, y, por último, en los químicos se debe el calor originado á la combinación ó choque de los átomos de unos cuerpos con otros. Recíprocamente, el calor aplicado á los cuerpos produce el movimiento de sus átomos, aumentando su volumen ó haciéndolos cambiar de estado.

Esta correlación entre el calor y el movimiento de la materia, ha inducido á los físicos á admitir la *teoría mecánica del calor*, en la que se explica la producción de este agente por la pérdida de la fuerza viva de los átomos.

Según esta teoría, las moléculas de los cuerpos se hallan animadas de un movimiento vibratorio especial, de cuya amplitud y condiciones depende su temperatura. Cuando calentamos un cuerpo no hacemos otra cosa que aumentar la rapidez ó amplitud de dichas vibraciones, y, recíprocamente, al enfriarlo, paralizamos en parte dicho movimiento vibratorio. Mas como la *energía*, así como la materia, no puede desaparecer, sino transformarse, al disminuir la fuerza viva de los átomos debe aparecer una cierta cantidad de calor, y, á su vez, debe aumentar la fuerza viva de aquéllos cuando desaparezca el calor necesario para producir algún fenómeno.

892. Equivalente mecánico del calor.—Las anteriores ideas han conducido á los físicos á investigar qué *trabajo origina la unidad de calor*, y si la relación entre ambos es constante en todos los fenómenos. Por varios experimentos, de que no podemos ocuparnos por la índole de nuestro libro, se ha deducido que dicha relación es efectivamente constante, y equivale á

425 kilogrametros; es decir, que gastando *una caloría* se obtienen 425 *kilogrametros*, ó, recíprocamente, destruyendo *un trabajo de 425 kilogrametros* en cualquiera acción mecánica, se origina *una caloría*. Este es, pues, el número adoptado como *equivalente mecánico del calor*.

CAPÍTULO VII.

Máquinas térmicas.

893. Clasificación de estas máquinas.—Reciben el nombre de *máquinas térmicas* los aparatos en que se transforma el calor en trabajo mecánico. Si este trabajo se obtiene por intermedio del vapor acuoso, se llaman *máquinas de vapor*; si se aprovecha la dilatación del aire, se les llama *máquinas de aire caliente*, y si se utiliza la combinación del gas del alumbrado con el aire, y la dilatación consiguiente de estos gases, reciben el nombre de *motores de gas*.

894. Máquinas de vapor.—La gloria de haber pensado utilizar el vapor de agua como fuerza motriz, corresponde á nuestro compatriota Blasco de Garay, el que parece le aplicó, en 1543, para poner en movimiento un barco de su invención provisto de una rueda de paletas. Las experiencias practicadas en el puerto de Barcelona, y patrocinadas por el emperador Carlos V, no debieron dar satisfactorio resultado, cuando después no se volvió á hablar de tan importante asunto.

Después de este intento, el Marqués de Worcester y Savery utilizaron, á fines del siglo XVII, la fuerza elástica del vapor de agua en aparatos especiales, consiguiendo extraer el agua de las minas.

Poco después, en 1690, Denis Papin inventaba la primera máquina de vapor propiamente dicha. En un cuerpo de bomba provisto de su correspondiente pistón, calentaba hasta la ebullición cierta cantidad de agua, obligando la fuerza elástica del vapor formado á que el pistón se elevase hasta la parte superior; una vez conseguido este movimiento, hacia entrar un poco de agua fría en el cuerpo de bomba, para condensar el vapor formado, y la presión atmosférica obligaba entonces al pistón á marchar en sentido opuesto.

La máquina de Papin, además de producir con gran lentitud el movimiento del pistón, consumía inútilmente una gran cantidad de calor, pues era necesario calentar y dejar enfriar el cuerpo de bomba tantas veces cuantos fueran

los movimientos de aquél, perdiendo el calor acumulado en dicho cuerpo de bomba.

Newcomen, en 1705, tubo la feliz idea de obtener el vapor acuoso en un recipiente separado, obteniendo por este procedimiento gran economía en el combustible y una velocidad mucho mayor en los movimientos del émbolo, pero hasta 1760, en que el célebre J. Watt se dedicó al estudio de este importante aparato, no tuvo éste importancia práctica. Desde entonces, y gracias á los detenidos estudios y modificaciones que tan notable mecánico introdujo hasta 1800 en las máquinas de que nos ocupamos, llegaron estos aparatos en su esencia á la perfección que hoy tienen, y bien puede decirse que desde dicha época sólo se han mejorado en ciertos detalles que la práctica ha ido haciendo conocer.

895. Disposición general de las máquinas de vapor.—Todas las máquinas de vapor consisten esencialmente en lo siguiente: Un *generador de vapor ó caldera G* (fig. 388), donde se hace hervir el agua hasta que adquiera la tensión conveniente; de

aquí pasa el vapor por un tubo *t* á un cuerpo de bomba *C C'*, en cuyo interior existe un pistón *P*. Este cuerpo de bomba está provisto de cuatro aberturas, dos en la parte superior y otras dos en la inferior; las señaladas con los números 1 y 2 comunican, según indica el grabado, con la caldera, y las 1' y 2' con la atmósfera. Esto sabido, y después que el vapor tenga en la caldera la tensión necesaria, supongamos que se abren las llaves 2 y 2', manteniendo cerradas las 1 y 1'; en este caso el vapor marchará por el tubo *t* y penetrará por la llave 2 en la parte inferior del cuerpo de bomba, obligando á elevarse al pistón; al mismo tiempo el aire alojado en la parte superior del cuerpo de bomba se escapará por la llave 2' saliendo al exterior. Llegado este caso, se abren las llaves 1 y 1', cerrando las que antes estaban abiertas, y entonces el vapor penetrará por la llave 1 en el cuerpo de bomba, obligando al pistón á descender;

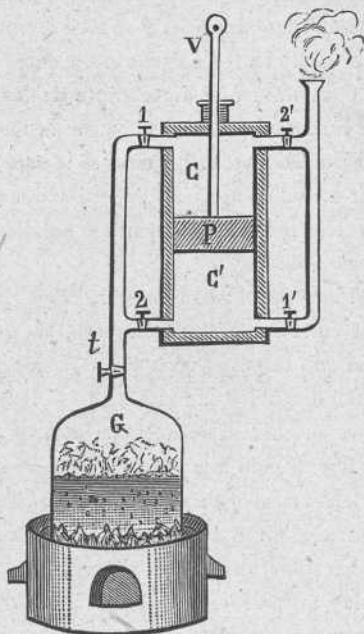


Fig. 388.

al mismo tiempo el vapor que ocupaba la parte inferior del cuerpo de bomba saldrá al exterior por la llave 1', no oponiendo, por tanto, dificultad el descenso del émbolo. Repitiendo estas operaciones en el mismo orden, conseguiremos que el vástago del pistón *V* adquiera un movimiento rectilíneo alternativo, el cual se transforma después en circular por varios procedimientos mecánicos.

396. División de las máquinas de vapor.—Atendiendo á la tensión que adquiere el vapor de agua en estos aparatos, se dividen en máquinas *de baja presión, de presión media y de alta presión*. En las primeras la fuerza elástica de dicho vapor no pasa de atmósfera y media; en las segundas fluctúa entre dos y cuatro atmósferas, y en las últimas pasa de esta tensión y llega á diez ó doce atmósferas.

Atendiendo al modo de obrar el vapor en estos aparatos, se dividen, á su vez, en máquinas de *simple efecto ó atmosféricas*, y máquinas de *doble efecto*. En las primeras, como sucedía en las máquinas de Papin y Newcomen, el vapor obra tan sólo sobre una cara del pistón, produciendo la presión atmosférica el movimiento de aquél en sentido contrario; en las de doble efecto los dos movimientos del pistón son debidos á la fuerza elástica del vapor de agua.

Otra diferencia importante de las máquinas de vapor se refiere al modo de lanzar al exterior el vapor acuoso, una vez que ha producido el movimiento del pistón. En unas se le hace llegar á una caja en donde se condensa por medio de agua fría, y se llaman *máquinas de condensación*, mientras que en otras se le deja escapar á la atmósfera, constituyendo las *máquinas sin condensación*.

Para que el pistón recorra el cuerpo de bomba, no es necesario que el vapor entre en él continuamente, bastando que su entrada se verifique durante una quinta parte, poco más ó menos, de dicho periodo. Cuando las máquinas están dispuestas de este modo se llaman *expansivas*, y *sin expansión* cuando el vapor entra durante toda la carrera del pistón.

Atendiendo á la manera como se hallan sostenidas estas máquinas, se dividen en *máquinas fijas, locomóviles y locomotoras*. Las primeras están apoyadas en una construcción especial de fábrica; las segundas están montadas sobre un vehículo ó carro para poderlas transportar de un sitio á otro, y las últimas están dispuestas sobre ruedas, que la misma máquina hace girar, y pueden, por lo tanto, avanzar por las *vías férreas* con gran rapidez.

397. Generador de vapor.—El generador de vapor más usado en estos aparatos, consiste en un cilindro de chapa fuerte de hierro (fig. 389), terminado por casquetes esféricos. Por su fondo comunica con unos tubos *H*, rodeados por la llama del combustible, en los que hierve directamente el agua,

pasando el vapor á la parte superior de la caldera. Además se hallan provistos estos generadores de los siguientes aparatos; un tubo de cristal *n* que

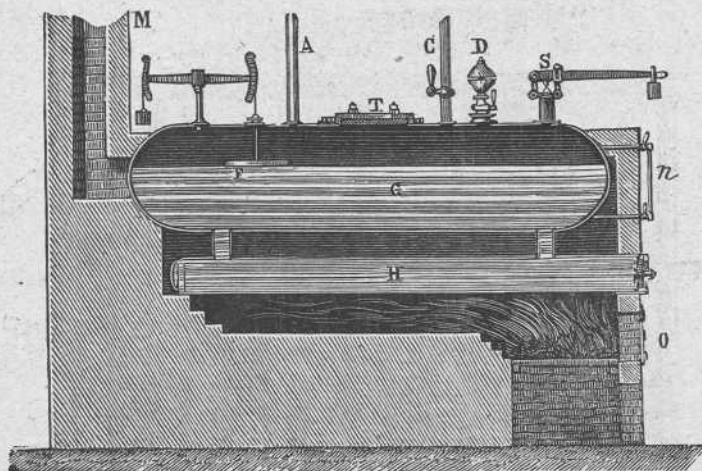


Fig. 389.

indica el nivel que dentro tiene el agua; una válvula de seguridad *S*, para que el vapor no pase de la tensión conveniente; un silbato de alarma *D* que produce un sonido de gran intensidad al salir el vapor por entre los bordes de dos timbres semiesféricos; un tubo *C* de conducción del vapor á la máquina; una gran abertura *T*, cerrada con una chapa por medio de tornillos, para permitir el paso de un obrero al interior de la caldera y limpiar las costras calizas que se depositan en su fondo; un tubo *A* en comunicación con una bomba impelente, para hacer llegar agua á la caldera á medida que se consume por la evaporación, y, por último, un flotador *F* para indicar el nivel del agua, caso de inutilizarse el tubo *n*. Toda la caldera reposa sobre una construcción de fábrica, en la que hay un espacio *O* para el combustible en comunicación con la chimenea *M*, por donde salen al exterior los productos de la combustión.

398. Máquina de doble efecto de Watt.—Este aparato, debido exclusivamente al fecundo genio de tan notable mecánico, consta de los siguientes órganos. El vapor procedente de la caldera marcha por el tubo *v* (figura 390) y pasando por la *caja de distribución T* penetra en el cuerpo de bomba *J*, donde hace mover el pistón; después que ha producido su efecto pasa el vapor al *condensador H*, en el que se liquida mediante un chorro de agua fría. El movimiento alternativo del pistón se transmite, por intermedio del vástago *K* y el *paralelógramo articulado ABCD*, al *balancín CC'*, el

cual pone en movimiento giratorio al volante *V*, por medio de la *biela G* y la *manivela M*. Al oscilar dicho balancín mueve alternativamente las varillas

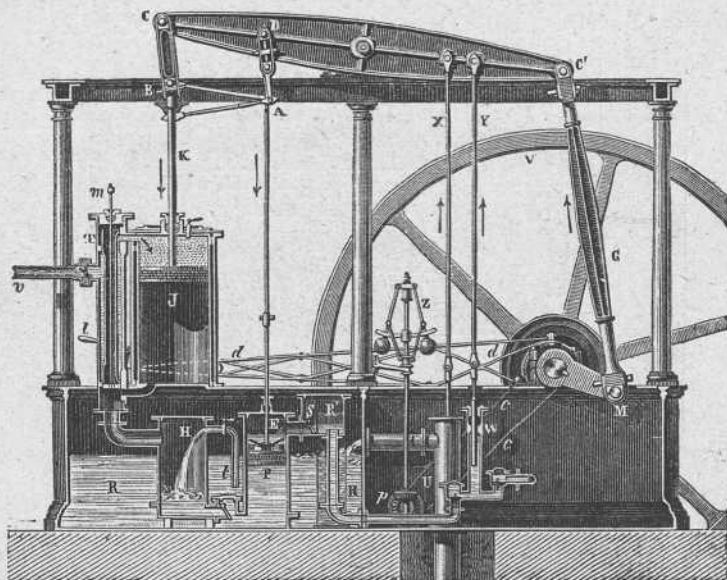


Fig. 390.

A, *X* é *Y* unidas á los pistones de otras tantas bombas, de las cuales la *E* sirve para inyectar el agua en el condensador, la *U* para extraer este líquido de un depósito, y la *W* para alimentar la caldera con el agua caliente del

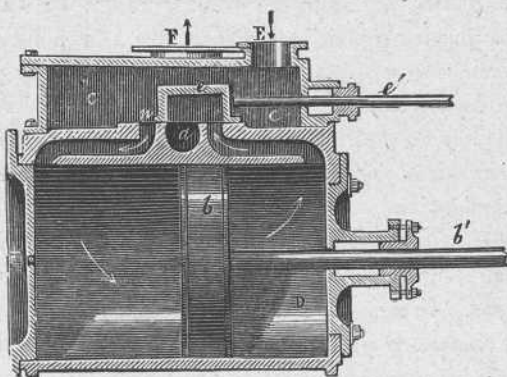


Fig. 391.

condensador. El movimiento giratorio del volante pone, á su vez, en movimiento dos órganos de la mayor importancia; uno de ellos es la *válvula de*

distribución *e*, representada en sus dos posiciones por los grabados 391 y 392; para este efecto el eje de dicho volante lleva una *exéntrica* (fig. 393) unida por la varillas *T* y la escuadra *a b c* al vástago de aquella válvula, con cuya combinación ésta adquiere un movimiento de vaivén, que permite la entrada del vapor en el cuerpo de bomba alternativamente sobre y debajo del pistón. El mismo eje del volante está encargado, además, de

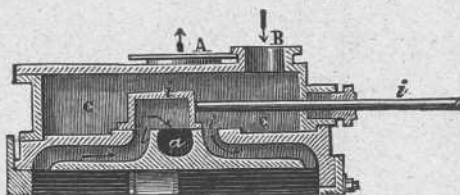


Fig. 392.

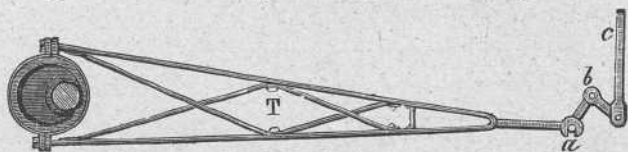


Fig. 393.

hacer girar el *pendulo cónico* *Z*, por intermedio del cordón sin fin *c c*; este péndulo, llamado *regulador de fuerza centrífuga* (fig. 394), tiene por objeto moderar la entrada del vapor en la caja de distribución, haciendo que la marcha de la máquina sea uniforme. Consta de cuatro varillas articuladas, dos de las cuales, *A* y *A'*, llevan unas esferas de plomo *B B'*, y las otras dos se hallan unidas á un anillo *M*. Al girar el árbol vertical en que descansan, y con él dichas esferas, se separan éstas de dicho árbol, efecto de la fuerza centrífuga, en proporción á su velocidad, elevándose el anillo *M* en la misma relación. Este anillo presenta en su centro una hendidura circular, en la que se acomoda la extremidad de la palanca *I L*, la cual cierra la válvula de entrada del vapor en proporción también con la velocidad de la máquina, y de este modo se consigue mantener su marcha uniforme.

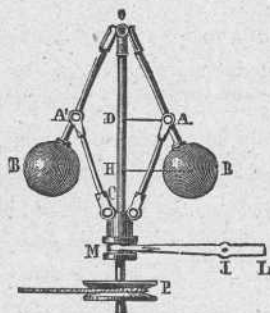


Fig. 394.

899. Locomotoras.—Las principales diferencias que existen entre estas máquinas y la de Watt, son las siguientes: El hogar *F* se encuentra situado dentro de la misma caldera (fig. 395), y los productos de la combustión pasan á la chimenea por unos tubos de cobre *e e* colocados en su interior, con cuya disposición se consigue que el agua hierva rápidamente. La toma de vapor se verifica por una abertura *I*, que puede abrir el maquinista

más ó menos por medio de una manivela. El vapor es conducido por tubos á propósito á dos cuerpos de bomba, colocados en la parte anterior á cada lado.

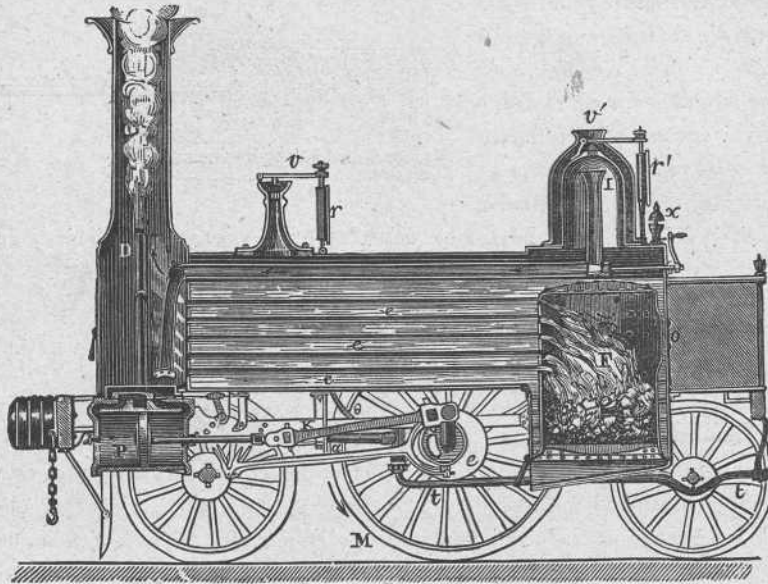


Fig. 395.

de la máquina; en éstos se mueven los pistones *P*, que hacen girar á las ruedas motoras *M* por el intermedio de sus respectivas bielas y manivelas.

Estas máquinas se hallan provistas también del silbato de alarma *x*, válvula de seguridad *v*, y demás órganos que tienen los generadores de vapor.

El agua y carbón necesarios van almacenados en un coche inmediato á la máquina, llamado *ténder*, el que comunica por medio de un tubo elástico con la bomba alimenticia de la caldera.

Para cambiar el sentido de la marcha tiene la máquina un ingenioso mecanismo, llamado *corredera Stephenson*, por medio de la cual cambia el maquinista, á voluntad suya, la posición de la válvula distribidora, y el vapor, obrando en sentido opuesto, hace marchar la máquina en dirección contraria.

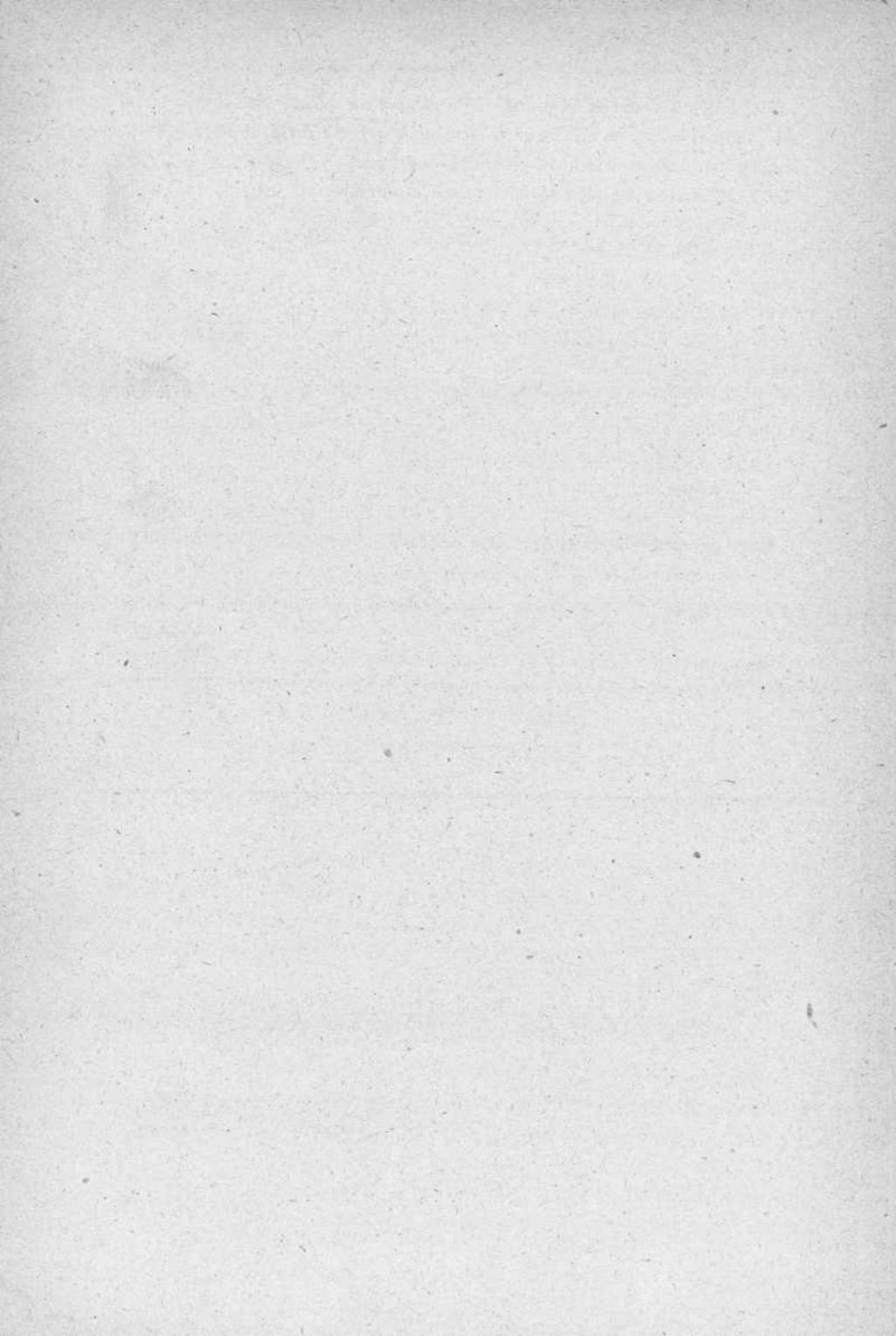
900. Máquinas marinas.—También se han aplicado con el mejor éxito las máquinas de vapor al impulso de los barcos. Las máquinas destinadas á este objeto son expansivas y de condensación, y los dos pistones que ponen en movimiento producen el giro de un árbol armado, bien de unas *ruedas de paletas*, ó ya de una *hélice*. Aquéllas, colocadas á los dos costa-

dos del buque, producen el efecto de remos, y la *hélice*, sumergida en el agua, hace el oficio de un tornillo cuya tuerca fuese dicho líquido, produciéndose por ambos sistemas la marcha del barco.

901. Motores de gas.— Desde hace algún tiempo se van empleando en las pequeñas industrias esta clase de motores, que presentan las ventajas, sobre las máquinas de vapor, de no exigir depósito de combustible y estar siempre dispuestos á funcionar.

Su construcción es bastante análoga á la de dichas máquinas, y como en éstas, su parte más esencial consiste en un cuerpo de bomba provisto de su correspondiente pistón. Por medio de una válvula distribuidora, se hace llegar al cuerpo de bomba *una mezcla detonante de aire y gas del alumbrado*, la que se inflama por un pequeño mechero de gas, encendido constantemente al lado de un orificio que comunica con dicho cuerpo de bomba. Al verificarse la explosión de aquellos gases, es impulsado violentamente el pistón, y después de regularizar su marcha por medio de un gran volante, se ponen en movimiento todos los órganos del motor.

Estos aparatos tienen, entre otras, la ventaja de poderse parar cuando se necesita, sin que entonces ocasionen gasto alguno, condición que no reúnen las máquinas de vapor; por esta razón se hallan muy generalizados para trabajos intermitentes y que no exijan una fuerza considerable.



LIBRO CUARTO.

MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD.

SECCION PRIMERA.

MAGNETISMO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Imanes.

902. Piedra imán.—Existe un mineral de hierro, conocido desde tiempos muy remotos, dotado de la notable propiedad de atraer al hierro, níquel, cobalto y cromo; este mineral, cuya composición es Fe^3O_4 , ha recibido el nombre de *piedra imán*, ó *imán natural*. Aunque abundan los ejemplares de este mineral, no todos presentan la atracción de que hemos hablado, cuya propiedad atractiva no es, por lo tanto, intrínseca en dicho cuerpo.

903. Imanes artificiales.—Las propiedades atractivas que presenta la piedra imán pueden comunicarse, por un contacto prolongado, á las barras de *acero templado*, denominándose *artificiales* á esta clase de imanes. Las propiedades de estas dos clases de imanes son idénticas, si bien los artificiales obran con más energía sobre los metales antes citados.

904. Polos y línea neutra.—Si se rodea un imán, natural ó artificial, de limaduras de hierro, se observa que estas se adhieren especialmente á dos puntos fijos, formando unos penachos, mientras que en el centro del imán es insensible la atracción (fig. 396). Aquellos puntos en que parece condensada la fuerza atractiva de los imanes han recibido el nombre de *polos*, y el de *línea neutra* la zona en que es nula dicha atracción.

Para estudiar la dirección en que actúan los imanes sobre las limaduras de hierro, suele cubrirse con una cartulina el imán sometido á la experiencia, echando después desde cierta altura, por medio de un tamiz, las citadas li-

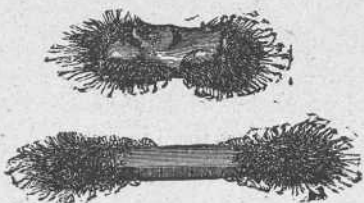


Fig 396.

maduras; éstas se agregan entonces alrededor de los polos (fig. 397), originando las curvas que representa el grabado. Estas curvas, llamadas *líneas de fuerza*, indican realmente la dirección en que obra el magnetismo, y su conjunto forma el llamado *espectro magnético*.

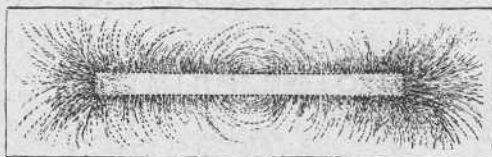


Fig. 397.

En algunos imanes se observan, además de los polos principales, otros pequeños centros de atracción, llamados polos secundarios, ó *puntos consecuentes*, los cuales neutralizan en parte la acción de aquéllos.

905. Orientación de los imanes.—Si se suspende un imán de modo que pueda moverse libremente en el plano horizontal, se observa que no adopta una posición indiferente respecto de los *puntos cardinales*, sino que siempre queda la línea que une sus dos polos en dirección aproximada de Norte á Sur. Se ha convenido en llamar *polo norte* de un imán al que se dirige al norte de la Tierra, colocado por supuesto en las condiciones que hemos indicado, y *polo sur* al que mira al sur de aquélla. Los constructores señalan generalmente el polo norte de los imanes por medio de una *N*, ó bien dejan empavonada de azul la parte del imán que le representa, y el otro polo le marcan con una *S*.

906. Acciones recíprocas de ambos polos.—Suspendiendo un imán por su centro de gravedad, de modo que pueda girar libremente en el plano horizontal, y acercando á su *polo norte* el *polo sur* de otro imán, se nota entre ambos una viva atracción, mientras que se observará una fuerte repulsión si se aproximan dos polos iguales; de aquí se deduce la siguiente ley: *Los polos de igual nombre de los imanes se repelen, y se atraen los de nombre distinto*. En esto se diferencian los imanes de las *sustancias magnéticas*, como el hierro, níquel, cobalto y cromo; éstas son atraídas indistintamente por los dos polos de un imán.

Dichas atracciones y repulsiones magnéticas se verifican, además, en razón inversa del cuadrado de las distancias, ley que ha demostrado Mr. Coulomb por medio de un aparato llamado *balanza de torsión*.

907. Imanación por influencia.—Si se coloca una barra de hierro

dulce *MN* (fig. 398) cerca de uno de los polos *A* de un imán, se observa que aquella se transforma en otro imán, con sus dos polos y línea neutra, pudiendo averiguarse fácilmente que el polo



Fig. 398.

M, próximo al influente *A*, es de nombre contrario á éste, y el más lejano *N* de igual nombre que el *A*. Esta manera especial de desarrollarse el magnetismo en el hierro y demás sustancias magnéticas, ha recibido el nombre de imanación por influencia.

El polo *N* del imán así obtenido, puede ejercer su influencia sobre otra barra de hierro, y ésta á su vez sobre otra, y así sucesivamente, pero la imanación resulta cada vez más débil. Para hacer patente este hecho se suspende de uno de los polos de un fuerte imán (fig. 399) un pequeño cilindro de hierro, y una vez imanado

éste se aplica otro cilindrito de menor peso, que inmediatamente queda adherido á aquél, del cual á su vez se puede suspender otro, y así sucesivamente algunos más. Si estando en esta posición dichos cilindros se separa el imán influente, caen inmediatamente aquéllos, perdiendo su magnetismo, lo que nos indica que el hierro dulce se imana y se desimana con la mayor facilidad. El acero templado puede también imanarse en las mismas circunstancias, pero se diferencia del hierro

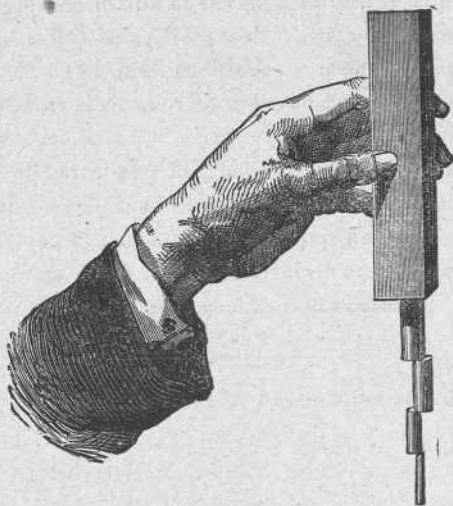


Fig. 399.

dulce en que conserva su magnetismo aunque se aleje del imán influente.

Esta diferencia entre el acero y el hierro dulce la han explicado los físicos diciendo, que en el acero existe una fuerza, llamada *coercitiva*, que impide el cambio de un estado á otro, mientras que el hierro carece por completo de dicha fuerza.

908. Hipótesis sobre el magnetismo.—El estudio de las propiedades de los imanes condujo al físico M. Coulomb á considerarlas como el resultado de dos *fluidos magnéticos*, llamados *boreal* el uno y *austral* el otro, cuyos

nombres proceden de la acción que hemos visto tiene la Tierra sobre los imanes. Dichos fluidos obran por repulsión sobre sus diferentes elementos, y por atracción sobre el fluido de nombre distinto; además, estos fluidos no se han podido aislar, ni son sensibles sus efectos sino en la materia ponderable. Según esta teoría, las moléculas de los cuerpos magnéticos, como el hierro, se hallan rodeadas de una atmósfera magnética, compuesta de ambos fluidos, lo que da por resultado su mutua neutralización. En los imanes existe también dicha atmósfera alrededor de cada molécula, pero los respectivos fluidos se hallan orientados, es decir, mirando cada uno de ellos hacia distinto extremo del imán, produciendo la resultante de ambos fluidos la atracción que se observa en sus extremos; esta resultante presenta su mayor intensidad en los polos del imán, y decrece rápidamente hacia el centro del mismo.

Cuando una barra de hierro dulce se aproxima á uno de los polos de un imán, el fluido magnético de éste disocia los elementos que componen la atmósfera magnética de las moléculas de hierro, dirigiéndose el de nombre contrario, aunque sin abandonar la molécula, hacia el polo influyente del imán, y el fluido del mismo nombre hacia la extremidad opuesta; por esta orientación de ambos fluidos queda la barra de hierro convertida en un imán. La fuerza coercitiva depende, en esta teoría, de la mayor ó menor dificultad con que pueden separarse ambos fluidos en el cuerpo de que se trate.

Viene en apoyo de esta hipótesis la experiencia siguiente: si se rompe en dos pedazos un imán $A B$ (fig. 400), aparecen inmediatamente en la parte

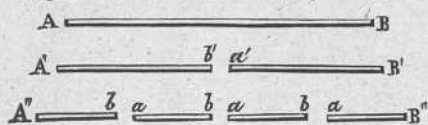


Fig. 400.

separada, ó sea la que correspondía á la zona neutra del primitivo imán, dos polos de nombre contrario, cuyas acciones estaban antes neutralizadas por la influencia

de las moléculas inmediatas. Esta operación se puede repetir un número casi indefinido de veces.

La teoría que acabamos de exponer facilita notablemente el estudio del Magnetismo, y se acomoda exactamente á los hechos observados, pero hoy se adopta generalmente la de Ampère, que daremos á conocer al hablar del electro-magnetismo.

CAPÍTULO II.

Magnetismo terrestre.

909. Acción de la Tierra sobre los imanes.—Ya hemos indicado antes que la Tierra orienta los imanes colocando la línea que une sus polos en la dirección Norte-Sur. Para estudiar esta importante acción se da á los imanes la forma de un rombo muy prolongado (fig. 401), colocando un cono de ágata en su centro de gravedad, por el que descansan sobre un estilete de acero; el aparato así formado constituye la *brújula de declinación*, ó *aguja magnética*.

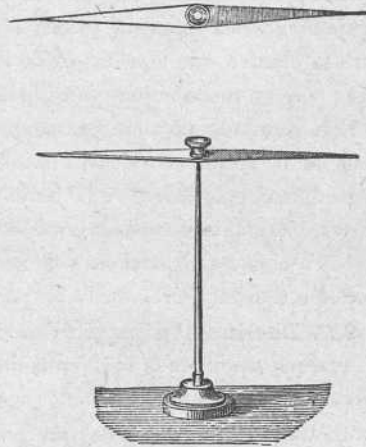


Fig. 401.

Para explicar la acción que sobre los imanes ejerce la Tierra, han supuesto los físicos que ésta se halla polarizada como las moléculas de los imanes, poseyendo el hemisferio boreal un fluido magnético contrario al del hemisferio austral; estos fluidos han recibido respectivamente los nombres de fluido *boreal* y *austral*. Los centros atractivos, ó polos, de ambos fluidos, se hallan situados en el interior de la Tierra, en dos puntos tales como F y F' (fig. 402), y la prolongación de la línea que los une corta á la superficie terrestre en dos puntos B y A , llamados polos magnéticos de la Tierra.

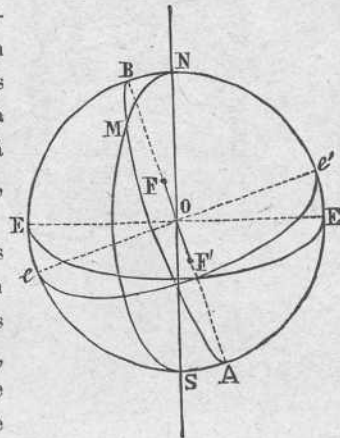


Fig. 402.

Con arreglo á la ley de las atracciones magnéticas, colocada una brújula sobre la superficie terrestre, deben dirigirse sus polos hacia los de nombre contrario de la Tierra, de modo que el polo de dicha brújula que mira al N tendrá fluido austral, y el que se dirija al S fluido boreal; para evitar confusiones en la denominación de los polos de una brújula, se ha convenido en

llamar polo norte al que mira á esta parte del horizonte, y polo sur al que se dirige á este punto cardinal. El plano BMA que pasa por la línea de los polos magnéticos de la Tierra, y por el punto M , en que se considera situado el observador, se llama *meridiano magnético terrestre*, y, á su vez, recibe el nombre de *ecuador magnético* el círculo máximo $e e'$ perpendicular á la línea de los polos.

910. Acción directriz de la Tierra.—La influencia que la Tierra ejerce sobre los imanes es puramente directriz. Para probarlo se coloca una aguja magnética sobre un corcho flotante en una vasija con agua, en cuyo caso se observa que aquélla oscila hasta colocarse en el meridiano magnético, pero en modo alguno se dirige hacia uno ni otro polo.

Este resultado no debe extrañarnos, si se atiende á la acción que cada polo de la Tierra ejerce sobre los de la aguja magnética, pues si bien es cierto que el polo boreal de la brújula es atraído por el polo austral de la Tierra, en cambio es repelido por éste el polo austral de dicha brújula, y como ambas acciones son paralelas y de igual energía, se forma un *par de fuerzas*, que sólo tienden á orientar la brújula, mas no á moverla en ningún sentido.

911. Declinación magnética.—Determinando en cada punto de la Tierra, por medio de la brújula, la dirección del meridiano magnético, se observa que, en general, no coincide aquel con el meridiano geográfico, sino que forma un ángulo variable de unos puntos á otros, llamado *ángulo de declinación*.

El conocimiento de éste ángulo es de gran importancia para las aplicaciones de la brújula, y se mide con aparatos especiales llamados *brújulas de declinación*.

Uno de los modelos más sencillos consiste en un círculo graduado PQ (fig. 403), sostenido por un pie provisto de tornillos para su nivelación. En el centro lleva un estilete de acero, sobre el que descansa por un cono de ágata una brújula imanada ns . Alrededor de dicho círculo puede girar un marco rectangular, provisto de un anteojo LL' y un nivel NN , con el que se puede determinar la meridiana geográfica del sitio que

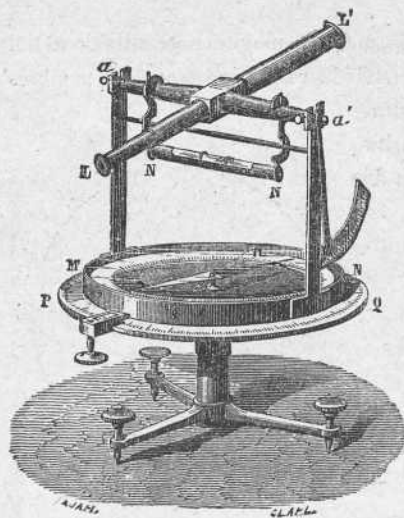


Fig. 403.

ocupa el aparato por la observación de los astros. Una vez conocida dicha

meridiana, el eje de la aguja magnética marcará sobre el limbo del aparato el ángulo de declinación.

912. Variaciones de la declinación.—Determinando con exactitud la declinación magnética de los diferentes puntos del globo, se observan grandes variaciones en su valor. En efecto; mientras que en unos puntos el polo norte de la brújula se desvía de la meridiana geográfica 180° hacia el oriente, en otros se separa hacia el occidente igual ángulo. Para diferenciar ambas indicaciones se ha convenido en llamar *oriental* á la primera declinación, y *occidental* á la segunda.

Actualmente dicha declinación es occidental en toda el África y la mayor parte de Europa, y oriental en el Asia, Oceanía y gran parte de América. En España es ahora occidental, y en Madrid alcanza un valor de 16 grados y medio.

Para estudiar la distribución del magnetismo en la superficie terrestre, se han unido entre sí los puntos en que la brújula presenta igual declinación, obteniendo sobre el mapa unas curvas muy irregulares llamadas líneas *isógonas* (fig. 404).

La declinación magnética de un punto dado de la Tierra está sujeta á diferentes variaciones, llamadas *seculares*, *anuales* ó *diurnas*.

Las *variaciones seculares* alcanzan una gran amplitud, y consisten en un movimiento incesante de los polos de la brújula, ya hacia oriente ó bien hacia occidente, llegando el ángulo recorrido en total á cerca de 50°. El periodo en que este movimiento tiene lugar se ha calculado en 492 años, siendo la variación anual de unos 10 minutos.

He aquí algunas observaciones relativas á la declinación de París y Madrid desde 1580.

PARÍS.		MADRID.	
Años.	Declinación.	Años.	Declinación.
1580..	11° 30' E.	1881.	17° 23' O.
1610.	8° 0'	1882.	17° 17'
1640.	3° 0'	1883.	17° 10'
1666.	0° 0'	1884.	17° 3'
1700.	8° 10' O.	1885.	16° 57'
1750.	17° 10'	1886.	16° 50'
1800.	22° 10'	1887.	16° 45'
1813 á 14 máxima.	22° 20'	1888.	16° 39'
1850.	20° 30'	1889.	16° 34'
1880 (Enero)	16° 52'	1890.	16° 29'

Las *variaciones anuales* son de menor importancia, y llegan escasamente á unos 20'. Durante los meses de Abril á Julio el polo norte de la brújula avanza hacia el Este, retrocediendo al punto de partida durante los nueve meses restantes. Se atribuyen estas variaciones á las distintas posiciones que el Sol ocupa sobre ó debajo del Ecuador.

Las *variaciones diurnas* alcanzan una oscilación muy variable de unos sitios á otros, fluctuando entre 6 y 25'. En el intervalo de un día ejecuta la brújula dos oscilaciones completas, una durante el día, que es la de mayor amplitud, y otra por la noche; la declinación máxima oriental tiene lugar á las 7 de la mañana, y la máxima occidental á la una de la tarde. Estas variaciones se suponen originadas por la diferente temperatura que produce el Sol, según su altura sobre el horizonte.

Además de estas variaciones, que podemos llamar *periódicas*, se observan en la brújula otras oscilaciones que no están sujetas á época determinada, y se llaman por esto *irregulares*. Las principales causas que producen este movimiento son las auroras boreales, las erupciones volcánicas y la caída del rayo en un sitio próximo á la brújula. La oscilación correspondiente á la aurora boreal llega á veces, en París, á 20' y respecto á la influencia del rayo puede ser tan grande, que invierta el magnetismo de los polos de la brújula.

913. Brújula marina.—La brújula de declinación recibe un uso diario en el derrotero de los barcos. En efecto, marcando constantemente sus polos el meridiano magnético de la Tierra, le bastará al timonel dirigir el barco de modo que su eje forme con el de la brújula, un ángulo igual al que forma con el meridiano magnético la línea que une los puntos de salida y llegada.

Para este objeto suele darse á la brújula la forma que representa la figura 405. En una caja de madera, fija en la cubierta del barco, se halla sostenida por dos aros metálicos concéntricos otra caja metálica, lastrada en su fondo; dichos aros tienen sus ejes en ángulo recto, alrededor de los cuales pueden girar, consiguiéndose por este sistema de suspensión, llamado *á la Cardan*, que la brújula, á pesar de las oscilaciones del buque, se encuentre siempre en un plano horizontal. Del fondo de la

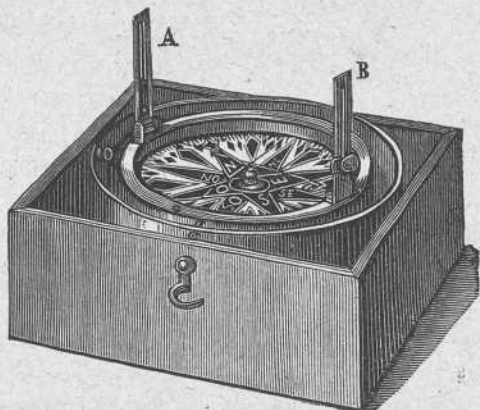


Fig. 405.

caja lastrada sale un pivote de acero, sobre el que se apoya la brújula, y sobre ésta se fija un disco muy ligero de talco, en el que se halla dibujada la *rosa náutica*. Haciendo que el rumbo indicado por el capitán coincida con la *línea de fe*, ó eje del barco, marcada por las pínulas *AB*, se tiene seguridad que el buque camina en la dirección deseada.

914. Inclinación magnética.—Si se suspende una aguja imanada por su centro de gravedad, de modo que pueda girar en el plano vertical, y se la coloca en el meridiano magnético, se observará que aquélla no queda en equilibrio indiferente, sino que su polo norte se inclina, en Madrid, unos 60 grados bajo la línea horizontal; este ángulo ha recibido el nombre de *inclinación magnética*, y el de *brújula de inclinación* el aparato con que se mide dicho ángulo.

Uno de los modelos más usados para este objeto es el que representa la figura 406. El eje de la aguja se apoya sobre dos planos de ágata, y puede recorrer un círculo vertical convenientemente graduado; éste puede girar alrededor de su diámetro vertical, para colocarle en el meridiano magnético, en cuya posición se observa el ángulo de inclinación.

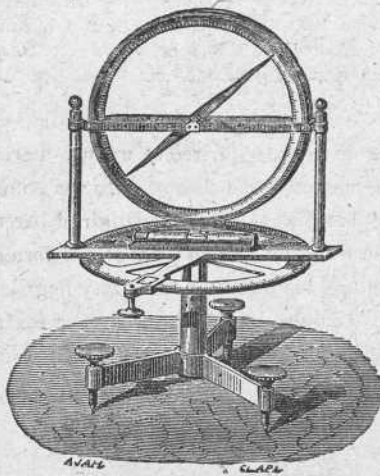


Fig. 406.

La inclinación magnética varía con la latitud del sitio en que se observe. En los polos magnéticos de la Tierra se coloca la aguja verticalmente, con el polo contrario hacia abajo, y la inclinación es por lo tanto de 90° . Separándose de los polos, y siguiendo la dirección de un meridiano, la inclinación va disminuyendo, y llega un caso en que se reduce á 0° ; la línea que une todos los puntos de la Tierra en que la inclinación es nula se llama *ecuador magnético*, el cual resulta tan irregular que no coincide con el *ecuador teórico* de que hicimos mención hace poco, y mucho menos con el geográfico.

La inclinación magnética de un sitio dado de la Tierra se halla sujeta también á variaciones *seculares, anuales, diurnas* y *accidentales*, análogas á las que hemos estudiado al hablar de la declinación, y aunque no tienen la importancia que estas últimas, sirven para estudiar las variaciones que sufre el magnetismo terrestre, en cuanto á su intensidad.

915. **Brújulas astáticas.**—Conviene en algunas circunstancias usar *agujas magnéticas* sobre las que no ejerza influencia el magnetismo terrestre, llamadas por esta razón *brújulas astáticas*. Entre los diferentes métodos que para conseguirlo suelen seguirse, uno de los más sencillos consiste en montar dos agujas iguales sobre el mismo eje, colocando sus polos invertidos (fig. 407), y de este modo la acción de la Tierra queda destruída por completo, si ambas tienen igual intensidad magnética; mas no siendo fácil realizar esta condición, resulta en general un sistema *semiastático*, en el que la Tierra ejerce una influencia proporcionada á la diferencia entre las intensidades magnéticas de ambas agujas.

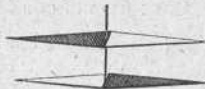


Fig. 407.

de la Tierra queda destruída por completo, si ambas tienen igual intensidad magnética; mas no siendo fácil realizar esta condición, resulta en general un sistema *semiastático*, en el que la Tierra ejerce una influencia proporcionada á la diferencia entre las intensidades magnéticas de ambas agujas.

CAPÍTULO III.

Imanación artificial.

916. Métodos de imanación.—Ya dijimos al hablar de los imanes en general, que se podían obtener artificialmente por medio del acero templado. Para conseguirlo es necesario, en primer lugar, templar el acero con arreglo al grado de carburación que posea; si el acero es muy rico en carbono se le temple *á toda agua*, y luego se le *recuece* hasta el azul; por el contrario, si se trata de un acero pobre en carbono se le temple como hemos dicho y no se le recuece.

Para comunicar á las barras así obtenidas las propiedades que presentan los imanes naturales, puede seguirse alguno de los procedimientos siguientes:

917. Simple contacto.—Consiste este método en frotar la barra que se quiere imanar *ab* (fig. 408), con uno de los polos de un imán vigoroso *A*. Estas fricciones se han de verificar siempre en el mismo sentido, levantando el imán al llegar á *b*, para colocarle nuevamente en el punto *a* por donde se empezó. Las fricciones deben verificarse por las cuatro caras de la barra, y su número no debe pasar de 10 á 12. El punto *b* por donde se termina, adquiere un magnetismo contrario al del polo *A* del imán. Este método produce imanes de poca energía, en los que, además, suelen aparecer puntos consecuentes.

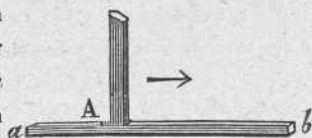


Fig. 408.

918. Contacto separado.—Consiste este método en frotar cada mitad de la barra *ab* (fig. 409), que se quiere imanar con los polos opuestos de dos imanes *A B*, partiendo del centro y separándolos á la vez hacia los extremos de aquella. Al llegar á ellos se levantan los imanes y se vuelven á colocar en el centro, repitiendo las fricciones por todas las caras de la barra. Si además se coloca ésta, apoyada

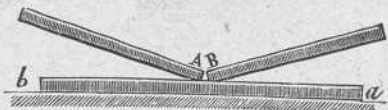


Fig. 409.

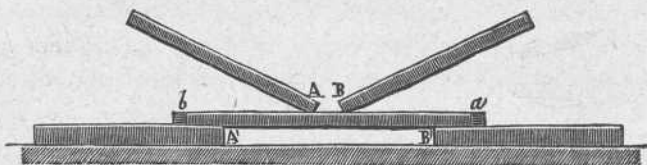


Fig. 410.

por sus extremos, sobre los polos *A'* y *B'* de dos vigorosos imanes (fig. 410),

se obtiene, por la influencia de éstos, un magnetismo muy regular y enérgico.

919. Doble contacto.—Para imanar por este procedimiento una barra de acero *a b* se colocan en su centro los polos contrarios de dos imanes (fig. 411),

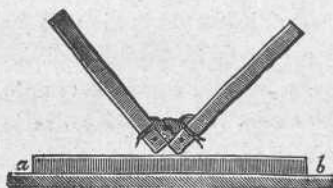


Fig. 411.

unidos invariablemente, si bien separados por un trocito de madera. Desde el centro se hacen resbalar hacia uno de los extremos de la barra y, sin levantarlos, se llevan hasta el otro extremo, para volver luego hacia el primero, y así sucesivamente, terminando las fricciones al llegar al centro y después de haber frotado cada mitad igual número

de veces. Apoyando los extremos de la barra que se quiere imanar sobre los polos contrarios de dos fuertes imanes, como en el método anterior, resulta una imanación muy enérgica.

Además de los tres métodos que acabamos de exponer, pueden obtenerse imanes artificiales por la acción de la Tierra y por medio de las corrientes eléctricas. Los detalles de este último serán objeto de un capítulo de la *Electricidad* (1013), y respecto de la influencia terrestre es tan insignificante, que no tienen ningún valor práctico los imanes así obtenidos.

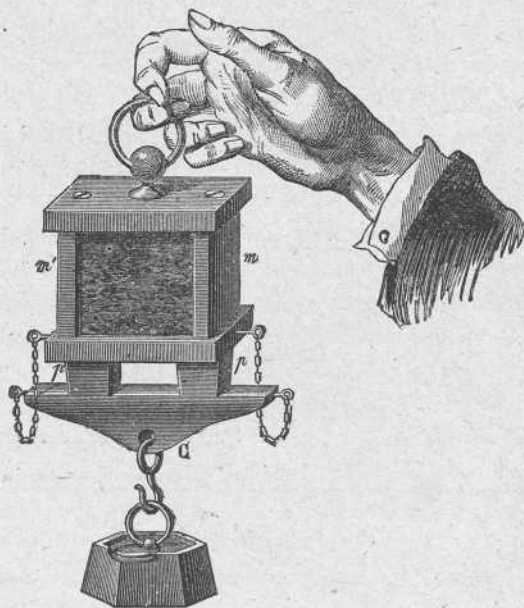


Fig. 412.

920. Diferentes formas de los imanes. — Para obtener efectos enérgicos por medio de los imanes, es necesario montarlos adoptando alguna de las disposiciones siguientes:

Los imanes naturales se sujetan, por medio de aros ó chapas de latón, entre dos gruesas láminas de hierro dulce *m m'* (fig. 412), terminadas por dos prismas del mismo metal *pp'*; dichas láminas ó *armaduras* se aplican sobre los polos

del imán, y de este modo se polarizan por influencia, pudiendo sostener grandes pesos por medio del puente de hierro *C*.

En cuanto á los imanes artificiales, si constan de más de una barra, se agrupan éstas como indica la figura 413, reuniendo los polos del mismo nombre por medio de dos piezas de hierro dulce, llamadas *armaduras*. Así se obtienen los *manojos ó haces magnéticos*, cuya fuerza, aunque considerable, es siempre menor que la suma de las fuerzas que corresponderían á cada uno de ellos separadamente.

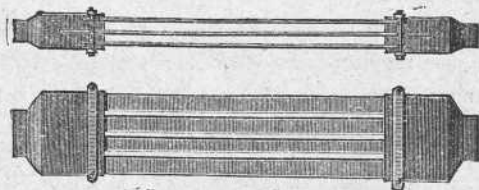


Fig. 413.

También se obtienen imanes capaces de sostener mucho peso, dando á las barras la forma de *herradura* (fig. 414), y uniendo entre sí, como en el caso anterior, diferentes láminas fuertemente imanadas. M. Jamin ha obtenido por este sistema imanes de una energía extraor-

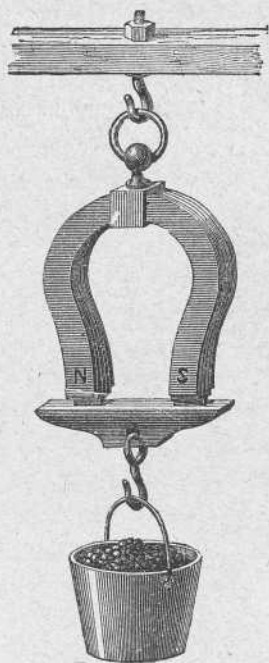


Fig. 414.

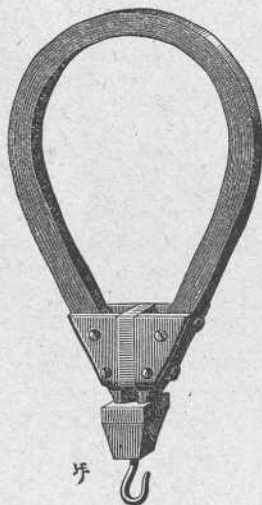


Fig. 415

dinaria, reuniendo muchas láminas de *hojas de sierra* imanadas separadamente (fig. 415), de modo que los polos del mismo nombre se apoyen en

dos trozos de hierro dulce. Dicho físico ha sido conducido á este sistema observando que, al imanar una barra gruesa de acero, sólo se orientan las moléculas de su superficie, mientras que las del interior apenas sufren cambio alguno.

Estos imanes son muy superiores en fuerza á los otros, y su magnetismo es más regular, pudiendo sostener un peso 16 veces igual al suyo, energía á que nunca se había llegado por los procedimientos anteriores.

921. Conservación de los imanes.—Para evitar que las moléculas de un imán, dispuestas conforme á la teoría que hemos expuesto, cambien de orientación y pierda aquél sus propiedades atractivas, es necesario colocarlos en ciertas condiciones.

Si se trata de imanes rectilíneos, se colocan unidos por sus polos contrarios á dos piezas de hierro dulce *a b* (fig. 416), las que se iman por

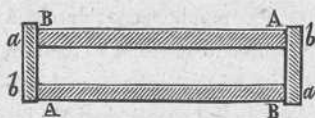


Fig. 416.

influencia en sentido opuesto y retienen el magnetismo de aquéllos. En los imanes de herradura basta colgar del puente un peso proporcional á su energía, y aun puede aumentarse gradualmente la fuerza del imán

añadiendo todos los días un pequeño peso, pero cuidando de no pasar del que pueda sostener aquél. Las brújulas conservan su magnetismo dejándolas en la posición que adoptan cuando están libres, pues el magnetismo terrestre influye lo bastante para impedir que se desorienten sus moléculas.

SECCIÓN SEGUNDA.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos generales.

922. Descubrimiento de la electricidad.—Desde tiempos muy remotos (600 años antes de Jesucristo) fué conocida por los filósofos griegos la propiedad que tenía el ámbar amarillo de atraer, después de haber sido frotado con un paño de lana, los cuerpos ligeros, como pedacitos de papel, barbas de pluma, pajitas, etc.; mas este hecho, que con el tiempo había de dar origen á una de las ramas más importantes de los conocimientos humanos, pasó entonces desapercibido, y sólo se consideró como una curiosa propiedad de dicha sustancia.

Pasaron así veintidós siglos sin que los hombres dedicados á las ciencias de aplicación tratasen de profundizar la causa de tan misterioso fenómeno, hasta que á fines del año 1600, William Gilbert, médico inglés, observó que no solamente el ámbar presentaba dicha propiedad, sino que otros muchos cuerpos, como el cristal, el azufre, diamante y las resinas, producian las mismas atracciones en igualdad de circunstancias (fig. 417).

Ya en este camino, pronto se observó que muchos de ellos producian ráfagas luminosas en la oscuridad, y aun á veces despedían chispas, y desde entonces se dió gran importancia á la cuestión, admitiendo que la causa de tales fenómenos era debida á la *electricidad*, nombre sacado del griego *ELECTRON*, con que se designaba el ámbar amarillo.

Desde entonces, y muy principalmente en este siglo, los descubrimientos en esta materia se han sucedido con una rapidez asombrosa, y aun hoy, que tan adelantado se encuentra el estudio de este agente, no es posible predecir hasta dónde llegarán sus extraordinarias aplicaciones.



Fig. 417.

923. Medios de producir la electricidad.—Varios son los procedimientos que pueden seguirse para desarrollar el fluido eléctrico, siendo los más usados, *el frotamiento, las acciones químicas, los cambios de temperatura y la inducción.* Por todos ellos se consigue desarrollar el llamado fluido eléctrico, pero sin que deje de ser el mismo, presenta caracteres distintos según el medio por que se produzca, lo que da lugar á que se considere la electricidad bajo dos diferentes aspectos, á saber: *estática y dinámica.* Recibe la primera denominación cuando se la estudia en quietud y acumulada en los cuerpos, siendo el frotamiento el medio más fácil para desarrollarla en ese estado. Por el contrario, se llama electricidad dinámica el movimiento de este agente al trasladarse de uno á otro cuerpo, pudiendo obtenerse en este estado por las combinaciones químicas, los cambios de temperatura, y sobre todo, por la inducción de otras corrientes.

924. Péndulo eléctrico.—Recibe este nombre un sencillo aparato con el cual se averigua fácilmente si un cuerpo está ó no electrizado. Consiste este instrumento (fig. 418) en una esferilla de *médula de sauco* suspendida,

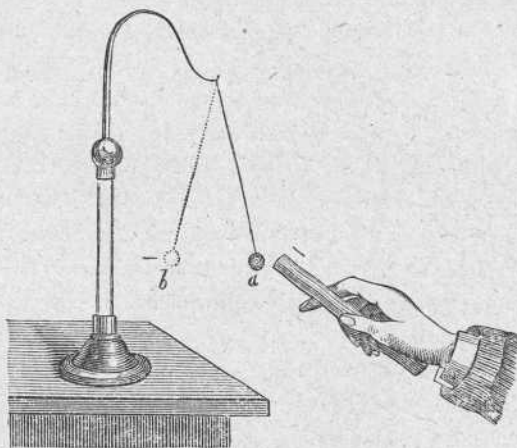


Fig. 418.

por medio de un hilo de seda, del extremo curvo de una varilla de cristal doblada en forma de cayado, la que se halla fija por su parte recta sobre un pie de madera.

Para averiguar con este aparato si un cuerpo se halla electrizado, basta aproximarle á dicha esferilla y observar si hay atracción, la que tendrá lugar, aunque sea poca la electricidad del cuerpo sometido á la experiencia, por ser muy poco pesada la médula del sauco.

925. Electricidades contrarias.—Aproximando al aparato que acabamos de describir una barra de lacre fuertemente frotada, se observa en el primer momento una viva atracción, pero inmediatamente que la esferilla toca al lacre es repelida con gran fuerza, yendo á ocupar la posición *b*. Igual fenómeno tiene lugar si se sustituye la barra de lacre por una de cristal, y bajo este concepto pudiera creerse que la electricidad desarrollada por ambos cuerpos presenta iguales propiedades; mas observó Dufay en 1734 que, mientras se repelían fuertemente los cuerpos electrizados, bien con el lacre ó con el cristal, eran en cambio atraídos vivamente los primeros por los segundos.

Esto le condujo desde luego á admitir dos clases de electricidad, dotadas de propiedades muy diferentes; una desarrollada por el cristal, á la que llamó *vítrea*, y otra producida por el lacre, á que dió el nombre de *resinosa*.

La experiencia de Dufay puede repetirse fácilmente del siguiente modo: Se toma un péndulo eléctrico provisto de dos esferillas (fig. 419), y se toca á ambas con una barra de lacre previamente frotada con un trozo de franela, en cuyo caso se notará una viva repulsión entre aquéllas, y lo mismo sucede

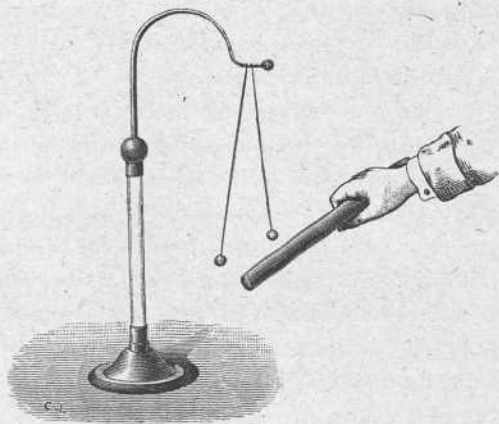


Fig. 419.

si en vez del lacre, se usa una varilla de cristal; más si cada una de las esferas se electriza con uno de dichos cuerpos, valiéndose para ello de dos péndulos diferentes, se observará, como indica la figura 420, una fuerte atracción de las mismas.

926. Hipótesis sobre la naturaleza de la electricidad.—Los an-

teriores hechos, y otros que más adelante tendremos ocasión de exponer,

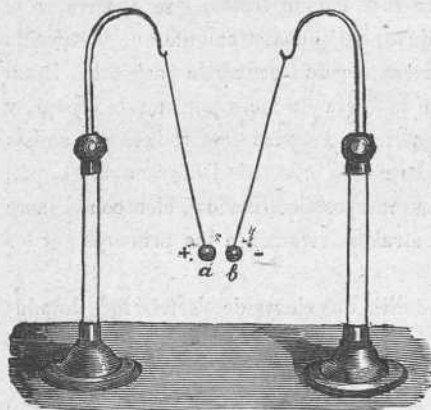


Fig. 420.

condujeron al físico inglés Symmer á considerar la electricidad como formada por la *reunión de dos fluidos* eminentemente sutiles, llamados respectivamente *vitrio y resinoso*, por desarrollarse en la frotación del vidrio el primero, y en la del lacre y las resinas el segundo; los elementos de cada uno de estos fluidos se repelen respectivamente, y atraen á los de distinto nombre. Al combinarse estos dos fluidos, efecto de su mutua atracción, se destruyen sus propiedades respectivas, dando origen á la *electricidad neutra*. Se admite, además, que esta electricidad ó fluido neutro existe previamente formada, en cantidad indefinida, sobre todos los cuerpos, sin que por esto presenten propiedades eléctricas especiales; más si, por una causa cualquiera, se separa alguno de dichos fluidos, el cuerpo aparece entonces electrizado con el fluido restante.

Esta teoría, que realmente es tan sólo la interpretación de los hechos, presenta la ventaja de facilitar grandemente el estudio de la electricidad, y por esto se adopta generalmente en las obras elementales. Con arreglo á ella, y recordando los fenómenos de atracción y repulsión observados en el péndulo, podemos decir que: *dos cuerpos electrizados con el mismo fluido se repelen*, y, al contrario, *se atraen si tienen electricidades contrarias*.

La teoría que acabamos de exponer fué combatida después por Franklin, el cual admitía tan sólo la existencia de un fluido eléctrico; éste existe en los cuerpos en cantidad determinada, según la naturaleza y condiciones de aquéllos, los cuales no presentan en este caso ningún síntoma eléctrico; pero si se aumenta, por circunstancias especiales, la cantidad de dicho fluido, aparece el cuerpo electrizado *por exceso ó positivamente*, y, al contrario, si se disminuye, queda aquél electrizado *por defecto ó negativamente*. Para significar ambos estados de los cuerpos se adoptaron los signos + y -, los que aun siguen usándose para representar respectivamente las electricidades vítrea y resinosa, á pesar de no haber prevalecido dicha teoría.

La teoría que acabamos de exponer fué combatida después por Franklin, el cual admitía tan sólo la existencia de un fluido eléctrico; éste existe en los cuerpos en cantidad determinada, según la naturaleza y condiciones de aquéllos, los cuales no presentan en este caso ningún síntoma eléctrico; pero si se aumenta, por circunstancias especiales, la cantidad de dicho fluido, aparece el cuerpo electrizado *por exceso ó positivamente*, y, al contrario, si se disminuye, queda aquél electrizado *por defecto ó negativamente*. Para significar ambos estados de los cuerpos se adoptaron los signos + y -, los que aun siguen usándose para representar respectivamente las electricidades vítrea y resinosa, á pesar de no haber prevalecido dicha teoría.

Hoy se supone que los fenómenos eléctricos son debidos á la condensación ó dilatación del éter que contienen los cuerpos, cuya idea tiene la ventaja de

referir dichos fenómenos á la misma causa que los luminosos y caloríficos.

927. Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.—Las atracciones y repulsiones recíprocas que presentan los cuerpos electrizados, se hallan sometidas á las dos siguientes leyes, descubiertas por el físico M. Coulomb:

1.^a *La fuerza atractiva ó repulsiva varía en razón inversa del cuadrado de la distancia que medie entre los cuerpos electrizados.*

2.^a *Dichas fuerzas son proporcionales á las cargas eléctricas de aquellos cuerpos.*

Estas leyes han sido demostradas por M. Coulomb valiéndose de su *balanza de torsión*, y desde luego podemos observar que son análogas á las que tienen lugar en toda clase de atracciones, como las magnéticas, terrestres, etc.

928. Cuerpos buenos y malos conductores.—El fluido eléctrico tiene la propiedad de comunicarse á lo largo de algunos cuerpos, llamados por esto *buenos conductores*, mientras que otros detienen su movimiento en más ó menos grado; á estos últimos se les da el nombre de *malos conductores ó aisladores*, y se dice que un cuerpo está aislado cuando se halla sostenido por alguno de ellos, sin cuyo requisito, la electricidad que pudiéramos comunicarle se marcharía á la Tierra, llamada por esto *depósito común*.

Los mejores conductores de la electricidad son los metales, en el siguiente orden: plata, cobre, oro, zinc, estaño, hierro, plomo, platino y mercurio. También conducen con facilidad el fluido eléctrico algunos cuerpos no metálicos, entre los que citaremos la plumbagina, el coque, los líquidos ácidos y salinos, el agua, el cuerpo humano, los vegetales vivos y el aire húmedo.

Entre los cuerpos malos conductores figuran la goma laca, azufre, cristal, gutapercha, ebonita ó caucho endurecido, marfil, seda, grasas, carbón vegetal, aire seco y las maderas. Como fácilmente se comprende, el conocimiento de estos cuerpos es de la mayor importancia en la construcción de los aparatos eléctricos.

Conocidas las anteriores propiedades, podemos explicarnos por qué no se electriza un cuerpo metálico, aunque se le frote, si se le tiene cogido con la mano; en efecto, siendo el cuerpo humano buen conductor del fluido eléctrico, se marchará éste al depósito común á medida que se desarrolla; mas si aquél se sostiene por medio de un mango de cristal, y, además, se le frota con un cuerpo mal conductor, como la seda, veremos que se electriza fácilmente, y atrae, como si fuera una barra de lae, á la esferilla del péndulo eléctrico (fig. 421). Esta última experiencia prueba que todos los cuerpos pueden

electrizarse por frotamiento, si se encuentran en circunstancias convenientes.

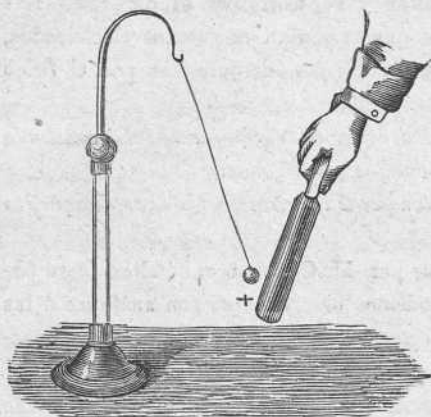


Fig. 421.

929. Desarrollo de ambos fluidos en la electrización de los cuerpos.—Al frotar un cuerpo con otro aparece generalmente un solo fluido eléctrico, ya el positivo ó bien el negativo; mas no debe deducirse de aquí que el otro fluido no se ha puesto á la vez en libertad, sino que, siendo buen conductor uno de los dos cuerpos frotados, el fluido que en él se haya desarrollado marcha inmediatamente al depósito común, y no puede, por tanto, hacerse sensible.

Para demostrar que, en efecto, siempre que se frotan dos cuerpos se ponen en libertad ambos fluidos, el mejor medio consiste en frotar uno con otro dos discos de cristal, provistos de mangos de la misma sustancia (fig. 422); separándolos rápidamente después de frotarlos se observará, con

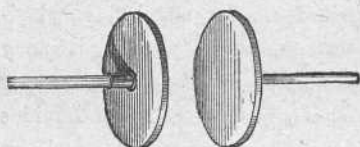


Fig. 422.

auxilio del péndulo eléctrico, que ambos están electrizados de un modo contrario, sin que pueda predecirse, si los dos presentan igualdad de condiciones respecto á su composición y superficie, en cual de ellos quedará un determinado fluido;

mas si se raya un poco uno de ellos, se notará que éste queda siempre cargado de electricidad negativa, lo que manifiesta que el estado de la superficie de los cuerpos, más que su naturaleza, influye notablemente en la clase de fluido eléctrico que retienen; así, mientras el cristal pulimentado se electriza positivamente cuando se le frota con un paño de lana, el mismo cuerpo esmerilado retiene el fluido negativo frotado en las mismas condiciones.

El desarrollo simultáneo de ambas electricidades es una consecuencia necesaria de la teoría de Symmer, pues el fluido eléctrico, según dicho sabio, se compone de igual cantidad de fluido positivo y negativo, y no es posible, por tanto, poner en libertad uno de dichos fluidos sin que aparezca inmediatamente el otro.

930. La electricidad reside en la superficie de los cuerpos.—Otra

consecuencia de la teoría de Symmer, comprobada plenamente por la práctica, es que la electricidad acumulada en un cuerpo buen conductor se dirige á su superficie, formando una especie de atmósfera de pe-
queñísimo espesor. Esto puede demostrarse por medio de una esfera metálica hueca (fig. 423), sosteniida por un pie de cristal, la cual tiene practicado un orificio en su parte superior para poder introducir un pequeño disco metálico, llamado *plano de prueba*, fijo en el extremo de una varilla de cristal. Si se electriza dicha esfera por medio de la *máquina eléctrica*, de que pronto hablaremos,

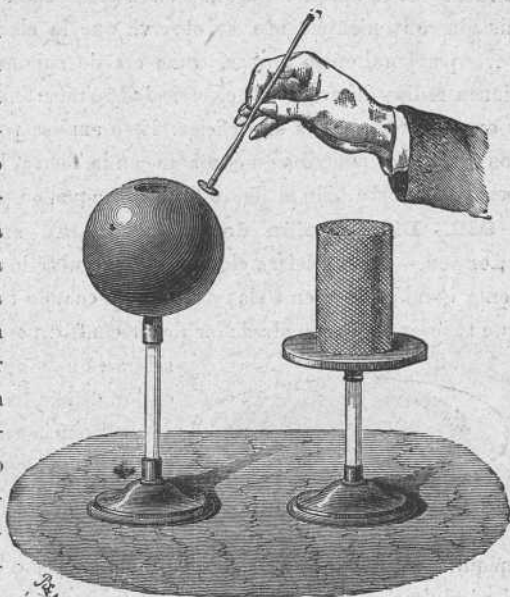


Fig. 423.

y se toca después su superficie exterior con el plano de prueba, se observará, aproximándole al péndulo eléctrico, que aquél se encuentra electrizado, cosa que no sucedería si se hubiesen tocado sus paredes interiores.

Lo mismo se puede demostrar por medio de un cilindro de tela metálica, sostenido, como indica la figura, sobre un soporte aislador; si después de electrizarle se tocan con dicho plano de prueba sus paredes interiores, se observa que aquél carece de electricidad, y lo contrario tiene lugar si se verifica el contacto con la superficie exterior.

Se comprende que así debe suceder, recordando que los elementos de cada uno de los fluidos eléctricos, tanto vítreo como resinoso, se repelen mutuamente, y deben procurar separarse cuanto les sea posible, y es claro que esto tendrá lugar cuando todo el fluido eléctrico de que un cuerpo esté cargado se halle en su superficie.

De aquí se deduce que la cantidad de electricidad que puede recibir un cuerpo, sólo depende del área de su superficie y no de su peso; y, en efecto, la experiencia demuestra que dos esferas iguales, una hueca y otra maciza, adquieren igual carga eléctrica cuando se las pone en contacto con el mismo origen eléctrico.

931. Distribución de la electricidad entre los cuerpos en contacto.—Si se aproxima á una esfera electrizada otra del mismo diámetro, aislada convenientemente, se observa que la electricidad de aquélla se reparte por igual entre ambas, como era de suponer; mas si las dos esferas tienen radios diferentes, la electricidad se reparte entre ambas desigualmente, y en proporción á sus superficies. Esto explica por qué quedan descargados los cuerpos al ponerlos en contacto con la Tierra, la que, dada su enorme superficie, absorbe todo el fluido libre que aquéllos puedan tener.

932. Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos.—La atmósfera eléctrica que recubre los cuerpos electrizados presenta igual espesor en todas direcciones cuando se trata de una esfera, en la que todo es simétrico alrededor de su centro; pero si el cuerpo que se

considera es más agudo en algún sentido que en los demás, la electricidad se acumulará de preferencia en las partes más salientes.

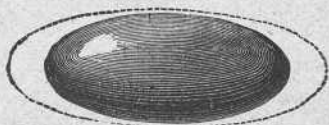


Fig. 424.

Puede demostrarse esta propiedad por medio de un elipsoide metálico y aislado (fig. 424), que se electriza con auxilio de la

máquina eléctrica. Verificado esto, se nota, por medio del plano de prueba y el péndulo eléctrico, que la carga eléctrica es mayor en sus extremos agudos que en su parte media, así es que, representando por una línea de puntos la atmósfera eléctrica que rodea dicho cuerpo, ésta tendría una forma análoga á la que está representada en el dibujo.

La electricidad acumulada de este modo en la superficie de los cuerpos tiende á esparcirse por el aire, efecto de la repulsión mutua que entre sí ejercen sus elementos, y de hecho así sucede cuando el aire se halla cargado de humedad, en cuyas condiciones conduce bastante bien el fluido eléctrico; mas si se encuentra seco dicho gas, como quiera que es entonces mal conductor, no puede el fluido eléctrico franquear este obstáculo, quedando retenido en la superficie de los cuerpos con cierta propensión á abandonarlos, que es lo que ha recibido el nombre de *tensión eléctrica*; la tensión eléctrica en el elipsoide que acabamos de considerar es, por lo dicho, mayor en sus extremos que en la parte central.

Además de la idea de tensión eléctrica que acabamos de indicar, hay que considerar también en los cuerpos electrizados la *cantidad* de fluido que contienen. Por lo dicho se comprende que, á igualdad de tensión, la cantidad de electricidad acumulada en un cuerpo depende de su área superficial. Al tratar de las corrientes eléctricas (962) aclararemos más tan importante concepto.

933. Propiedad de las puntas.—Á medida que se prolonga la superficie de un cuerpo, disminuyendo el radio de su curvatura, la tensión eléctrica aumenta por las razones que acabamos de exponer, de donde se deduce que, al prolongar indefinidamente dicha superficie, la tensión debe crecer en igual proporción, y podrá vencer cualquier obstáculo que se oponga á la marcha del fluido eléctrico. Esto sucede precisamente en los *cuerpos terminados en punta*, los cuales dejan escapar el fluido acumulado en ellos venciendo la resistencia del aire. Dicha propiedad ha recibido importantes aplicaciones, que más adelante tendremos ocasión de exponer, y es, además, causa de que no sea posible cargar de electricidad un cuerpo que presente alguna curva muy aguda en su superficie; por esto, todos los aparatos destinados á retener el fluido eléctrico deben terminar en superficies redondeadas.

Para demostrar prácticamente la *propiedad de las puntas*, basta colocar sobre la máquina eléctrica una aguja gruesa de coser, y se notará que aquel aparato no se carga de fluido eléctrico aunque se le haga funcionar. Si la experiencia se hace en la obscuridad, se verá salir por dicha punta un penacho luminoso, y si se aproxima una luz encendida, como indica la figura 425, se observará que la llama se dirige al lado opuesto, indicando una corriente de aire en ese sentido, la que es debida á la repulsión que experimenta dicho gas por electrizarse de igual modo que la punta.

934. Descarga espontánea de los cuerpos electrizados.—Por mucho cuidado que se ponga en aislar un cuerpo electrizado, no es posible evitar que se escape la electricidad acumulada en su superficie, influyendo en su descarga los soportes

en que descansa y el aire que le rodea. En efecto; todos los cuerpos, aun los más aisladores, dejan pasar lentamente el fluido eléctrico, y esta pérdida de electricidad se hace mucho más sensible en tiempo húmedo, por recubrirse de vapor acuoso, en más ó menos grado, la superficie de aquéllos. El aire que rodea á dichos cuerpos también contribuye á su descarga, pues electrizándose de igual signo, es repelido y reemplazado inmediatamente por otras capas, que á su vez roban cierta cantidad de fluido al cuerpo de que se trata. Por estas razones es necesario desecar el aire y los soportes de los aparatos eléctricos, calentando la habitación en que hayan de funcionar.

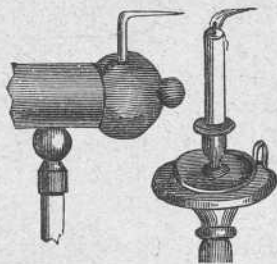


Fig. 425.

CAPÍTULO II.

Electrización por influencia.

935. Fenómenos de la influencia eléctrica.—Si se acerca un cuerpo buen conductor, y en su estado natural, á otro que se halle electrizado, sucede que el fluido eléctrico de aquél es descompuesto por la electricidad libre del segundo, siendo atraído el de nombre contrario y repelido el del mismo nombre. Á esta acción que los cuerpos electrizados ejercen sobre los que les rodean, se la ha llamado *electrización por influencia*.

Para probar experimentalmente esta interesante propiedad se usa el aparato representado por la figura 426, el cual consiste en una varilla metálica sostenida por un pie de madera, sobre la cual pueden colocarse, á diferentes alturas, una esfera y un cilindro de latón, aislados por soportes de cristal.

Si se carga la esfera de fluido positivo y se acerca á ella poco á poco el cilindro antes citado, se observará que los dos péndulos colocados en sus extremos se van separando cada vez más, á medida que la distancia disminuye, mientras que en su parte media no se nota ningún síntoma eléctrico, por medio de otro tercer péndulo que á dicha región se aproxime; por otra parte, acercando una barra de laque frotada al péndulo superior, se observa una viva atracción, y verificando lo mismo con el péndulo de abajo, se nota repulsión; todo lo cual prueba que la

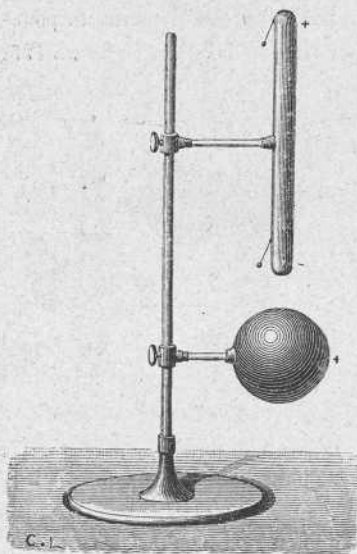


Fig. 426.

mitad superior del cilindro citado se halla cargada de electricidad positiva, y la mitad inferior con fluido negativo, permaneciendo en su estado neutro la parte central del mismo. Igual descomposición tiene lugar, si bien los fluidos desarrollados se hallan cambiados, cuando la esfera se electriza negativamente.

Adoptando la teoría de Symmer para la explicación de los fenómenos eléctricos, no puede ser más sencilla la razón de los anteriores hechos. En efecto; al aproximar á la esfera electrizada positivamente el cilindro del aparato, su fluido neutro se descompone en positivo y negativo, y efecto de las acciones que entre sí ejercen ambos fluidos, el negativo es atraído por la electricidad positiva de la esfera á la parte inferior del cilindro, mientras que el positivo es repelido, por la misma causa, á la parte superior; además, para pasar del estado eléctrico que tiene la parte inferior de dicho cilindro al que presenta su parte superior, forzosamente ha de haber una zona en que no domine ninguno de los dos fluidos, y es claro que esta parte se encontrará en su estado natural.

Si en este estado se separa el cilindro de la esfera electrizada, ambos fluidos vuelven á combinarse, y el cilindro queda en su estado natural; más si antes de separarle se toca con un cuerpo buen conductor en cualquier punto de su superficie, desaparece la electricidad del mismo signo que tenga la esfera, y queda retenido el fluido de nombre contrario. Este fluido se acercará cuanto pueda á la esfera influente, y aunque se aproxime un cuerpo conductor no abandonará el sitio que ocupa, constituyendo un estado eléctrico especial de que pronto nos ocuparemos. No sucede así si separamos el cilindro de la esfera, después de haberle tocado con un cuerpo conductor; en este caso, no siendo atraído en ningún sentido el fluido negativo de que queda cargado el cilindro, se reparte por su superficie, y puede abandonarla al aproximar un cuerpo que conduzca bien el fluido eléctrico.

Si suponemos al cilindro de la experiencia que acabamos de citar, comunicando por su parte superior con el depósito común, la electricidad positiva acumulada en dicho extremo marchará inmediatamente á la Tierra, quedando tan sólo electrizada negativamente la extremidad inferior de dicho cilindro.

Esta influencia que ejercen los cuerpos electrizados sobre los que les rodean se verifica también, aunque se interpongan entre ellos substancias aisladoras, como el cristal, marfil, etc., lo que es fácil probar con el aparato descrito anteriormente.

936. Chispa eléctrica.—La electricidad acumulada en un cuerpo por la influencia de otro electrizado, aumenta rápidamente en tensión á medida que disminuye

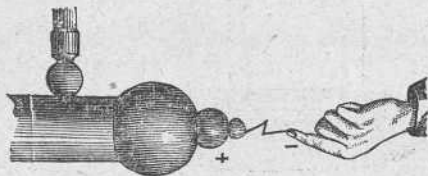


Fig. 427.

la distancia que media entre aquéllos, y puede ser tan grande que, venciendo la resistencia del aire, logre combinarse con la del cuerpo influente. El fenó-

meno resultante ha recibido el nombre de *chispa eléctrica* (fig. 427), la cual va acompañada de una luz vivísima y de un chasquido especial, debido á la agitación brusca del aire interpuesto. Al tratar de los efectos luminosos de la electricidad estática nos ocuparemos de las particularidades que presenta este interesante fenómeno.

937. Explicación de las atracciones y repulsiones eléctricas.—

La teoría de la electrización por influencia, que acabamos de exponer, explica, entre otros fenómenos, las atracciones y repulsiones que se verifican entre los cuerpos electrizados. Sean, en efecto, *a b* la esferilla del péndulo eléctrico (fig. 428), y *C* el extremo de una barra de cristal electrizada. Bajo la influencia de la electricidad positiva de este cuerpo, se descompone el fluido neutro de la esfera, siendo atraído al punto *a* el negativo, y repelido al *b* el positivo. Verificada esta descomposición, se establecerá una

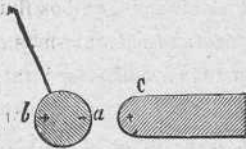


Fig. 428.

acción repulsiva entre *b* y *C*, y otra atractiva entre *a* y *C*; mas como la distancia que media entre estos dos puntos es menor que la que existe entre *b* y *C*, y sabemos que las acciones eléctricas obran en razón inversa del cuadrado de la distancia, dominará la atracción sobre la repulsión, y la esferilla se precipitará sobre la barra de cristal. Una vez establecido el contacto entre ambos cuerpos, el fluido negativo acumulado en *a* se combinará con una cantidad igual del fluido positivo

de *C*, para formar fluido neutro, y quedando entonces la esferilla y el cristal cargados con electricidad de igual signo, habrá una viva repulsión entre ambos, como, en efecto, sucede.

Si la esferilla del péndulo estuviera previamente cargada de electricidad positiva, habría repulsión al aproximar lentamente la barra de cristal *C*, mas podría convertirse en atracción si aquella se acerca brusca-

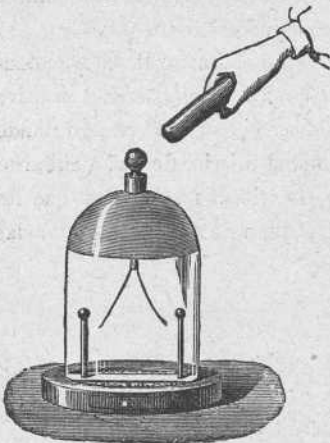


Fig. 429.

mente. Esta contradicción aparente se explica, teniendo en cuenta que, además del fluido positivo libre que tiene la esferilla, existe en ella el fluido neutro en cantidad indefinida, el cual puede descomponerse por la influencia del que tiene la varilla de cristal, y se concibe que, si la aproximación ha sido muy rápida, puede dominar la atracción debida al fluido negativo descompuesto, sobre la repulsión que produciría por sí solo el positivo que tenía la esferilla.

938. Electroscopios.— Estos aparatos, fundados en la electrización por influencia, tienen por objeto averiguar si un cuerpo está electrizado y con qué clase de fluido. Ya vimos que el péndulo eléctrico puede servir para este objeto, pero es mu-

cho más sensible el *electroscopio de panes de oro* (fig. 429). Consiste este aparato en una campana de cristal apoyada sobre un pie metálico, de cuyo soporte salen dos columnitas de latón terminadas en esferas. La parte su-

perior de dicha campana está atravesada por un vástago metálico, terminado en esfera por la parte superior, y en dos laminas de *pan de oro* por la inferior; la terminación del citado vástago y la parte superior de la columna están barnizados con una materia aisladora.

Para usar este aparato se empieza por electrizarlo con un fluido conocido, procediendo del modo siguiente: Se frota fuertemente una barra de lacre y se aproxima, como indica el grabado, á la esfera superior. En este caso la electricidad negativa acumulada en el lacre descompone por influencia el fluido neutro del vástago y hojuelas de oro, atrayendo á la esfera el fluido positivo y repeliendo hacia aquéllas el negativo; dichas hojuelas se repelerán por hallarse cargadas con electricidad del mismo signo, y si entonces se toca á la esfera, quedará en ella (935) la electricidad positiva, y las hojuelas volverán á su posición vertical. Al separar después la barra de lacre, la electricidad positiva acumulada en la esfera se repartirá por todo el vástago y panes de oro, y éstos, por estar cargados ambos de electricidad positiva, volverán á repelerse, quedando el aparato dispuesto para utilizarle. Para averiguar ahora si un cuerpo tiene electricidad libre, y cuál es su signo, bastará aproximarle lentamente á la esfera del electrómetro, y según que las hojuelas de oro se aproximen ó se separen más, deduciremos que dicho cuerpo tenía electricidad, negativa en el primer caso, y positiva en el segundo, puesto que las láminas de pan de oro sabemos que estaban cargadas de electricidad positiva, ó sea contraria á la que tenía el cuerpo que hemos usado para electrizar el aparato. Las columnitas metálicas del soporte tienen por objeto evitar que se peguen á las paredes de la campana las hojuelas de oro, ayudando, además, á su separación, por cargarse por influencia con electricidad contraria á la de aquéllas.

939. Electrómetro de Henley.—Á fin de medir la tensión que adquiere la electricidad en las máquinas eléctricas, suele usarse un instrumento llamado *electrómetro de cuadrante*, que consiste (fig. 430) en un pie de madera que puede atornillarse en el extremo de uno de los cilindros de dicha máquina eléctrica; en su parte superior lleva un semicírculo de marfil graduado, desde cuyo centro, alrededor del cual puede girar, sale un vástago delgado de ballena, terminado por una esferilla de médula de saúco. Cuando la máquina está descargada, este péndulo, en virtud de su peso, toma la posición vertical, pero á medida que el fluido eléctrico se va acumulando en el

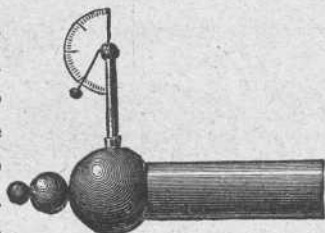


Fig. 430.

cilindro sobre que está colocado, la esferilla es repelida por el pie de madera, por cargarse ambos con la misma clase de electricidad, y el vástago de ballena nos indicará en el semicírculo el grado de tensión que la máquina adquiere.

No existe ninguna relación sencilla entre la inclinación del péndulo y la carga de la máquina en que se coloca, así que sólo puede servir este aparato para dar á conocer si la tensión de aquella ha llegado al grado necesario para producir un determinado efecto.

CAPÍTULO III.

Máquinas eléctricas.

940. Definiciones.—Se da el nombre de *máquinas eléctricas* á unos aparatos destinados á producir grandes cantidades de electricidad.

La primera máquina eléctrica fué inventada por Otto de Guericke, y aunque aquel aparato es muy notable bajo el punto de vista histórico, hoy, sin embargo, se ha llegado en esta materia á una perfección muy superior al instrumento ideado por aquel sabio.

Entre las muchas máquinas que figuran en los diferentes gabinetes de Física, nosotros sólo describiremos aquellas cuyo uso ha sancionado la experiencia.

941. Electrífico.—Consiste esta máquina, que es la más fácil de construir, en una torta resinosa *R* (fig. 431), sobre la que descansa un disco de

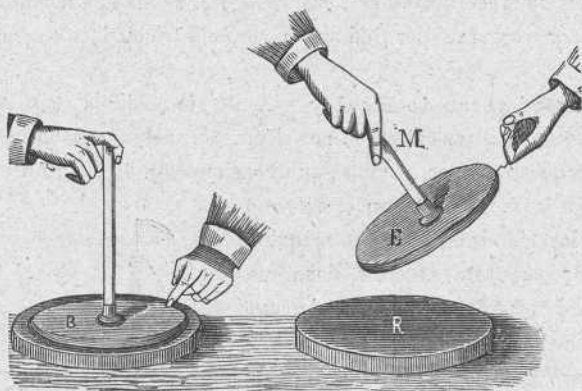


Fig. 431.

madera *E*, forrado de papel de estaño, y provisto en el centro de una de sus caras de un mango aislador *M*.

Para hacer funcionar este aparato, se frota la torta resinosa con una piel de gato, y así quedará cargada de electricidad negativa. Después se coloca encima el disco metálico, como se indica en *B*, y en este caso su fluido neutro será descompuesto por la electricidad negativa de la resina, siendo atraído el positivo á la cara inferior, y repelido el negativo á la superior. Si en este estado se toca con el dedo al disco *B*, su fluido negativo se marchará por la mano al depósito común, y al levantarlo, por medio del mango aislador, el fluido positivo, retenido hasta entonces por la electricidad contraria de la resina, se esparcirá por todo el disco, y podrá producir una chispa al aproximar la mano ó cualquiera otro cuerpo buen conductor. Si se coloca otra vez el disco *E* sobre la torta resinosa, volverá nuevamente á descomponerse el fluido neutro de aquél, y levantándole, después de haberle tocado con el dedo, podrá sacarse otra chispa, y así sucesivamente, hasta que pierda la resina su electricidad, lo que tarda bastante en acontecer cuando el tiempo está seco. Si está húmedo, conviene calentar la torta resinosa y la piel de gato con que se frota, limpiando además el mango de cristal con un paño caliente.

Los efectos de este aparato dependen de la superficie del disco y de la composición de la torta resinosa. Cuanto mayor sea la extensión de aquél, mayor será la cantidad de electricidad descompuesta y más enérgicos sus efectos. Respecto á la pasta resinosa, se obtienen muy buenos resultados haciendo uso de una mezcla de

	250 partes de colofonia,
	500 — de goma laca,
	62 — de trementina
y	15 — de sebo.

Se funde todo en un cazo de hierro y se echa en una caja circular de madera de mayor diámetro que el del disco, y de un grueso proporcionado. Si después de fría la masa no queda bien plana su superficie, se iguala con una plancha de hierro caliente.

Con esta sencilla máquina, sobre todo en tiempo seco, pueden obtenerse fácilmente infinidad de chispas eléctricas, por cuya razón se usa con frecuencia en los gabinetes de Física y Química.

942. Máquina de Ramsden.—Este aparato, llamado también *máquina eléctrica de disco*, produce efectos muy superiores al electróforo, pero en cambio es más complicado y costoso.

Consta (fig. 432), de un disco de cristal *D*, atravesado por un eje metálico, que termina por uno de sus extremos en un manubrio *M* para hacerle girar. Cuando esto se verifica, frota dicho disco por ambas caras en cuatro

almohadillas de cuero *aa*, rellenas de crin, y sujetas en unos montantes de madera *BB*, que á la vez sirven de apoyo al eje. Á los 90° de estas almohadillas hay dos arcos de latón *AA* que abrazan al disco de cristal, y llevan

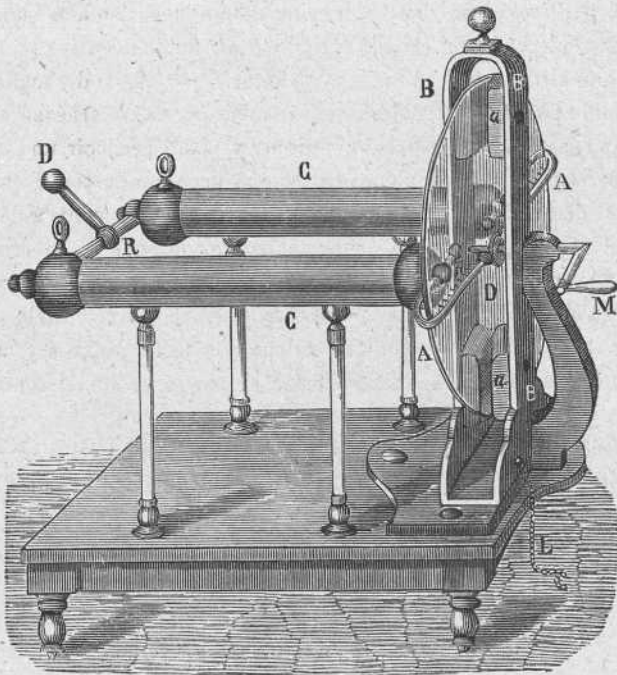


Fig. 432.

en su parte interior una serie de puntas *P*, formando unos peines metálicos; estos dos arcos están unidos á dos grandes cilindros huecos de latón *CC*, sostenidos por pies de cristal, y fijos en una mesa que sostiene todo el aparato; además, están unidos entre sí por un tercer cilindro *R* de menor diámetro, provisto en su centro de un tubo de latón terminado en una esfera *D*.

Para hacer funcionar esta máquina, se hace girar el disco de cristal por medio de su manubrio, y al frotar aquél con las almohadillas se descompondrá su fluido natural, permaneciendo el positivo sobre su superficie, mientras que el negativo se dirigirá á las almohadillas, y desde ellas, por los montantes y una cadenilla *L*, al depósito común. Al pasar después la superficie del disco, electrizada positivamente, por enfrente de los peines metálicos, la electricidad neutra de los cilindros *CC* será descompuesta por su influencia, siendo repelida la positiva á los puntos más distantes, tales como el *D*, y

atraída la negativa á las puntas metálicas, por las que se escapará para combinarse con el fluido positivo del cristal y dejarle nuevamente en su estado neutro. Como esta acción se repite en cada vuelta del disco, iremos sustrayendo continuamente la electricidad negativa de los cilindros *CC*, y la positiva irá adquiriendo en ellos cada vez mayor tensión, hasta que llegue á tal grado que se descargue por los pies del cristal y los montantes, venciendo la resistencia que éstos le oponen. Estas descargas van acompañadas de un chisporroteo especial que indica se ha llegado al límite de tensión que puede alcanzar la máquina.

Cuando se quieren obtener con este aparato buenos resultados, deben secarse cuidadosamente, por medio de paños calientes, el disco y los pies de cristal; las almohadillas deben frotarse con un poco de sebo y después con *oro musivo*, ó sea el bisulfuro de estaño; y todo el aparato debe colocarse lejos de muebles ú objetos que, por sus partes angulosas, puedan neutralizar sus efectos, dejando escapar la electricidad contraria á la que tiene la máquina.

La *cantidad* de electricidad desarrollada en este aparato depende de la superficie de los cilindros *CC*, la cual puede aumentarse fácilmente colocando sobre ellos tubos gruesos de hoja de lata, terminados por casquetes esféricos.

La *tensión* que es susceptible de adquirir en esta máquina al fluido eléctrico, depende únicamente del esmero con que esté construída. En primer lugar, los cilindros deben estar perfectamente aislados, para lo cual es conveniente barnizar los pies de cristal con goma laca disuelta en alcohol, sin cuya precaución aquéllos retienen con más fuerza la humedad que siempre hay en el aire. Para la construcción del disco es preferible valerse del cristal antiguo, que generalmente tiene menos potasa que el que hoy se fabrica; en caso de usar éste, debe tenerse bastante tiempo en agua caliente. Las almohadillas de cuero rellenas de crin, que generalmente se usan, presentan el inconveniente de no acomodarse bien á la superficie del cristal, y son preferibles, por esta causa, las formadas con varias capas de franela colocadas sobre una tabla rectangular, y cubiertas por una capa de tafetán impregnado en su cara exterior de sebo y oro musivo; deben, además, cubrirse por su parte lateral y posterior con una hoja de papel de estaño, puesta en comunicación con la cadenilla *L*, para facilitar la marcha de la electricidad negativa que en ellas se acumula. Teniendo en cuenta las anteriores precauciones, la máquina de Ramsden produce fácilmente grandes cantidades de electricidad, y pueden sacarse de ella chispas cuya longitud alcance 8 ó 10 centímetros.

Además de la máquina de Ramsden, han ideado diferentes físicos otras muchas, más ó menos notables, basadas en el mismo principio, pero que no

presentan ventaja ninguna sobre aquella; únicamente la de M. Holtz, por estar fundada en un principio completamente nuevo, merece llamar nuestra atención.

943. Máquina de Holtz.—Consiste este ingenioso aparato (fig. 433) en dos platillos delgados de cristal, uno fijo por su borde, y otro capaz de girar con gran velocidad por el intermedio de dos poleas de madera, unidas entre sí por cuerdas sin fin. Estos platillos distan entre sí unos cuatro milímetros, y se hallan barnizados con goma laca por ambas caras. El platillo

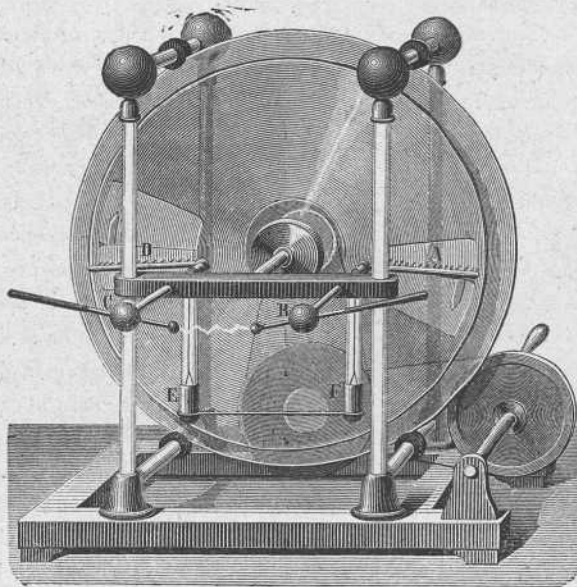


Fig. 433.

fijo, que es un poco mayor que el otro, tiene practicadas dos aberturas en los extremos de un diámetro horizontal, y en los bordes de dichas aberturas se hallan encoladas, por la parte exterior, *dos armaduras* de cartulina *A* y *D*, terminadas en punta por uno de sus lados; dicho platillo está, además, taladrado en su centro para que pueda pasar el eje del movable. Por delante de este último hay dos peines de latón, comunicando por medio de dos cilindros de metal aislados con los conductores *B* y *C*, terminados por su extremo mas próximo en esferas ó *polos*, y por el otro, en unos mangos aisladores dispuestos de manera que puedan acercarse mutuamente.

Para hacer funcionar este aparato se unen primeramente sus polos, y se electriza luego una de las armaduras de cartulina con una barra de lacre

frotada, haciendo girar á la vez, en sentido contrario á las puntas de dichas armaduras, el disco movable. Después se separan poco á poco los dos polos, y al instante empezarán á saltar entre ellos una serie de chispas, tan frecuentes, que llegan á formar una verdadera *corriente eléctrica*, continuando así por bastante tiempo, si el aire está seco.

Si se suspende el movimiento giratorio del disco durante un corto tiempo, las dos armaduras de cartulina pierden en el aire su electricidad, y en este caso es necesario volver á empezar nuevamente la operación para que la máquina funcione. Esto se evita en parte haciendo comunicar los conductores *B* y *C*, con las armaduras de dos pequeñas *botellas de Leyden E* y *F*, de que más adelante nos ocuparemos, las que retienen durante algún tiempo la electricidad acumulada en ellas. Modificada de este modo la máquina de Holtz, y haciendo uso para electricizar las armaduras de cartulina de un trozo de *ebonita* bien seco, se obtienen con este aparato magníficos resultados.

Para explicar los notables efectos de esta máquina, conviene suponerla constituida por un cilindro hueco de cristal (fig. 434), cerca de cuya superficie exterior se hallan las armaduras de papel *A* y *B*, y enfrente de sus respectivas bases, por la parte interior del cilindro, los conductores *E* *C* y *D* *F*.

Ya hemos dicho que para hacer funcionar este aparato se ponen en contacto los polos *C* y *D*, y se aproxima á la armadura *A* una barra de lacre previamente frotada, haciendo girar rápidamente el cilindro de cristal en el sentido que indican las flechas.

Sucede entonces que la electricidad neutra de la citada armadura se descompone, siendo atraído hacia su base el fluido positivo y escapándose por la punta el negativo. Este fluido, trasladado por la superficie del cristal hasta la armadura *B*, descompone la electricidad natural de dicha armadura; el fluido negativo de la misma se acumula en su base y el positivo se escapa por la punta para volver al estado neutro la superficie del cristal. Por otra parte, la electricidad positiva de la armadura *A* descompone á su vez el fluido neutro de los conductores *E* *C* y *D* *F*, cuyos fluidos se escapan respectivamente por las puntas de que están armados, y se fijan en la superficie interior del cilindro de cristal, en la disposición que indica el grabado. El fluido negativo que proviene de esta descomposición, aumenta el flujo de electricidad negativa que se escapa por la punta de la armadura *B*, y la mitad inferior y exterior del cilindro queda cargado de electricidad positiva, resultando por fin sus dos caras con las electricidades que el dibujo señala. La tensión de ambos fluidos aumenta con la rapidez del movimiento giratorio del cilindro, y el flujo eléctrico de las armaduras crece en la misma proporción. Así las cosas, si se separan los dos polos *C* y *D*, las electricidades contrarias desarrolladas en ellos por la influencia del cristal, se combinan á través del espacio que los separa, originando la serie de chispas casi continuas que hemos dicho produce esta máquina.

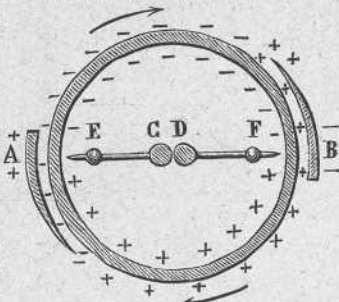


Fig. 434.

944. Máquina de Carré.—Con objeto de evitar la electrización previa de las armaduras en la máquina anterior, M. Carré ha ideado el siguiente aparato, que en realidad es una combinación de la máquina de Holtz y de la de Ramsden.

Consiste (fig. 435) en dos discos movibles, uno pequeño *P* de cristal, y

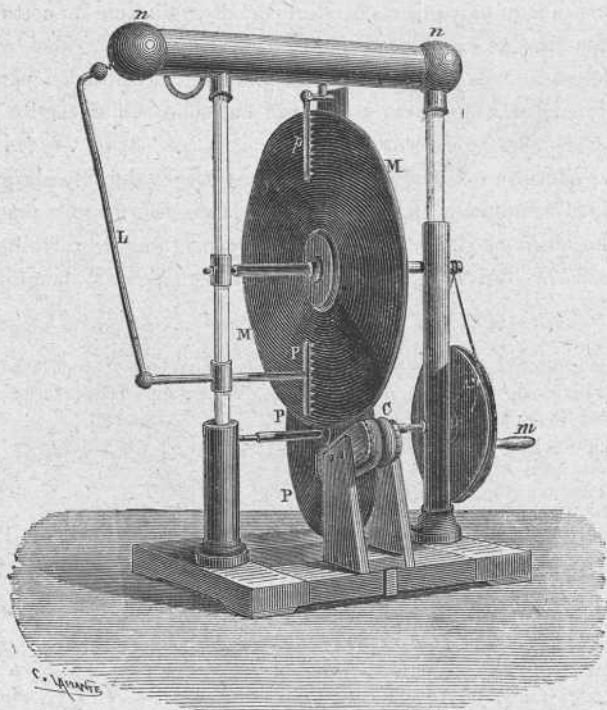


Fig. 435.

otro de mayor diámetro *M* de caucho endurecido, cuyos ejes son paralelos y distan entre sí algo más que el radio del mayor. El de cristal recibe directamente el movimiento del manubrio *m*, y al girar frota con dos almohadillas *C*, electrizándose positivamente. El de caucho gira con mayor velocidad, y en sentido inverso, por el intermedio de dos poleas y un cordón sin fin que las une, y está colocado de manera que una de sus caras pase muy cerca del cristal. En los extremos del diámetro vertical del disco de caucho se hallan colocados dos peines metálicos, *P p*, unidos respectivamente á los conductores *n n* y *L*, aislados respectivamente por pies de cristal y ebonita; el conductor *L* lleva, además, un arco metálico terminado en esfera, que puede aproximarse al *n n* cuanto sea necesario, y, por último, enfrente del

peine *p*, y al otro lado del disco, hay una armadura de cartulina sobredorada *D*, fija en una plancha de caucho de la forma que indica la figura 436.

Al frotar el disco de cristal con las almohadillas, se electriza positivamente, y actuando á través del disco *M* sobre el peine *P* descompone su electricidad natural, repeliendo el fluido positivo al extremo *L* y atrayendo el negativo que sale por sus puntas y queda sobre el disco de caucho. Al pasar éste por delante del peine *p* atrae su electricidad positiva, con la que se combina, y repele la negativa al conductor *n n*. La armadura de cartulina *D* favorece también este movimiento de fluidos, por desprenderse de sus puntas la electricidad positiva sobre el disco *M*, suministrando por influencia al peine *p* un aumento de fluido negativo.

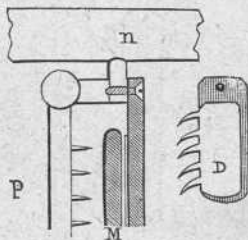


Fig. 436.

Si en este estado se aproxima el conductor movable *L* al *n n*, se obtienen una serie de chispas casi continuas, que pueden llegar á 15 ó más centímetros, sobre todo poniendo en comunicación con dichos conductores las armaduras de una botella de Leyden.

Esta máquina tiene, además, la ventaja de ser muy poco sensible á la humedad, y es, por lo tanto, preferible á las anteriores para realizar todas las experiencias correspondientes á la electricidad estática.

CAPÍTULO IV.

Condensación de la electricidad.

945. Electricidad condensada.—Cuando los dos fluidos eléctricos, de que nos venimos ocupando, se encuentran separados por una lámina delgada de cristal ó de cualquier otro cuerpo mal conductor, sucede que, atrayéndose mutuamente á través de dicho aislador, pierden su propensión á esparcirse por el aire, y sus efectos dejan entonces de ser sensibles. Á este estado especial de la electricidad se le ha dado el nombre de *condensada* ó *latente*.

Efecto de esta mutua pérdida de tensión, se hace posible en tales circunstancias, acumular sobre los cuerpos grandes cantidades de fluido eléctrico, valiéndose para ello de unos aparatos llamados *condensadores*.

946. Condensadores.—Todo condensador consiste teóricamente en dos

platinos metálicos *A* y *B* (fig. 437), separados por una substancia aisladora *C*. Supongamos en contacto de una máquina eléctrica el platillo *A*, llamado

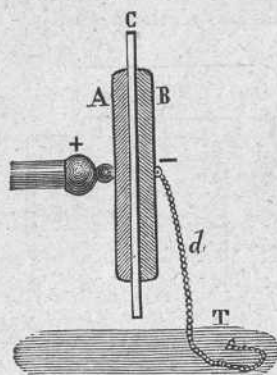


Fig. 437.

por esto *colector*, y el *B*, llamado *condensador*, en comunicación con el depósito común. Haciendo funcionar la máquina eléctrica, se electrizará positivamente el platillo *A*, y actuando su electricidad á través del cristal sobre el fluido neutro del otro, le descompondrá, rechazando al suelo por la cadenilla *d* el fluido positivo, y atrayendo el negativo á la superficie del cristal. Si éste tuviera un espesor infinitamente pequeño, la cantidad de fluido negativo acumulada en el platillo condensador sería igual á la que haya recibido de la máquina el colector, puesto que tienden á formar el fluido neutro; pero, efecto del espesor del vidrio, siempre

es un poco menor la cantidad acumulada en el condensador. Electrízalos de este modo ambos platillos, la electricidad negativa del condensador neutraliza en parte, á través del cristal, la positiva del colector, y disminuye, por lo tanto, su tensión eléctrica, quedando dispuesto éste para recibir una nueva cantidad de fluido positivo. Este nuevo aumento de electricidad positiva descompone á su vez otra cantidad de fluido neutro del platillo condensador, repeliendo á la tierra el positivo y atrayendo el negativo, el cual neutralizará en parte la tensión eléctrica del platillo colector, y podrá en este caso, recibir otra nueva cantidad de fluido positivo, y así sucesivamente, hasta que su tensión sea igual á la que puede adquirir la máquina de que se haga uso.

Por la explicación que acabamos de hacer de este condensador, y que puede aplicarse á todos, se comprenderá fácilmente que la electricidad acumulada depende de la extensión superficial de los platillos y del grueso que tenga el cristal que los separa; la primera condición se puede aumentar casi indefinidamente, mas no sucede así con la segunda, porque haciendo uso de un cristal demasiado delgado, nos exponemos á que se combinen los dos fluidos á través de su masa, horadándole y dejándole inútil para este objeto.

La forma práctica que recibe el condensador que hemos descrito está representada por la figura 438, ideada por Æpinus, y en él pueden aproximarse ó separarse á la vez de la lámina aisladora *C* los dos platillos *A* y *B* del aparato.

Para saber cuando está completamente cargado un condensador, y evitarnos hacer funcionar la máquina un tiempo inútil, debe usarse siempre el péndulo de cuadrante (fig. 430), cuyo aparato nos indicará si la tensión de

aquella ha llegado al grado que generalmente alcanza, en cuyo caso es inútil continuar la carga del condensador.

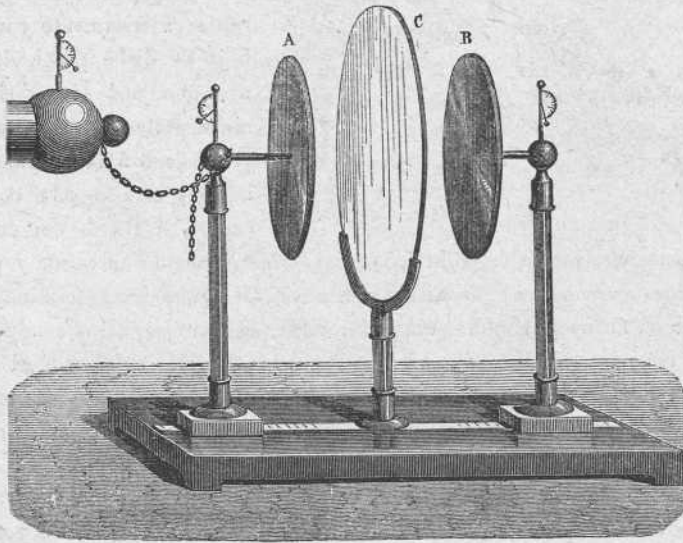


Fig. 433.

947. Descarga de los condensadores.—Puede obtenerse ésta lentamente ó de un modo instantáneo. Para descargar lentamente un condensador se empieza por suprimir las comunicaciones de ambos platillos con la máquina y depósito común, y después se toca con el dedo, ó cualquier otro cuerpo buen conductor, al platillo colector. En este caso todo el fluido libre que tiene este platillo marchará al depósito común, y no pudiendo entonces seguir condensada toda la electricidad del otro platillo, aparecerá en él cierta cantidad de electricidad libre. Si á su vez tocamos ahora al platillo condensador, se escapará al depósito común dicho fluido libre, y aparecerá inmediatamente en el colector otra cierta cantidad de fluido libre, quedando así el aparato en disposición de repetir los contactos alternativos de ambos platillos. Si el condensador es de gran superficie esta descarga puede durar mucho tiempo.

La descarga instantánea se verifica poniendo en contacto el extremo de la cadenilla, de que está provisto el platillo condensador, con cualquier punto del platillo colector, en cuyo caso se combinan de una sola vez las electricidades de nombre contrario de que están cargados ambos platillos.

948. Botella de Leyden.—Otro condensador fácil de hacer, y de un uso muy frecuente, es la llamada *botella de Leyden*. Consiste este conden-

sador (fig. 439) en una botella *E* de cristal, de paredes delgadas, llena de hojas de *pan de oro*, ó pedacitos de papel de estaño, y forrada exteriormente con una hoja de dicho papel, de manera que quede sin cubrir, hacia la parte del cuello, un espacio de 8 á 10 centímetros; además está tapada con un corcho, á través del cual se

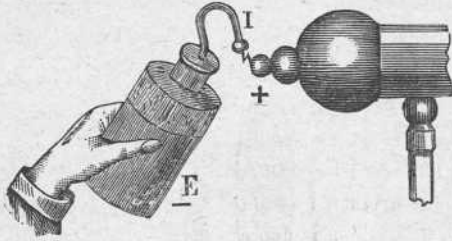


Fig. 439.

introduce una varilla de latón *I*, terminada interiormente en punta y por el exterior en una esfera de la misma substancia. Generalmente se termina dicha varilla en forma de gancho para poder colgar el aparato en los conductores de la máquina eléctrica, y se barniza con lacre disuelto en alcohol el tapón de corcho y la parte superior del cuello, para evitar que se fije la humedad sobre el cristal y ponga en comunicación los panes de oro, llamados *armadura interior*, con la cubierta de papel de estaño ó *armadura exterior*.

Para cargar este aparato se coge con la mano por la armadura exterior, como indica la figura, y se aplica la esfera del gancho á uno de los conductores de la máquina eléctrica, en cuyo caso se verifican las mismas descomposiciones eléctricas que en el condensador descrito anteriormente.

Para sentir los efectos de este condensador, basta aproximar una de las manos á la esfera de la armadura interior, teniéndola cogida á la vez con la otra por la armadura exterior.

949. Excitadores.—Cuando la botella es de grandes dimensiones y no se quiere sufrir al descargarla la conmoción correspondiente, se usa un aparato llamado *excitador* (fig. 440), compuesto de un arco metálico provisto de dos mangos de cristal, cuyas ramas, terminadas en esferas, están articuladas por el otro extremo para poder separarlas más ó menos. Para servirse de él, se toca con una de sus ramas la armadura condensadora ó exterior, que, como sabemos, no tiene electricidad libre, y se aproxima la otra esfera á la armadura interior, en cuyo caso los dos fluidos se combinarán á través del arco metálico, dejando descargada la botella.

Si la botella no es de grandes dimensiones pueden suprimirse los mangos de cristal, y el aparato entonces se llama *excitador sencillo*. Al contrario, si se trata de descargar un gran condensador, haciendo pasar la electricidad por un cuerpo determinado, se usa entonces el *excitador universal* que describiremos más adelante (446).

950. Baterías.—Cuando se quieren condensar grandes cantidades de

electricidad, se reúnen entre sí cierto número de botellas, haciendo comunicar todas sus armaduras interiores por medio de varillas metálicas, y las ex-

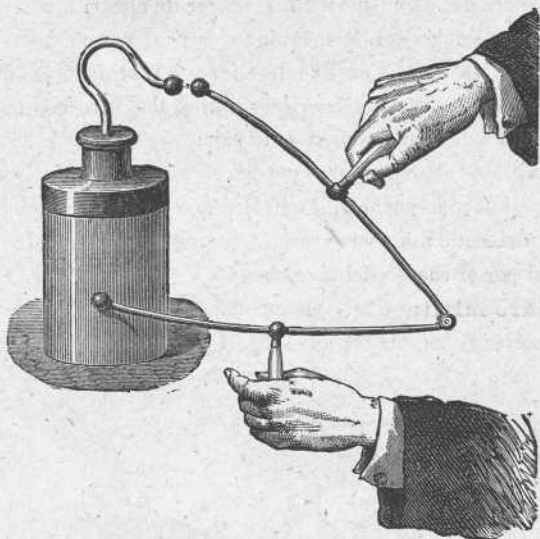


Fig. 440.

teriores con auxilio de hojas de papel de estaño, resultando entonces las llamadas *baterías eléctricas*. Estas se hacen generalmente con frascos de cristal de boca ancha, á fin de poder pegar por dentro una lámina de papel de es-

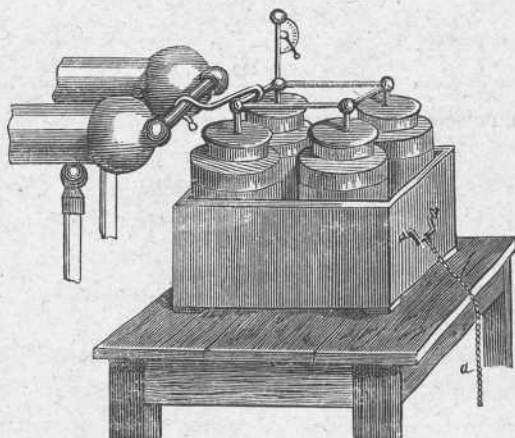


Fig. 441.

taño, y todos se colocan dentro de una caja forrada interiormente de dicho papel (fig. 441), unido á su vez á las asas de la caja. Las armaduras interio-

res comunican entre sí por medio de varillas de latón, las cuales, después de atravesar el corcho de cada frasco, terminan en una cadenilla metálica que cae sobre el fondo de los mismos. Para cargar de electricidad estos aparatos se pone en comunicación con la máquina eléctrica, por medio de un gancho metálico, una de las varillas en que terminan las armaduras interiores, y á la vez se hacen comunicar las exteriores con el depósito común, por medio de una cadenilla sujeta en las asas de la caja.

Con el auxilio de estos aparatos pueden recogerse grandes cantidades de electricidad, y, por consecuencia, los efectos que producen son de una energía considerable, debiendo manejarse con cierta precaución á fin de evitar que la descarga pase por el cuerpo del operador.

951. Cuadro fulminante.—Otro condensador muy fácil de construir es el llamado *cuadro fulminante* (fig. 442). Consiste este aparato en una lá-

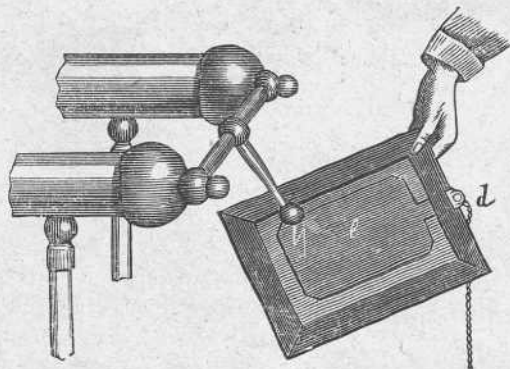


Fig. 442.

mina de cristal colocada en un marco de madera, y cubierta por ambas caras con una hoja de papel de estaño, algo menor que la superficie del cristal. Una de dichas láminas de estaño tiene una prolongación que pasa por encima del marco, y va á fijarse á una anilla *d*, de la que sale una cadenita de latón. Para hacer uso de este aparato se pone en comunicación con la máquina eléctrica la armadura *l*, y se establece la comunicación entre la otra y el depósito común por medio de la cadenilla.

Para descargarle basta tocar con la mano derecha la lámina de estaño *l*, teniendo cogida con la izquierda la cadenilla *d*, en cuyo caso se combinan á través del operador las electricidades acumuladas en ambos platillos.

952. La electricidad acumulada en los condensadores reside en la superficie del cristal.—Para probar la verdad de esta interesante cuestión se usa una botella de armaduras movibles, ideada por Franklin

(fig. 443). Consiste en un vaso cónico de latón, dentro del cual se ajusta otro de cristal barnizado por sus bordes; dentro de éste se coloca una especie de tronco de cono metálico, terminado por un gancho análogo al de las botellas de Leyden. Armado, como acabamos de indicar, constituye el aparato una botella de Leyden. Una vez cargado este condensador se le hace descansar por su armadura exterior sobre una lámina gruesa de cristal, y con un gancho aislador se saca la armadura interior, y luego con la mano el vaso de cristal. Deshecha la botella no se observa electricidad en ninguna de las armaduras, pero si vuelven á colocarse todas las piezas en el orden en que estaban, puede sacarse con el excitador una chispa tan fuerte como si se hubiera descargado directamente, lo que prueba que, efectivamente, su electricidad se hallaba acumulada en ambas caras del vaso de cristal.



Fig. 443.

953. Electrómetro condensador de Volta.—Fundado en la teoría de los condensadores ha inventado Volta, célebre profesor de la Universidad de Pavia, un electrómetro de una sensibilidad extraordinaria. Dicho aparato (fig. 444) es análogo al electroscopio que hemos descrito en el número 938, sin más diferencia que estar reemplazada por un platillo de latón la esfera en que terminaba aquél. Encima de dicho platillo se coloca una lámina de cristal muy fina, ó un trozo de tafetán barnizado con goma laca, y sobre él se hace descansar otro platillo de latón provisto de un mango de cristal. Para usar este aparato se pone en contacto con el suelo el platillo superior, mientras que se hace comunicar al origen eléctrico con el inferior. La electricidad de dicho origen se acumulará en este platillo, y, descomponiendo el fluido neutro del otro, atraerá la electricidad de nombre contrario, originándose una condensación eléctrica que da por resultado la acumulación de gran cantidad de fluido en ambos platillos. Si una vez cargado el aparato separamos el contacto del platillo superior con el depósito común,

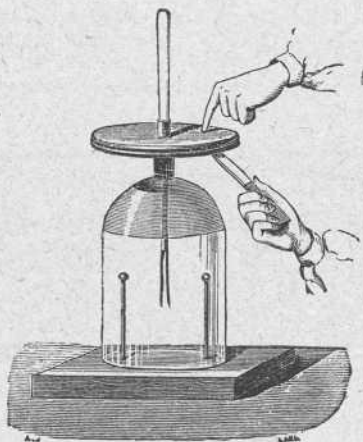


Fig. 444.

después el del origen eléctrico con el platillo inferior, y, por último, levanta-
mos el platillo superior, la electricidad acumulada en el platillo inferior se
repartirá en toda su masa, y las hojas de pan de oro se separarán. Este elec-
trómetro da un gran resultado cuando se trata de cuerpos que produzcan
electricidad de un modo continuo, mas si se emplea un cuerpo que tenga en
sí toda la electricidad que es susceptible de adquirir, como una barra de la-
cre frotada, su uso no presenta ventaja alguna sobre el electroscopio de pa-
nes de oro.

CAPÍTULO V.

Efectos de la electricidad estática.

954. Su división.—Los efectos que produce la electricidad estática pue-
den dividirse en cuatro grupos principales: *mecánicos*, *físicos*, *químicos* y
fisiológicos.

Efectos mecánicos. Consisten éstos, en general, en el movimiento de los
cuerpos sujetos á la acción de la electricidad, ó en la separación de las molé-
culas de los cuerpos por donde circula el fluido eléctrico.

El ejemplo más sencillo que puede citarse en este género, es el movi-
miento que presenta el péndulo eléctrico cuando se aproxima á un cuerpo
electrizado.

En la propiedad de las puntas, y en la repulsión mutua que experimentan
dos cuerpos cargados con electricidades del mismo signo, se funda un aparatito de física recreativa
llamado *molinete eléctrico*. Consiste éste (fig. 445)
en un eje metálico, sobre el que puede girar con
gran facilidad una cruz de alambres de latón; los
extremos de éstos terminan en punta, y están todos
doblados en la misma dirección, como indica la
figura. Si se coloca este aparato sobre uno de los
conductores de la máquina eléctrica, el fluido de
ésta se escapará por las puntas del molinete, y
electrizándose el aire inmediato con fluido del
mismo signo, repelerá á aquéllas, las que adqui-
rirán un movimiento giratorio en sentido contrario á la dirección en que
están dobladas.

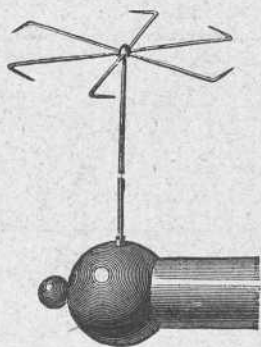


Fig. 445.

Quando se hace pasar una descarga eléctrica, con suficiente tensión, por

un cuerpo mal conductor, sucede que, venciendo las dos electricidades el obstáculo que las separa, se combinan á través de su masa, produciendo un orificio, y á veces su rotura. Para verificar esta experiencia con facilidad sobre cualquier cuerpo, se usa el *excitador universal* (fig. 446). Este consiste en

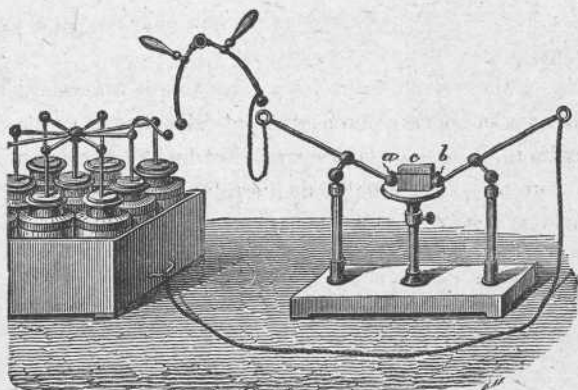


Fig. 446.

un soporte de madera, sobre el cual se coloca el objeto *c* que se quiere taladrar; á ambos lados de dicho soporte hay unas varillas de latón, sostenidas por pies de cristal, las cuales terminan por un extremo en anillas y por el otro en unas esferas *a b* provistas de orificios, para poder introducir puntas de diferentes gruesos y formas. Apoyando éstas sobre dos caras opuestas del cuerpo sometido á la experiencia, y haciendo pasar después la descarga de una batería, como indica el dibujo, se observa, en general, que aquél queda agujereado, presentando el orificio la particularidad de tener sus bordes salientes por ambas caras, como si el efecto hubiera sido causado por una explosión interior. Con una batería de gran superficie pueden taladrarse, por este procedimiento, láminas de cristal de muchos milímetros de grueso, si bien es necesario valerse de soportes especiales, si se quiere que el orificio se produzca en un punto determinado del cristal y no se ramifique por su interior.

Si se usan en esta experiencia cuerpos malos conductores y poco homogéneos, suelen saltar en pedazos al pasar la descarga eléctrica; por el contrario, valiéndose de metales, ó substancias conductoras, no se nota nada en ellos que indique el paso del fluido eléctrico.

955. Efectos físicos.—La combinación de los dos fluidos eléctricos va generalmente acompañada de un gran desprendimiento de calor, y si bien, por ser tan breve el fenómeno, pasa desapercibido muchas veces, se puede,

sin embargo, en circunstancias convenientes, inflamar con su auxilio la pólvora, el éter, el alcohol y hasta fundir el hierro y volatilizar el oro.

Para hacer esta experiencia puede usarse el excitador universal, descrito anteriormente, sobre cuyo soporte y entre las puntas de las varillas de latón, se coloca un poco de pólvora, un copo de algodón impregnado en éter, un trozo de yesca, etc., cuyos cuerpos se inflamarán al hacer pasar por ellos la descarga de una ó dos botellas de Leyden.

Para fundir el hierro se unen las dos esferas en que terminan las varillas por medio de un alambre muy fino de dicho metal, el que se enrojece y funde, si no es muy largo, al paso de la descarga eléctrica. Si en estas mismas circunstancias se reemplaza el alambre de hierro por uno de oro, no solamente se funde, sino que llega á volatilizarse.

Hemos indicado antes que al sacar una chispa de un cuerpo electrizado, la combinación de los dos fluidos va acompañada de una luz muy viva, de un tinte, en general, violado; éste cambia algo con la naturaleza de los cuerpos entre quienes se verifica, así, en el gas nitrógeno presenta un tinte azulado, en el hidrógeno rojizo, en el ácido carbónico verdoso, etc. Para hacer estas experiencias, y observar con facilidad las circunstancias que acompañan al fenómeno, se usa un globo de cristal, llamado por su forma *huevo eléctrico* (fig. 447), del cual se puede extraer el aire ó introducir un gas cualquiera. Interiormente tiene dos vástagos metálicos terminados en esferas, que pueden aproximarse mutuamente, por ser movable el de encima á través de roldanas de cuero bien ajustadas en un casquillo de latón. Si después de introducir el gas que se desea estudiar, se pone en comunicación el pie del aparato con el depósito común, y el extremo del vástago superior se une con la máquina eléctrica, saltarán entre las dos esferas una serie de chispas que nos darán á conocer

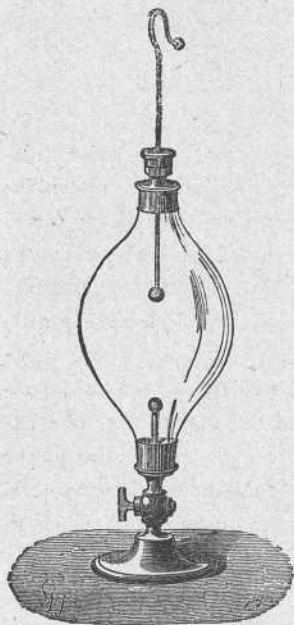


Fig. 447.

la coloración correspondiente al gas de que se haya hecho uso. Se observa, además, que cuanto mayor sea la cantidad de gas introducida en el globo, más brillantes y cortas son las chispas; y, al contrario, en los gases muy enrarecidos desaparece la chispa propiamente dicha, y es sustituida por una luz continua y débil, que se extiende de una á otra esfera en forma de óvalo.

El camino recorrido por la electricidad, al saltar de un cuerpo á otro, solamente afecta la forma de una línea recta cuando aquéllos se hallan muy cerca; pero si la distancia que los separa es superior á 6 ú 8 centímetros, el fluido eléctrico sigue, en general, un camino sinuoso (fig. 448), acompañado de ramificaciones luminosas. Para explicar por qué no sigue siempre la electricidad el camino más corto, como parece debería suceder, se supone que el aire rechazado por el fluido eléctrico aumenta de densidad, y no permite que aquél continúe en línea recta, teniendo que cambiar á cada momento de dirección, en busca siempre del camino que ofrezca menor resistencia.

La forma y brillo de los dos fluidos, cuando se escapan de un cuerpo en el que están acumulados, tampoco es igual en ambos, y mientras el positivo se presenta en forma de penacho abierto, el negativo se reduce casi á un punto luminoso, como indica la figura 449.

Otra propiedad muy notable presentan al combinarse los dos fluidos, cual es la rapidez con que tiene lugar su mutua unión. Puede comprobarse fácilmente esto, haciendo girar dentro de una habitación oscura, un círculo de cartulina dividido en sectores negros y blancos, según indica la figura 450; iluminándole de cuando en cuando por la descarga de una botella de Leyden, se observará que aquél aparece inmóvil, aunque gire con mucha velocidad, por no haber tenido tiempo de cambiar de posición durante el corto intervalo en que ha sido iluminado. Esto mismo puede comprobarse con facilidad, observando á

la luz producida por los *relámpagos* las ruedas de un coche en movimiento, ó un jinete que corre á caballo, en cuyo caso parecerán inmóviles por rápida que sea su marcha. De esta propiedad de la chispa eléctrica se valió Savart para el estudio de la vena líquida.

El fluido eléctrico se propaga también á lo largo de los cuerpos buenos

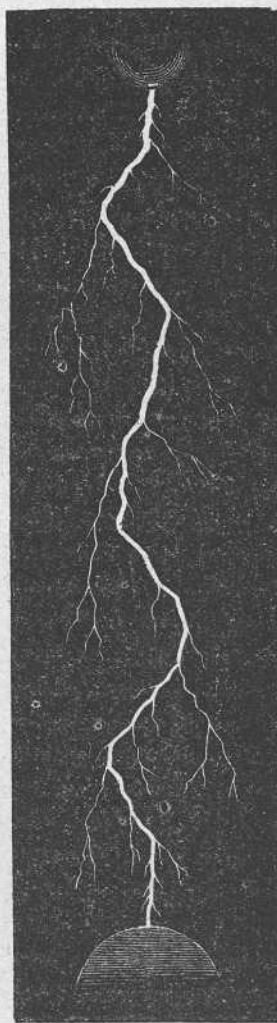


Fig. 448.

conductores con una rapidez extraordinaria, y, aparte de la notable aplicación que esta propiedad ha recibido en los telégrafos eléctricos, de que más adelante nos ocuparemos, se han ideado, fundándose en ella, varios aparatos de un efecto muy agradable.

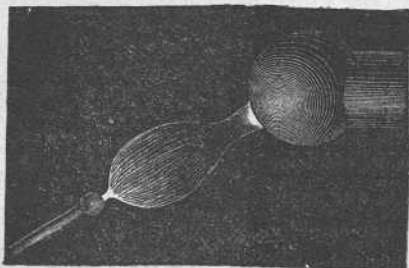


Fig. 449.

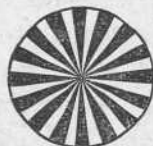


Fig. 450.

Uno de ellos, llamado *cuadro mágico*, consiste en una lámina de cristal (figura 451), sostenida por dos pies aisladores, sobre la cual se pega una tira de papel de estaño de unos dos milímetros de ancha, de manera que recorra una de sus caras, partiendo

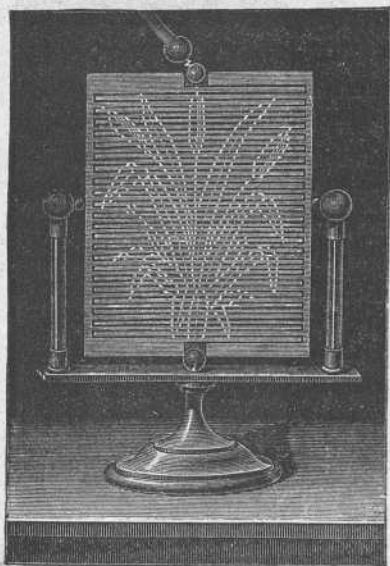


Fig. 451.

de una esfera metálica, colocada en la parte superior, y marchando después en zig-zag muy unidos hasta otra esfera situada en su borde inferior; una vez seca la lámina de estaño, se hacen en ella con un cortaplumas unas rajitas, representando un dibujo cualquiera. Haciendo luego comunicar la esfera superior con la máquina eléctrica, y la inferior con el depósito común, saltarán una serie de chispas tan rápidas entre los bordes de las diversas soluciones de continuidad del papel metálico, que reproducirán el dibujo formado, por afectar todas casi al mismo tiempo á la

retina. Se comprende, además, que este mismo sistema se puede aplicar á un tubo de cristal ó globo, obteniendo aparatos de muy diferentes formas y efectos caprichosos.

956. Efectos químicos.— Cuando se mezclan dos cuerpos capaces de combinarse, y se hace pasar por ellos una chispa eléctrica, ésta determina, en general, su combinación.

El pistoleta de Volta es un ejemplo bien sencillo de esto. Consiste este aparato (fig. 452) en un frasco de hoja de lata ó de latón *D*, á través de cuyas

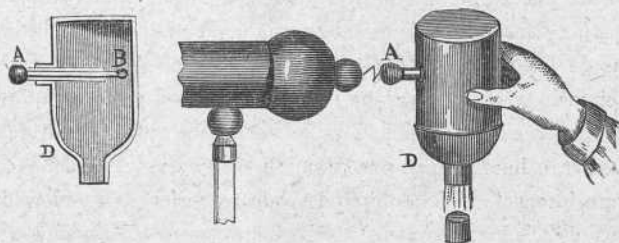


Fig. 452.

paredes pasa un cilindro metálico *AB* terminando en dos esferas; el extremo interior de este cilindro llega muy cerca de la pared opuesta del frasco, pero sin tocarla, y está aislado del resto, por medio de un tubito de cristal soldado con lacre, para evitar que toque á la pared en que se halla sostenido. Si dentro del frasco se introduce una mezcla formada de dos volúmenes de gas hidrógeno y uno de oxígeno, y se tapa con un corcho, al aproximar el extremo *A* al conductor de la máquina eléctrica, saltará primero una chispa á dicha esfera, y luego otra desde la parte *B* á la pared opuesta del frasco, determinando esta última la combinación de ambos gases. Esta combinación da origen á vapor de agua, y va acompañada de un gran desprendimiento de calor y algo de luz, lo que es causa de la proyección del tapón de corcho á gran distancia, produciendo un ruido análogo al de un pistoletazo.

Cuando se quieren estudiar los efectos que produce la chispa eléctrica sobre diferentes gases ó mezclas de ellos, se usa el *eudiómetro de Volta* (fig. 453), que consiste en un tubo de cristal de paredes resistentes, en cuya parte superior se hallan soldados dos alambres de platino que penetran hasta el centro de dicho tubo, pero sin tocarse. En su parte inferior está

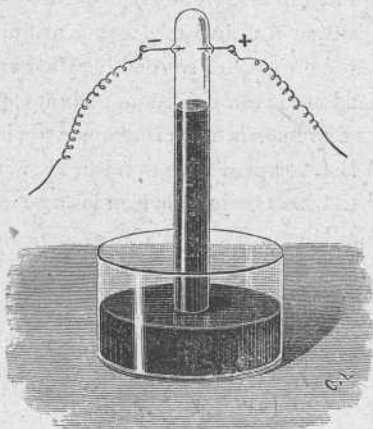


Fig. 453.

cerrado dicho tubo por una válvula, que se abre hacia dentro, con objeto de que la explosión que suele acompañar á la combinación de los gases no permita escaparse parte de la mezcla. Colocando este tubo lleno de mercurio é invertido sobre un recipiente con el mismo líquido, se hacen penetrar, por medio de un tubo de goma ó cristal, los gases objeto de experimento, los cuales, por ser más ligeros que el mercurio, subirán inmediatamente á la parte superior. Después se hace saltar una ó varias chispas eléctricas entre las puntas de los alambres de platino, poniendo uno de ellos en comunicación con el suelo, y el otro con una máquina eléctrica, y se podrá observar el efecto que produce la electricidad sobre la mezcla gaseosa. En general, es más conveniente hacer pasar una serie de chispas muy pequeñas que una sola de gran intensidad. Con objeto de poder apreciar, tanto el volumen de los cuerpos mezclados, como los resultados de su combinación, suele estar dividido el tubo del eudiómetro en centímetros cúbicos.

957. Efectos fisiológicos.—Al aproximar la mano á un conductor de la máquina eléctrica para sacar una chispa, se siente una conmoción más ó menos violenta, según la cantidad y tensión del fluido eléctrico combinado á través del cuerpo del observador. Esta conmoción es mucho más intensa si se toca con una mano la armadura exterior de una botella de Leyden electrizada, y se aproxima la otra á la armadura interior, siendo imprudente el verificarlo si la botella es de grandes dimensiones. Pueden sentir varias personas á la vez esta conmoción cogiéndose unos á otros, y aproximando el primero la mano que le queda libre á la armadura exterior del condensador, mientras el último toca á la armadura interior del mismo, en cuyo caso las dos electricidades se combinan á través del cuerpo de los observadores, sintiendo todos en el mismo instante el efecto de la descarga, si bien los de los extremos la notarán con mayor intensidad que los del centro.

Estas experiencias prueban la influencia que tiene el fluido eléctrico sobre el sistema nervioso, habiendo procurado los médicos sacar partido de ella para la curación de ciertas enfermedades; y si bien es cierto que ha dado resultados satisfactorios en algunos casos, en otros ha sido, si no perjudicial, al menos inútil.

Los aparatos que para este efecto se usan consisten en botellas de Leyden, de más ó menos tamaño, y mejor aun en *aparatos de inducción*, de que más adelante nos ocuparemos.

SECCION TERCERA.

ELECTRICIDAD DINÁMICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Electricidad desarrollada por las acciones químicas.

ARTÍCULO PRIMERO.

PILAS DE UN SOLO LÍQUIDO.

958. Experimento de Galvani.—La electricidad desenvuelta por el frotamiento, ó *estática*, que hasta aquí hemos estudiado, presenta como carácter general la propiedad de acumularse en la superficie de los cuerpos, adquiriendo en ellos una gran *tensión*. Existe, por el contrario, otro modo de presentarse el fluido eléctrico, llamado *electricidad dinámica*, que en general no es susceptible de adquirir la tensión que aquélla, pero en cambio produce efectos más continuos y de mucha mayor importancia.

El primer físico que descubrió esta nueva manera de ser en el fluido eléctrico fué Galvani, profesor de anatomía en Bolonia. Estudiando dicho sabio, en 1780, la influencia de la electricidad sobre la rana, observó las contracciones que experimentaba este animal al poner en comunicación, por medio de un arco metálico, sus músculos abdominales con los nervios crurales, y para explicar tan curiosa propiedad comparó á la rana con una botella de Leyden, cuya armadura interior estaba representada por los nervios, y la exterior por los músculos, haciendo oficio de cuerpo aislador la grasa que separa dichas substancias.

Poco tiempo después Volta, profesor en Pavia, examinando atentamente las experiencias de Galvani, creyó que la causa productora de la electricidad que originaba las contracciones de la rana, residía en el arco metálico con que se ponían en contacto los músculos y nervios del animal, y esta idea, más próxima á la verdad que la de Galvani, dió origen á un notable altercado sobre el asunto, en el que cada cual defendió sus teorías con un calor extraordinario. En realidad ninguno de dichos físicos tenía razón, como muy pronto veremos; pero es lo cierto que guiado Volta por su celebre *teoría*

del contacto, logró descubrir el aparato más importante de cuantos se conocen hasta el día, dándole el nombre de *pila*, é inmortalizando su nombre con tan notable instrumento.

959. Pila de Volta.—Consiste dicho aparato (fig. 454), en una serie de discos de zinc y cobre, separados por roldanas de paño humedecidas con ácido sulfúrico diluido en agua, y sostenidos verticalmente por tres varillas de cristal fijas en un pie de madera. Para montarla se coloca primero un disco de cobre, provisto de un alambre *n* del mismo metal, sobre el que se pone otro disco de zinc, y luego una roldana de paño humedecida; sobre este paño se coloca otro disco de cobre, uno de zinc y otra roldana de paño, y así sucesivamente, terminando por un disco de zinc provisto de un vástago de latón unido á un alambre de cobre *p*. La reunión de un disco de cobre con otro de zinc ha recibido el nombre de *par voltaico*, y á su vez se llaman *reóforos* ó *electrodos* de la pila los alambres en que terminan el primero y el último disco.

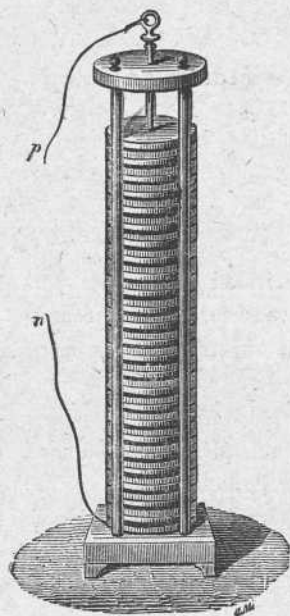


Fig. 454.

Montado este aparato como acabamos de indicar, se descompone su fluido neutro de una manera continua, dirigiéndose al primer cobre el fluido negativo y al último zinc el positivo, por cuya razón han recibido dichos extremos el nombre de *polos*.

Volta explicaba la acción misteriosa que tiene lugar entre los diferentes cuerpos que constituyen este aparato diciendo que, en la unión de un cobre con un zinc se desarrollaba, por *contacto*, una fuerza especial llamada *electromotriz*, que daba origen á la descomposición de su fluido natural y evitaba, á la vez, su recomposición sobre dichos cuerpos, sirviendo únicamente el agua acidulada, de que se impregnan las roldanas de paño, como medio conductor del fluido eléctrico. Dentro de poco veremos que la causa productora de la electricidad estriba precisamente en la acción química que tiene lugar entre el zinc y el ácido sulfúrico.

Mientras los reóforos de la pila no comunican entre sí, sólo pueden observarse en sus polos algunas atracciones de cuerpos sumamente ligeros y pequeñísimas chispas, aún en el caso de constar aquella de gran número de pares; pero en el momento que se unen los dos electrodos por medio de un

cuerpo buen conductor, se establece á través de éste una combinación continua de los dos fluidos, que es lo que ha recibido el nombre de *corriente eléctrica*, la cual dura mientras esté la pila en actividad. Se admite que dicha corriente marcha por los reóforos desde el polo positivo al negativo, y en sentido opuesto por el interior de la pila, formando una especie de círculo; de aquí que se diga *cerrar el circuito* á la operación de unir entre sí los reóforos, y *abrirle* cuando, por el contrario, se separan aquéllos. Respecto del número y tamaño que deben tener los pares de una pila para producir un efecto dado, la experiencia ha hecho ver que, la *tensión* de la corriente resultante es proporcional al número de aquéllos, así como la *cantidad* absoluta de fluido eléctrico desenvuelto depende únicamente de su extensión superficial; por lo tanto, cuando la corriente eléctrica necesite pasar á través de cuerpos que presenten gran *resistencia*, deben usarse pilas que consten de muchos pares, aunque sean de pequeño tamaño, y, al contrario, cuando el efecto que se busca sólo depende de la cantidad de electricidad desarrollada, deben preferirse pilas de pocos pares, pero de gran superficie.

960. Teoría química de la pila.— La teoría del contacto, ideada por Volta para explicar la producción de la electricidad en su pila, fué impugnada á poco tiempo por diferentes físicos, y desde luego se comprende en el estado actual de la ciencia la imposibilidad de admitirla. En efecto; siempre que se produce una fuerza ó energía cualquiera, es á expensas de la transformación de una cierta cantidad de trabajo en aquélla, y como en el contacto pasivo de dos cuerpos no hay gasto alguno de trabajo, no es posible comprender la aparición de la energía eléctrica por sólo dicho contacto, pues equivaldría á la posibilidad de crear una energía, sin destruir otra equivalente.

Hoy se admite generalmente que, la causa productora de la electricidad desarrollada en las pilas se debe á las combinaciones que tienen lugar entre sus diferentes elementos. Para probarlo pueden hacerse muchos experimentos, pero el siguiente es uno de los que más convencen: En una copa que contenga ácido nítrico, se sumergen dos alambres de platino en comunicación con un *galvanómetro* sensible (1012), el cual permanecerá en el cero, indicando de este modo que no se ha originado ninguna corriente eléctrica en el contacto del platino con el ácido nítrico. Con una pipeta se echan luego unas gotas de ácido clorhídrico, de modo que escurran por uno de dichos alambres, con lo que se formará un compuesto llamado por los químicos *agua regia*, que ataca al platino; en el mismo instante el galvanómetro nos acusará el paso de una corriente eléctrica, que marcha por el exterior de la pila hacia el alambre de platino atacado, probándose de este modo que la

combinación química ha sido la causa productora de la corriente eléctrica. Para poder apreciar y recoger la corriente que acompaña á toda combinación, es necesario, sin embargo, operar en buenas condiciones, pues de otro modo podrían combinarse los dos fluidos á través de los cuerpos que los producen. Esto sucedería en el experimento anterior, si el ácido clorhídrico lo hubiéramos echado en el centro de la copa, agitando el líquido para que resultara homogéneo; ambos alambres de platino hubieran sido entonces atacados, y las electricidades contrarias se hubieran recombinado en la misma copa á poco de producirse.

Resulta, por tanto, que para obtener una corriente eléctrica de alguna intensidad y constancia, se necesita la presencia de dos cuerpos que, al contacto de un líquido, el uno sea atacado y el otro no, sirviendo este último para recoger la electricidad acumulada en el líquido activo. Generalmente se usa el zinc como metal atacado, y el agua acidulada con ácido sulfúrico como líquido activo. En estas condiciones el zinc *Z* (fig. 455) descompone el agua, apoderándose de su oxígeno, y el óxido de zinc resultante se combina con el ácido sulfúrico para formar sulfato de zinc. En esta reacción química se carga el zinc de electricidad negativa, y el agua acidulada retiene el fluido positivo; este fluido es recogido al momento por la lámina de cobre *C*, y transportado por el reoforo *M* hasta la lámina de zinc, se combina con la electricidad negativa de que está cargada, originándose con este continuo transporte la corriente eléctrica.

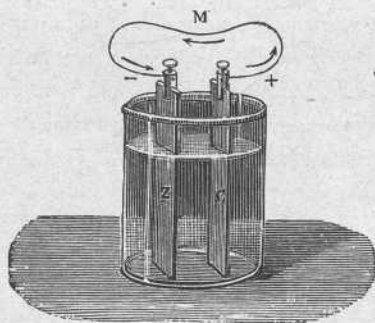


Fig. 455.

Aplicando esta teoría á la pila de Volta resulta que, no es el contacto del zinc con el cobre, como suponía aquel sabio, la causa del desarrollo eléctrico de este aparato, sino la combinación del zinc con el oxígeno y ácido sulfúrico del agua acidulada.

961. Potencial eléctrico.— Hemos llamado *tensión* de la electricidad la energía con que ambos fluidos tienden á combinarse á través del cuerpo que los separa. Hoy se ha sustituido esta palabra, un tanto vaga en su significación, por la de *potencial eléctrico*, ó *diferencia de potenciales*. La comparación entre una corriente eléctrica, y la de un líquido que marcha por un tubo, nos va á servir para explicar este asunto.

Spongamos dos recipientes *A* y *B* que contengan agua á diferente altura (fig. 456), unidos por un tubo de comunicación cerrado con una llave *C*. Mientras ésta permanece cerrada ningún fenómeno ostensible tendrá lugar, y sólo existirá una cierta presión del vaso *B* hacia el *A*, efecto de la mayor altura del líquido en el primero. Su

pongamos ahora que se hace girar la llave; en este caso se establecerá una corriente líquida de *B* hacia *A*, con una velocidad proporcional á la diferencia del nivel que en ambos vasos presente el líquido, y si suponemos que una bomba se encarga de volver al vaso *B* el agua que penetra en *A*, la diferencia de niveles permanecerá constante, y la corriente líquida establecida en el tubo *C* será uniforme.

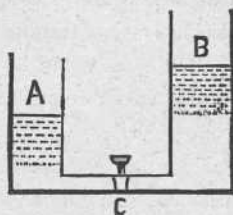


Fig. 456.

Una cosa análoga sucede en las pilas eléctricas, las que pueden compararse perfectamente con el aparato que acabamos de describir. En efecto; la acción química que tiene lugar entre sus diferentes elementos, es la causa que produce el desnivel eléctrico, ó diferencia de potencial que se observa entre sus dos polos, y mientras éstos no se reúnan por un cuerpo conductor, sólo existirá en ellos, como sucede en los cuerpos electrizados por frotación, una tendencia á combinarse ambos fluidos proporcional á la diferencia de sus niveles ó potenciales eléctricos; más si les hacemos comunicar por medio de un conductor metálico, se establece por él inmediatamente la corriente eléctrica con una energía proporcional á dicha diferencia de potenciales, y esta corriente permanecerá constante mientras no varíe el desnivel eléctrico de dichos polos. Ahora bien; la causa que mantiene invariable el potencial eléctrico de cada polo es la fuerza electro-motriz, dependiente de la energía con que se combinan los elementos que forman la pila.

Si se asocian dos elementos de pila, uniendo el polo positivo del uno al negativo del siguiente, resultará en los polos libres una diferencia de potencial doble de la que corresponde á cada elemento. En efecto; la tensión eléctrica ó potencial de los polos unidos ha de ser forzosamente igual, por estar en contacto, y á la vez ha de diferenciarse del potencial de cada uno de los polos libres en lo que representa la fuerza electro-motriz de la pila; luego la diferencia de potencial de los polos extremos será la suma de ambas diferencias, ó sea el duplo del potencial de cada elemento aislado. Como igual raciocinio se puede hacer tratándose de una pila compuesta de muchos elementos, resulta que el desnivel eléctrico de los polos extremos es proporcional al número de aquéllos.

962. Diferencia entre la cantidad y tensión eléctrica.—La comparación que acabamos de establecer entre una corriente líquida y una eléctrica, nos permite precisar las causas de que depende la cantidad de electricidad que circula por un conductor.

En el aparato representado en la figura 456, la velocidad del líquido que recorre el tubo de comunicación sólo depende, prescindiendo del rozamiento, del desnivel que aquél presenta en ambos vasos, mas no de su diámetro. En las pilas sucede una cosa análoga; la energía de su corriente, prescindiendo también del grado de conductibilidad del conductor, sólo depende del desnivel eléctrico de ambos polos. Si el tubo de comunicación del anterior aparato hidráulico se hace de un diámetro doble, sin variar el desnivel del líquido en ambos vasos, la cantidad del líquido que circulará por él en un tiempo dado, será también duplo que anteriormente. Del mismo modo, aumentando la superficie de los elementos atacados en las pilas, se aumenta, en la misma proporción, la cantidad de fluido eléctrico puesto en movimiento: luego la *cantidad* de fluido eléctrico que una pila produce, depende de la superficie de dichos elementos y no de su número.

963. Modificaciones de la pila de Volta.—Por más que la pila de Volta sea la más notable de cuantas se conocen, por haber sido la primera

que se inventó, presenta en la práctica tantos inconvenientes, que en el día ha dejado de usarse completamente. En efecto; por consecuencia de su disposición vertical, resulta que el peso de los pares superiores hace que escurra el agua de que están impregnadas las roldanas de paño colocadas debajo, lo que produce su completa desecación, y paraliza, por consecuencia, el desarrollo eléctrico; además, el agua acidulada que gotea á lo largo de la pila, establece una comunicación entre sus diferentes pares, y los descarga parcialmente, siendo ambas causas motivo de que el aparato deje de funcionar al poco rato de montarle.

Para evitar estos defectos se ha modificado el aparato de Volta de varios modos más ó menos ingeniosos, cuyas principales disposiciones vamos á dar á conocer.

964. Pila de Artesa.—Una de las primeras modificaciones que sufrió

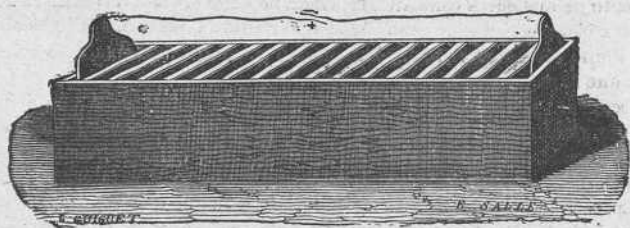


Fig. 457.

la pila de Volta, consistió en colocar los elementos cobre y zinc en una caja horizontal, dividida en compartimientos (fig. 457), cuyos espacios se llenan

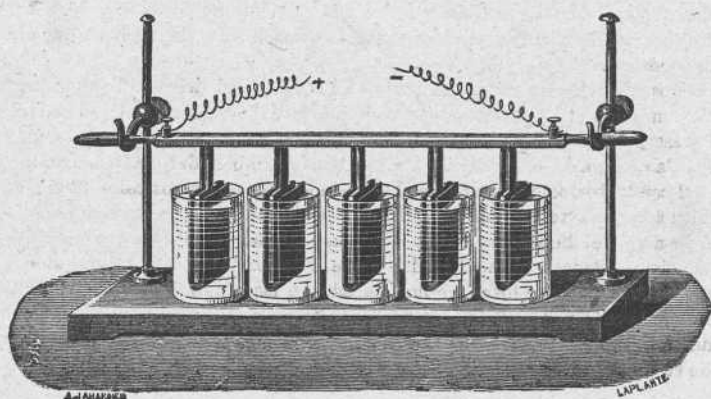


Fig. 458.

de agua acidulada con ácido sulfúrico. De este modo se evitan, en parte, los

defectos que presentan las pilas de columna, y la corriente así obtenida es de mayor duración.

965. Pila de Wollaston.—Este físico observó que, aumentando la superficie del cobre, se obtenían efectos de más duración en las pilas ya conocidas, y en consonancia con este hecho ideó la pila que lleva su nombre. Consiste cada elemento en una lámina gruesa de zinc, rodeada por ambas caras con otra delgada de cobre; dichas láminas se separan con trocitos de madera, y se introducen en un vaso de cristal que contenga agua acidulada.

Para formar una pila compuesta de varios elementos se colocan como indica la figura 458, y se une el electrodo negativo del primer par al positivo del siguiente, continuando en este orden hasta el último. Uniendo todos los elementos á un travesaño de madera, basta levantarlos para suspender la corriente, quedando dispuesto el aparato para funcionar tan pronto como se baje dicho travesaño.

ARTÍCULO II.

PILAS DE CORRIENTE CONSTANTE.

966. Polarización de las pilas.—Las pilas que acabamos de describir, ó sea de un solo líquido, presentan dos inconvenientes que no es posible evitar por ninguna disposición especial de sus elementos. Sucede, en efecto, que el ácido sulfúrico en presencia del zinc descompone el agua en oxígeno é hidrógeno; el primero de estos gases se combina con el zinc para formar el óxido del mismo metal, quien á su vez se une al ácido sulfúrico para dar origen al sulfato de zinc, y el hidrógeno libre se dirige al cobre, que representa el polo negativo. Esta reacción produce, sin embargo, dos graves males; uno es la desaparición del ácido sulfúrico, convertido en sulfato de zinc, y otro, la adhesión del hidrógeno al cobre de la pila, dando lugar á que dicho metal deje de conducir el fluido eléctrico.

El primero de estos dos defectos puede corregirse, en parte, añadiendo una nueva cantidad de ácido sulfúrico; mas el segundo, llamado *polarización de la pila*, no es posible evitarle con las pilas de un solo líquido, y de aquí que estos aparatos hayan sido sustituidos por otros de dos líquidos, ó de *corriente constante*.

967. Pila de Daniell.—La primera pila de corriente constante, y acaso la mejor, se debe al célebre químico Daniell. Este sabio ideó, en 1829, absorber el hidrógeno que tanto perjudica en las anteriores pilas, por medio del

sulfato de cobre ó *caparrosa azul* del comercio, cuya sal tiene además la ventaja de regenerar, al descomponerse, el ácido sulfúrico que se combina con el zinc.

Consiste la *pila de Daniell*, después de algunas modificaciones que la práctica ha aconsejado, en un vaso de cristal ó porcelana *V* (fig. 459), dentro del cual se coloca un cilindro hueco de zinc *Z*, abierto de arriba abajo según una de sus generatrices, y provisto en su parte superior de una lámina de cobre *N*, que sirve de reóforo negativo. Dentro de este cilindro se pone un vaso poroso de *bizcocho de porcelana P*, y en su interior se introduce otra lámina de cobre *C*, que representa el reóforo positivo del aparato; esta lámina lleva, además, cerca de su parte superior, un casquete semiesférico del mismo metal, lleno de agujeros. En el espacio que queda entre el vaso poroso y el de cristal se echa, hasta sus dos terceras partes, agua acidulada con unas gotas de ácido sulfúrico, y dentro del vaso poroso una disolución saturada de sulfato de cobre, colocando también en el casquete semiesférico cristales de la misma sal.

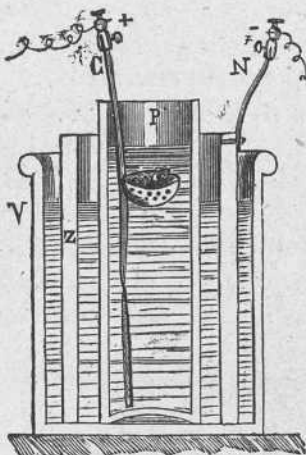


Fig. 459.

En el espacio que queda entre el vaso poroso y el de cristal se echa, hasta sus dos terceras partes, agua acidulada con unas gotas de ácido sulfúrico, y dentro del vaso poroso una disolución saturada de sulfato de cobre, colocando también en el casquete semiesférico cristales de la misma sal.

Uniendo después los polos de esta pila por medio de un conductor metálico, comienza la siguiente reacción química: El agua del vaso exterior se descompone en hidrógeno y oxígeno; este último se combina con el zinc para formar el óxido de zinc, quien á su vez se une al ácido sulfúrico del agua acidulada y forman sulfato de zinc, quedando libre el hidrógeno. La fórmula de esta reacción es la siguiente:



Este hidrógeno libre se dirige á la lámina *C*, á través de los poros del vaso de porcelana, pero al encontrarse con el sulfato de cobre, le descompone en cobre metálico, que se adhère á dicha lámina, y en ácido sulfúrico y oxígeno, que se unen á dicho hidrógeno para formar ácido sulfúrico monohidratado, con lo cual vuelve á regenerarse el que se combinó con el óxido de zinc. La reacción química de este segundo período es como sigue:



Vemos, por lo tanto, que, aparte del agua que pueda consumirse por evaporación, esta pila sólo gasta sulfato de cobre y zinc; así es que, siendo bas-

tante gruesos los cilindros de este metal (un centímetro generalmente), y añadiendo cristales de caparrosa azul á medida que se disuelven, la acción química continuará con gran regularidad, y con ella el desprendimiento del fluido eléctrico.

968. Pila de Bunsen.—Una vez descubierta la pila de dos líquidos de Daniell, varios físicos trataron de reemplazar el sulfato de cobre, usado por aquél, con sustancias que absorbieran el hidrógeno con más facilidad, logrando inventar diversas pilas que llevan sus respectivos nombres. De éstas sólo describiremos las de mayor uso y mejores resultados.

La pila de Bunsen, que es la que produce corrientes de mayor intensidad, consiste (fig. 460) en un vaso cilíndrico de porcelana ó cristal, dentro del

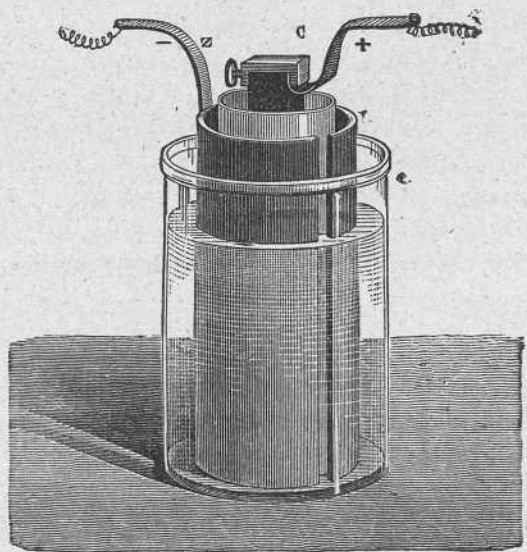


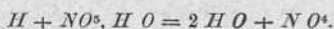
Fig. 460.

cual se coloca un cilindro hueco de zinc, provisto en su borde superior de una lámina de cobre *Z*, que representa el polo negativo. Dentro de este cilindro se introduce un vaso de porcelana porosa, y en su interior se pone un prisma de *carbón de Bunsen* (*), en cuya parte superior se fija, por medio de una *pinza* de latón, una lámina de cobre *C*, que representa el polo positivo

(*) Este carbón se obtiene mezclando partes iguales de coke y hulla pulverizados, y después de someter la mezcla á una gran presión en moldes de hierro, se expone al calor rojo de un horno. Así resulta un carbón compacto y duro, que tiene la propiedad de conducir bien el fluido eléctrico y no es atacado por ningún ácido.

de la pila. Dentro del vaso poroso se echa ácido nítrico concentrado, y en el vaso exterior agua acidulada con un 5 por 100 de ácido sulfúrico.

La reacción química que tiene lugar en el vaso exterior es idéntica á la que se verifica en la pila de Daniell, quedando, por lo tanto, libre el hidrógeno que se dirige al prisma de carbón; mas al encontrarse con el ácido nítrico que le rodea, le quita un equivalente de oxígeno, para convertirse en agua, mientras que dicho ácido queda reducido á ácido hiponítrico; parte de éste se disuelve en el ácido nítrico, y otra parte se desprende en forma de vapores rojizos sumamente deletéreos. La fórmula de esta reacción es la siguiente:



Vemos, pues, que el ácido sulfúrico contenido en el agua del vaso exterior no se regenera como en la pila de Daniell, y que el ácido nítrico del vaso poroso se va convirtiendo rápidamente en agua, concluyendo por perder la concentración necesaria al cabo de ocho ó diez horas, en cuyo caso hay que renovar completamente ambos líquidos, si se quiere que la pila funcione más tiempo.

Pila de Grenet.—Este aparato, conocido también con el nombre de *pila de bicromato*, produce una corriente bastante intensa y no desprende gases deletéreos, si bien tiene el inconveniente de ser poco constante.

Consiste en una especie de botella de cristal (fig. 461), en la que se echa

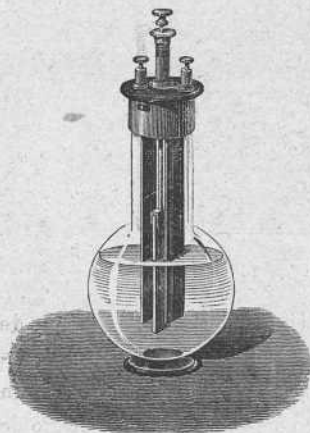
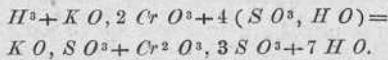


Fig. 461.

una disolución de 20 partes de bicromato de potasa en 100 de agua, añadiendo después otras 20 partes del ácido sulfúrico del comercio. El cuello de esta botella está cerrado por medio de un disco de ebonita, desde el cual descienden hasta cerca del fondo dos láminas de carbón de Bunsen; entre estas dos láminas puede subir y bajar, pero sin tocarlas, otra de zinc del mismo ancho y mitad de larga, provista en su parte superior de un vástago de latón, que va á unirse al tornillo de presión representado á la derecha del dibujo. Las láminas de carbón están también unidas entre sí por su parte superior con una abrazadera de latón, y comunican con el tornillo de la izquierda.

Como sucede en la pila de Bunsen, el polo negativo de este aparato está representado por el tornillo de presión unido al zinc, y el positivo por el que está en comunicación con las láminas de carbón.

Mientras se mantenga levantado el zinc en esta pila, permanecerá inerte y sin producir efecto alguno; pero en el momento que se le introduzca en el líquido de la botella, se establecerá una corriente eléctrica, debida á la reacción química que en ella se verifica. Esta reacción se puede suponer dividida en dos periodos, de los cuales, el primero es idéntico al que tiene lugar en las pilas anteriores, produciéndose sulfato de zinc é hidrógeno libre; en el segundo periodo, este hidrógeno se combina con parte del oxígeno que tiene el ácido crómico del bicromato de potasa, para formar agua, mientras que el sesquióxido de cromo resultante y la potasa se combinan con el ácido sulfúrico que tiene el líquido. La fórmula química de esta reacción es la siguiente:



En esta pila vemos que tampoco se regenera ninguno de los cuerpos que intervienen en la reacción, por cuyo motivo cesa ésta al cabo de seis ó siete horas, y con ella la corriente eléctrica, y esto se conoce, además, en que el líquido de la botella, que al principio presenta un hermoso color rojo, se cambia en verde sucio, siendo entonces necesario renovarle completamente.

969. Pila de Leclanché.—Este aparato se usa hoy con buen éxito en muchas aplicaciones de la electricidad, y consiste (fig. 462) en un vaso de cristal ó porcelana, generalmente cuadrado, en el que se introduce una lámina de carbón de Bunsen, y á sus lados dos prismas, ó *aglomerados*, hechos con una mezcla de *coke* y *peróxido de manganeso* groseramente machacados y fuertemente comprimidos; además, el extremo superior de la lámina de carbón está provisto de un casquillo de plomo, en el que se sujeta, por medio de un tornillo *C*, el reóforo positivo de la pila. En el vaso exterior se echa hasta sus dos terceras partes una disolución de *sal amoníaco* al 12 por 100, y en ella se introduce un cilindro de zinc macizo *Z* de un centímetro de diámetro, en cuyo extremo superior lleva soldado un alambre de cobre, que hace oficio de reóforo negativo de la pila.

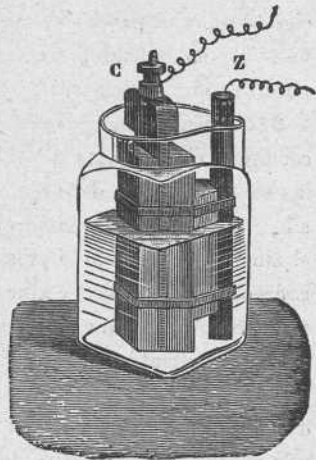
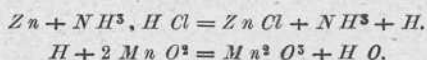


Fig. 462.

La reacción química que en este aparato da origen al desprendimiento de electricidad, es la siguiente: La sal amoníaco, ó clorhidrato de amoníaco,

se descompone en ácido clorhídrico y amoniaco, de cuyo gas, una parte se esparce en el aire, indicándolo su olor especial, y otra queda disuelta en el agua del vaso exterior; á su vez el ácido clorhídrico se decompone en cloro, que se combina con el zinc para formar cloruro de zinc, y en hidrógeno, que se dirige al peróxido de manganeso, para reducirle á un óxido inferior, quedando él á su vez convertido en agua. Las fórmulas químicas de los dos períodos de esta reacción, son las siguientes:



Esta pila produce una corriente algo más intensa que la de Daniell, y puede durar dos ó tres meses sin más que añadir agua, pero no sirve para efectos tan continuos como aquélla.

Si después de un uso prolongado deja esta pila de funcionar, puede reponerse otra vez fácilmente raspando el zinc, que se incrusta de una capa blanquizca, y renovando la disolución de sal amoniaco; si esto no es bastante, se renuevan también los *aglomerados*, cuyo coste es insignificante (1,50 pesetas el par).

Además de las pilas que acabamos de describir, existen otras muchas con ciertas ventajas parciales, que en casos determinados pueden ser convenientes, pero en general presentan condiciones menos aceptables que aquéllas, por lo que renunciamos á describirlas.

970. Zinc amalgamado.—En todas las pilas que hemos dado á conocer figura el zinc como metal atacado, y nada hemos dicho hasta ahora de las condiciones que debe reunir este metal para producir el mayor efecto posible. Después de muchas investigaciones sobre el particular, se ha visto que el zinc que ha sufrido la presión del *laminador* ó de la *hílera* es, por todos conceptos, preferible al zinc fundido, y si además se le combina con el mercurio ó *amalgama*, presenta entonces la notable propiedad de ser más regular la corriente que produce, y no ser atacado por el ácido sulfúrico sino cuando se cierra el circuito de la pila; en cambio el zinc del comercio produce corrientes secundarias, que destruyen en parte el efecto de la principal, y lo mismo es atacado cuando funciona la pila que cuando está inactiva, por lo cual su consumo produce un gasto estéril en el segundo caso.

En vista de la gran ventaja que se obtiene *amalgamando* los zincs de las pilas, siempre debe en ellas usarse dicho metal en tales condiciones. Para conseguir dicha amalgamación, pueden seguirse varios procedimientos: Uno de ellos consiste en limpiar bien el zinc con ácido sulfúrico diluido en cuatro veces su peso de agua, é inmediatamente, y sin darle tiempo á escurrir,

sumergirle en un vaso donde haya una cantidad de mercurio capaz de cubrirle hasta cerca de la lámina de cobre que generalmente tienen; repitiendo esta operación varias veces, se consigue que el zinc quede bien amalgamado y brillante.

971. Baterías.—En general no basta un solo *par ó elemento* de las pilas anteriores para obtener los notables efectos que produce la electricidad dinámica, y es, por lo tanto, necesario en la mayoría de los casos agruparlas entre sí, formando lo que se llama una *batería*.

Esta unión puede verificarse de varios modos, pero teniendo siempre presente, como ya indicamos, que la *tensión* eléctrica ó diferencia de potencial de los polos de una batería, depende del número de *elementos* que la forman,

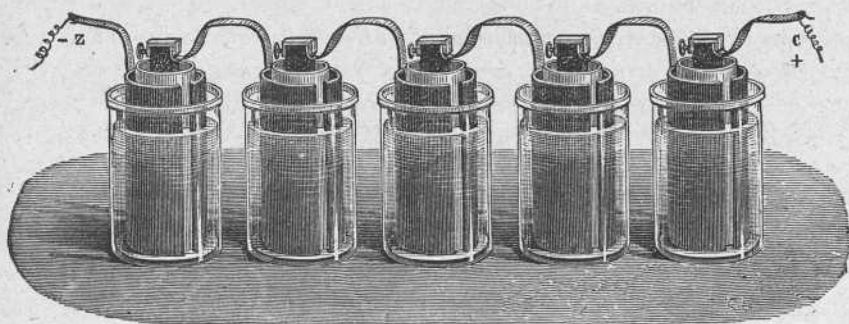


Fig. 463.

mientras que la *cantidad* de electricidad desarrollada es proporcional á la superficie de los mismos.

En este supuesto, si se quieren obtener efectos de tensión, deberán unirse, por medio de pinzas de latón, el réoforo negativo de cada par con el positivo del siguiente, como se indica en la figura 463, y así resultarán libres el

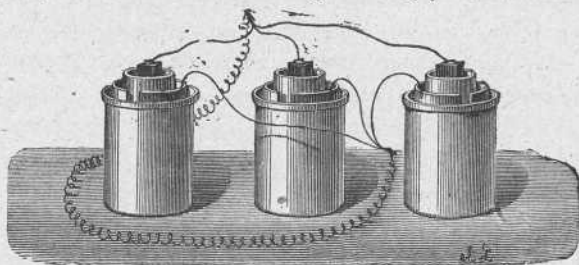


Fig. 464.

primer réoforo positivo *c*, y el último negativo *z*, que serán á su vez los polos de la batería.

Si, por el contrario, se desean efectos que dependan de la cantidad de electricidad que circule por la pila, se unirán á un alambre de cobre todos los polos positivos, y á otro de iguales condiciones todos los negativos (fig. 464), lo que equivale en realidad á formar una pila de un solo elemento, pero de mayor tamaño.

972. Comparación de las pilas descritas.—Si se examinan comparativamente las ventajas é inconvenientes que presentan las diferentes pilas de que hemos hablado, resulta que la de Bunsen es superior á todas en energía, y á ella hay que acudir forzosamente cuando se necesitan corrientes muy intensas, como en la luz eléctrica; en cambio es muy enojosa de montar, produce gases deletéreos, y su corriente tan sólo dura ocho ó diez horas, por lo cual resulta su uso bastante dispendioso.

La de Grenet sigue en intensidad á la anterior, y presenta la buena propiedad de ser de un uso muy cómodo, por poder interrumpir á voluntad su corriente; por esta razón se usa con bastante frecuencia para los efectos que requieren cierta intensidad y son de corta duración, como el dorado y plateado de pequeños objetos; pero hay que tener en cuenta que en corriente continua apenas dura su actividad cuatro ó cinco horas, por lo cual resulta también algo cara.

Sigue en intensidad á la anterior la de Leclanché, y aparte de la economía que proporciona su uso, tiene la ventaja de no producir vapores nocivos y durar su corriente, no siendo continua, cuatro ó cinco meses, sin más que añadirle el agua necesaria; en cambio no sirve para efectos continuos, como la galvanoplastia, y sólo debe usarse en aquellos, como los telégrafos y campanillas eléctricas, en que generalmente está más tiempo abierto el circuito que cerrado.

Por último, la de Daniell es de menor tensión que las anteriores, resulta más costosa que la de Leclanché, y es algo sucia su manipulación, pero en cambio presenta la inmensa ventaja de producir una corriente muy uniforme y constante durante un tiempo casi indefinido, razón por la cual es de un uso indispensable para efectos de gran duración, como la galvanoplastia.

CAPÍTULO II.

Electricidad desarrollada por el calor.

973. Corrientes termo-eléctricas.— Además de los medios que hemos dado á conocer para producir corrientes eléctricas y que, en general, son los más usados, pueden emplearse, para conseguir el mismo objeto, los cambios de temperatura de ciertos cuerpos.

Para distinguir unas corrientes de otras se ha convenido en llamar *hidro-eléctricas* á las que son producidas por las combinaciones químicas, y *termo-eléctricas* á las que deben su origen al calor.

974. Experimento de Seebeck.— El célebre físico Seebeck fué el primero que dió á conocer, en 1821, el desarrollo de esta clase de corrientes. El aparato de que se sirvió consiste (fig. 465) en un rectángulo que tiene tres de sus lados formados por una lámina de cobre, y el cuarto por un cilindro de bismuto soldado por sus extremos á dicha lámina; en el interior del aparato se coloca una pequeña brújula, y después se sitúa el rectángulo en la dirección del meridiano magnético. Si en esta disposición se calienta una de las soldaduras del

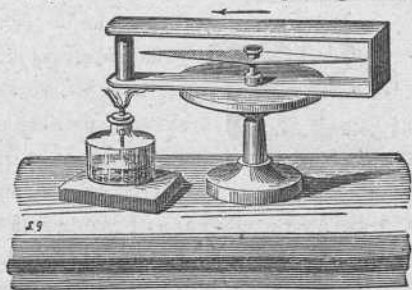


Fig. 465.

bismuto, se observará que el imán se desvía de su posición de equilibrio, lo cual indica, como más adelante veremos, el paso de una corriente eléctrica que marcha por el cobre desde la soldadura caliente á la fría, y se dirigiría en sentido contrario, si en vez de calentarla, se enfriase con hielo dicha soldadura.

En este experimento puede sustituirse con ventaja la lámina de cobre por otra de antimonio, y en general pueden emplearse dos metales cualesquiera, con tal que su estructura molecular sea lo más diferente posible, si bien la corriente eléctrica no presentará con todos la misma intensidad.

975. Causa de las corrientes termo-eléctricas.— Para explicar esta clase de corrientes se admite que, efecto de la diferente colocación de las moléculas en los cuerpos, al propagarse el calor altera el equilibrio eléctrico de los mismos, dando origen á las corrientes termo-eléctricas. Viene en apoyo de esta hipótesis el hecho de poder producir dichas corrientes con un circuito compuesto de un solo metal, con tal que su estructura no sea idéntica en todos sus puntos, mientras que el fenómeno no se puede apreciar si el circuito es perfectamente homogéneo, pues en este caso se originan en realidad dos corrientes iguales y contrarias.



Fig. 466.

976. Pilas termo-eléctricas.

— Á fin de sacar algún partido de esta clase de corrientes, que en general son muy débiles, se han ideado unos aparatos llamados *pilas termo-eléc-*

tricas, formados por la reunión de muchos *pares* análogos al ideado por Seebeck.

La más sencilla de estas pilas consiste (fig. 466) en una serie de barras de bismuto y antimonio, soldadas por sus extremos sin el auxilio de ningún

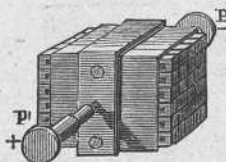


Fig. 467.

metal intermedio, formando una especie de zig-zag. Si se une la primera lámina de bismuto con la última de antimonio por medio de un conductor metálico, y se calientan las soldaduras pares, enfriando á la vez las impares, se establecerá por todas ellas una corriente eléctrica, cuya tensión dependerá del número de elementos de que conste la pila y de la diferencia de temperaturas á que se hayan sometido dichas soldaduras. Agrupando varias pilas de esta clase en una caja cúbica (fig. 467) ha conseguido Nobilli formar una pila termo-eléctrica de la mayor importancia para el estudio del calórico radiante (815).

Últimamente Becquerel, y después C. Clamond, han dado á conocer otras pilas termo-eléctricas, cuya potencia puede igualar á las baterías de Bunsen, si bien económicamente no pueden competir con éstas. El primero de dichos físicos se ha valido para formar su pila del *metal blanco* y el *sulfuro de cobre* artificial fuertemente comprimido; y el segundo, del *hierro* y de una *aleación de zinc y antimonio*.

977. Propiedades de estas corrientes.—Las corrientes termo-eléctricas, efecto de su débil tensión, no presentan hasta hoy ninguna ventaja sobre las hidro-eléctricas, si bien tienen sobre éstas la buena cualidad de ser perfectamente constantes, mientras la temperatura que las produce permanece invariable, condición de gran valor en muchas aplicaciones científicas de la electricidad.

CAPÍTULO III.

Efectos de la electricidad dinámica.

ARTÍCULO PRIMERO.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS.

978. Diferentes efectos que puede producir la electricidad dinámica.—Los efectos producidos por las corrientes eléctricas pueden clasificarse en *fisiológicos*, *químicos*, *magnéticos*, *caloríficos* y *luminosos*, dependiendo su energía, unas veces de la tensión de la corriente eléctrica, otras de

la cantidad de electricidad puesta en movimiento, y en algunas ocasiones de la reunión, en mayor ó menor grado, de ambas cualidades. Al tratar de cada uno de dichos efectos indicaremos las condiciones particulares de que dependen.

979. Efectos fisiológicos de las corrientes.—Si se cogen con las manos los dos reóforos de una pila compuesta de muchos elementos, se siente en el momento de empezar la corriente una sacudida análoga á la que produce la botella de Leyden, observándose que la sensación resultante en ambos brazos es diferente; en el que se propaga la electricidad en igual sentido que las ramificaciones nerviosas se nota una fuerte contracción, y en el otro un dolor más ó menos intenso. Establecida después la corriente á través del cuerpo, sólo se observa un ligero temblor en los músculos, acompañado de cierta irritación. Por último, al dejar los reóforos y cesar, por tanto, la corriente eléctrica, vuelven á sentirse los mismos efectos que al empezar, pero invertidos en cada uno de los brazos.

Estos efectos dependen de la tensión ó diferencia de potencial de la pila empleada, comprendiéndose que así sea, dada la escasa conductibilidad del cuerpo humano. Si la pila consta de un gran número de elementos, la sacudida puede ser tan intensa que produzca la muerte. Con la pila de 2.000 elementos que posee el Instituto de Londres puede matarse un caballo ó cualquier otro animal de gran talla. En los animales recientemente muertos, y antes que la rigidez cadavérica haga imposible el movimiento de sus órganos, produce también la corriente eléctrica gran excitación en el sistema nervioso, y, como consecuencia, fuertes contracciones en sus músculos. Estos movimientos, análogos á los que verifica en vida el órgano correspondiente, son desordenados y desaparecen al cesar la corriente eléctrica que los produjo. No sucede así con la excitación nerviosa que las corrientes eléctricas originan, puesto que dura algún tiempo después de cesar aquella, dependiente de la intensidad y duración de dicha corriente, y del estado más ó menos activo de los nervios por donde circule. En esta observación está fundado el método de combatir algunas enfermedades mediante el uso de corrientes eléctricas de una intensidad conveniente.

ARTÍCULO II.

EFFECTOS QUÍMICOS.

§ 1.º—Electro-química.

980. Descomposición del agua.—Si se sumergen en un vaso con agua los reóforos de una pila de suficiente intensidad, colocándolos á la distancia de ocho á diez milímetros uno de otro, se observará que ambos se cubren

inmediatamente de una multitud de burbujas gaseosas, las que, recogidas y analizadas convenientemente, resultan ser los elementos *oxígeno é hidrógeno* de que se compone aquel líquido.

Esta descomposición, verificada en 1800 por Carlisle y Nicholson, ha servido después á Becquerel para fundar una nueva rama de la electricidad, llamada *electro-química*, en la que se han descubierto leyes de gran importancia por las interesantes aplicaciones á que ha dado origen. La descomposición de los cuerpos por la acción de la electricidad ha recibido el nombre de *electrolisis*, y, á su vez, se llaman cuerpos *electro-positivos*, los que en dicha descomposición se dirigen al polo negativo de pila, y *electro-negativos* los que se acumulan en el positivo de la misma.

Hoy se verifica fácilmente la descomposición del agua por medio del *vol-támetro* (fig. 468), el que consiste en una especie de copa de cristal, cuyo

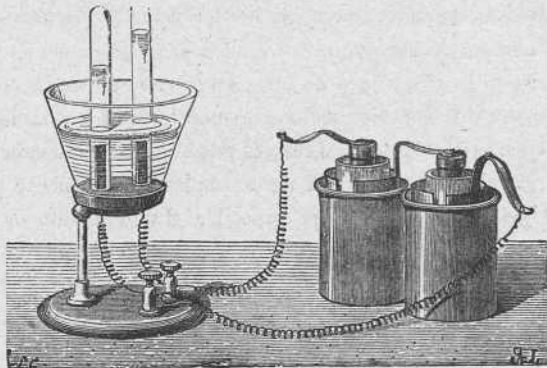


Fig. 468.

fondo está atravesado por dos láminas de platino de cinco á seis centímetros de largas y en comunicación respectivamente con los reóforos de una pila. Sobre dichas láminas se colocan invertidas dos campanitas de cristal, llenas, así como la copa, de agua acidulada con unas gotas de ácido sulfúrico, notándose, después de cerrado el circuito, que la superficie de dichas láminas se cubre inmediatamente de una multitud de burbujas gaseosas, las que se van elevando poco á poco y ocupan la parte superior de las campanas; se observa, además, que el volumen del gas recogido en la probeta positiva es mitad exactamente del que se acumula en la negativa, de donde se deduce que el agua se compone de dos elementos gaseosos, en la proporción de uno á dos volúmenes.

Por otra parte, si se introduce en el gas recogido en la campana positiva

una pajita encendida por su extremo, se verá que la llama de dicho cuerpo adquiere un brillo extraordinario, propiedad característica del oxígeno; y si se aproxima una cerilla encendida al gas de la otra probeta, arde dicho fluido con una llama azulada, produciendo á la vez una pequeña explosión, carácter que distingue perfectamente al hidrógeno; por lo tanto, el agua se compone de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, siendo, además, el primero electro-negativo respecto del segundo, que es electro-positivo. La razón de acidular el agua en esta operación, es para facilitar el paso de la corriente eléctrica por dicho líquido, pero puede obtenerse el mismo resultado con agua pura, valiéndose de una pila de 8 ó 10 elementos Bunsen.

El anterior aparato ha recibido el nombre de voltámetro, porque con su auxilio pueden compararse las *intensidades* relativas de dos corrientes, para lo cual basta medir los volúmenes de los gases recogidos durante el mismo tiempo bajo la influencia de dichas corrientes, y en la relación que se hallen aquéllos estarán las intensidades buscadas.

Electrolisis de los compuestos binarios.—La mayor parte de estos compuestos, sobre todo si son solubles, se descomponen en sus dos elementos por la acción de una corriente de suficiente intensidad, dirigiéndose el metal al polo negativo de la pila y el otro elemento el positivo; así han logrado Davy y Deville obtener algunos metales, como el *potasio*, *sodio*, *aluminio*, etc., que hasta entonces no se habían podido separar de sus compuestos. El potasio y el sodio pueden obtenerse fácilmente por el siguiente procedimiento, debido á Seebeck. Sobre una lámina de platino (fig. 469) se coloca un pedazo de potasa húmeda, y en una cavidad practicada en su cara superior se echan unas gotas de mercurio. Después se pone en comunicación la lámina de platino con el polo positivo de una pila de 8 á 10 elementos Bunsen, y se introduce en el mercurio un alambre de platino unido al polo negativo de dicha pila. Al pasar la corriente eléctrica se descompone la potasa en oxígeno, que se dirige al polo positivo, y potasio que se amalgama con el mercurio. Si después se destila dicha amalgama en una atmósfera que no contenga oxígeno, se recogerá un g'óbulo de potasio perfectamente puro.

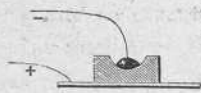


Fig. 469.

981. Electrolisis de los compuestos ternarios.—Los cuerpos más importantes comprendidos en este grupo son las *oxisales*, y de ellas vamos á ocuparnos exclusivamente:

Tomemos como tipo de las mismas el sulfato de cobre, CuO, SO^3 . Si se hace pasar la corriente de una pila por una disolución acuosa de dicho cuerpo, disponiendo el aparato como indica la figura 470, se notará que el

alambre unido al polo negativo de aquélla, se recubre poco á poco de cristales de cobre metálico, mientras que en el positivo se acumulan los otros elementos $S O^3$ y O , que con el cobre formaban dicha sal. Ahora bien; si los

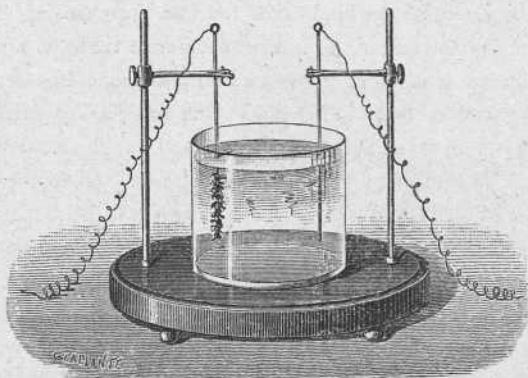


Fig. 470.

alambres introducidos en el líquido son de un metal inoxidable, como el platino, el oxígeno del polo positivo se desprenderá en pequeñas burbujas, mientras que el ácido sulfúrico se combinará con el agua de la disolución; mas si aquéllos son de cobre, el reóforo positivo se oxida con dicho oxígeno, y el óxido resultante se une al ácido sulfúrico para regenerar nuevamente el sulfato de cobre descompuesto, y hacer que la disolución conserve sensiblemente el mismo grado de concentración. Al electrodo positivo, que pierde precisamente una cantidad de cobre igual á la que se precipita en el negativo, se le llama *electrodo soluble*, y dentro de poco veremos la gran importancia que ha recibido este singular fenómeno.

Si en vez de descomponer una sal de cobre ó de algún otro metal análogo, nos valemos del sulfato de sosa ó de otra sal correspondiente á los metales alcalinos, se verificará igual descomposición que anteriormente, dirigiéndose el sodio al polo negativo, y el ácido sulfúrico y oxígeno al positivo; mas, efecto de ser descompuesta el agua por dicho metal, se combina éste con el oxígeno resultante, formando sosa, y queda libre el hidrógeno; los otros elementos descompuestos se acumulan en el polo positivo, y mientras que el oxígeno se desprende en bur-

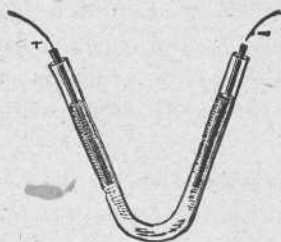


Fig. 471.

bujas, el ácido sulfúrico se combina con el agua.

Esto puede verse fácilmente valiéndose de un tubo de cristal doblado.

como indica la figura 471, en el que se pone una disolución concentrada de sulfato de sosa, teñida con tintura de violetas. Introduciendo luego en ambas ramas de dicho tubo dos láminas de platino, en comunicación con los reóforos de una pila, se observa, al cabo de poco tiempo, que el líquido correspondiente al polo positivo se colora de rojo, mientras que el de la otra rama toma un tinte verdoso, indicando ambos fenómenos, en conformidad con lo que antes hemos dicho, la producción de ácido sulfúrico en el polo positivo, y de sosa cáustica en el negativo.

982. Teoría de Grothuss.—Para explicar los efectos que la electricidad produce en los cuerpos, admite Grothuss que, bajo la influencia de dicho fluido, y efecto del carácter electro positivo ó negativo que predomina en las moléculas de aquéllos, sufren éstas una serie de transportes de cada una á la inmediata, para dar por resultado la producción libre del elemento electro positivo en el polo negativo de la pila, y del elemento electro negativo en el positivo de la misma.

Consideremos, para mayor claridad, una fila de moléculas de agua (fig. 472), colocadas entre los reóforos de una pila. La molécula 1, compuesta según sabemos de *O* ó *H*, se descompone, y su *O*, por ser electro negativo, se dirige al reóforo inmediato ó posi-

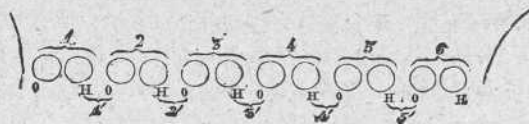


Fig. 472.

tivo, mientras que el *H* de la misma queda libre y se combina con el *O* de la molécula 2, formando otra nueva molécula 1'; á su vez el *H* de la molécula 2 se combina con el *O* de la 3, y da origen á la 2', y así sucesivamente hasta la última molécula, que no teniendo su *H* con quien combinarse, se dirige al reóforo negativo inmediato á ella. Vemos aquí explicado de una manera sencilla, por qué sólo tiene lugar en los reóforos de la pila la producción libre de los elementos desunidos, puesto que en el intervalo que los separa las descomposiciones van seguidas de una inmediata recomposición.

983. Descomposiciones por contacto.—En muchos casos no es necesario valerse de una pila eléctrica para lograr la descomposición de ciertas sales, sino que basta introducir en ellas un metal más oxidable que el que las forma para que aquélla se verifique; así, echando un pedazo de hierro en una disolución de sulfato de cobre, se precipita este metal sobre aquél, siendo sustituido por completo en dicha sal. La causa de éstas descomposiciones es debida, en primer lugar, á la mayor afinidad que tiene el hierro con el oxígeno, efecto de la cual se oxida á expensas del oxígeno del óxido de cobre pero una vez verificada la precipitación de algunas partículas de cobre sobre el hierro, se forma, por el contacto de ambos metales, una verdadera pila eléctrica, que activa y continúa dicha descomposición.

El depósito de metal precipitado en estas condiciones suele ser pulveru-

lento y sin coherencia, pero á veces se une fuertemente al metal precipitante, cubriéndole por completo, lo que origina, como consecuencia, la terminación del fenómeno. Otras veces se presenta aquél en forma de filamentos ó cristales brillantes muy agradables á la vista, dando lugar á los llamados *árboles de Saturno y Diana*.

El árbol de Saturno se obtiene echando en un frasco de cristal una disolución diluida de acetato neutro de plomo, acidulada con un poco de vinagre, en la que se introduce una lámina de zinc provista de algunos alambres de latón. Efecto del mutuo contacto de ambos metales y de la sal empleada, se forma un par voltaico, que da origen á la precipitación del plomo en forma de láminas brillantes.

Para obtener el *árbol de Diana* basta echar un poco de mercurio en un frasco que contenga una disolución de nitrato de plata, con lo que se precipita este metal y amalgama con el mercurio en forma de copos de un brillo y blancura extraordinarios.

984. Ley de Faraday.—Estudiando este físico las anteriores descomposiciones, observó que, *los pesos de los metales precipitados por la acción de una misma corriente, eran proporcionales á los equivalentes químicos de dichos cuerpos*; de donde se deduce que, para una corriente eléctrica originada por el consumo de 33 gramos de zinc en una pila cualquiera, los pesos del cobre, oro ó plata precipitados, serán respectivamente 32, 98 y 108 gramos, que son los equivalentes de dichos metales. Observó además dicho sabio, que si en el circuito de una pila se intercalan diferentes voltímetros de distinta forma y tamaño, y se recoge el hidrógeno resultante de la descomposición del agua, en cada uno de ellos se obtienen volúmenes exactamente iguales; más aún, en la pila sabemos que también se descompone el agua acidulada, siendo precisamente la oxidación del zinc á que da lugar

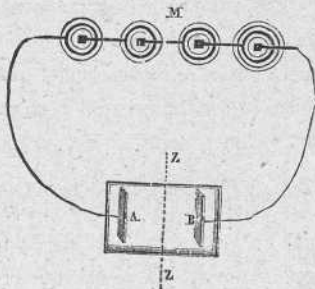


Fig. 473.

la causa de la corriente eléctrica, y resulta, á su vez, que la cantidad de hidrógeno obtenido es igual á la que se recoge en dichos voltímetros. Esta experiencia prueba que, *el trabajo interno y externo de un circuito es igual en cualquier punto del mismo*.

985. Filas secundarias.— Reciben este nombre unos aparatos con los que pueden obtenerse corrientes eléctricas cuando previamente se ha hecho pasar por ellos la corriente de otra pila; su fundamento es el siguiente. Supongamos dos láminas de platino *A* y *B* (fig. 473)

dentro de un vaso que contenga una disolución de sulfato de potasa, cuyo líquido no producirá corriente alguna por no ser atacado el platino por la disolución de dicha sal. Hagamos comunicar después con dichas láminas los reóforos de una pila *M*, y al atravesar el líquido la corriente eléctrica se descompondrá dicha sal, según hemos dicho (981), en ácido sulfúrico, que se dirige á la lámina positiva *B*, y en potasa, que á su vez marcha hacia la otra lámina. Separando luego la pila primaria *M*, y uniendo las citadas láminas con un alambre *N* (fig. 474) se establece inmediatamente por él una corriente secundaria, debida á la combinación del ácido sulfúrico con la potasa, pero en sentido contrario de la corriente anterior. Esta corriente puede ser más intensa que la primaria á que debe su origen, si se facilita la combinación de los elementos desunidos, pero en cambio su duración será menor.

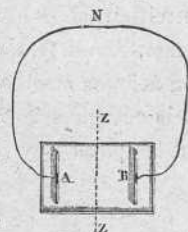


Fig. 474.

986. Acumuladores de la electricidad dinámica.

— Las pilas secundarias han adquirido recientemente gran importancia por la posibilidad de acumular en ellas grandes cantidades de electricidad. El primer acumulador que se ha usado con buen éxito es debido á Mr. Gastón Planté. Consiste en dos láminas de plomo separadas por varias tiras de madera ó caucho, y arrolladas unas sobre otras á fin de que ocupen poco espacio; estas láminas se introducen en un vaso con agua acidulada al 10 % por el ácido sulfúrico, y van provistas de unos apéndices de cobre que sirven de polos al aparato. Si se ponen dichas láminas en comunicación con los reóforos de una pila formada por dos ó tres elementos Bunsen, la corriente de éstos descompone el agua del vaso en que éstos se hallan sumergidos, dirigiéndose el oxígeno á la lámina de plomo que está en contacto con el polo positivo de dicha pila y el hidrógeno á la otra. Efecto de esto, resulta una oxidación del plomo en la lámina positiva y una reducción del óxido de plomo, que cubre siempre la superficie de este metal, en la lámina negativa. Separando la pila de Bunsen, y uniendo por un conductor metálico los polos del acumulador, se establece una corriente inversa de la primaria, debida á la oxidación del plomo en la lámina negativa y á la reducción del óxido formado en la positiva. Como esta segunda acción, inversa de la primera, puede verificarse en menos tiempo que aquella, la corriente secundaria que origina puede, á su vez, ser más intensa que la primaria, si bien en este caso será de menos duración.

Cargando y descargando repetidas veces el acumulador Planté, se observa que cada vez retiene mayor energía eléctrica, debido á que las láminas de plomo se oxidan y reducen á mayor profundidad. Para evitar esta carga y

descarga, ó sea la *formación* del acumulador, diferentes físicos han construido esta clase de aparatos con láminas de plomo previamente oxidadas, dándolas la forma de rejilla á fin de aumentar su superficie; dentro de las mallas de dicha rejilla colocan algunos constructores óxido de plomo fuertemente comprimido, obteniéndose por este procedimiento acumuladores de gran capacidad.

987. Aplicación de los acumuladores.—Grande es el porvenir de estos aparatos si llega á conseguirse que tengan poco peso y volumen, pues permitirán almacenar la energía eléctrica para usarla donde y cuando convenga. Aun hoy, que distan mucho de reunir tales condiciones, se emplean con éxito en muchos casos, como son el alumbrado de los trenes, el transporte de la energía eléctrica, la producción de fuerzas en casos en que el vapor no puede aplicarse, y en otras muchas aplicaciones que sería prolijo enumerar.

§ 2.º—Galvanoplastia.

988. Objeto de este arte.—Hemos visto que cuando se hace pasar una corriente eléctrica por una sal correspondiente á un metal propiamente dicho, ésta se descompone, precipitándose aquél sobre el electrodo negativo de la pila. Esta precipitación se efectúa por agregación sucesiva de moléculas, de donde resulta que el metal precipitado se acomoda *exactamente* á la superficie de la lámina que forma dicho electrodo, reproduciendo cuantos detalles pudiera tener aquélla; por lo tanto, si esperamos á que adquiera un espesor suficiente la costra metálica que poco á poco se forma, podrá separarse ésta sin que se rompa, y tendremos reproducida con la mayor fidelidad la superficie de dicha lámina. Este hecho, descubierto casi á la vez por M. Spencer en Inglaterra, y M. Jacobi en Rusia, es el fundamento de la *galvanoplastia*, ó *arte de precipitar los metales por medio de la electricidad*.

989. Elementos necesarios para obtener un depósito metálico.—Tres son los elementos que se necesitan para obtener en buenas condiciones la precipitación de un metal por la corriente eléctrica:

1.º Una pila de corriente constante.

2.º Un baño capaz de depositar, por la acción de aquélla, un metal económico sobre el objeto introducido en él.

3.º Un molde dispuesto para recibir el metal y darle la forma que se desea.

Respecto de la pila, sólo diremos que la de Daniell es preferible, para este objeto, á todas las demás, por su constancia y economía, si bien puede usarse la de Bunsen cuando la operación haya de durar poco tiempo. Cuando se trata de esta industria en grande escala, las máquinas dinamo-eléctricas, de que pronto hablaremos, son preferibles á cualquier pila, pues con ellas se obtienen las corrientes eléctricas á un precio más económico.

Respecto del baño, aunque teóricamente podría obtenerse con cualquier sal metálica

soluble, la práctica ha hecho ver que la más á propósito es el sulfato de cobre, siendo por esta causa la única que se usa actualmente. Para obtenerle se echa en agua acidulada con ácido sulfúrico al 10 % todo el sulfato de cobre que pueda disolver (25 %), agitando con una varilla de cristal para facilitar la disolución de la sal y procurando que ésta sea pura.

990. Disposición de los aparatos.—Dos clases de aparatos pueden usarse para la reproducción galvánica de los objetos: el *compuesto* y el *sencillo*.

El aparato compuesto consiste (fig. 475), en una cuba de porcelana, cristal ó gutta-

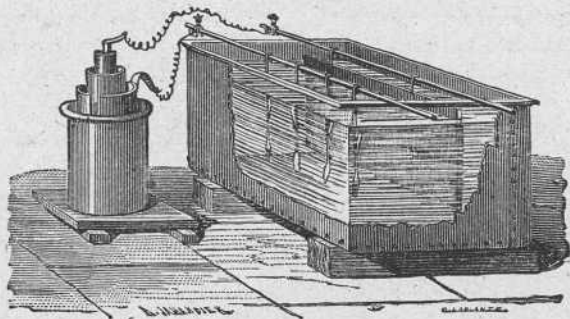


Fig. 475.

percha, de un tamaño proporcionado al objeto que se quiere reproducir, en la que se echa el baño indicado anteriormente. En sus paredes descansan dos varillas de latón, en una de las cuales se cuelgan, por medio de alambres de cobre, los moldes de que pronto hablaremos, cuidando que sobre ellos quede por lo menos una capa de líquido de 3 á 4 centímetros. En la otra varilla se fija, por el mismo medio, una lámina de cobre que tenga una superficie igual próximamente á la suma de las que representan los moldes que se tratan de metalizar. La varilla en que están colgados los objetos se une al *polo negativo* de la pila, y la que sostiene á la lámina de cobre al polo positivo de la misma. En estas condiciones, la corriente eléctrica pasa desde la lámina de cobre á los moldes, á través del baño, al que descompone en cobre metálico, que se precipita sobre aquéllos, y en ácido sulfúrico y oxígeno, cuyos cuerpos se dirigen al polo positivo; éstos se combinan con el cobre de la lámina unida á dicho polo, para formar una cantidad igual de sulfato del mismo metal, de donde resulta que, á expensas de esta lámina, llamada con mucha propiedad *electrodo soluble*, se regenera la sal gastada, y el baño permanece siempre en igual grado de concentración. Debe, además, cuidarse, á fin de que la precipitación del metal se verifique en buenas condiciones, el colocar los moldes tanto más distantes del electrodo soluble, cuanto más intensa sea la corriente eléctrica.

Los *aparatos sencillos* son más fáciles de preparar y dan mejor resultado en la generalidad de los casos. Se pueden disponer de varias maneras, según el objeto á que se destinan.

Para la reproducción de medallas ú objetos pequeños, da muy buenos resultados el siguiente. En un vaso de cristal ó porcelana (fig. 476), se echa el baño antes mencio-

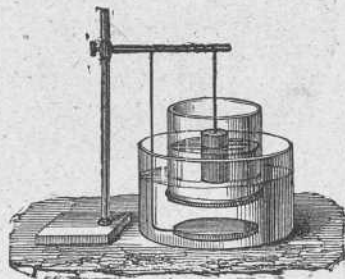


Fig. 476.

nado, y dentro de él se coloca otro de menor diámetro, cuyo fondo está constituido por una lámina de vejiga. En éste se pone agua acidulada con dos ó tres centésimas de ácido sulfúrico, y dentro se cuelga un cilindro de zinc, unido por medio de un alambre de cobre al objeto que se quiere metalizar, colocado á su vez horizontalmente en el fondo del vaso exterior. Vemos, por lo dicho, que este aparato es en realidad una verdadera pila de Daniell, en el que la membrana orgánica hace veces de vaso poroso. La reacción es igual que en aquélla, dando origen á la descomposición del sulfato cúprico, cuyo cobre se precipita sobre el molde. Para evitar que el baño pierda poco á poco su concentración, debe colgarse en su interior un saquillo de tela con cristales de sulf. to de cobre.

991. Moldes.—La operación más importante y difícil en galvanoplastia, es proporcionarse un molde en hueco del objeto que se quiere reproducir, en el que aparezcan sus más pequeños detalles. Para conseguirlo pueden usarse una porción de substancias, preferibles unas á otras en casos determinados, pero la más usada es la guttapercha.

Esta substancia, llamada también *cuero vegetal*, se extrae por medio de incisiones hechas en un árbol que se cria en la Malasia, llamado *Isonandra Gutta*, y tiene la propiedad de ablandarse extraordinariamente por el calor, adquiriendo gran resistencia después de fria; en este estado conserva, sin embargo, cierta elasticidad, que permite separar fácilmente los moldes obtenidos con ella, aunque los objetos tengan alguna parte entrante. Es completamente insoluble en el agua, soluble en el sulfuro de carbono y no la alteran los ácidos, ni los gases: tanto por estas circunstancias, como por acomodarse, cuando está pastosa, á toda clase de formas, es la substancia más á propósito para obtener moldes en galvanoplastia. Con objeto de darla más fluidez se le suele mezclar, cuando está fundida, con aceite de linaza, cera amarilla, sebo, etc., pero sin que pase nunca de una tercera parte de su peso la cantidad añadida.

Para obtener con esta substancia un molde, por ejemplo de la medalla representada por la figura 477, se empieza por frotarla bien con un cepillo impregnado en plomagina muy bien tamizada, pasándole de vez en cuando por un pedazo de cera virgen, para facilitar su adhesión. Después se rodea aquélla con una lámina de plomo, formando una especie de caja cuyo fondo sea la medalla, y se ata con unas vueltas de



Fig. 477.

alambre, tapando luego con yeso los intersticios que pudieran haber quedado. Hecho esto, y después de seco el yeso, se funde en un cazo de hierro la cantidad necesaria de guttapercha, cuidando de no elevar mucho la temperatura para que no se carbonice, y se echa lentamente sobre la medalla. Pasados unos minutos, pero antes que se endurezca la guttapercha, se oprime en todos sentidos con el dedo pulgar, á fin de que se introduzca bien en todos los huecos, continuando de esta manera hasta que se enfríe completamente. Si en esta operación se adhiere la guttapercha al dedo, puede evitarse mojándole un poco en aceite. Últimamente, se quita el aro de plomo, y con un cuchillo se cortan los rebordes

que se hayan formado, separando después con cuidado el molde del objeto. Operando de esta manera se obtienen moldes de una fidelidad admirable; sin embargo, si se trata de un objeto de gran tamaño, hay que recurrir á una prensa para que se ajuste bien la guttapercha.

Una vez obtenido el molde hay necesidad de *metalizar* su superficie, pues la guttapercha no conduce el fluido eléctrico. Para esto pueden seguirse diferentes procedi-

mientos, pero el más sencillo consiste en frotar su superficie con un cepillo impregnado de plumbagina en polvo, pasándole de cuando en cuando por un pedazo de cera virgen á fin de facilitar la adherencia de dicha substancia.

992. Disposición de los moldes en el baño.—Obtenida la metalización de los moldes, se sujetan éstos con un alambre de cobre, y á un centímetro próximamente de su borde superior, se atan al primero otros tres ó cuatro alambres del mismo metal, doblándolos en arco como indica la figura 478, para que sus extremos queden en contacto con diferentes puntos de la superficie del molde; deben cubrirse, además, dichos alambres con cera ó cualquier otro barniz aislador, para que el cobre del baño no se precipite sobre ellos, ocasionando un consumo inútil de sulfato. De esta manera empieza á formarse la costra metálica por varios puntos á la vez, adquiriendo en poco tiempo la uniformidad y espesor debidos. Preparado el molde de esta manera, se cuelga de la varilla de latón que comunica con el polo negativo de la pila, procurando que quede cubierto por una capa de líquido de tres á cuatro centímetros.

El tiempo necesario para que la costra metálica precipitada adquiera un espesor determinado no puede fijarse exactamente, pues depende de la intensidad de la corriente, de la naturaleza del molde y aun de su forma y tamaño. Cuando aquélla ha adquirido medio milímetro de espesor próximamente, se saca el molde del baño y se lava en agua abundante, separando con una lima ó cuchillo las rebabas que se hayan formado, pues de otra manera podría haber dificultad en separar el molde del metal precipitado. Esta operación se consigne fácilmente introduciendo entre ambos una cuña aguda de madera, aprovechando el sitio más á propósito para verificarlo, si aquél tiene mucho relieve.

Como la lámina de cobre que resulta en la precipitación galvánica es en general muy delgada, conviene, á fin de darla mayor consistencia, rellenarla por su reverso con lacre fundido ó, aun mejor, con soldadura de estaño y plomo.

993. Depósitos metálicos en capas delgadas.—Además de la galvanoplastia propiamente dicha, que acabamos de exponer, pueden aplicarse las propiedades electro-químicas de las corrientes á recubrir con un metal inoxidable y de mejor aspecto la superficie de otro que no reuna en tanto grado estas condiciones; según sea el *oro*, la *plata*, el *nikel*, etc., el metal con que esto se verifique recibe la operación el nombre de *dorado*, *plateado* ó *nikelado galvánicos*.

994. Dorado galvánico.—La primera condición que ha de reunir un objeto de cobre, latón, plata, etc., para que quede bien dorado, es la limpieza absoluta de su superficie, una pequeña oxidación, ó algo de grasa en el mismo, imposibilita la adherencia del oro. Para obtener la limpieza de dicha superficie pueden seguirse dos métodos: el *químico* y el *mecánico*.



Fig. 478.

La primera operación del método químico consiste en calentar los objetos á un fuego de brasas, para destruir las materias orgánicas que pudiera tener su superficie, y si no pueden calentarse, por su naturaleza especial, se hierven en una lejía de potasa; después se tratan por un baño compuesto de 100 partes de agua y 10 de ácido sulfúrico, hasta que desaparezca la costra negruzca que se habrá formado. En seguida se someten á la acción del ácido nítrico diluido, hasta que se quite el color rojizo que presentan y, por último, se sumergen durante unos segundos, fijándolos en un alambre de cobre, en el siguiente baño:

Ácido nítrico concentrado.	1 kilogramo.
Sal común.	20 gramos.
Hollín graso (bistre).	10 id.

De este baño pasan inmediatamente á una gran cuba de agua, donde se agitan constantemente, y de aquí al baño de dorar.

La limpieza mecánica sólo se aplica á los objetos que, por sus condiciones especiales, no pueden sufrir la acción de los ácidos que acabamos de explicar, y consiste en frotar los objetos, después de desengrasados en una lejía de potasa, con un cepillo impregnado de agua y piedra pómez en polvo; después se lavan bien y se colocan en el baño de dorar.

Existen varias fórmulas para obtener un baño en el que puedan dorarse los objetos de plata, cobre y sus aleaciones, siendo la siguiente una de las que dan mejores resultados.

BAÑO DE ORO (EN CALIENTE).

Prusiato amarillo de potasa.	15 gramos.
Carbonato de potasa (puro).	5 id.
Sal amoníaco.	2 id.
Cloruro de oro.	2 id.
Agua.	2 litros.

Después de disueltas en el agua las sales indicadas, debe hervirse el baño durante media hora.

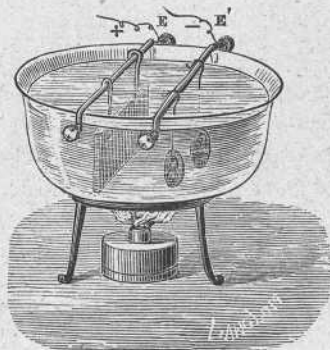


Fig. 479.

Para valerse de él en el dorado de pequeños objetos, se usa una cápsula de cristal ó porcelana (fig. 479), en la que se echa dicho líquido, calentándole con una lamparilla de alcohol entre 60 á 70°. Dentro se suspenden los objetos de una varilla de latón *E'*, unida al polo negativo de una pila de Bunsen, y en la otra *E* se cuelga, por medio de alambres de platino, una lámina de oro *fino* del tamaño que próximamente tengan dichos objetos. Si las piezas que se quieren dorar son muchas y de gran tamaño, se sustituye dicha cápsula por una vasija de hierro esmaltado (fig. 480), la que se calienta hasta 60° sobre un hornillo á propósito. Los objetos se suspenden en este caso de un aro central de latón, unido al

polo negativo de la pila, y el réeforo positivo de la misma se hace comunicar con

una lámina estrecha de oro, doblada en forma de círculo, y suspendida alrededor de los objetos. A veces se necesita producir el dorado galvánico con diferentes matices, y esto puede conseguirse fácilmente, añadiendo al baño de oro ciertas substancias que, al precipitarse juntamente con aquél, le dan un aspecto distinto del que ordinariamente tiene.

Añadiendo al baño de oro antes citado una disolución muy diluida de nitrato de plata, se obtiene el *dorado blanco ó verde*, según sea más ó menos intensa la corriente de que se haga uso.

Para obtener un *dorado rojo* se mezcla el baño de oro con una disolución de acetato de cobre, y con arreglo á la cantidad de esta sal é intensidad de la corriente, se obtendrá un dorado de color rojo más ó menos vivo.

995. Plateado galvánico.—

Esta operación se efectúa de un modo análogo al que acabamos de indicar, si bien por la mayor facilidad con que se descomponen las sales de plata, se practica generalmente en frío.

El baño de plata que ordinariamente se usa, se compone de :

Nitrato de plata	15 gramos.
Cianuro de potasio (*).	25 —
Agua de lluvia	1 litro.

Se disuelve primero el nitrato de plata en el agua que indica la fórmula, y luego se añade el cianuro, agitando la mezcla hasta que se disuelva el precipitado que se forma al principio. Últimamente se filtra por papel y se conserva en un frasco tapado.

Si se trata de platear objetos pequeños, se usa el aparato representado en la figura. 481, sirviéndose como electrodo positivo de una lámina de *plata fina* ó de platino; pero en este último caso hay que añadir, de vez en cuando, cristales de nitrato de plata que sustituyan al metal precipitado.

Si se trata de dorar ó platear objetos de hierro, zinc, plomo y estaño, es necesario previamente cobrear su superficie, valiéndose del baño de cobrear que luego indicaremos, pues de otro modo no se consigue la adherencia sobre aquellos metales.

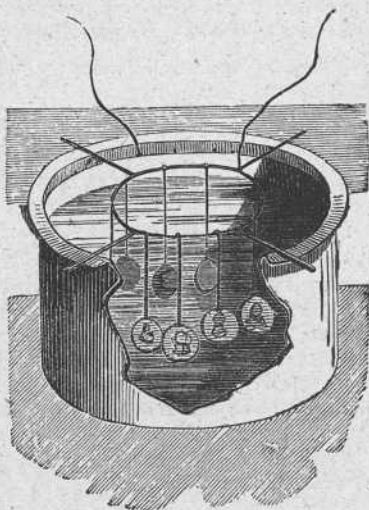


Fig. 480.

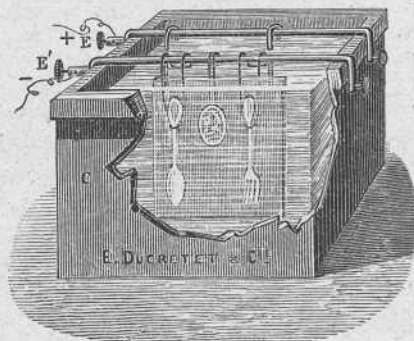


Fig. 481.

(*) Debe manejarse esta substancia con precaución por ser muy venenosa.

996. Níquelado galvánico.—El níquel, por su hermoso color blanco agrisado, difícil oxidación y excelente pulimento, se aplica hoy con mucha frecuencia para recubrir el hierro, acero y los compuestos de cobre.

El baño de que M. Adams hace uso, con satisfactorios resultados, es el siguiente:

Sulfato de níquel y amoniaco	100 gramos.
Agua pura	1.000 —

Se hace la disolución en caliente y se filtra después de fría.

Para níquelar un objeto se le hace comunicar con el reóforo negativo de una pila, y se le suspende dentro de dicho baño, contenido en una cuba de cristal ó gutta-percha; el reóforo positivo se une á una lámina de níquel introducida en aquél.

997. Cobreado galvánico.—Por más que esta operación no presente en sí la importancia que el dorado y plateado, hemos visto, sin embargo, que es un poderoso auxiliar suyo, y debe, por lo tanto, fijar nuestra atención.

Al hablar de la galvanoplastia (989) ya indicamos la composición del baño preferible para aquel objeto, y si bien es cierto que con su auxilio pueden cobrarse perfectamente el cobre, latón y sus análogos, no sucede así con el hierro, zinc, estaño, etc., que son atacados por el ácido sulfúrico que dicho baño contiene; en este caso hay que valerse de los compuestos alcalinos de dicho metal, con los cuales se obtiene un resultado completamente satisfactorio.

El siguiente baño, que puede usarse en frío ó en caliente, sirve para cobrear toda clase de metales:

Acetato de cobre	20 gramos
Carbonato de sosa	20 —
Bisulfito de sosa	20 —
Cianuro potásico (puro)	20 —
Agua	1.000 —

Se empieza por mezclar el acetato de cobre en la menor cantidad posible de agua, pues de otra manera se moja difícilmente esta substancia; después se añade el carbonato de sosa y parte del agua, y el precipitado verde que se forma se agita con una varilla de cristal. Luego se echa otra nueva cantidad de agua y el bisulfito de sosa y, por último, el resto de dicho líquido y el cianuro potásico, agitando bien la mezcla hasta que el líquido se vuelva incoloro. Si esto no sucede, es prueba de que el baño necesita mayor cantidad de cianuro.

El aparato es el mismo que hemos indicado al hablar del plateado, sin más que sustituir la lámina de plata por una de cobre puro.

CAPÍTULO IV.

Acción de las corrientes sobre sí mismas y sobre los imanes.

ARTÍCULO PRIMERO.

ELECTRO-DINÁMICA.

998. Definiciones.—Recibe el nombre de *electro-dinámica* la parte de la Física que estudia la acción que entre sí ejercen las corrientes eléctricas. Con objeto de hacer el lenguaje más breve y sencillo, se ha convenido en llamar *corrientes* á los conductores por donde circula la electricidad; en este supuesto se dice, *corrientes fijas, movibles, circulares, sinuosas, etc.*, para dar á entender que los conductores correspondientes son fijos, movibles, ó tienen la forma circular, etc.

999. Conmutadores.—Para verificar las leyes que vamos á exponer, es necesario á cada momento cambiar la dirección de las corrientes eléctricas, lo que se consigue fácilmente por medio de unos aparatos llamados *conmutadores*. Uno de los más prácticos es el de M. Bertin (fig. 482), el cual consiste en un disco de ebonita colocado en el centro de una tabla cuadrada, en el que se hallan fijas dos piezas metálicas *i e y o*, en comunicación, respectivamente, por medio de conductores interiores, con los tornillos de empalme *P* y *N*. En el lado

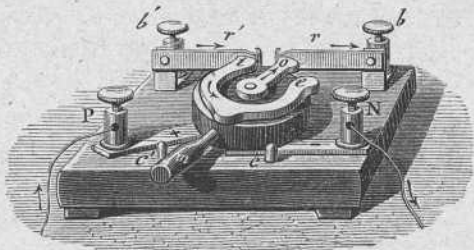


Fig. 482.

opuesto á éstos se hallan colocadas dos láminas elásticas de latón *r* y *r'* unidas á su vez á los tornillos *b* y *b'*; además, el disco de ebonita está provisto de un manubrio *m* para hacerle girar cuanto lo permitan los toques *c* y *c'*.

Poniendo en comunicación los polos de una pila con los tornillos *P* y *N* y los extremos del conductor en que se quiere invertir la corriente con los *b* y *b'*, sucederá que, colocado el manubrio como indica la figura, la corriente se dirige á la lámina central *o* por el conductor interior que la une al

tornillo *P*, y desde allí, por la lengüeta *r*, recorrerá el conductor de derecha á izquierda; verificado esto vuelve dicha corriente por la lámina *r'* á la herradura *i e*, y desde ésta, por el conductor que la une al tornillo *N*, regresará al polo negativo de la pila.

Si se hace girar el disco de ebonita por medio de su manubrio, la lámina *o* se apoyará sobre la lengüeta *r'* y el otro extremo *e* de la herradura descansará sobre la lámina *r*; en este caso la corriente llegará, como antes, á la lámina *o*, y desde allí, por *r'*, recorrerá el conductor en una dirección opuesta á la anterior, volviendo por *r e* y *N* al réforo negativo de la pila.

Vemos que en ambos casos, y suponiendo el polo positivo de la pila en *P*, la corriente sale siempre por la lámina central *o*, y continúa por las lengüetas *r* ó *r'*, en que aquélla descansa, siendo fácil, por lo tanto, saber la dirección que sigue la corriente en el conductor y variarla en el sentido que se desee.

1000. Leyes de las corrientes.—Las principales leyes á que está sometida la acción de unas corrientes sobre otras, son las siguientes:

1.^a *Dos corrientes paralelas que marchan en un mismo sentido se atraen, y se repelen si van en sentido contrario.*

2.^a *Dos corrientes angulares que se dirigen ó separan del vértice del ángulo que forman, se atraen; pero si una va hacia el vértice, y la otra se separa, se repelen.*

3.^a *Una corriente sinuosa produce el mismo efecto que otra rectilínea de igual proyección.*

4.^a *Dos elementos inmediatos de una misma corriente se repelen.*

Se demuestra la primera de estas leyes con el aparato que representa la figura 483. Consiste éste en un pie de madera, sobre el que descansan dos

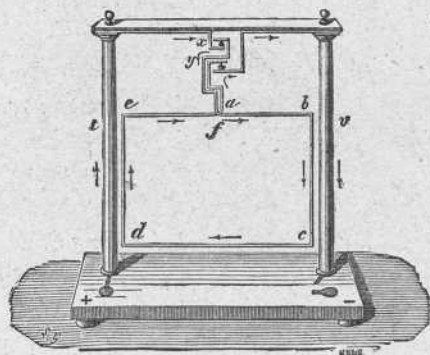


Fig. 483.

columnas de latón *t* y *v*, comunicando respectivamente con las cápsulas de hierro *x* é *y*, llenas de mercurio; en estas cápsulas se apoya por medio de unas puntas de acero un rectángulo *b d*, formado de alambre de cobre, y, efecto de esta disposición, que puede verse en mayor escala en la figura 484, el fluido eléctrico puede pasar desde las puntas á las cápsulas, favorecido por el contacto que entre ambos cuerpos establece el mercurio, permitiendo, sin embargo, el movimiento giratorio del rectángulo *b d*. Los pies de ambas colum-

tas, que entre ambos cuerpos establece el mercurio, permitiendo, sin embargo, el movimiento giratorio del rectángulo *b d*. Los pies de ambas colum-

nas comunican también, por medio de un alambre de hierro, con unas cavidades practicadas en la tabla que sirve de sostén al aparato, en las que se echa un poco de mercurio para establecer la comunicación con los reóforos de una pila. Colocando los lados del rectángulo á poca distancia de las columnas de latón, y haciendo comunicar la t con el polo positivo de una pila compuesta de 5 ó 6 elementos Bunsen, y la v con el negativo de la misma, la corriente se establecerá en el sentido que indican las flechas, y como en ambos lados las corrientes son *paralelas y van en el mismo sentido*, el rectángulo $b d$ girará hasta ponerse en el plomo de dichas columnas.

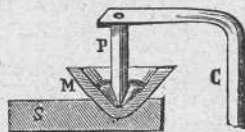


Fig. 484.

Para probar que hay repulsión cuando las corrientes van en sentido contrario, se sustituye el rectángulo anterior por el que representa la figura 485, el que, una vez colocado en el plano de las columnas, se separa de ellas hasta ponerse en ángulo recto, si la corriente de que se hace uso tiene suficiente intensidad.

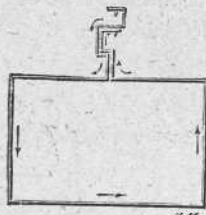


Fig. 485.

La segunda ley, relativa á las corrientes angulares, se puede demostrar con el mismo aparato, colocando para ello sobre la tabla que le sirve de base un conductor grueso de cobre, de manera que forme un ángulo agudo con el lado inferior del rectángulo movable. Si se hace pasar después por ambos conductores una corriente eléctrica, se observará que el movable gira hasta colocarse en la dirección que tenga el conductor fijo, pudiendo notarse en este caso que la corriente marcha por ambos en el mismo sentido. Esta experiencia prueba de una vez las dos partes de la ley de las corrientes angulares, pues si consideramos la proyección de los dos conductores (figura 486), observaremos que, de ser cierta dicha ley, debe haber atracción mutua en los dos ángulos agudos, y repulsión en los dos obtusos, como en efecto se verifica; pues en los primeros la corriente se dirige en ambos ó se separa del vértice O , y en los segundos marcha en un lado hacia el vértice, y en otro se separa de él.

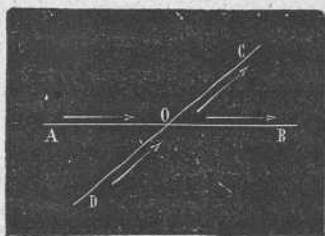


Fig. 486.

En esta experiencia podemos observar, además, que las dos corrientes

$A O$ y $O C$ pueden suponerse recorriendo el conductor $A O C$, doblado en ángulo obtuso, y como la repulsión, que hemos visto existe entre ambas porciones, subsistirá aunque el ángulo formado por ellas sea cero, resulta que, *dos porciones contiguas de una misma corriente se repelen.*

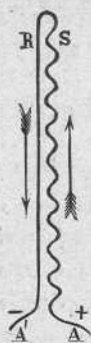


Fig. 487.

La ley de las corrientes sinuosas se demuestra haciendo uso del conductor representado en la figura 487, el que está formado por un alambre rectilíneo unido en su extremo á otro doblado en zig-zag. Haciendo pasar por dicho conductor la corriente de una pila, no se observa atracción ni repulsión al aproximarle á cualquier otro conductor movable, lo que prueba que el efecto de la corriente sinuosa queda destruido por la rectilínea que marcha en sentido opuesto y, por lo tanto, sus efectos son iguales.

1001. Acción de una corriente rectilínea indefinida sobre otra que puede girar alrededor de uno de sus puntos.—Sea la corriente indefinida y fija $M N$ (fig. 488 izqd.) y la corriente centrípeta $O A$, movable

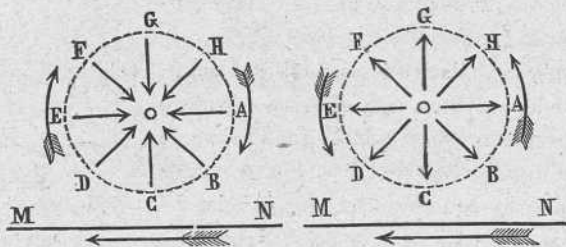


Fig 488.

alrededor del punto O hacia donde se dirige. En esta posición, dichas corrientes son paralelas y van dirigidas en el mismo sentido, por cuya razón se atraerán, y la corriente $O A$ tomará la posición $O B$. Llegado este caso se tienen dos corrientes angulares que se separan á la vez de su vértice y, por lo tanto, se atraen, por lo cual la corriente movable tomará la posición $O C$. Colocada de este modo dicha corriente habrá atracción por la porción M de la indefinida, y repulsión por el lado N de la misma, lo que obligará á aquella á ocupar sucesivamente las posiciones $O D, O E$, etc., dando por resultado un movimiento giratorio *directo*, ó sea en el mismo sentido que la corriente indefinida. Si la corriente movable fuese *centrífuga*, como indica la derecha del grabado, el movimiento giratorio se verificaría en sentido *inverso* de la corriente indefinida.

Esto se puede demostrar con auxilio del aparato representado en la figura 489, el que consiste en un vaso circular de cobre $B B$, de cuyo centro sale

una columna AC terminada por una capsulita de hierro. Ésta comunica con el tornillo n por medio de un conductor aislado, que baja por el interior de la columna, y el vaso circular de cobre comunica, á su vez, con otro tornillo de presión m . El conductor movable C se hace descansar, por una punta de acero que lleva en su centro,

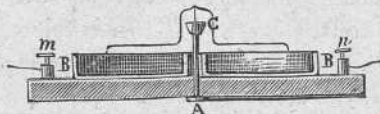


Fig. 489.

sobre la expresada capsula, y sus extremos se doblan para que penetren en el vaso BB hasta cerca de su fondo. Después de echar unas gotas de mercurio en la capsula, y agua acidulada en el vaso de cobre, se ponen respectivamente en contacto con los polos positivo y negativo de una pila los tornillos n y m del aparato, en cuyo caso la corriente penetra por la columna, sale por los dos brazos del conductor C y, pasando por el agua acidulada del vaso de cobre, llega al tornillo m y polo negativo de la pila. Como se ve, esta corriente es *centrífuga*, y bastará, para observar su movimiento giratorio *inverso*, hacer pasar otra corriente por un conductor fijo que reúna las condiciones del enunciado. Si se hace comunicar el tornillo m con el polo positivo de la pila, y el n con el negativo, la corriente marchará por el conductor en sentido contrario que anteriormente, y será *centrípreta*, en cuyo caso adquiere, bajo el influjo de la corriente fija, un movimiento giratorio *directo*.

1002. Acción de una corriente rectilínea indefinida sobre otra movable alrededor de un eje perpendicular á la primera. — Sea la corriente AB (fig. 490-1), movable alrededor de un eje OO' y colocada per-

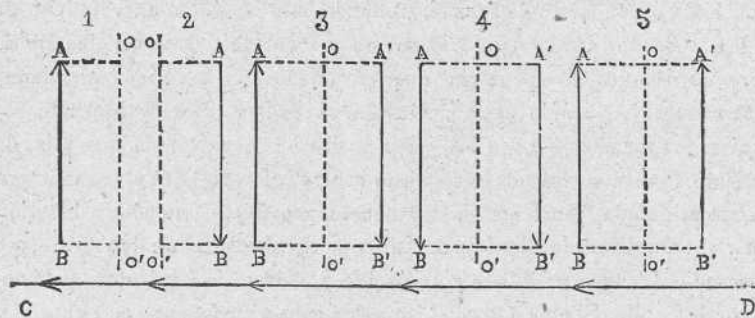


Fig. 490.

pendicularmente á la corriente indefinida CD . Bajo la influencia de ésta, y por la ley de las corrientes angulares, girará la AB hasta que el plano $OABO'$ sea paralelo á la corriente CD , y de tal modo que la AB se coloque hacia el lado que se dirige aquélla. Si la corriente movable es ascendente, como sucede en 2, girará hasta colocarse como antes, paralelamente á la co-

riente indefinida CD , pero hacia el lado de donde viene ésta. Si se tratara de dos corrientes AB y $A'B'$, una ascendente y otra descendente, movibles alrededor de un eje paralelo á ellas OO' , núm. 3, por iguales razones giraría el rectángulo $AA'BB'$ hasta situarse paralelamente á la corriente CD , colocándose la corriente descendente del lado por donde viene la corriente indefinida, y la ascendente hacia la parte por donde aquella se dirige. Por último, si las dos corrientes fuesen descendentes ó ascendentes, como está representado en 4 y 5, las acciones de ambas se destruirían respectivamente, y el aparato quedaría inmóvil.

Se demuestran prácticamente las indicadas leyes valiéndose del aparato representado en la figura 491, el que consiste en dos vasos circulares de cobre CC y DD , colocados centralmente alrededor de una columna metálica AB terminada por una cápsula de hierro. El vaso inferior DD , que es de mayor diámetro que el CC , se halla separado de la columna por un casquillo aislador, mientras que comunica con el tornillo de empalme g ; á su vez el pie de la columna y vaso CC comunican con el tornillo f ,

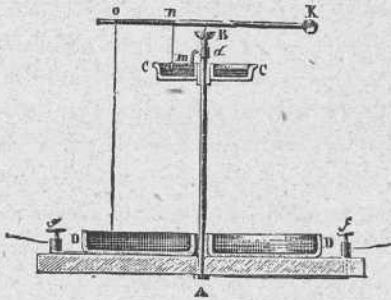


Fig. 491.

por medio de una lámina metálica situada debajo del aparato. El conductor movable de este aparato se forma arrollando en $o n$, sobre un cilindrito de madera apoyado en la cápsula B por un estilete de acero, un alambre de cobre cuyos extremos penetren respectivamente en los vasos circulares. Esto supuesto, echando agua acidulada en dichos vasos, y haciendo comunicar los tornillos $f g$ con los polos positivo y negativo de una pila, la corriente de ésta subirá por la columna central al vaso CC y, pasando por el agua acidulada, penetrará en el conductor movable, siguiendo la dirección $m n$ y o , para descender desde este último punto al vaso DD ; desde éste, por intermedio del agua acidulada y el tornillo g , volverá la corriente al polo negativo de la pila. Si en estas condiciones se coloca encima una corriente fija, observamos que la movable gira hasta situarse, respecto de aquella, con arreglo á lo que antes hemos dicho.

1003. Acción de la Tierra sobre las corrientes movibles.— La Tierra ejerce también una acción directriz sobre las corrientes movibles, y en todos los casos se conduce como si estuviera surcada por una corriente de Este á Oeste, situada bajo el horizonte y al Sur de Europa. Para con-

vencernos de ello, bastará hacer pasar por el aparato que acabamos de describir, la corriente de una pila de 5 ó 6 elementos Bunsen, en cuyo caso la corriente movable se situará, si es ascendente, al Oeste del aparato, según indica la figura 492, y se colocaría al Este si fuera descendente. De esta experiencia resulta confirmada la dirección de Este á Oeste que, según hemos indicado, sigue la corriente terrestre, pero no su situación, la que podría ser al Norte, al Sur, ó debajo del mismo aparato.

Para desvanecer esta duda bastará hacer funcionar, bajo la influencia de la Tierra, el aparato que representa la figura 489, en cuyo caso, si la corriente movable es centrifuga, observaremos que adquiere un movimiento giratorio de Este á Oeste, pasando por el Norte, cuyo fenómeno nos prueba que la corriente terrestre se verifica al Sur del aparato. Repitiendo esta experiencia en diferentes puntos del globo han precisado los físicos la situación de dicha corriente terrestre, la que tiene lugar, como antes dijimos, al Sur de Europa, y coincide aproximadamente con el Ecuador magnético.

La corriente terrestre, causa de este fenómeno, parece ser la resultante de una serie de corrientes eléctricas que recorren nuestro planeta de Este á Oeste, debidas acaso al desigual caldeo que experimentan por la acción solar las diferentes regiones de la Tierra.

1004. Corrientes astáticas.—Reciben este nombre los conductores

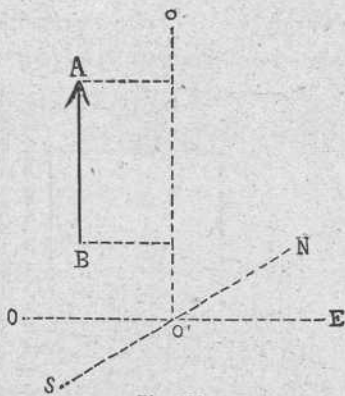


Fig. 492.

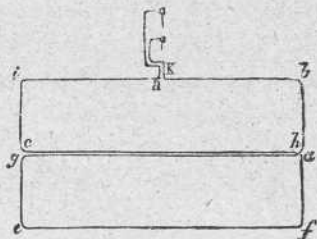


Fig. 493.

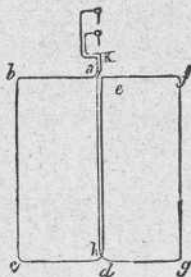


Fig. 494.

movibles en que está anulada la influencia terrestre. Para conseguirlo se las da la forma indicada en las figuras 493 y 494, en las cuales puede ob-

servarse que, el sentido de la corriente en cada una de sus secciones es contrario al de la parte opuesta, quedando destruída de este modo la acción de la Tierra sobre cada una de las porciones que componen dicha corriente.

1005. Acción de la Tierra sobre una corriente rectangular movable alrededor de un eje vertical.—Si se hace pasar una corriente eléctrica por el aparato representado en la figura 495, observaremos que el

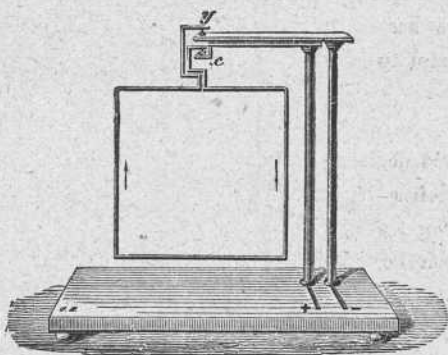


Fig. 495.

rectángulo movable gira hasta colocarse en una dirección perpendicular al meridiano magnético, marchando la corriente, por el lado inferior, de Este á Oeste. Esta es una consecuencia de la influencia que hemos visto ejerce la Tierra sobre las corrientes verticales, puesto que en los lados horizontales es nula dicha influencia, por marchar en ellos las corrientes en dirección contraria. Si se

sustituye el rectángulo en este aparato por un conductor circular, éste se orienta del mismo modo que aquélla, puesto que dicha corriente se puede suponer originada por una porción de elementos horizontales y verticales (fig. 496). La acción terrestre es nula sobre los elementos horizontales, por marchar en sentido opuesto en cada dos que se elijan á igual distancia del diámetro horizontal, quedando únicamente los elementos verticales, que com-

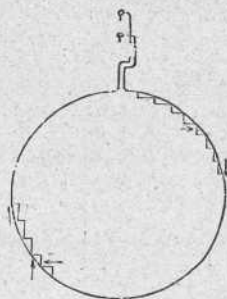


Fig. 496.

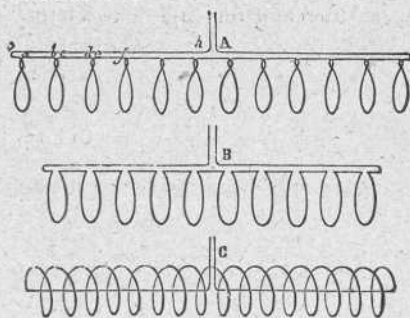


Fig. 497.

ponen dos corrientes sinusoidales de igual efecto que los lados activos del rectángulo anterior.

1006. Solenoides.—Reciben este nombre unos aparatos formados por una

serie de corrientes circulares, cuyos planos son paralelos. Para obtenerlos se dobla un alambre de cobre en una de las formas que indica la figura 497, y luego se repliegan los dos extremos del conductor hasta llegar al centro; de este modo, y en virtud de la ley de las corrientes sinuosas, el efecto de estos aparatos será debido á las corrientes circulares que los constituyen.

Si se suspende un solenoide movable en el soporte representado en la figura 495, se observa que, al pasar por él una corriente eléctrica, el eje común, formado por el centro de todos los círculos, se coloca en la dirección del meridiano magnético (fig. 498), lo cual es una consecuencia de la acción

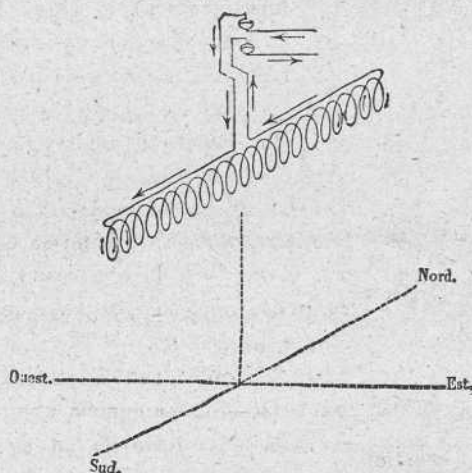


Fig. 498.

que ejerce la Tierra sobre las corrientes circulares. Vemos, por lo tanto, que un solenoide en actividad es dirigido por la Tierra como si fuera un imán, y á fin de distinguir sus dos extremos se ha convenido, como en los imanes, en llamar polo Norte á la extremidad de un solenoide que se dirige á este punto de la Tierra, y polo Sur el que mira, á su vez, al polo austral del mismo astro. Cambiando la dirección de las corrientes que circulan por un solenoide, gira éste inmediatamente 180° , invirtiéndose la colocación de sus polos.

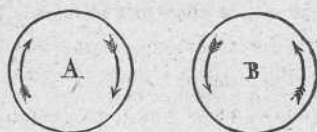


Fig. 499.

Es muy conveniente fijarse bien en la dirección que lleva la corriente eléctrica en cada uno de los polos de un solenoide, y para ello bastará recordar que, en el polo austral, mirado de frente el solenoide, circula aquélla en el sentido que marchan las agujas de un reloj (fig. 499).

1007. Acciones recíprocas de los solenoides.—Los solenoides ejercen entre sí acciones análogas en un todo á las que se observan entre los polos de dos imanes. Para comprobarlo se

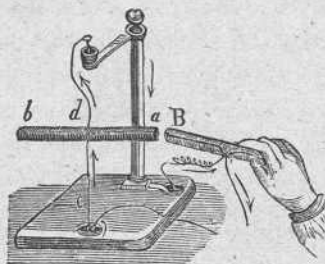


Fig. 500.

monta un solenoide de manera que pueda girar libremente (fig. 500), y se aproxima á uno de sus polos el de otro sostenido con la mano, en cuyo caso se observará una viva atracción, si los polos son de nombre contrario, y se notará repulsión si son del mismo nombre.

Estas atracciones y repulsiones son consecuencia necesaria de las leyes á que hemos visto están sometidas las corrientes eléctricas, bastando examinar la figura 501, para convencerse de ello. En efecto; en la figura superior, que

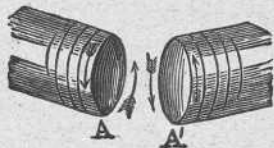
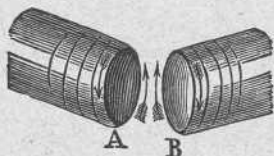


Fig. 501.

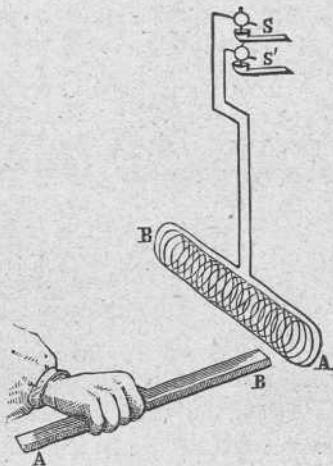
representa dos polos de signo contrario, las corrientes marchan en igual sentido y, por lo tanto, debe haber atracción, mientras que habrá repulsión en los polos de igual nombre, por ser contrarias las corrientes, según manifiesta la parte inferior del grabado.

1008. Acción entre los imanes y los solenoides.—Si se aproxima uno de los polos de un imán al extremo de un solenoide movable (figura 502), se observan iguales atracciones y repulsiones que las que tienen lugar entre dos solenoides, es á saber: los polos del imán y del solenoide del mismo nombre, ó sea aquellos que se dirigen á igual punto de la Tierra, se repelen, y los que se dirigen, uno al Sur y otro al Norte, se atraen.

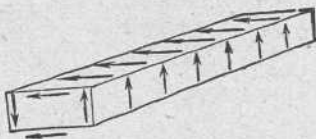
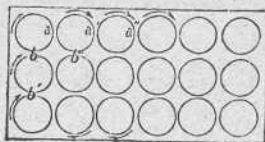
1009. Teoría del magnetismo según Ampère.—La gran analogía que existe entre los imanes y los solenoides, condujo á Ampère á suponer que los fenómenos magnéticos son debidos á corrientes eléctricas que existen en los imanes. Según dicho físico, las moléculas de los cuerpos magnéticos, como el acero y el hierro, están circuidas constantemente por una corriente eléctrica; en su estado ordinario dichas corrientes marchan en dirección diversa, y sus efectos son nulos por destruirse mutuamente; mas si por una causa exterior se orientan dichas corrientes, colocándose paralelos sus planos (figura 503), se originan entonces en el cuerpo una infinidad de solenoides paralelos, cuyo resultado es convertirle en un verdadero imán (fig. 504).

Dicha orientación puede conseguirse, como ya sabemos, por la acción de otros imanes, ó bien por la influencia de las corrientes eléctricas, según demostraremos pronto.

La diferencia que presentan el hierro y el acero respecto á la conservación del magnetismo, estriba, según esta teoría, en la mayor ó menor dificultad con que pueden girar alrededor de sus moléculas las corrientes eléctricas que las rodean; de modo que, en el hierro dulce dicho giro se verifica sin dificultad alguna, y por esto se imana y desimana con gran facilidad, al contrario de lo que sucede en el acero, en el que se supone que dichas corrientes moleculares encuentran gran inconveniente en cambiar de situación, ocasionando, por consiguiente, la permanencia del estado magnético ó inactivo en que dicho metal se encuentre.



Mas adelante estudiaremos diferentes hechos que comprueban de una manera concluyente la verdad de la teoría de Ampère, cuya ingeniosa hipótesis permite desde luego explicar todos los



fenómenos magnéticos por las leyes de las corrientes eléctricas, y hace innecesario admitir la existencia, poco probable, de los dos fluidos magnéticos, por cuya razón se ha adoptado con aplauso por todos los físicos.

ARTÍCULO II.

ELECTRO-MAGNETISMO.

1010. Acción de las corrientes sobre los imanes.—Estudiando Oersted, en 1819, la influencia que pudieran tener las corrientes voltaicas sobre los imanes, observó que, haciendo pasar una corriente eléctrica por un conductor colocado cerca de una brújula en la dirección de su eje, el imán

giraba alrededor de su centro, y tendía á ponerse en cruz con dicha corriente.

Para repetir la importante experiencia del citado físico, puede usarse el aparato indicado en la figura, 505, el cual consiste en una pequeña brújula

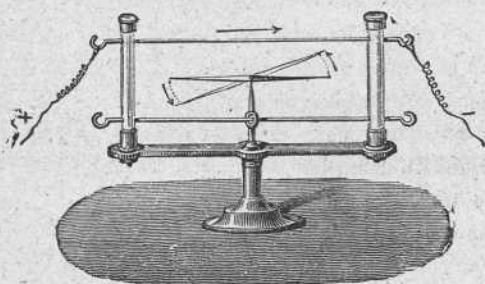


Fig. 505.

colocada entre dos conductores metálicos, sostenidos horizontalmente por unas columnitas de cristal. Situando el plano de dichos conductores en la dirección que indique la brújula, y haciendo después pasar la corriente de una pila por el conductor superior en la dirección Norte á Sur, veremos que el polo *austral* de aquella gira hacia el Este, y se verificaría lo contrario si la corriente marchase de Sur á Norte. Estableciendo luego el circuito por el con-

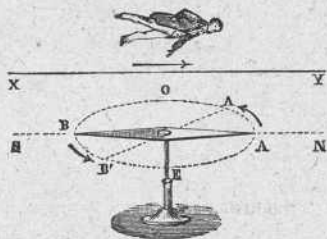


Fig. 506.

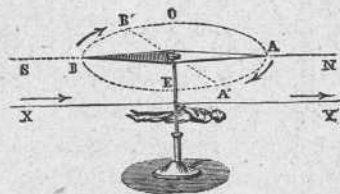


Fig. 507.

ductor inferior, los movimientos del imán se verificarán con igual energía, pero en un sentido completamente opuesto.

Resulta, pues, que un imán libre puede tomar cuatro posiciones distintas bajo la influencia de una corriente eléctrica, con arreglo á la dirección de Norte á Sur ó de Sur á Norte que lleve la corriente, y según que el conductor por donde circula el fluido eléctrico esté colocado encima ó debajo de dicho imán. Estas distintas posiciones las ha resumido Faraday en la siguiente ley: *Suponiendo personificada la corriente, el polo austral del imán*

se dirige siempre á la izquierda. Personificar una corriente eléctrica es suponer que un observador forma parte del circuito, de manera que la corriente penetre por sus pies y salga por su cabeza, y esté, además, colocado de cara al imán; así es que, si la corriente marcha sobre éste, el observador habrá de situarse como indica la figura 506, y en este caso el polo austral se dirige, en efecto, hacia su izquierda; pero si el conductor se halla colocado debajo de dicho imán, el observador tendría que situarse en la posición representada por la figura 507, y también en este caso el polo austral giraría hacia la izquierda del observador.

Esta acción que las corrientes ejercen sobre los imanes, se explica perfectamente recordando la teoría de Ampère, pues siendo los imanes unos verdaderos solenoides, en que sus corrientes marchan de Este á Oeste por su cara inferior, tenderán aquellas á colocarse en la misma dirección que la corriente voltaica, lo que se verificará cuando se sitúe el imán en ángulo recto con la corriente.

La misma explicación cabe en la acción que la Tierra ejerce sobre los imanes, con tal que se considere á dicho astro, según ya indicamos, como un gran solenoide, cuyas corrientes marchan de Este á Oeste.

1011. Acción de los imanes sobre las corrientes.—La influencia que hemos visto ejercen las corrientes sobre los imanes, no puede menos de ser recíproca, y, efectivamente, basta para probarlo colocar una barra imanada *A B* (fig. 508), debajo de un conductor movable rectangular ó circular, en cuyo caso girará éste hasta colocarse de tal modo que se cumpla la ley de Ampère que acabamos de indicar.

1012. Galvanómetro.—La desviación que experimenta un imán bajo la influencia de una corriente eléctrica, depende de la intensidad de ésta y de la distancia que medie entre ambos; luego si esta distancia permanece constante, el número de grados que gire el imán dependerá únicamente de la intensidad de la corriente, y podrá servir, por lo tanto, para comparar entre sí dos ó más corrientes voltaicas. En general esta desviación es muy pequeña, y á fin de aumentar su valor ideó Schweigger colocar el

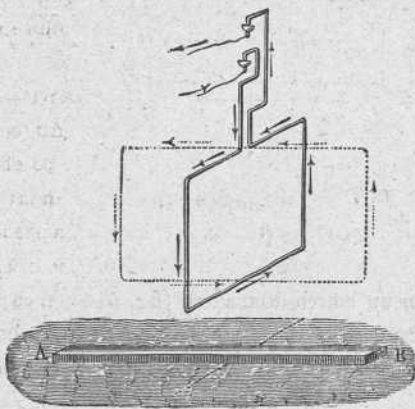


Fig. 508.

imán dentro de un marco rectangular de madera (fig. 509) llamado *multiplificador*, á cuyo alrededor se arrolla varias veces un alambre de cobre cubierto de seda, y de esta manera el efecto de la corriente queda multiplicado por el número de vueltas que dé el alambre. El efecto de los diferentes lados del rectángulo sobre la aguja magnética es concordante, y tiende á dirigirla en el mismo sentido, como puede observarse examinando la figura 510.

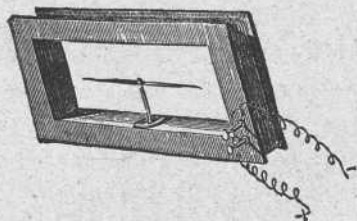


Fig. 509.

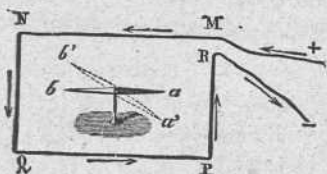


Fig. 510.

Con objeto de disminuir la influencia que sobre el imán ejerce la Tierra, aumentando por consiguiente la sensibilidad del aparato, ideó Nobili sustituir el imán por un sistema de agujas *semiasfálticas* (fig. 511). En este sistema las acciones de los cuatro lados del rectángulo son concordantes respecto de la aguja interior; la aguja exterior puede decirse que sólo está influida, en el mismo sentido, por el lado superior del rectángulo, puesto que los otros lados, que obrarían en sentido opuesto, se hallan á mayor distancia, y su efecto es, por lo tanto, insignificante.

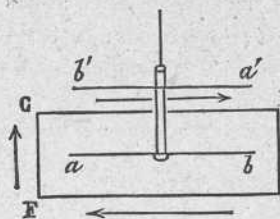


Fig. 511.

Fundándose en este principio, construyó Nobili su *galvanómetro multiplicador*, cuyo objeto es apreciar la existencia de las corrientes eléctricas por débiles que sean, y compararlas entre sí. Consiste tan interesante instrumento en un marco de madera (fig. 512), á cuyo alrededor está arrollado un alambre de cobre revestido de seda; el sistema de agujas *semiasfálticas* está suspendido por un hilo muy fino de seda sin tensión, quedando la aguja superior próxima á un círculo graduado. Todo el aparato va protegido por un fanal de cristal, para evitar el movimiento de las agujas por efecto del aire.

El diámetro y longitud del alambre con que se construyen los galvanómetros, tiene que estar en relación con la intensidad de la corriente que se quiere medir; si se trata de apreciar corrientes débiles, debe usarse un alam-

bre largo y de poco diámetro, á fin de multiplicar mucho su efecto, y, al contrario, para medir las corrientes intensas, debe ser aquél corto y grueso. Sin embargo, cuando la corriente que ha de circular por el galvanómetro procede de una pila que tiene poca *resistencia*, como sucede en las termo-eléctricas, es necesario, aunque aquella sea débil, valerse de un alambre grueso y corto, para que pueda vencer la dificultad que opone dicho conductor al paso de la corriente.

Para usar el galvanómetro hay que empezar por *orientarle*, ó sea hacer que las agujas se queden en la misma dirección que las diferentes vueltas del alambre, en cuyo caso la aguja superior marcará en el limbo graduado el cero de su división; además hay que colocar el eje de dichas agujas en el centro de dicho

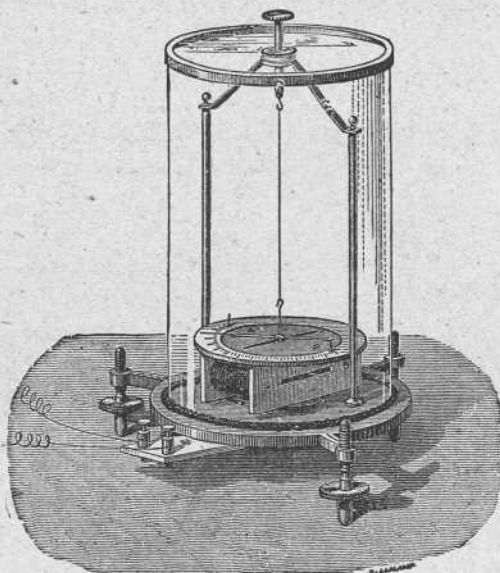


Fig. 512.

limbo, para lo que se mueven convenientemente los tornillos colocados en el pie del aparato. Conseguido esto, se hacen pasar por él las dos corrientes cuyas intensidades se quieren comparar, y *si no pasan de 30 los grados marcados por la más enérgica*, en la misma relación que aquéllos estarán las intensidades de las corrientes empleadas; es decir, que si una corriente señala en el galvanómetro 24 grados, tiene una intensidad tres veces mayor que otra que sólo marque 8. Cuando el número de grados pasa de dicho límite, ya no existe esta proporcionalidad, y entonces lo que debe hacerse es reducir la más intensa á unos 30 grados, obligándola á pasar por un alambre largo ó un líquido poco conductor; si después se hace pasar también la más débil por dicho cuerpo, las intensidades de ambas corrientes guardarán entre sí la misma relación que los grados correspondientes.

Si no se quiere introducir esta *resistencia* artificial, hay necesidad de formar para cada galvanómetro una tabla especial, que indique la relación que existe entre sus grados y las intensidades eléctricas correspondientes, operación algo difícil y de poco resultado, pues las indicaciones de un galvanó-

metro dependen del magnetismo de las agujas, y éste varía con el tiempo, y á veces por la acción de una corriente algo intensa.

Afortunadamente se han construido galvanómetros que dan á conocer la intensidad de las corrientes en proporción del *seno ó tangente* del ángulo de desviación, pero su fundamento sale de los límites de un libro como éste.

CAPÍTULO V.

Electro-imanés.

1013. Imanación por las corrientes.—Fundado Ampère en su teoría sobre el magnetismo, dedujo la posibilidad de obtener imanes por la acción de las corrientes eléctricas. Para conseguirlo colocó una aguja de acero perpendicularmente á un conductor metálico, y haciendo pasar por éste una corriente eléctrica de cierta intensidad, logró imanar la aguja sometida á la experiencia, en la que, conforme á la ley de Ampère, apareció el polo austral á la izquierda de dicha corriente.

La causa de tan importante fenómeno se explica perfectamente por la teoría de dicho físico. En efecto; bajo la influencia de la corriente eléctrica, se orientan poco á poco las corrientes moleculares del acero, y, como consecuencia, se convierte dicha aguja en un imán. Á fin de aumentar el efecto de dicha corriente, arrolló Ampère un alambre de cobre sobre un tubo de

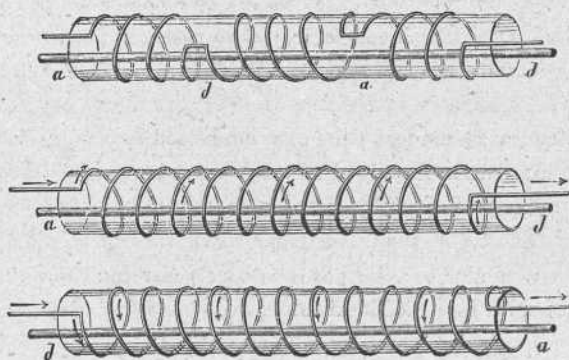


Fig. 513.

cristal, en cuyo interior introdujo la aguja de acero, y al pasar por dicho conductor la corriente eléctrica, quedó aquella fuertemente imanada. Según se

arrolle el alambre á derechas ó á izquierdas, aparecerá el polo austral de la aguja en el punto por donde sale ó por donde penetra la corriente (fig. 513), es decir, con arreglo á la ley de Ampère.

Puede obtenerse una comprobación completa de la teoría magnética de dicho sabio, arrollando sobre un tubo de cristal un alambre de cobre, y cambiando dos veces hacia el centro el sentido de las vueltas, como indica el grabado de encima. Introduciendo una aguja de acero en dicho tubo, y haciendo pasar por el alambre una corriente eléctrica, se obtiene un imán en el que aparecen dos puntos consecuentes en el sitio en que se cambió la dirección del conductor.

1014. Electro-imanés.—Si en las experiencias anteriores se reemplaza la aguja de acero por otra de hierro dulce, ésta se imana inmediatamente al pasar la corriente eléctrica, pero desaparecen los efectos magnéticos tan pronto como cesa dicha corriente, por carecer de fuerza coercitiva el hierro dulce. Los imanes obtenidos en estas condiciones han recibido el nombre de *electro-imanés* ó *imanés temporales*, y, según tendremos ocasión de comprobar, presentan una importancia capital en las aplicaciones de este fluido.

Los electro-imanés pueden afectar muy diferentes formas, pero en la mayoría de los casos se usan *en línea recta* ó *en forma de herradura*. Los *electro-imanés rectos* consisten (fig. 514) en una barra de hierro dulce *a b*, introducida en un carrete sobre el cual se arrolla un alambre de cobre cubierto de seda. El carrete puede ser de cualquier substancia no magnética, pero, en general, se hacen de latón, ebonita, marfil ó madera; y en cuanto al cobre del alambre, debe ser lo más puro posible. Montado el aparato en las condiciones indicadas, basta poner en comunicación con los polos de una pila los dos extremos del alambre, para que la barra de hierro del electro-imán se convierta, casi instantáneamente, en un vigoroso imán, permaneciendo en tal estado mientras dure el paso de la corriente eléctrica. Si se interrumpe después la comunicación con los reóforos de la pila, la barra *a b* perderá también rápidamente sus propiedades magnéticas, mas no tan pronto como las adquirió, y este magnetismo, que subsiste después de cesar la corriente, es el que ha recibido el nombre de *remanente*. Para evitarlo, cuanto es posible, se aconseja recocer bien el hierro de los electro-imanés, é impedir la unión entre sus *polos* ó extremos, y el trozo de hierro ó *armadura* á que se apliquen, interponiendo entre ambos una lámina muy delgada de latón, ó simplemente una hoja de papel.

Á pesar de la sencillez que presentan los electro-imanés rectos, se usan

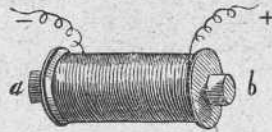


Fig. 514.

muy poco por no aprovecharse en ellos más que la atracción de uno de sus extremos, y suelen construirse generalmente en forma de *herradura*. Esta

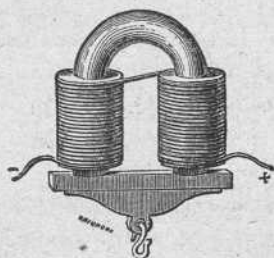


Fig. 515.

clase de electro-imanés consiste en una barra de hierro dulce doblada en forma de U (figura 515), en cuyas extremidades se introducen dos carretes ó *bobinas* llenos de alambre de cobre forrado de seda. Estos carretes se cubren de alambre por medio de un torno, separados del electro-imán, pues de otra manera la operación es muy pesada; lo único que hay que tener en cuenta al verificarlo es, que las vuel-

tas vayan en ambos en el mismo sentido, pues de lo contrario, el efecto de un carrete quedaría destruido por el del otro; luego se introducen en las ramas de la herradura de hierro y se unen íntimamente los extremos interiores de los alambres. En vez de doblar en forma de U la barra de hierro de estos electro-imanés, operación que no deja de presentar sus dificultades cuando

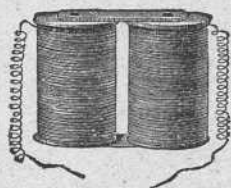


Fig. 516

es de gran diámetro, pueden obtenerse con más facilidad é iguales condiciones por medio de dos cilindros de hierro dulce, unidos con tornillos ó simplemente remachados á una platina gruesa del mismo metal (fig. 516), cuya forma presenta además la ventaja de ocupar menos espacio, y poderse fijar con más facilidad verticalmente sobre la base de cualquier aparato.

Para sacar de los electro-imanés el mayor partido posible, ha de someterse su construcción á las siguientes reglas: El diámetro y la longitud del alambre deben ser tales que su *resistencia* sea igual á la que presente el circuito de que aquél forma parte, incluyendo en él la pila. Usando pilas intensas, como las de Bunsen ó Grenet, conviene poner alambre grueso y relativamente corto; pero si la pila de que nos valemos es débil, como la de Daniell ó Leclanché, el alambre deberá ser largo y tener, cuando más, medio milímetro de diámetro. La fuerza atractiva de los electro-imanés crece con sus dimensiones y con la intensidad de la corriente, pudiendo obtenerse fácilmente aparatos de este género que sostienen miles de kilogramos.

Una de las aplicaciones más frecuentes de los electro-imanés es para la obtención de los imanes permanentes, para lo cual, y tratándose de un imán de pequeñas dimensiones, el mejor procedimiento consiste en frotar cada una de sus dos mitades, partiendo siempre del centro y en el mismo sentido, con uno de los polos de un electro-imán fijo en una tabla, como indica la figu-

ra 517. De esta manera aparecerá el polo boreal del nuevo imán en el extremo que se haya frotado con el austral de aquél, bastando, en general, unas veinte fricciones por cada una de sus caras para que adquiriera el mayor grado posible de magnetismo, ó quede saturado.

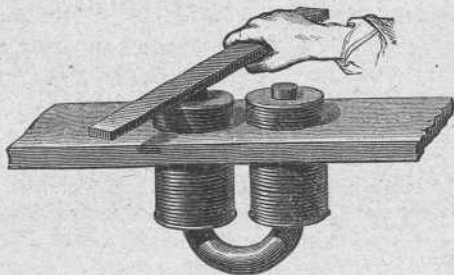


Fig. 517.

Si el imán que se va á formar es de grandes dimensiones, este método es ineficaz, y entonces se opera del siguiente modo: Se coloca la barra que se quiere imanar apoyada por sus extremos en los polos contrarios de dos poderosos electro-imanés rectos (fig. 518), y se frota diferentes veces,

por todas sus caras, con un carrete de latón *C*, rodeado por muchas vueltas de alambre de cobre cubierto de seda, teniendo además cuidado de que cada mitad de la barra reciba el mismo número de fricciones. El alambre de los dos electro-imanés y el del carrete debe estar arrollado en el mismo sentido, y sus extremos en comunicación, para que la corriente de una pila energética pase á la vez por todos ellos. En este procedimiento el polo *N* de la barra aparece en la extremidad que esté apoyada en el polo *S* de los electro-imanés.

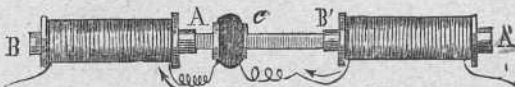


Fig. 518.

Para imanar fácilmente un gran número de láminas de acero, como las que sirven para obtener los imanes Jamin, se arrolla un alambre de cobre aislado sobre un carrete de madera ó cartón, en cuyo orificio central pueden introducirse aquéllas; haciendo pasar después por dicho alambre una corriente intensa, no hay más que introducir las láminas una á una en dicho carrete, haciéndolas ir y venir varias veces, para que queden perfectamente imanadas.

CAPÍTULO VI.

Medida de las corrientes eléctricas.

* 1015. **Intensidad de una corriente.**—La *intensidad* de una corriente, ó sea su energía total, depende de dos circunstancias importantes, á saber: de la *fuerza electro-motriz* de la pila ó aparato que produce dicha corriente, y de la *resistencia* del conductor por donde circula el fluido eléctrico. Al hablar de las pilas dijimos ya lo

que se entendía por fuerza electro-motriz. Respecto de la *resistencia* diremos que es la dificultad que opone un conductor al paso del fluido eléctrico, efecto de su mayor ó menor conductibilidad.

Al físico alemán Ohm se debe una fórmula sencilla, que expresa la relación que existe entre dichas variables; representando por I la intensidad de la corriente, por E la fuerza electro-motriz de la pila, y por R la resistencia total del circuito, se verifica la siguiente ecuación:

$$I = \frac{E}{R}.$$

Por ella vemos que la intensidad de una corriente eléctrica está en razón directa de la fuerza electro-motriz, é inversa de la resistencia del circuito. Se comprende esto perfectamente, recordando la analogía que existe entre una corriente eléctrica y la de un líquido que marcha por un tubo. El efecto que dicho líquido puede producir, aplicado á una máquina hidráulica, está evidentemente en razón directa de la altura del líquido en el depósito, é inversa de la dificultad que á su circulación oponga el tubo; entre esta dificultad y la resistencia que opone un conductor al paso de la corriente eléctrica, existe también la analogía que en estos dos fenómenos venimos observando. En efecto; á medida que aumenta la longitud y disminuye el diámetro de dicho tubo crece, en la misma proporción, dicha dificultad, y análogamente, aumentando la longitud del conductor y disminuyendo su diámetro, crece proporcionalmente su resistencia.

En los conductores eléctricos entra, sin embargo, un factor que no puede tener su semejante al tratarse de los tubos por donde circula un líquido. Dicho efecto depende de la naturaleza del conductor, y se llama *coeficiente de resistencia*, el cual está en razón inversa de su *conductibilidad eléctrica*. Los dos metales mejores conductores y que, por lo tanto, presentan menos resistencia son el cobre y la plata.

1016. Unidades eléctricas.—La comparación de las corrientes eléctricas exige la elección de unidades á que puedan referirse las demás, y aunque todavía no se ha convenido universalmente en cuáles hayan de ser aquéllas, las siguientes, propuestas por la ASOCIACIÓN BRITÁNICA, y modificadas en parte en el Congreso de Electricistas de París (1881), son las más generalmente usadas.

La unidad de *resistencia* ha recibido el nombre de *ohm*, y representa el obstáculo que tiene que vencer una corriente para recorrer una columna de mercurio de 1 milímetro cuadrado de sección y 105 centímetros de longitud; próximamente es la misma que presenta un alambre de hierro de 100 metros de longitud y 4 milímetros de diámetro.

La unidad de *fuerza electro-motriz* se llama *volt*, y equivale, próximamente, á la que posee un elemento Daniell recientemente montado.

La unidad de *intensidad*, se llama *ampère*, y se obtiene dividiendo un volt por un ohm.

Para medir la intensidad de las corrientes, y lo mismo su fuerza electro-motriz, se usan unos galvanómetros graduados empíricamente, llamados respectivamente *amperómetros* y *vóltmetros*, los que son de gran utilidad en las aplicaciones industriales de este fluido.

La unidad de *cantidad* se llama *coulomb*, y representa la cantidad de fluido que circula por un conductor durante un segundo de tiempo, siendo su intensidad un ampère. Como es demasiado pequeña esta unidad, suele usarse un múltiplo, llamado *ampère-hora*, cuya definición creemos inútil detallar.

En muchas aplicaciones de electricidad hay que tener en cuenta la *capacidad eléctrica* de un conductor, habiéndose adoptado como unidad de este elemento eléctrico el *farad*; esta unidad es la capacidad que tendría un condensador en que se cargase una de las armaduras con un coulomb y se hiciera comunicar la otra con el

depósito común, resultando una diferencia de potenciales en ambas armaduras igual á un volt.

La unidad de *trabajo eléctrico* se llama *joule*, y es igual al producto de la unidad de cantidad por la de fuerza electro-motriz, ó sea un coulomb por un volt. En Madrid resulta aproximadamente igual á $\frac{1}{10}$ de kilogrametro.

Si dicha energía se refiere á *un segundo de tiempo*, resulta la unidad de *potencia eléctrica*, llamada *watt*, ó sea la de un ampère, correspondiente á la fuerza electro-motriz de un volt. Un kilogrametro por segundo equivale en Madrid próximamente á 10 watts.

Para expresar los múltiplos y divisores de estas unidades, se sigue un método análogo al que se usa en el sistema métrico, pero, en general, sólo se aplican las palabras *mega* y *micro*, que significan respectivamente *un millón* y *una millonésima*. Así se dice, un *megohm* para representar una resistencia de un millón de ohm, y un *microfarad*, para indicar una capacidad electro-estática un millón de veces menor que un farad.

CAPÍTULO VII.

Corrientes de inducción.

ARTÍCULO PRIMERO.

DIFERENTES MEDIOS DE OBTENER CORRIENTES INDUCIDAS.

1017. Definiciones.—Reciben el nombre de *corrientes por inducción* las que se desarrollan bajo el influjo de otras corrientes. Estas corrientes, cuyos efectos pueden ser más intensos que los obtenidos con las voltaicas, fueron descubiertas por Faraday en 1831, y su importancia es tal, que puede decirse han reemplazado á las pilas en la mayoría de sus aplicaciones. Las corrientes inducidas pueden desarrollarse *por la acción de otras corrientes voltaicas, por la acción de los imanes, por la influencia de la Tierra y por la acción de una corriente sobre sí misma*. En el primer caso suelen llamarse *volta-eléctricas*, en el segundo *magneto-eléctricas*, en el tercero *telúricas* y en el último *extra-corrientes*.

1018. Inducción por otras corrientes.—Para demostrar la producción de las corrientes inducidas por la influencia de otras corrientes vol-

taicas, se usa generalmente un carrete de madera *B* (fig. 519), sobre el cual se arrolla, hasta una tercera parte de su diámetro, un alambre grueso

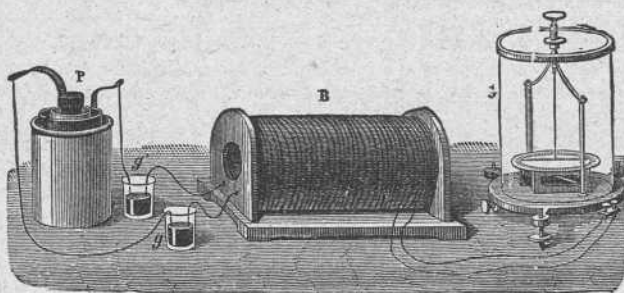


Fig. 519.

de cobre cubierto de seda, cuyos extremos se introducen en el mercurio contenido en dos vasitos de cristal *g* y *g'*; sobre este alambre se arrolla otro muy fino y perfectamente aislado, también de cobre, comunicando por sus extremos con un galvanómetro *G*. Si en esta disposición se hace pasar por el alambre grueso, llamado *circuito inductor*, la corriente de una pila *P*, inmediatamente el galvanómetro acusará el paso de otra corriente inducida por el alambre delgado ó *circuito inducido*, pero en sentido *contrario* á la de la pila. Mientras continúe pasando por el alambre grueso la corriente *inductora*, el galvanómetro permanecerá en el cero; mas si se interrumpe ésta, sacando del mercurio uno de los reóforos de la pila, instantáneamente volverá á establecerse por el alambre delgado otra corriente inducida de mayor tensión que la primera, y en la misma dirección que la inductora.

Resumiendo los anteriores fenómenos resulta que, al pasar por el circuito inductor una corriente voltaica, se establece otra *instantánea é inversa* en el circuito inducido, y al cesar nuevamente la corriente de la pila, vuelve á originarse otra *instantánea y directa* en dicho circuito.

Resulta, pues, que solamente al cerrar y abrir el circuito voltaico se producen las corrientes inducidas; mas en realidad no es necesario que cese del todo la corriente inductora para que aquéllas tengan lugar, y basta, en efecto, que su intensidad varíe bruscamente, por establecer una derivación que la debilite, ó bien que varíe la distancia que media entre los circuitos inductor é inducido, para que en proporción con estos cambios se desarrollen dichas corrientes.

1019. Inducción por los imanes.—Otro medio muy ventajoso de producir corrientes inducidas, consiste en sustituir el solenoide formado por el alambre grueso del aparato anterior, por un imán permanente, como indica la figura 520.

En este caso no es necesario más que un solo alambre cubierto de seda y arrollado sobre un carrete hueco de madera ó cartón. Si se hacen comunicar los extremos f y f' de dicho alambre con un galvanómetro, y se introduce en el carrete un imán vigoroso, se observará que aquel instrumento indica el paso de una corriente *inversa* á la que, según la teoría de Ampère, constituye dicho imán, cambiando de dirección cuando se saca la barra imanada del interior del carrete. La intensidad de estas dos



Fig. 520.

corrientes es proporcional á la velocidad con que se introduzca ó saque el imán, por lo cual es más conveniente colocar dentro del carrete una barra de hierro dulce (fig. 521), y aproximar rápidamente á uno de sus extremos

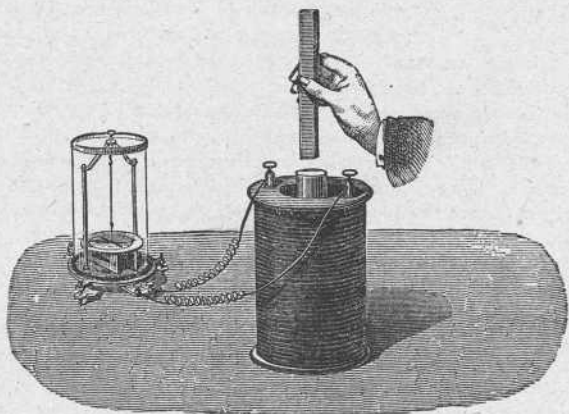


Fig. 521.

un imán energético, en cuyo caso, imanándose por influencia el hierro dulce, produce las mismas corrientes, pero más intensas que el imán de la anterior experiencia.

1020. Inducción por la Tierra.—Puesto que nuestro planeta se conduce como si en su interior existiese un gran imán, colocado en la dirección del meridiano magnético, se comprende fácilmente que ha de originar corrientes de inducción sobre un circuito situado en posición conveniente.

El mejor procedimiento consiste en colocar un carrete, rodeado por un alambre de cobre cubierto de seda, de manera que su eje sea paralelo á la brújula de inclinación, y después hacerlo girar rápidamente 90° en el meridiano magnético. Uniendo los extremos del alambre de dicho carrete á un galvanómetro sensible, podremos comprobar la existencia de una corriente inducida en sentido contrario á la del imán terrestre. Si, además, colocamos en su interior una barra de hierro dulce, ésta se imanará por la acción de la Tierra, y podrá producir corrientes inducidas del mismo sentido que las anteriores, obteniéndose en este caso un efecto de mayor intensidad. Sin embargo, como quiera que el magnetismo terrestre es relativamente débil, las corrientes telúricas, así obtenidas, son de escasa intensidad, y no ha podido aplicarse con ventaja este procedimiento para producir corrientes de inducción.

1021. Extra-corrientes.—Para hacer perceptible la producción de corrientes inducidas en el conductor por donde circula una corriente voltaica, es necesario suprimir dicha corriente sin interrumpir la continuidad del circuito. Para ello puede seguirse el siguiente procedimiento, debido á Faraday. Los dos reóforos *C* y *D* de una pila *P* (fig. 522), se unen á los extremos de un largo conductor *B*, arrollado en hélice,

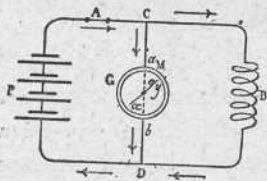


Fig. 522.

y desde dos puntos *C* y *D*, intermedios entre la pila y dicha hélice, se sacan dos derivaciones para unir las á los extremos del conductor de un galvanómetro *G*: de este modo la corriente de la pila se divide al llegar al punto *C*, pasando una parte de ella por el galvanómetro, y la otra por la hélice *B*. Esto supuesto, la aguja de dicho galvanómetro se desviará del cero, y se colocará en una posición tal como *x y*, en la cual se la mantiene colocando un trocito de madera de modo que la impida retroceder, pero no separarse más de lo que estaba; des-

pués se abre el circuito, separando una porción *A* del conductor, y en este estado se vuelve á cerrar dicho circuito por medio del conductor movable *A*. Entonces se observará que la aguja del galvanómetro se separa, durante un momento, más de lo que antes estaba, lo que prueba que por dicho galvanómetro ha pasado una corriente de mayor intensidad que la primera y en la misma dirección. Este aumento de intensidad se debe á la extra corriente originada por la hélice *B*, y puesto que ha circulado por el conductor del galvanómetro en la dirección de *C* á *D*, es evidente que en la hélice siguió un camino opuesto á la corriente de la pila: *Luego al cerrar la corriente de una pila por medio de un conductor, se origina en éste una extra-corriente instantánea inversa de aquélla.* Establecida luego la corriente de la pila de un modo permanente, se obliga á la aguja del galvanómetro á colocarse en la posición *a b* de equilibrio, pero situando el trocito de madera, de que antes hablamos, de modo que no la impida avanzar en sentido contrario. Si en este estado se interrumpe en *A* la corriente, se observa que la aguja se desvía rápidamente hacia la izquierda, volviendo en seguida á la posición *a b*, lo que nos indica que el galvanómetro ha sido recorrido, al abrir el circuito de la pila, por una corriente instantánea en la dirección *D C*: *Luego al interrumpir una corriente voltaica se origina en el conductor por donde aquélla circulaba una extra-corriente instantánea directa.*

De aquí se deduce que, al cerrar el circuito que debe recorrer una corriente, ésta no se establece inmediatamente, puesto que en el primer momento se origina la extra-corriente inversa que anula en parte la de la pila. Lo contrario sucede al abrir dicho circuito, pues siendo entonces directa la extra-corriente originada, aumenta la intensidad de la voltaica. Esto explica la diferencia que dijimos se observa en la intensidad de las corrientes originadas por un conductor próximo á otro, al abrir y cerrar el circuito de una pila. Sucede, en efecto, que al cerrar el circuito, la corriente inductora se establece lentamente por las razones antes expuestas, y la inducida que ori-

gina dura ese mismo tiempo, careciendo, por lo tanto, de la tensión que caracteriza á la inducida de *apertura* del circuito, que es instantánea, por serlo también la *rotura* del circuito.

1022. Causa de las corrientes inducidas.—La causa de las corrientes que vamos estudiando se debe, según M. de la Rive, á la acción que ejercen las moléculas electrizadas del circuito inductor sobre las del inducido. En efecto: si se considera una serie de moléculas *A B* (fig. 523) correspondientes á un conductor metálico, por el que circule una corriente eléctrica, puede admitirse que aquéllas se

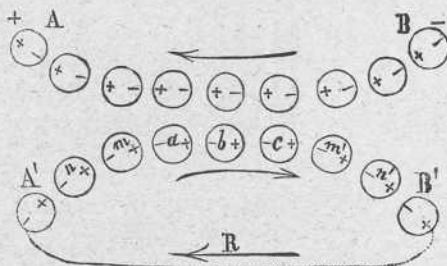


Fig. 523.

encuentran constantemente polarizadas por las descargas intermoleculares é que da origen la corriente de la pila; á su vez, dichas moléculas obrarán por influencia sobre las inmediatas *a b c* del circuito inducido, electrizándolas de un modo opuesto, mientras que las *m n* y *m' n'*, que se encuentran á mayor distancia, se electrizarán también por la acción de aquéllas, dando origen á una serie de descargas, ó sea á una verdadera corriente eléctrica. Pasado este primer período, desaparecerá todo movimiento eléctrico, quedando el circuito inducido en una especie de equilibrio, hasta que, suprimida la corriente de la pila, vuelvan las moléculas *a b c* á su estado natural; entonces las moléculas *m* y *m'* electrizadas, negativamente la primera y positivamente la segunda, dan origen á una nueva corriente eléctrica en sentido contrario á la anterior, por combinarse sus respectivos fluidos á través del circuito *B' R A'*. Vemos, además que esta última sólo se establece por la parte del circuito no inducido, mientras que la corriente inversa se verifica á través de todo el conductor, lo que da por resultado que la corriente directa sea más intensa que la inversa.

Las corrientes inducidas pueden dar origen á otras, llamadas de *segundo orden*, y éstas á otras de *tercero*, y así sucesivamente, pero únicamente en algunos aparatos de medicina tienen aplicación dichas corrientes.

ARTÍCULO II.

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN.

1023. Definiciones.—Reciben el nombre de *máquinas de inducción* aquellos aparatos con los que se obtienen corrientes inducidas de gran intensidad.

Estos aparatos pueden dividirse en tres grupos distintos, según se utilice para su construcción el efecto de las corrientes voltaicas, el de los imanes permanentes, ó tan sólo el movimiento de ciertos órganos. A los primeros se les ha dado el nombre de *carretes ó bobinas de inducción*; á las segundas, *máquinas magneto-eléctricas*, y á las últimas, aparatos *dinamo-eléctricos*.

1024. Carrete de Ruhmkorff.—Este interesante aparato, que corres-

ponde al primero de los grupos indicados, consiste en un carrete hueco de madera ó caucho (fig. 524), sobre el que se arrolla un alambre grueso de

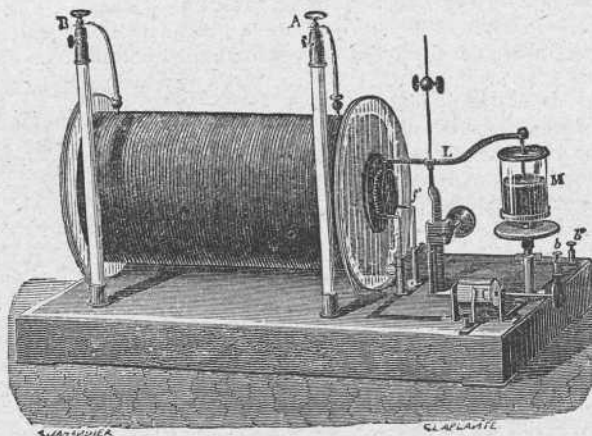


Fig. 524.

cobre cubierto de seda, separando cuidadosamente unas espiras de otras por medio de un barniz aislador. Sobre éste se arrolla otro alambre de cobre muy fino y perfectamente aislado, y sus extremos se hacen comunicar con los soportes de cristal *A* y *B*.

En las grandes bobinas el diámetro del alambre grueso, ó inductor, suele ser de dos milímetros, y su longitud de unos 40 á 50 metros, mientras que el alambre delgado apenas llega á un cuarto de milímetro, y alcanza una longitud de 50 kilómetros próximamente.

En el interior del carrete se coloca un manojo de alambres finos de hierro, formando un paquete cilindrico, y, por último, los extremos *f* y *f'* del circuito inductor se hacen comunicar con un interruptor, formado por una palanquita *L*, que puede oscilar alrededor de un muelle. Esta palanca termina por el extremo más próximo á la bobina en una pequeña masa de hierro dulce, y por el otro en un alambre de platino, tangente á la superficie del mercurio colocado en el vaso *M*; el fondo de este vaso es metálico, y comunica, á su vez, con el tornillo de empalme *b'*. En las bobinas pequeñas se suele usar, como más sencillo, un interruptor automático con contactos de platino.

Uniendo los réforos de una pila de dos ó tres elementos Bunsen á los tornillos *b* y *b'*, la corriente marchará desde *b* al conmutador *C*, y desde allí, por una lámina de cobre fija en el pie del aparato, á uno de los extremos *f*

del circuito inductor; después de recorrer éste saldrá por f' é irá á parar al pie de la palanca L y, por el alambre de platino y el mercurio, terminará en el tornillo b' , unido al otro polo de la pila. Al pasar la corriente por el circuito inductor, se imana el manojó de alambres de hierro del interior de la bobina, y atrae á la pieza de hierro de la palanca L , con cuyo movimiento se eleva el alambre de platino del otro extremo y, al abandonar la superficie del mercurio, abre el circuito de la pila. Entonces se desimana el manojó de alambres de hierro, y por la elasticidad del muelle que sostiene la palanca L , vuelve á introducirse la extremidad de platino en el mercurio, repitiéndose estas oscilaciones durante el paso de la corriente de la pila, con una velocidad que depende de la altura á que se fije un contrapeso que lleva dicha palanca.

Recordando ahora lo que antes hemos dicho sobre la producción de las corrientes inducidas, se comprenderá fácilmente que, á cada interrupción de la corriente de la pila se ha de originar en el circuito inducido una corriente directa, y al cerrarse nuevamente otra inversa. La cantidad de fluido eléctrico desarrollado en ambos casos, es completamente igual; pero la corriente directa, ó de ruptura, alcanza una tensión tan considerable, que en los grandes aparatos pueden obtenerse chispas de más de 30 centímetros.

Aun puede aumentarse bastante dicha tensión, haciendo comunicar el pie la palanca L con una de las armaduras de una botella de Leyden, y la otra con el fondo del vaso de mercurio. Esta botella se sustituye, generalmente, por un condensador formado de varias láminas de papel de estaño, separadas unas de otras por hule fino de seda ó papel barnizado de goma laca, cuyo conjunto se fija en el interior de la base del aparato. El objetó de estos condensadores es recoger la extra-corriente que se origina al abrir el circuito inductor, permitiendo la desimanación rápida del manojó interior de alambres de hierro. Con este mismo fin se suele echar sobre el mercurio un poco de alcohol que, efecto de su mala conductibilidad, hace más rápida la ruptura de la corriente de la pila.

El carrete de Ruhmkorff es notable por transformar con gran facilidad la electricidad *dinámica* en *estática*, siendo por lo tanto el lazo de unión entre ambas manifestaciones del fluido eléctrico. Con su auxilio se consigue, en efecto, por medio de 3 ó 4 pares de Bunsen, reproducir todos los fenómenos que originan las mejores máquinas estáticas, y, en virtud de la gran tensión que en él puede adquirir la electricidad, ha recibido este aparato numerosas é interesantes aplicaciones.

1025. Máquinas magneto-eléctricas.—Con este nombre se designan

como ya hemos indicado, los aparatos de inducción en que la electricidad se desarrolla por la influencia de un imán permanente.

La primera máquina de este género, realizada en 1833 por el constructor

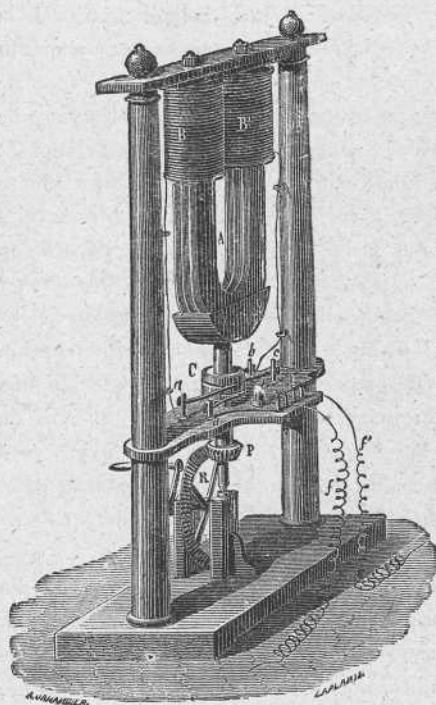


Fig. 525.

francés M. Pixii, consiste (figura 525) en un electro-imán fijo *B B'*, debajo del cual puede girar por el intermedio de un engranaje cónico, un poderoso imán permanente *A*; al pasar los polos de éste delante de los del electro-imán, se imanar por influencia las barras de hierro dulce que le forman, y en el alambre que los rodea se origina una corriente inducida de una tensión proporcional á la intensidad del imán y á la distancia que medie entre los extremos de ambos órganos. Esta corriente cambia de dirección á cada media vuelta del imán, puesto que entonces muda también de signo la imanación del electro-imán; pero se puede conseguir que ambas corrientes presenten en el circuito exterior la misma dirección por medio de un conmutador

C fijo en el eje del imán. De esta manera salen por los reóforos del aparato una serie de corrientes inducidas en la misma dirección, que si bien se originan con cierta intermitencia, producen los mismos efectos que una corriente continua, atendiendo al poco intervalo que las separa.

1026. Máquina de Clarke.— La máquina de Pixii presenta, entre otros, el inconveniente de gastar mucha fuerza en hacer girar el imán, que es el órgano más pesado de los que figuran en ella, por cuya razón, el físico inglés M. Clarke la modificó ventajosamente haciendo girar el electro-imán, mientras que la herradura magnética permanecía fija. Además observó, que la longitud de las ramas del electro-imán influye muy poco en la producción de las corrientes inducidas, por no darlas tiempo á imanarse sino en sus extremos, efecto de la velocidad con que esto debe verificarse. Respecto al grueso y longitud del alambre con que debe cubrirse el electro-imán, tam-

bien notó este físico que la *cantidad* de fluido desarrollado por esta clase de aparatos, dependía del diámetro de dicho conductor, mientras que la tensión de la corriente era debida á su longitud.

Atendiendo á estas condiciones ideó Clarke la máquina que lleva su nombre, la cual consiste (fig. 526) en un poderoso imán de herradura *A B*,

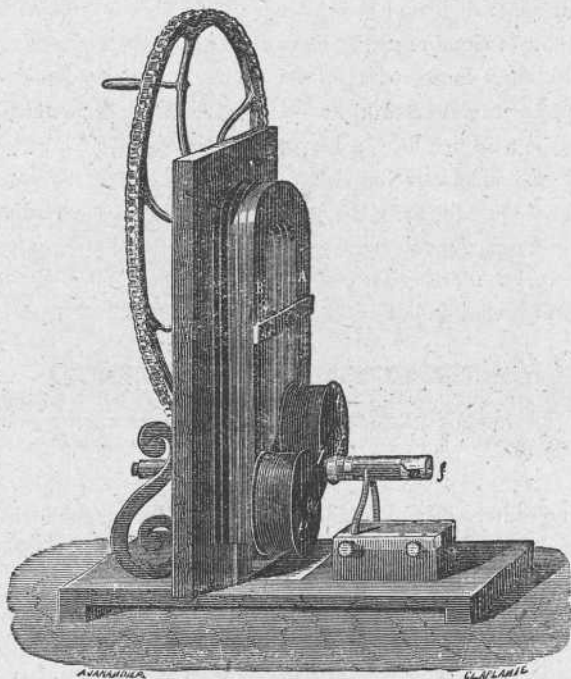


Fig. 526.

sujeto verticalmente á una fuerte tabla, fija á su vez en otra horizontal que sirve de base al aparato. Delante de los polos de aquél pueden girar rápidamente, por el intermedio de un volante y una cadena sin fin, un electro-imán muy corto, cuyas barras de hierro dulce están unidas con una chapa de latón por el frente que mira al imán; desde su centro sale horizontalmente un eje que atraviesa la tabla vertical del aparato, y termina en una especie de piñón, en cuyos dientes engranan los eslabones de la cadena indicada anteriormente. En la parte opuesta y exterior del electro-imán se halla fijo un conmutador *f*, al que van á parar los extremos del alambre de dicho órgano, y sobre cuya superficie se apoyan dos láminas elásticas de latón que recogen la electricidad desenvuelta por la máquina, haciendo, por lo tanto, oficio de resóforos.

Puesta la máquina en movimiento, se desarrollan en los alambres del

electro-ímán corrientes inducidas, que cambian de dirección á cada media vuelta, pero que, recogidas por el conmutador *f*, marchan siempre en el mismo sentido por el circuito exterior.

Con esta máquina, muy usada hasta hace poco en los gabinetes de Física, pueden producirse la mayor parte de los efectos originados por las pilas, bastando disponer de dos electro-ímanes que se sustituyen fácilmente en el aparato; uno con alambre grueso para los efectos de *cantidad*, y otro con alambre delgado y largo, para los fenómenos que dependen de la *tensión*.

1027. Máquina de Siemens.—Últimamente ha sido modificada ventajosamente la máquina de Clarke por M. Siemens, de Berlín, en la parte correspondiente al electro-ímán. Este órgano debe necesariamente ser muy corto en aquel aparato, á fin de que puedan imanarse la barras de hierro dulce que le forman, y en este caso, el circuito inducido presenta una longitud muy reducida. Para evitar este inconveniente, M. Siemens ha ideado un electro-ímán especial de la forma que indica la figura 527. Este consiste en

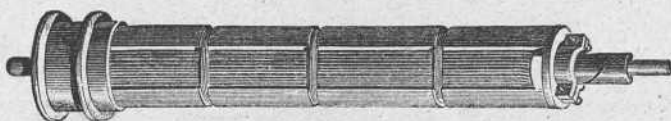


Fig. 527

un cilindro de hierro colado, hendido á lo largo de dos generatrices opuestas por dos ranuras, en las que se aloja el alambre del circuito inducido; perpendicularmente á su eje, tiene practicadas otras dos ranuras para dar cabida á una cuerda, con la que se sujetan lateralmente las diferentes vueltas de dicho alambre, y en uno de sus extremos termina el electro-ímán en cuestión por una polea, mientras en el otro lleva un conmutador donde se sueldan

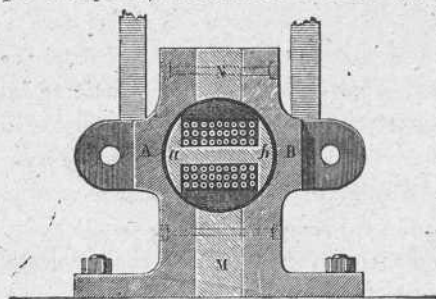


Fig. 528.

los extremos del circuito. Este electro-ímán se introduce dentro de una cavidad cilíndrica formada por cuatro piezas, dos de latón *M* y *N* (fig. 528), que sólo sirven para dar solidez al aparato, y otras dos *A* y *B* de hierro dulce, sobre las que se apoyan una serie de imanes en herradura formando una especie de túnel; de esta manera se convierten dichas piezas en un poderoso imán semicilíndrico, é imanar por influencia el electroímán *a b*.

Montado el aparato como indica la figura 529, y haciendo girar rápi-

mente el electro-imán de Siemens, por intermedio de un volante y correa de transmisión, se originan en el circuito inducido una serie de corrientes alter-

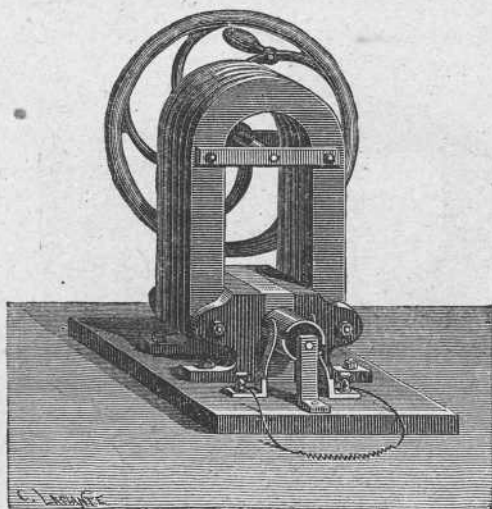


Fig. 529.

nativamente directas ó inversas, que, recogidas por unas láminas metálicas que descansan sobre el conmutador, dan lugar á una corriente continua en el circuito exterior del aparato.

Las ventajas de esta disposición son grandes, pues además de la gran velocidad que, por su forma, puede adquirir el electro-imán, éste es influido con mayor energía por los imanes, cuyo número, además, puede ser casi ilimitado; por estas razones, las máquinas de este sistema dan resultados muy superiores á las de Clarke, aun teniendo menores dimensiones.

Además de estas máquinas, se han ideado otras muchas por diferentes físicos y constructores, que sólo se diferencian por la disposición relativa de los imanes y electro-imanes que en todas figuran, siendo una de las mejores la ideada por M. Nollet, de Bruselas, construída en los talleres de *La Alianza*; ésta, en realidad, consiste en varias máquinas de Clarke, unidas á un eje común susceptible de girar con gran velocidad, pero su complicación y elevado precio la han hecho ir desapareciendo de los puntos en que se había instalado.

1028. Máquina de Gramme.—El fundamento de este importante aparato se aparta por completo de las anteriores, si bien es una modificación ventajosa de otra anterior, debida á Pacinotti de Pisa. Consiste este intere-

sante aparato (fig. 530), en un poderoso imán en herradura *N O S*, entre cuyos polos, provistos de unas armaduras semicilíndricas de hierro dulce

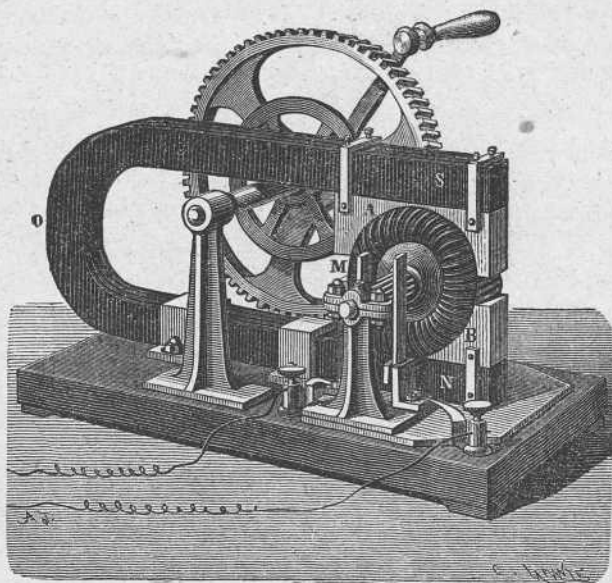


Fig. 530.

A y *B*, puede girar rápidamente, por intermedio de un piñón y una rueda dentada, una especie de anillo *M*. La constitución de este anillo, principal elemento de la máquina de M. Gramme, es la siguiente: Su núcleo (fig. 531)

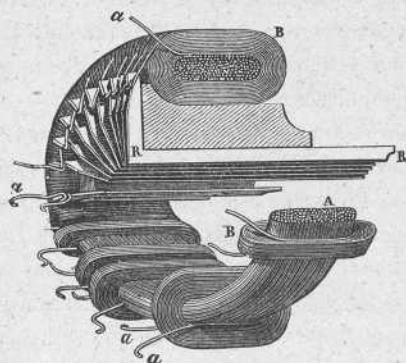


Fig. 531.

está formado por una madeja cilíndrica *A* de alambre delgado de hierro dulce, sobre cuya superficie se arrollan en un sentido perpendicular al suyo, hasta cubrirle por completo, diferentes hélices *B B* de alambre de cobre forrado con seda. El principio del alambre de cada hélice se une al extremo en que concluye la anterior, y ambos se sueldan á unas piezas de cobre *R R*, en forma de escuadra, que atraviesan al interior del anillo, y, aisladas cuidadosamente unas de otras por láminas de ebonita, forman hacia uno de sus lados un pequeño cilindro, cuyas generatrices

forman hacia uno de sus lados un pequeño cilindro, cuyas generatrices

son alternativamente de cobre y de dicha materia aisladora; sobre la superficie de este cilindro se apoyan dos *escobillas* colocadas verticalmente (fig. 530) formadas con alambres sueltos de latón, á fin de asegurar más el contacto, y á ellas acude, como ahora veremos, la electricidad desenvuelta por el aparato.

La teoría de esta máquina, algo compleja en el fondo, puede reducirse á lo siguiente: Bajo la influencia del imán en herradura *N S* (fig. 532), el

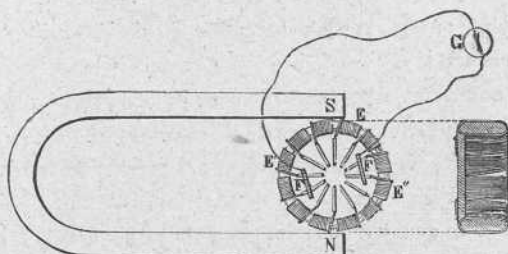


Fig. 532.

anillo interior de alambre de hierro se convierte en dos imanes semicirculares, cuyos polos semejantes se hallan unidos enfrente de los del imán, y como el hierro dulce carece de fuerza coercitiva, aquéllos permanecen en el mismo sitio, á pesar del movimiento giratorio de dicho anillo; puede, por lo tanto, suponerse que las diferentes hélices de alambre de cobre *E E' E''* recorren este doble imán circular marchando siempre en el mismo sentido. Esto supuesto, al aproximarse la hélice *E'* hacia el polo *S*, se desarrolla en ella una corriente inducida en sentido inverso á la que, según Ampère, forma este imán; desde *E* hasta *E''* se separa dicha hélice del mismo polo, y por este motivo la corriente inducida debería cambiar de dirección; mas como la del imán, formado por el anillo de hierro, es opuesta á la anterior, resulta en la hélice dicha corriente en la misma dirección. Igual fenómeno tiene lugar cuando la hélice *E''* recorre el semicírculo *E'' N E'*, pero en este caso las corrientes inducidas se desenvuelven en una dirección opuesta á la anterior. Resulta, por lo tanto, que todas las hélices comprendidas en el semicírculo superior originan una serie de corrientes en un determinado sentido, dependiente de la posición de los polos del imán en herradura, y todas las del semicírculo inferior desarrollan otra serie de corrientes en sentido opuesto, pero de la misma intensidad que las anteriores; pueden, pues, compararse estas dos series de hélices á dos baterías voltaicas de igual número de elementos unidas por los polos del mismo nombre. Para recoger estas corrientes, que de otra manera se neutralizarían mutuamente, se colocan en los

puntos $F F'$ las escobillas metálicas de que antes hemos hablado, y que constituyen, por lo tanto, los reóforos de esta ingeniosa máquina. Si cambia el sentido en que gira el anillo de hierro, inmediatamente cambia de dirección la corriente que origina, siendo ésta una de las buenas propiedades que posee el aparato.

La intensidad de la corriente producida es, además, proporcional á la velocidad de dicho anillo, pudiendo regularse aquélla á voluntad del operador entre límites bastantes lejanos; por último, dicha corriente es continua y sin intermitencias, puesto que las escobillas colectoras establecen la comunicación con cada una de las hélices que pasan delante de ellas antes de abandonar las anteriores. Por estas razones, y por el poco volumen que presenta la máquina de M. Gramme, es de un uso muy ventajoso, tanto en las aplicaciones generales de la electricidad, como para hacer funcionar los diferentes aparatos de Física, pues evita montar una batería de 5 ó 6 elementos Bunsen, que es á lo que equivale la corriente producida por las máquinas destinadas á este objeto.

1029. Máquinas dinamo-eléctricas.—Como ya indicamos anteriormente, han recibido este nombre los aparatos en que la electricidad se desarrolla por el movimiento de ciertos órganos, cuyo fluido en realidad se debe á una transformación de la fuerza que consumen para funcionar.

M. Siemens fué el primero que, en 1866, pensó sustituir los imanes de las máquinas usadas hasta entonces por electro-imanés, animados por la corriente de la misma máquina. Parece al pronto indispensable, para que el aparato pueda funcionar, valerse en los primeros momentos de una pila voltaica que imane los electro-imanés de la máquina, pero se ha observado que basta el poco *magnetismo remanente* (1014) de aquellos órganos, para que se origine una corriente que, si bien es débil al principio, gana rápidamente en intensidad á medida que aumenta la velocidad de la máquina. Realizado este ingenioso pensamiento por M. Siemens, se han construido, fundándose en él, una multitud de aparatos más ó menos ingeniosos, de los cuales sólo describiremos los que mejor resultado han producido.

1030. Máquina de Siemens.—Este aparato, después de las modificaciones que la práctica ha aconsejado á su autor, consiste (fig. 533), en un tubo ancho de cobre, susceptible de girar rápidamente alrededor de su eje, sobre el que se arrollan en sentido longitudinal, cuatro madejas de alambre de cobre forrado de seda; los extremos de dichos alambres se unen *en tensión* y se sueldan en unas roldanas metálicas fijas sobre un casquillo de ebonita, concéntrico con el eje de dicho cilindro, y sobre estas roldanas se apoyan unas escobillas de latón que sirven para recoger la corriente producida por

la máquina. En ambos lados de ésta hay dos electro-imanés muy anchos, formados por gruesas chapas de hierro, unidas entre sí, tanto las superiores como las de debajo, por unas láminas semicilíndricas del mismo metal, divi-

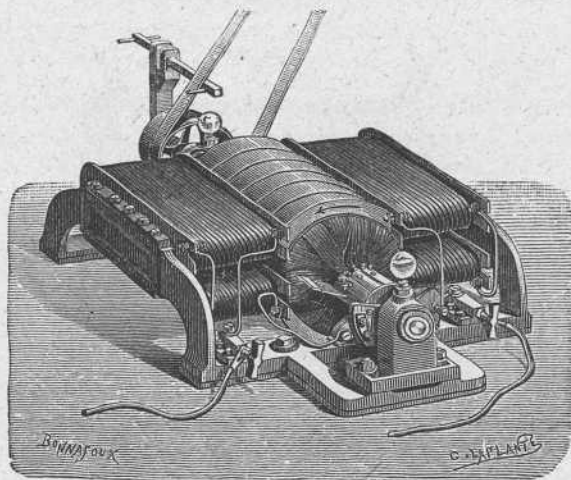


Fig. 533.

das por ranuras en cierto número de secciones transversales, y dentro del cilindro de cobre se halla una armazón de hierro dulce, que hace oficio de armadura de dichos electro-imanés. Haciendo pasar, la primera vez que se usa este aparato, una corriente eléctrica por el alambre de dichos electro-imanés, éstos conservan en adelante cierto *magnetismo remanente*, el que da origen al girar la máquina, por inducción sobre las madejas movibles, á una serie de corrientes que imanán á aquéllos cada vez con más energía, y como resultado se produce en el aparato una corriente que crece con su velocidad.

En esta máquina, como en todas las de su género, conviene que el conductor de que están forrados los electro-imanés sea de gran sección, pues de otro modo se debilitaría notablemente la corriente producida.

1031. Máquina dinamo-eléctrica de Gramme.—Aplicando Gramme á su máquina magneto-eléctrica el principio ideado por Siemens, ha obtenido uno de los mejores aparatos dinamo-eléctricos que se conocen. Consiste éste (fig. 534), en dos electro-imanés cilíndricos colocados horizontalmente, y unidos entre sí por los polos del mismo nombre; éstos terminan en unas expansiones de hierro semicirculares, dentro de las cuales gira un anillo, como el descrito en la página 506, provistos de sus correspondientes escobillas colectoras, las que se hacen comunicar con el alambre que rodea á los

electro-ímanes. Haciendo girar rápidamente el anillo central, por medio de un motor á propósito, se obtiene con este aparato, por la misma razón que en la máquina de Siemens, una corriente continua de una intensidad proporcional á la velocidad con que se verifique dicho movimiento.

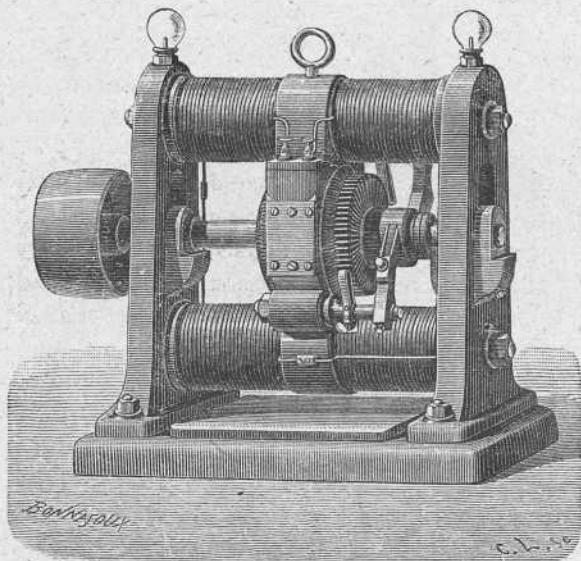


Fig. 534.

1032. Producción económica de las corrientes eléctricas.—

Al comparar entre sí las diferentes pilas hidro-eléctricas, vimos (972) que la de Bunsen era la única capaz de producir corrientes de gran intensidad, si bien presenta ciertos inconvenientes que la hacen inaplicable en muchos casos.

Prescindiendo de ellos por el momento, y tratando de comparar los efectos de dicha pila con los obtenidos por las máquinas de inducción, debemos desde luego manifestar que, después de muchas experiencias comparativas, y aparte del mayor coste de instalación de dichas máquinas, se ha visto que la electricidad producida por dichas pilas sale á un precio diez veces más elevado, próximamente, que empleando para el mismo objeto los aparatos de inducción. Por lo tanto, sólo en casos excepcionales y, sobre todo, cuando los efectos hayan de ser de corta duración, podrá haber ventaja en valerse de la pila de Bunsen como medio de producir grandes cantidades de fluido eléctrico; en todos los demás casos habrá siempre economía en el uso de las máquinas dinamo-eléctricas.

No resulta tan clara la comparación mutua de las diferentes máquinas de este género, pues cada inventor cree la suya mejor que las demás; pero las dos que hemos descrito han dado resultados análogos y muy satisfactorios en todas las industrias que las han usado.

CAPÍTULO VIII.

Efectos caloríficos y luminosos de las corrientes eléctricas.

1033. Calor producido por las corrientes eléctricas.—Ya hemos visto al tratar de las pilas hidro-eléctricas, que el fluido que en ellas se desarrolla es debido á las combinaciones químicas que se verifican entre los elementos que las constituyen. Estas combinaciones originan también una gran cantidad de calor, que se hace sensible en el conductor que une sus polos, bastando para probarlo, hacer pasar la corriente de una pila de *gran superficie* por un alambre de hierro delgado, en cuyo caso éste se enrojece y aun llega á fundirse, si la cantidad de electricidad es suficiente.

Las principales leyes á que está sometido el desprendimiento de calor en este fenómeno han sido deducidas por Joule, y pueden expresarse del siguiente modo: *La cantidad de calor originada en un conductor homogéneo por el paso de una corriente eléctrica, es proporcional á la resistencia de aquél, y al cuadrado de la intensidad de dicha corriente.*

Estas leyes, verificadas con la mayor exactitud por Becquerel y Lenz, explican por qué se funde con mayor facilidad un alambre de hierro que uno de cobre, á pesar de necesitar éste menos calor que aquél para cambiar de estado. En efecto; el hierro, por ser peor conductor de la electricidad que el cobre, presenta mayor resistencia al paso de la corriente y, para un mismo diámetro, la elevación de temperatura, según dichas leyes, debe ser más considerable.

Por medio de la electricidad se ha logrado fundir todos los cuerpos, aun los más refractarios, excepción hecha del *carbono*, y aun éste se ha llegado á reblandecer hasta el punto de soldarse dos barritas por su mutuo contacto, haciendo pasar por ellas la corriente de una pila de 600 pares Bunsen.

Se ha sacado partido de la incandescencia que experimenta un alambre de platino, bajo la influencia de una corriente eléctrica, para cauterizar en Cirugía algunos puntos del cuerpo humano donde no sería posible introducir un hierro candente, pesentando, además, este procedimiento la buena

propiedad de no producir hemorragias. También se va usando, con éxito satisfactorio, la incandescencia de los metales por el peso de una corriente eléctrica, para soldarlos sin necesidad de aleaciones intermedias que alteren la homogeneidad del cuerpo resultante. Por último, se aplica también la facultad de poner incandescente un alambre delgado por la acción de la corriente eléctrica, para obtener en el vacío un foco de calor, para dar fuego á las minas desde gran distancia, sin la exposición del sistema de *mechas*, y en otros varios casos que sería prolijo enumerar.

1034. Efectos luminosos de las corrientes eléctricas.—Hemos visto en el párrafo anterior, que si se hace pasar una corriente eléctrica de suficiente intensidad por un cuerpo que ofrezca gran resistencia á aquel fluido, la temperatura de dicho conductor se eleva, y después de enrojarse puede llegar á fundirse; mas si el cuerpo usado en esta experiencia tiene un punto de fusión muy elevado, como le sucede al *platino*, al *iridio*, y principalmente al *carbón*, podrá aquél permanecer al rojo mucho tiempo, despidiendo á la vez una luz vivísima que, atendiendo á su origen, ha recibido el nombre de *luz eléctrica por incandescencia*.

1035. Lámpara de Edison.—La primera lámpara incandescente con que se ha resuelto satisfactoriamente el problema del alumbrado eléctrico, se debe á Edison, y consiste (fig. 535) en una fibra de bambú *C* doblada en

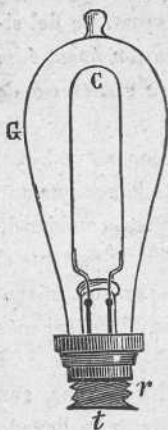


Fig. 535.

forma de U y carbonizada fuera del contacto del aire; los extremos de dicha fibra se unen á dos alambres de platino, y éstos, á su vez, se hallan en contacto con dos piezas de latón *r* y *t*, por las que penetra y sale la corriente eléctrica. La fibra de carbón se encuentra encerrada en un pequeño globo de cristal *G*, del cual se ha extraído el aire por medio de una bomba Sprengel (201). Dicha fibra de carbón presenta una gran resistencia al paso de la corriente eléctrica y, al circular por ella dicho fluido, se pone incandescente, produciendo una luz constante y ligeramente amarilla. Como la incandescencia se produce fuera del contacto del aire, el carbón no se quema, y puede por este motivo durar mucho tiempo.

Después de Edison varios físicos y constructores han ideado lámparas de incandescencia que producen buen resultado, pero todas son en realidad variaciones de la primera, por lo que renunciamos á describirlas.

1036. Lámparas de arco voltaico.—El conductor sólido que en las lámparas anteriores produce la luz eléctrica no es absolutamente necesario,

y puede ser reemplazado por un gas, en el que floten partículas de un cuerpo buen conductor; en este caso los aparatos respectivos se llaman lámparas de arco voltaico.

Para producir tan brillante fenómeno se ponen en contacto con los reóforos de una pila intensa dos conos de carbón de retorta (*), sujetos en casquillos metálicos, y aislados uno de otro por medio de un soporte de cristal (fig. 536); aproximando luego el carbón superior, que es movable, hasta

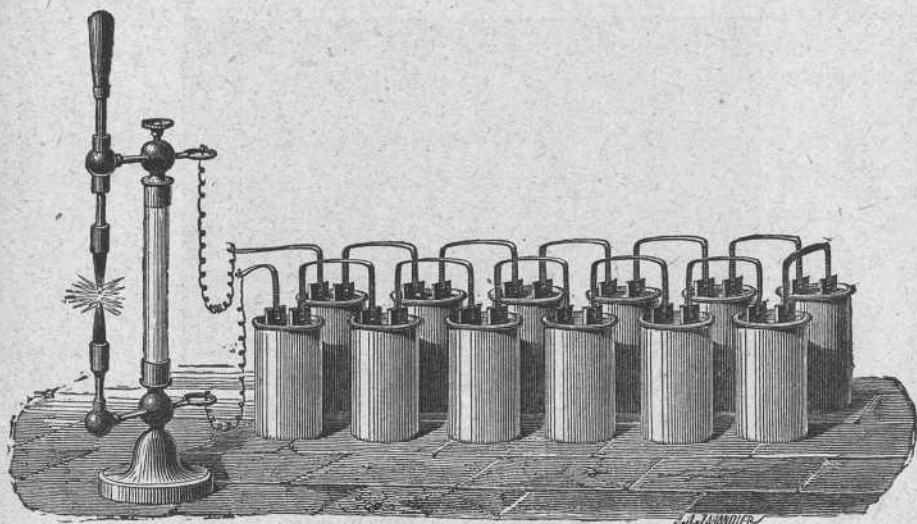


Fig. 536.

que toque al de debajo, se origina inmediatamente una luz muy viva en el carbón unido al polo negativo, y se enrojece una gran parte del positivo. Si después se eleva poco á poco el carbón superior, se establece, á través del espacio que los separa, un penacho arqueado de vivísima luz, que ha recibido el nombre de *arco voltaico*.

La longitud que puede alcanzar este arco depende de la intensidad de la pila y de la densidad del medio en que se verifique; con una pila de 600 elementos, dispuestos en seis series, y estando encima el carbón positivo, puede llegar dicha distancia á 7 centímetros; pero si el negativo ocupa la parte superior, escasamente alcanza á 5 centímetros. En el vacío pueden separarse los carbones á mucha mayor distancia, pero en cambio la luz producida pierde en la misma relación su intensidad luminosa.

(*) Se llama así un carbón muy compacto que se forma en las paredes de las retortas, donde se destila la hulla para obtener el gas del alumbrado.

Dejando establecido de una manera continua, según acabamos de indicar, el arco voltaico, se observa á poco que se prolongue la experiencia, que la forma y distancia de los carbones varía notablemente, lo que procede, no tan sólo del transporte de partículas de un polo á otro, si que también de su combustión al contacto del aire. Esto puede verse perfectamente proyectando los carbones sobre una pantalla por medio de una lente convergente, en cuyo caso se observa que el carbón positivo (fig. 537) se adelgaza y ahueca,



Fig. 537.

mientras que el negativo aumenta de volumen; midiendo exactamente el desgaste de ambos, se ha visto que el positivo se consume con *doble* rapidez que el negativo. Á la vez se notan unos glóbulos brillantes y fundidos,

efecto de ciertas materias síliceas que acompañan al carbón de retorta, que ruedan por la superficie de ambos para dirigirse al polo contrario; también se advierte que no es igual el brillo que presentan ambos carbones, y mientras el positivo tiene una gran extensión al rojo blanco, el negativo sólo está iluminado en su extremidad polar. De este curioso experimento se deduce que, el arco voltaico es debido á la incandescencia de las partículas de carbón arrastradas de un polo á otro, y si bien es posible la obtención de tan brillante fenómeno valiéndose de electrodos metálicos, ninguna substancia puede ser tan á propósito como el carbón para producirle, puesto que su poder luminoso al arder es superior al que presentan los demás cuerpos en igualdad de circunstancias. Por último, el arco voltaico tiene la propiedad, descubierta por M. Arago, de ser repelido por los imanes poderosos, consecuencia legítima de su constitución, y en completa armonía con los principios del electro-magnetismo.

1037. Propiedades del arco voltaico.—Las propiedades físico-químicas del arco voltaico ó *luz eléctrica*, se acercan mucho á las de la luz solar. Pueden, en efecto, reproducirse, por medio de la fotografía, los objetos iluminados con ella, y hasta los vegetales se desarrollan bajo su acción con gran rapidez, según los experimentos de M. Siemens. Transmitida la luz eléctrica á través de un prisma de cristal, se descompone en los siete colores del *arco iris*, propiedad preciosa que la hace muy superior á las demás luces artificiales, por no alterar, como éstas, los matices de los diferentes colores. Respecto á su intensidad, sólo diremos que es la que sigue en brillo á la luz solar, pudiendo llegar en circunstancias excepcionales á ser superior á la de dicho astro. En Kólmno (cercañas de Moscou) hay una fábrica de soldaduras eléctricas donde se ha obtenido un arco voltaico equivalente á 6.000 bujías, siendo así que el Sol alcanza tan sólo una intensidad de 5.700. Comparando, además, varios físicos la luz eléctrica producida por pilas de diferente número de pares, han observado que su intensidad no crece proporcionalmente al número de aquéllos, siendo conveniente ordenarlos en series de 40 ó 50, y no en tensión, cuando pasen de este número.

La luz eléctrica presenta también la singular propiedad de irradiar muy poco calor respecto á su gran brillo, tanto que se puede aproximar á ella un cuerpo combustible, sin que arda, más de lo que podría acercarse á una luz algo intensa de gas ó petróleo. Esto se explica por la abundancia de rayos azules y violados que se notan en su *espectro*, los cuales tienen la propiedad de alumbrar mucho y calentar poco, á la inversa de lo que sucede en las demás luces artificiales, en que dominan los rojos y amarillos, dotados de propiedades contrarias á aquéllos. Este exceso de rayos violados hace que la

luz eléctrica sea muy perjudicial á la vista cuando se la mira de cerca, y sin la precaución de ponerse anteojos azules, ó bien cubriéndola con globos de porcelana que la dispersen y mitiguen su extraordinario brillo.

1038. Regulador de M. Serrin.—Cuando se quiere utilizar el arco voltaico como sistema de alumbrado, hay necesidad de disponer los carbones, entre los cuales se verifica tan brillante fenómeno, de modo que se aproximen en la misma proporción que se gastan, habiéndose resuelto tan interesante problema por medio de unos aparatos llamados *reguladores*.

Uno de los más usados es debido á M. Serrin (fig. 538) y consiste su parte esencial en un mecanismo de relojería, que permite la aproximación lenta de los carbones *C* y *K*, entre los que se forma el arco voltaico. En el circuito de la pila se halla intercalado un electro-imán *E*, que, al atraer á su armadura *A*, detiene el movimiento de dichos carbones. Cuando la distancia que media entre éstos va aumentando por su mutuo desgaste, la corriente se debilita, y entonces el electro-imán, que también habrá perdido parte de su energía, permite girar á las ruedas del mecanismo que aproximan los carbones, evitando de este modo la extinción de la luz originada.

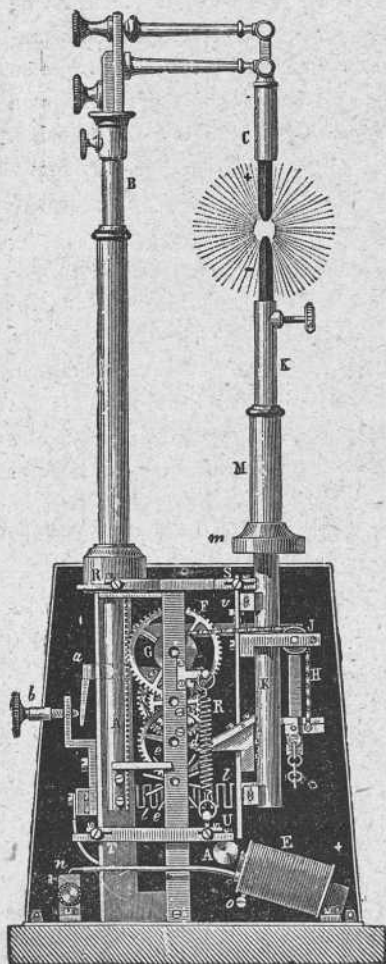


Fig. 538.

Este sistema de alumbrado presenta en comparación con el gas, petróleo, etcétera, muchas ventajas, siendo las más importantes las siguientes: No impurifica la atmósfera, puesto que no desprende productos nocivos; no eleva apenas la temperatura en que se verifica; no cambia el matiz de los colores, por tener todos los rayos del espectro solar, y, por último, usando lámparas incandescentes se disminuyen mucho los riesgos de incendio, evitando

1039. Alumbrado eléctrico.—

Este sistema de alumbrado presenta en comparación con el gas, petróleo, etcétera, muchas ventajas, siendo las más importantes las siguientes: No impurifica la atmósfera, puesto que no desprende productos nocivos; no eleva apenas la temperatura en que se verifica; no cambia el matiz de los colores, por tener todos los rayos del espectro solar, y, por último, usando lámparas incandescentes se disminuyen mucho los riesgos de incendio, evitando

asimismo las explosiones del *grisou* en las minas de carbón de piedra. Estas y otras ventajas que podríamos citar, han sido causa de que se procure sustituir los alumbrados usados hasta hoy por el de la luz eléctrica. Las primeras experiencias se hicieron valiéndose de las pilas Bunsen como generador eléctrico; pero, aparte de lo molesto y nocivo que resulta el uso de esta clase de pilas, sale la unidad de luz á un precio tan excesivo, que es irrealizable en la práctica dicho procedimiento. La invención reciente de las máquinas de inducción ha cambiado por completo este asunto, pues la cuestión de economía, que era el mayor inconveniente, se ha resuelto, hasta donde es posible, empleando poderosas máquinas dinamo-eléctricas movidas por el vapor ó corrientes de agua, y hoy sale el alumbrado por lámparas incandescentes al mismo precio aproximadamente que el gas. Si el local que se debe iluminar permite el uso de lámparas de arco voltaico, resulta entonces mucho más económico el alumbrado eléctrico, cuyo coste puede llegar en este caso, tratándose de focos muy intensos, á una décima parte que el alumbrado por incandescencia ó por el gas. Depende este resultado de que, la suma de luz producida por una corriente eléctrica, es tanto menor cuanto mayor sea el número de focos en que se divida. La práctica, en efecto, ha hecho ver que, para un consumo de fuerza igual á un caballo de vapor, aplicado á mover una máquina dinamo-eléctrica, se obtiene una iluminación, aproximadamente, de 100 mecheros Carcel en un sólo foco de arco voltaico, y sólo 10 ó 12 usando lámparas de incandescencia. En cambio de su mayor coste, las lámparas de incandescencia producen una luz más agradable y constante, y son de una manipulación más sencilla que las de arco voltaico, por cuya razón se van generalizando de día en día.

1040. Tubos de Geissler.—Además de los anteriores medios para producir en gran cantidad la luz eléctrica, existe otro más sencillo y que no carece de propiedades importantes. Si en un tubo de cristal, provisto en sus extremos de dos alambres de platino, se hace un vacío imperfecto, y se ponen en comunicación dichos alambres con los polos de un carrete de Ruhmkorff, se observará en el interior de aquél (fig. 539) una luz fosforescente, que presenta la particularidad de aparecer surcada por líneas oscuras en una dirección perpendicular á la longitud del tubo. Este fenómeno, llamado *extratificación* de la luz eléctrica, es debido, según M. de la Rive, á una serie de impulsiones isócronas ejercidas, sobre la columna gaseosa, por las descargas que se verifican entre los polos de dicho carrete. La intensidad de la luz producida con estos tubos, ideados por Geissler, depende de la naturaleza del gas que contengan y de la energía de la corriente eléctrica á que se someten. Puede, sin embargo, aumentarse aquélla construyendo

los tubos con vidrio *de urano*, ó bien intruduciendo en ellos substancias, como el sulfuro de calcio ó bario, que tienen la propiedad de hacerse fosfo-

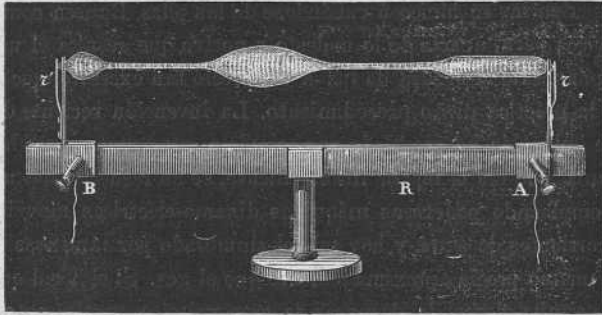


Fig. 539.

rescentes bajo la acción de la electricidad. Á pesar de esto, este procedimiento no puede servir sino para alumbrar débilmente un sitio completamente oscuro, como el interior de una mina.

CAPÍTULO IX.

Aparatos fundados en la imanación por las corrientes.

ARTÍCULO PRIMERO.

TELÉGRAFOS ELÉCTRICOS.

1041. Primeros ensayos.—La extraordinaria velocidad con que se propaga el fluido eléctrico por los cuerpos buenos conductores, hizo pensar, desde el siglo pasado, la gran ventaja que reportaría servirse de esta propiedad para transmitir señales de un punto á otro. Dicha velocidad es, en efecto, tan considerable que, suponiendo establecido un alambre que rodease la Tierra por el Ecuador, le recorrería la electricidad en menos de medio segundo de tiempo.

Nuestro compatriota D. FRANCISCO SALVÁ fué el primero que abordó la cuestión en 1801, tratando de establecer comunicaciones eléctricas entre Madrid y Sevilla, si bien, por haberse valido de la electricidad estática, y no estar suficientemente aislados los conductores, no obtuvo el resultado

que esperaba. Diez años después, Sæmmering ideó utilizar las corrientes voltaicas para el mismo objeto, y pensó aprovechar la descomposición que experimenta el agua, bajo la acción de este fluido, para producir las señales necesarias; pero presentaba este sistema, entre otros, el inconveniente de tener que valerse de corrientes de una gran tensión para lograr el efecto deseado. Al poco tiempo M. Ampère, fundándose en el descubrimiento de Ørsted, acaecido el año antes, propuso el empleo de agujas magnéticas colocadas cerca de los conductores que enlazasen ambas estaciones, las que, al moverse bajo la acción de la corriente respectiva, habían de servir de signos convencionales. Esta idea fué tan excelente, que al poco tiempo Wheatstone en Londres, y Steinheil, en Munich, construyeron telégrafos eléctricos bajo este principio, que funcionaban con cierta regularidad, si bien se necesitaban tantos conductores diferentes como letras querían transmitirse. Este defecto, sin embargo, fué eliminado bien pronto por M. Schelling, en Rusia, haciendo uso de un galvanómetro vertical, cuyas indicaciones hacia la derecha ó izquierda, producidas por la inversión de la corriente á través de un solo alambre, bastaban para representar todas las letras combinándolas de una manera conveniente, y, en efecto, bajo este principio, aunque algo mejorado por Wheatstone en los detalles, quedó establecido en Inglaterra hacia 1840 el primer telégrafo eléctrico.

Á pesar de esto, hasta que no se aplicaron los lectro-imanés á la construcción de estos aparatos, el problema de la telegrafía eléctrica no recibió el impulso que después ha tomado, y hoy puede decirse que se ha llegado en esta cuestión á una altura tal, que parece imposible pueda perfeccionarse.

1042. Teoría de los telégrafos eléctricos.—La mayor parte de los telégrafos inventados se fundan en la posibilidad de imanar, por la acción de una corriente voltaica, un electro-ímán colocado á gran distancia.

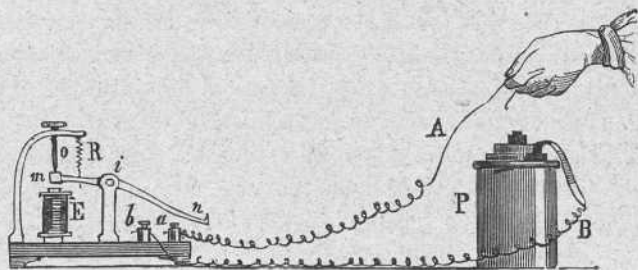


Fig. 540.

Supongamos, en efecto (fig. 540), un electro-ímán *E*, cuyo alambre esté en comunicación, por medio de los casquillos de empalme *a* y *b*, con los

reóforos *A* y *B* de una pila *P*, colocada á gran distancia. Mientras se mantenga alejado el reóforo *A* del polo positivo de la pila, la armadura *m* del electro-imán estará separada de él, por la acción del resorte antagonista *R*, cuanto se lo permita el tornillo de tope *O*; pero si se establece el contacto entre dicho polo y el alambre *A* (fig. 541), la corriente marchará por dicho alambre y el casquillo *a*, para recorrer el electro-imán y volver después

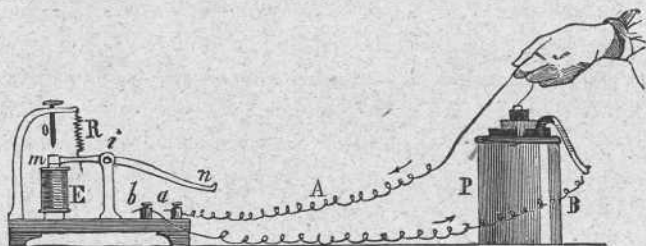


Fig. 541.

por *b* y el conductor *B*, al polo negativo de la pila. Al verificarse esto, el electro-imán se hace activo, y atraerá, por lo tanto, la armadura *m*, venciendo la resistencia del resorte *R*, y así permanecerá todo el tiempo que esté cerrado el circuito. Si nuevamente se abre éste, separando el alambre *A* del polo respectivo de la pila, la armadura *m* volverá otra vez á su primera posición, y esto se repetirá cuantas veces se establezca ó interrumpa la corriente.

Vemos, por lo tanto, que desde una distancia cualquiera, se puede determinar el movimiento de la palanca *n* unida á la armadura del electro-imán, y se comprende fácilmente, que combinados de cierta manera estos movimientos, podrán servir para representar, con más ó menos lentitud, las diferentes letras del alfabeto. Observaremos de paso que, á no valerse de una pila de gran tensión, la amplitud de los movimientos de dicha palanca, y el esfuerzo que con ella se podrá vencer, han de ser forzosamente muy pequeños, pues ya sabemos que las atracciones magnéticas decrecen rápidamente con la distancia, y que, asimismo, las corrientes eléctricas se debilitan notablemente al recorrer un largo circuito. Por estas dos razones, en todos los aparatos telegráficos se limita mucho la separación de la citada armadura por medio de piezas de tope análogas al tornillo *O*, y además se procura que, al ser atraída, tenga que vencer resistencias sumamente pequeñas.

1043. Empleo de la Tierra como conductor.—Acabamos de ver en lo que precede que, para unir por medio de la electricidad dos puntos más ó menos distantes, son necesarios dos conductores que establezcan la co-

municación entre ambos polos de la pila y los alambres del electro-imán correspondiente; mas Steinheil, en 1837, observó que, introduciendo en la Tierra el reóforo negativo de la pila y uno de los alambres del electro-imán,

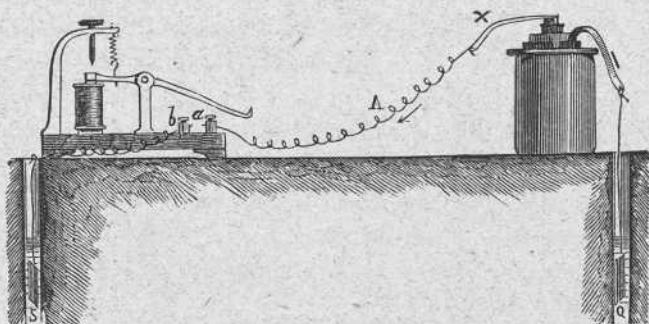


Fig 542.

como indica la figura 542, la corriente se establece como si realmente existiesen los dos conductores. Este fenómeno se ha explicado suponiendo que la Tierra, efecto de su gran sección, podía conducir el fluido eléctrico como un conductor metálico; más hoy se admite que los dos fluidos de la pila se descargan en el suelo á causa de ser éste el *depósito común* y, por lo tanto, el desequilibrio eléctrico se verifica entre ambos polos como si, en efecto, existiese un segundo alambre.

La unión de dichos conductores con el suelo debe ser lo más perfecta posible, y para ello se suelen terminar estos alambres, llamados de *tierra*, por planchas de cobre que se introducen á bastante profundidad, rodeándolos después con coque machacado. Si en las inmediaciones hubiese un pozo de aguas permanentes, bastaría sumergir en él la citada plancha, y mejor aún *soldar* el alambre correspondiente á una cañería de gas ó agua que pudiera haber inmediata.

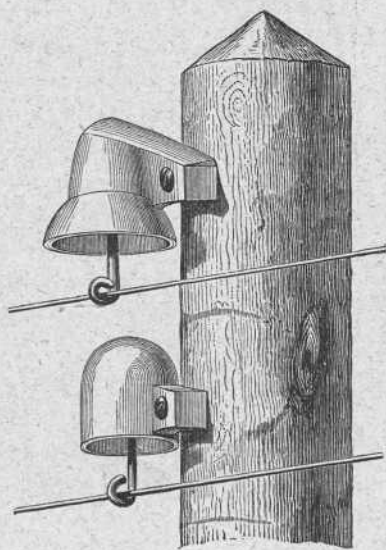


Fig. 543.

1044. Elementos que constituyen un sistema telegráfico.—

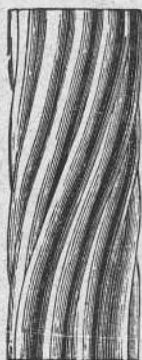
Para establecer una comunicación eléctrica entre dos puntos, más ó menos

distantes, son necesarios los siguientes elementos: una *pila* de corriente constante, un conductor metálico ó *línea*, y el *aparato telegráfico* propiamente dicho.

Las pilas más usadas hoy en las estaciones telegráficas son las de Leclanché, y el número de elementos que suele emplearse para cada línea depende de su longitud, bastando uno de ellos por cada 6 kilómetros, cuando dicha longitud pasa de ciento.

El conductor metálico, ó *línea*, encargado de transmitir la corriente eléctrica, puede ser de una de las tres siguientes clases: *Líneas aéreas*, formadas por un alambre de hierro galvanizado de unos cuatro milímetros de diámetro; este alambre se halla sostenido por unos *aisladores* de porcelana, fijos en unos postes de madera (fig. 543), y empotrados en el suelo á la distancia, unos de otros, de 50 á 60 metros.

Líneas subterráneas, constituidas por un conductor de cobre rodeado de guttapercha. Estos conductores se colocan dentro de una cañería de hierro, provista cada 50 metros de un registro para poder arreglar sus desperfectos, la que va enterrada á más ó menos profundidad, según la naturaleza del terreno.



Líneas submarinas. El conductor de estas líneas está también formado por uno ó varios alambres de cobre forrados de guttapercha, pero se halla, además, protegido, por una envoltura de alambre de hierro ó acero (fig. 544), de los roces que forzosamente ha de sufrir con el fondo del mar en que descansa.

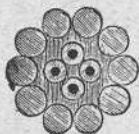


Fig. 544.

Respecto al aparato telegráfico con que han de comunicarse las dos estaciones, enlazadas por el conductor de que hemos hablado, puede elegirse uno de los muchos modelos que existen, de los cuales sólo describiremos los de mayor uso.

1045. Telégrafo de M. Breguet.—En este telégrafo, adoptado generalmente por las Empresas de los ferro-carriles, se usan los caracteres comunes de imprenta para expresar los diferentes signos, por cuya razón no hace falta ningún estudio previo para poder servirse de él.

El *receptor*, visto exteriormente (fig. 545), consiste en una caja de madera, provista en su frente de un disco de cartulina con las veinticinco letras del alfabeto, más una *crúz* que sirve de signo convencional; una aguja colocada en su centro puede recorrer sucesivamente dichas letras, marchando

siempre en el orden en que se escriben, y basta observar en cuál de ellas se detiene un momento dicha aguja para saber la letra que se quiere transmitir.

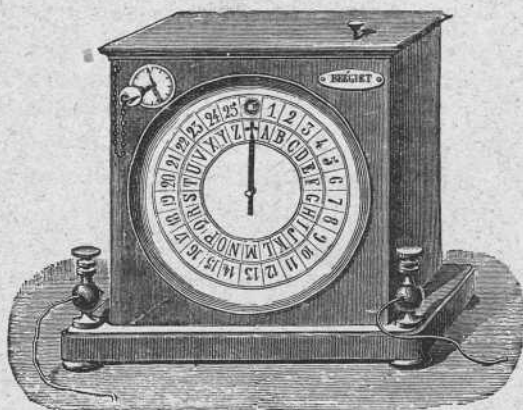


Fig. 545.

En el interior de la caja existe un mecanismo de relojería del que forma parte, como último móvil, una doble rueda *O* (fig. 546), unida al eje de la

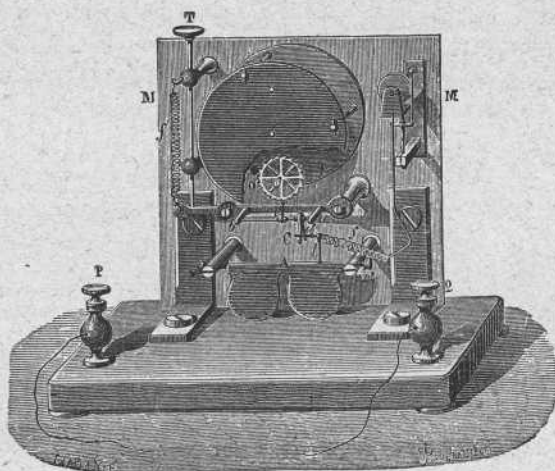


Fig. 546.

aguja indicadora, y provista de tantos dientes como signos tiene el limbo del aparato. El movimiento de esta rueda está regulado por una laminita *i* (figura 547), cuyas oscilaciones son producidas por la armadura de un

electro-imán intercalado en la línea. Al pasar una corriente eléctrica por dicho electro-imán atrae á su armadura, y ésta, por intermedio de unas palancas, hace inclinarse hacia un lado la laminita *i*, dejando pasar un diente de la rueda *o*. Al cesar la corriente eléctrica, se inclina dicha lámina en sentido contrario, por efecto del muelle antagonista, y pasa otro diente de la rueda, habiendo avanzado un signo en cada uno de estos movimientos la aguja del receptor.

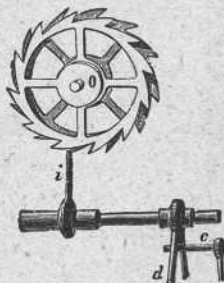


Fig. 547.

Para verificar la emisión de las corrientes que han de originar el movimiento de la aguja del receptor, se usa otro aparato ó *manipulador*, representado en la figura 548, el que consiste en un disco de latón sobre el que se encuentran grabadas las mismas letras y signos que tiene el receptor. Debajo de este disco se halla una rueda festoneada con igual número de partes entrantes y salientes que signos tenga aquél, y su eje va provisto de un manubrio *M*, con el que se señalan las letras que se quieren transmitir; en dicho festón se apoya uno de los extremos de la palanca acodada *T*, de manera que al girar

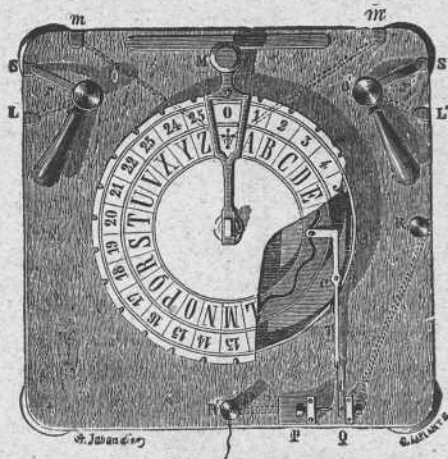


Fig. 548.

aquella oscila dicha palanca alrededor de su eje *a*, obligando á una lámina de platino *l* á tocar alternativamente en los tornillos *P* y *Q*, cerrando de este modo el circuito de la pila con el electro-imán del receptor. De esta disposición resulta que, al avanzar el manubrio *M* seis letras por ejemplo, la corriente se habrá cerrado tres veces y otras tantas habrá quedado interrumpida, por cuya razón la aguja del receptor habrá avanzado igualmente

dichas seis letras; luego si al empezar el telegrama estaban acordes ambos aparatos, seguirá en adelante la concordancia, y podrán comprenderse fácilmente los signos de que conste el despacho.

El telégrafo de Breguet es de fácil manejo y construcción sencilla, pero es algo lento en la transmisión y, sobre todo, presenta el grave defecto de no dejar escrito el telegrama.

1046. Telégrafo de M. Morse.—Este sencillo é ingenioso aparato, ideado por Morse hacia el año 1837, tiene la ventaja sobre el anterior, de dejar impreso el telegrama, y por sus excelentes condiciones ha sido adoptado casi universalmente por todas las naciones.

El receptor de M. Morse, después de importantes mejoras que en él ha introducido M. Digney, consiste (fig. 549), en un electro-imán vertical *A*

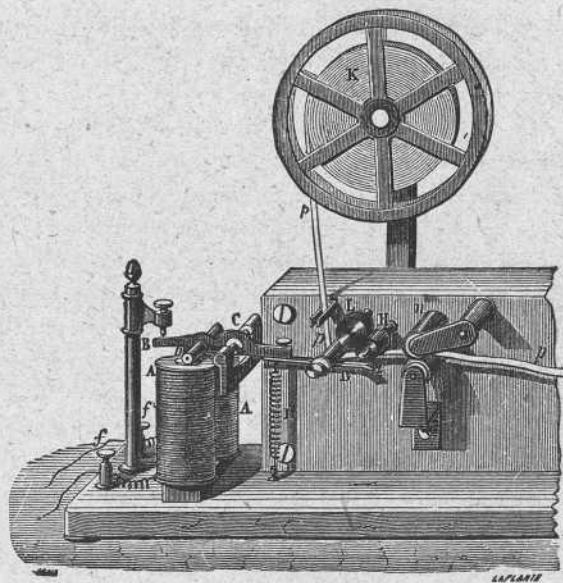


Fig. 549.

fijo en el pie del aparato, cuya armadura cilíndrica *b* se halla unida á una palanca *B C B'*, que puede girar alrededor de su eje *C*. Dos cilindros *m* y *n*, análogos á los de un laminador, y movidos en sentido contrario por un mecanismo de relojería, arrastran con movimiento uniforme una cinta de papel *pp*, arrollada en provisión sobre la polea *K*; esta cinta, convenientemente guiada, pasa por debajo y á muy corta distancia del borde agudo de una rueda *H*, movida por el mismo aparato de relojería citado anteriormente, y su canto se impregna al girar de tinta crasa, que tiene en depósito un rodillo de paño *L*. Además, cuando el aparato no funciona, se puede detener el mecanismo de relojería por medio de una palanca dispuesta al efecto.

Esto supuesto, haciendo comunicar uno de los alambres *f* del electro-imán *A* con la tierra, y el otro *f'* con el de la línea, en el momento que, desde la otra estación, se lance á ésta una corriente eléctrica, la armadura *b* será

atraída por el electro-imán, venciendo la fuerza del resorte antagonista *D*, y el otro extremo *B'* de la palanca, terminado en una especie de uñeta *t*, obliquará á la cinta de papel á tocar en el borde de la rueda *H*, con lo cual quedará marcada una línea de tinta en su parte media. Si cesa la corriente, el muelle antagonista obligará á la armadura á separarse del electro-imán, hasta que el extremo *B* se detenga en el tornillo de tope que tiene encima, y entonces, su otro extremo *B'* descenderá, quedando la cinta de papel separada de la rueda *H*, é interrumpido, por consecuencia, el trazo de tinta. La longitud de éste depende, como es fácil comprender, del tiempo que haya estado cerrado el circuito, y de la velocidad con que giren los cilindros *m n*; así que, verificándolo éstos á razón de dos metros de cinta por minuto, si la corriente dura poco tiempo, apenas habrá podido el papel tocar á la rueda de tinta, y sólo se habrá marcado un punto algo prolongado (-); pero si la corriente fué de alguna duración, el contacto entre la cinta y la rueda *H* habrá determinado en aquélla un trozo más largo(—), fácil de diferenciar del anterior. Ahora bien; combinados convenientemente estos dos signos, llamados generalmente *puntos* y *rayas*, se concibe la posibilidad de formar un alfabeto tan extenso como sea necesario.

Para verificar con facilidad las interrupciones de la corriente, que hemos visto son necesarias para hacer funcionar el receptor de M. Morse, se usa el siguiente *manipulador* (fig. 550). Sobre una tablita resistente puede girar, alrededor de un eje metálico *E*, una palanca de latón *B C*, provista en uno de sus extremos de un agarrador de madera *B*, y en el otro de un tornillo de tope *C*, que limita sus movimientos; debajo de *B* tiene dicha palanca un cono de latón con punta de platino, que coincide con otro idéntico colocado en la tabla del aparato; por último, un muelle situado debajo de la parte *B* mantiene siempre elevada la palanca. Ahora bien; ha-

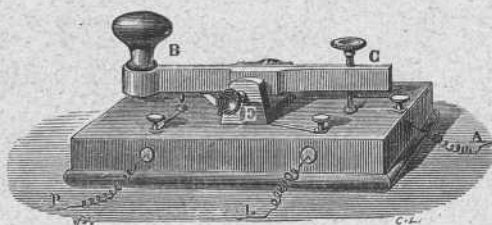


Fig. 550.

ciendo comunicar el polo positivo de la pila con el cono metálico correspondiente al alambre *P*, y el eje de la palanca con el alambre *L* de la línea, la corriente se halla interrumpida tan sólo por el espacio que media entre el cono *B* y la chapa de debajo, y cada vez que se haga descender la palanca, apoyando la mano sobre el agarrador de madera, quedará cerrado el circuito á través del receptor de la otra estación. Esto durará todo el tiempo que se tenga oprimida dicha palanca, y en el momento que se levante la mano, el

muelle de la misma la obligará á elevarse, quedando otra vez interrumpido el circuito.

Vemos, pues, que con este sencillo aparato, se puede abrir y cerrar el circuito con la mayor facilidad durante el tiempo que se quiera, produciendo en el receptor de la estación opuesta los puntos y rayas necesarios para la inteligencia del telegrama.

La elección de los signos que han de representar las diferentes letras, es de gran importancia para la brevedad de las transmisiones, por lo que deben representarse las letras más comunes por los grupos más sencillos. Estudiada esta cuestión con el debido detenimiento, se ha adoptado para todos los países el siguiente alfabeto:

ALFABETO DE MORSE.

a . . .	j	t —	0 —
b —	k — . . .	u . . .	1
c —	l	v	2
ch —	m — . . .	w	3
d —	n — . . .	x —	4
e	o —	y —	5
f	p —	z —	6
g —	q —	punto	7 —
h	r	aviso —	8 —
i	s	fin	9 —

1047. Telégrafo de M. Hughes.—Con objeto de hacer más breve las transmisiones telegráficas, y evitar el uso de signos convencionales para expresar las diferentes letras de un telegrama, ha ideado M. Hughes un aparato que imprime el despacho en caracteres comunes de imprenta, y con mayor rapidez que el de Morse. El fundamento de este ingenioso aparato, representado en la figura 551, es el siguiente. Supongamos colocada verticalmente en cada una de las estaciones que deban comunicarse, una rueda metálica que tenga grabadas en su canto todas las letras del alfabeto, y dispuestas de tal modo que, al girar, se impregnen de tintá crasa de un rodillo colocado á su lado. Estas dos ruedas deben marchar con velocidades *exactamente* iguales, y, además, las diferentes letras han de ocupar relativamente la misma situación; es decir, que si en un momento dado la letra A, por ejemplo, ocupa en la estación de partida la parte inferior de la rueda, debe también en aquel mismo instante estar situada en el mismo punto en la estación de llegada.

Esto supuesto, si se coloca debajo de ambas ruedas, y á poca distancia de su borde, una cinta de papel, como la del telégrafo de Morse, y de tal manera, que pueda elevarse con auxilio de una palanca movida por el electro-imán de la estación correspondiente, y se unen los conductores de ambos electro-imanés con el alambre de la línea y con los polos de la pila, resultará que, lanzando la corriente de ésta en el *momento preciso* en que la letra que se quiere transmitir ocupe la parte inferior de la rueda en la estación de partida, los dos electro-imanés elevarán sus correspondientes palancas, y en la cinta de ambas estaciones quedará grabada la misma letra. Al volver di-

chas palancas á su posición primitiva, un mecanismo especial hace avanzar un poco la tira de papel, y al imprimirse nuevamente otra letra, lo verifica á continuación de la anterior, como sucede en la impresión común.

Desde luego observamos que la condición indispensable, para que este aparato

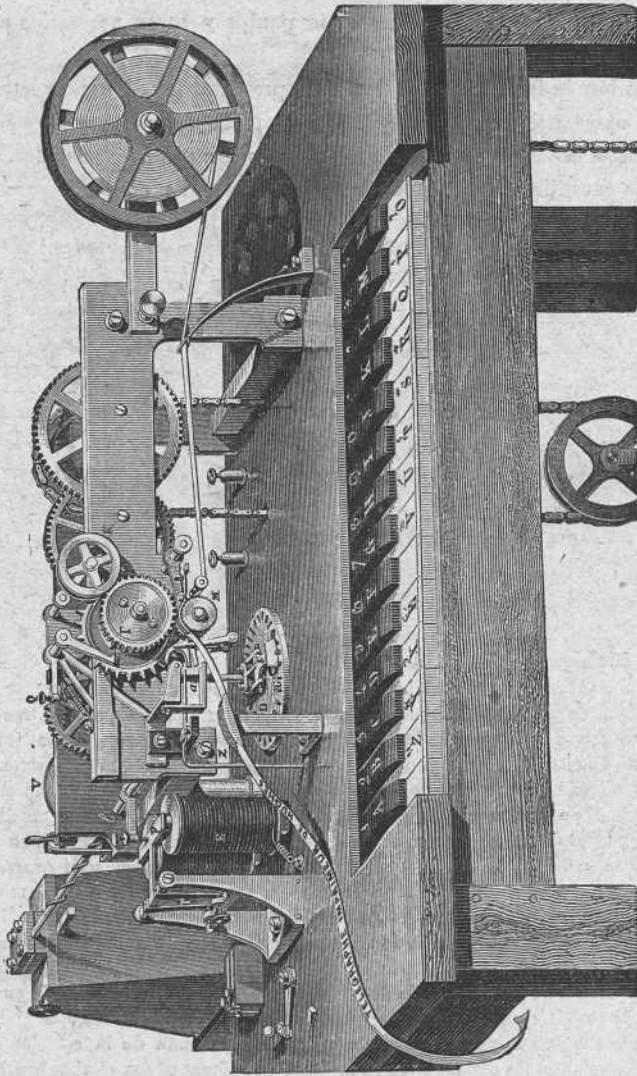


Fig. 551.

funcione con exactitud, es la perfecta igualdad entre las velocidades de las ruedas donde están grabadas las letras, llamadas *de los tipos*. Esta difícil cuestión la ha resuelto M. Hughes, aplicando como motor de su aparato un peso de 60 kilogramos, re-

gularizado en su descenso por la última rueda á que imprime movimiento, según las vibraciones de una lámina de acero, cuyas oscilaciones, sabido es por la mecánica, se verifican con una igualdad matemática.

Últimamente se han inventado otros telégrafos más rápidos aún que el de Hughes, llamados *automáticos*, *múltiples* y de *transmisión simultánea*, pero su examen no entra en el cuadro que nos hemos propuesto y renunciamos por tanto á describirlos.

1048. Telégrafos electro-químicos.—Además de los telégrafos *electromagnéticos*, que acabamos de describir, pueden usarse con el mismo objeto otros aparatos, fundados en la descomposición de ciertas sales por la acción de las corrientes eléctricas; para diferenciarlos de los primeros se les llama *telégrafos electro-químicos*.

El procedimiento más usado en este sistema de aparatos es el *autográfico*, cuyo fundamento es el siguiente: Supongamos (fig. 552) dos cilindros metálicos *C* y *C'*,

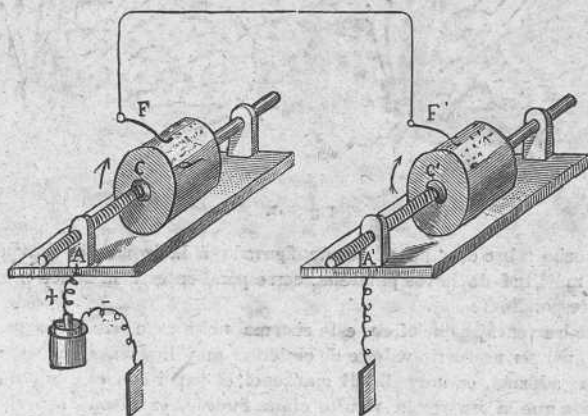


Fig. 552.

que giren con velocidades *exactamente iguales*, colocados en las estaciones que hayan de comunicarse. El de la estación de llegada, ó sea el *C'*, está cubierto por una hoja de papel, introducida previamente en un baño compuesto de 100 partes de agua, 100 de nitrato amónico y 5 de cianuro amarillo de potasio; sobre su superficie se apoya una lámina flexible de hierro *F'* en comunicación con el alambre de la línea.

En la estación de partida, el cilindro *C* está cubierto por una hoja de papel de estaño, sobre la que se ha escrito ó dibujado, con una *tinta aisladora*, el despacho que se quiere transmitir, y en su superficie descansa un muelle metálico *F*, en comunicación, á su vez, con el alambre de la línea; además, los ejes de ambos cilindros terminan en una tuerca practicada en sus apoyos *A A'*, con lo que resultará que, además de girar, avanzan lateralmente.

Esto supuesto, establecidas las comunicaciones con la tierra, línea y pila, como indica la figura, y poniendo á la vez en movimiento ambos cilindros, sucede que, al descansar el estilete *F* sobre el papel de estaño, el circuito de la pila queda cerrado, y al atravesar la corriente el papel químico del cilindro *C'* descompone al cianuro potásico, y el cianógeno resultante se combina con el hierro de la lámina *F'*, formando una línea de *azul de Prusia*, que sólo será interrumpida cuando el muelle *F* llegue á colocarse sobre algún rasgo de la tinta aisladora; cuando esto suceda, el estilete *F'* no dejará impresión ninguna sobre el papel correspondiente, pero en el momento que el muelle *F* vuelva á descansar sobre la superficie del estaño, volverá á producirse en el

cilindro *C'* otra línea azul, como la formada anteriormente. Ahora bien; como los dos cilindros, además de girar, van avanzando lateralmente, resulta que el estilete *F'* recorrerá toda la superficie del papel de estaño, formando una hélice tan unida como sea la del tornillo de su eje, y á su vez el *F'* marcará otra azul sobre el papel químico, interrumpida por trazos blancos correspondientes á los rasgos de tinta de aquél. De aquí resulta, que el dibujo ó escrito hecho sobre el papel de estaño, aparecerá fielmente reproducido en el papel químico por una serie de líneas blancas sobre un fondo azul.

La figura 553 representa, á la derecha, una mariposa reproducida por este medio



Fig. 553.

del dibujo hecho sobre el papel de estaño, figurado á la izquierda; en aquélla se observan una multitud de líneas paralelas, correspondientes á la hélice trazada por el cilindro correspondiente.

Á pesar de las ventajas que ofrece este sistema, no se usan, sin embargo, esta clase de aparatos, por ser necesario valerse de corrientes muy intensas para descomponer la sal indicada; además, es muy difícil mantener el papel con el grado de humedad necesario para que la impresión resulte clara. Sucede, en efecto, que si aquél está poco húmedo, la corriente no puede vencer la resistencia que le opone el papel, y la descomposición del cianuro no se verifica; mas si, por el contrario, tiene un exceso de humedad, se extienden las rayas azules y se confunde lo escrito. No obstante, M. Caselli, á fuerza de paciencia é ingenio, ha logrado establecer su *pantelégrafo*, que ha funcionado con bastante exactitud durante algunos años en las líneas francesas, pero su complicación y difícil manejo hicieron que fuera abandonado completamente.

1049. Aparatos para la telegrafía submarina.—En las líneas de este sistema no es posible valerse de los aparatos que llevamos descritos, pues efecto de la disposición especial del cable, análogo á un gran condensador, no marchan las corrientes con la rapidez necesaria. Sucede, en efecto, que al circular por el conductor de cobre una corriente positiva, se descompone por influencia la electricidad natural de su envoltura metálica, fijándose en ella el fluido negativo, y éste, á su vez, actúa sobre el fluido contrario del conductor de cobre, reteniéndole y evitando su vuelta al estado neutro.

Para evitar este inconveniente, han discurrido los físicos usar en dichos cables corrientes alternativamente positivas y negativas, y de este modo la segunda destruye el efecto de la primera, quedando el cable dispuesto para dar paso á otra nueva corriente.

Otro sistema inventado por M. Varley, consiste en interponer condensadores de una gran superficie entre el cable y los aparatos telegráficos, para que las electricidades de nombres contrarios de que se cargan sus armaduras, se recompongan después á través del mismo cable y de la tierra. El manipulador de este sistema está dispuesto

para producir corrientes alternativamente positivas y negativas, y el receptor, debido á M. Thomson, consiste en un galvanómetro circular sumamente sensible, y de una gran resistencia eléctrica; la aguja magnética de dicho aparato se inclina á derecha ó izquierda, según el sentido de la corriente, y está provista de un espejito circular que refleja los rayos de una lámpara, dispuesta al efecto, sobre una pantalla colocada á cierta distancia en la oscuridad. De este modo resultan muy amplificadas las oscilaciones de dicha aguja; conviniendo, además, en que sus movimientos á derecha ó izquierda representen los puntos y rayas del alfabeto Morse, se puede usar dicho sistema para las transmisiones submarinas.

Este sistema presenta, sin embargo, el inconveniente de no dejar escrito el despacho y cansar bastante la vista del empleado, por lo cual el mismo Thomson ha ideado últimamente un galvanómetro que mueve un ligero sifón de cristal impregnado en tinta, cuya punta se apoya en una cinta de papel movida como en el telégrafo de Morse; de esta manera quedan marcados, en forma zig-zag, los movimientos de la aguja del galvanómetro. Estos aparatos son tan sensibles que se ha podido telegrafiar desde Brest á Terranova, con la misma rapidez que se obtiene en el telégrafo de Morse, valiéndose para ello tan sólo de 5 á 6 elementos de Daniell.

ACCESORIOS DE LOS APARATOS TELEGRÁFICOS.

Los aparatos que acabamos de describir, constituyen la base de la telegrafía eléctrica, pero además son necesarios para el buen uso de aquéllos, ciertos accesorios que facilitan notablemente las diferentes manipulaciones que exige una estación telegráfica. Los que á continuación describimos son los más frecuentemente usados.

1050. Tornillos de empalme.—Á fin de facilitar la unión de los conductores telegráficos con los diversos aparatos de una estación, y establecer entre ellos un contacto íntimo, se usan unas piezas metálicas llamadas *tornillos de empalme*, y también *casquillos ó pmos*. Entre las diferentes formas que éstos pueden afectar, la representada por la figura 554 es de las que mejor se prestan para el uso á que se destinan. En un cilindro de latón de un centímetro de diámetro y tres de altura próximamente, se hallan fijos, por medio de sus correspondientes tuercas, tres tornillos *A B y C*, los dos primeros para sujetar los alambres, introducidos en unos taladros que pasan de parte á parte, y el tercero para fijar el casquillo en el aparato correspondiente. Si alguno de los alambres que se quieren unir es muy delgado, se suelda con estaño á uno más grueso de latón para evitar su rotura. Generalmente se establece la comunicación con el alambre del aparato, introduciendo su punta entre la roldana del tornillo *C* y la tabla del mismo, con lo que queda libre uno de los taladros del casquillo para unirle á otro cualquier conductor.

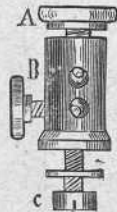


Fig. 554.

1051. Conmutadores.—Con mucha frecuencia es necesario cambiar las comunicaciones establecidas entre los diferentes aparatos de una estación telegráfica, y si bien podría conseguirse esto variando la unión mutua de los alambres, es mucho más cómodo y breve valerse de unos aparatos llamados *conmutadores*.

La figura 555 representa uno de éstos, dispuesto para cambiar alternativamente la comunicación de un conductor con otros dos. En el centro de un disco de madera se eleva una pequeña columna metálica, en cuyo extremo puede girar una lámina de latón, provista de su correspondiente mango aislador; en el borde de dicho disco se encuentran fijos dos botones metálicos, sobre cuya superficie descansa, al pasar, la lámina del centro. Haciendo comunicar ésta y ambos botones, con los conductores cuya mu-



Fig. 555.

tua comunicación quiere cambiarse, sucederá que, cuando la lengüeta central esté colocada sobre el botón de la izquierda, la corriente marchará desde el conductor del centro á dicho botón, y desde allí al aparato á que éste se halle unido, y seguirá por el conductor unido al otro botón, cuando la lengüeta descansa sobre el de la derecha.

Se comprende perfectamente, que este mismo sistema puede extenderse á un número cualquiera de conductores colocados alrededor del disco de madera.

1052. Galvanómetros.—Estos aparatos son de un uso indispensable en las estaciones telegráficas, pues con su auxilio puede averiguarse el estado de conductibilidad de la línea y de los aparatos que figuran en la estación. El galvanómetro que hemos descrito (1012) podría servir para este objeto, pero generalmente se usan otros más sencillos, teniendo en cuenta que las corrientes usadas en la telegrafía tienen una tensión algo considerable. Basta para dicho objeto rodear una brújula sencilla con unas cuantas vueltas de alambre de cobre cubierto de seda, y aquélla, al paso de la corriente, se desviará más ó menos indicando el estado de la línea.

1053. Timbres eléctricos.—Con objeto de evitar la atención constante de los empleados sobre el receptor de una estación telegráfica, se han ideado unos *avisadores ó timbres eléctricos*, que dan á conocer, con su prolongado sonido, el momento en que se quiere mandar algún telegrama desde la estación inmediata.

Muchos son los modelos propuestos para este objeto, pero el que se usa con más frecuencia es el siguiente. Dentro de una caja de madera (fig. 556), se halla colocado un electro-imán *e*, cuya armadura *f* está sostenida en uno de sus extremos por un

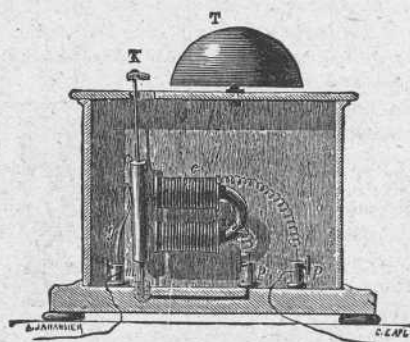


Fig. 556.

muelle antagonista *m*, y termina por el otro en una varilla metálica provista de un macizo *k*. Detrás de dicha armadura se encuentra fija, por su parte inferior, una lámina flexible *g*, cuya extremidad superior descansa en aquélla cuando se halla separada del electro-imán *y*, por el contrario, cesa dicha unión en el momento que este órgano atrae á dicha armadura.

Estableciendo la comunicación de los conductores como indica la figura, la corriente que llega al casquillo *p'*, seguirá por el alambre del electro-imán y continuará, por el pomo *p* y un conductor interior, al muelle de la armadura de aquél, descendiendo después por la lámina *g* y el casquillo correspondiente al otro polo de la pila. Al verificarse esto, se hace activo el electro-imán, y su armadura es atraída fuertemente por éste, produciendo á la vez el martillo *k* un golpe sobre el timbre *T*; mas al mismo tiempo cesa el contacto entre el muelle *g* y la armadura *f*, por cuya razón la corriente queda interrumpida, y entonces el resorte *m* separa la armadura de los polos del electro-imán y establece nuevamente el contacto entre dichos cuerpos; cerrado otra vez el circuito, vuelve el mazo *k* á dar otro golpe sobre el timbre, y así sucesivamente, continuando esta serie de choques mientras dura la corriente de la pila, lo que da origen á un *repique* que puede oirse desde larga distancia.

1054. Pararrayos.—Cuando una nube tempestuosa se encuentra inmediata á una línea telegráfica, sucede que se electriza ésta con un fluido contrario al de dicha nube, y puede adquirir grandes cantidades de electricidad, por estar aislada y tener una masa total considerable. Resulta, además, que á cada variación en la intensidad

eléctrica de aquélla, sufre un cambio análogo la electricidad acumulada en la línea, y esto origina fuertes chispas en las estaciones inmediatas, capaces de fundir el alambre de los aparatos telegráficos y ocasionar graves lesiones al telegrafista encargado de su manipulación. Por último; si llegara á caer un rayo en el alambre de la línea, la electricidad marcharía por ella hasta dichas estaciones, inutilizando seguramente sus respectivos aparatos y pudiendo ocasionar la muerte del empleado que se halle junto á ellos.

Para evitar estos accidentes se han ideado los *pararrayos*, fundados en la propiedad que vimos (933) tiene la electricidad estática, de escaparse fácilmente por los cuerpos terminados en punta. Uno de los diferentes modelos de esta clase de instrumentos es el que representa la figura 557. Sobre una tabla resistente, ó apoyadas en el mismo muro de la estación se encuentran muy próximas dos placas gruesas de latón, terminadas por sus lados inmediatos en una porción de dientes muy agudos; una de ellas está en comunicación directa con la línea por medio del conductor *L*, y la otra con la tierra por intermedio del alambre *T*. La primera está provista de un conmutador de fricción *P*, cuya lengüeta puede descansar, bien en la otra placa, ó ya en una lámina *a* unida á los aparatos de la estación; esta comunicación no se verifica directamente, sino á través de un alambre muy fino de hierro, colocado en el interior de un tubo de cristal.

Esto supuesto, situado el conmutador como indica la figura, la corriente de la pila pasa fácilmente á través de dicho alambre, y la transmisión entre ambas estaciones se verifica como de ordinario; pero si efecto de alguna nube llegasen á la placa *P* grandes cantidades de electricidad estática, ésta se escaparía en su mayor parte por sus puntas, marchando por la otra lámina y el alambre *T* al depósito común, ó bien, si esto no bastase á descargar la línea, fundiría el alambre de hierro contenido en el tubo, dejando completamente aislada la estación.

Vemos, pues, que en todo caso no hay riesgo ninguno, valiéndose de este aparato, en transmitir de una estación á otra, aunque haya alguna nube sobre la línea, pero siempre es prudente, á fin de evitar cualquier desgracia, suspender la transmisión en tales casos, y colocar el conmutador *P* sobre la placa de tierra.

1055. Relevadores.—Sucede á veces en la telegrafía eléctrica que, efecto de presentar la línea mucha resistencia, ó existir en ella derivaciones imposibles de evitar por el momento, llega la corriente de la estación de partida tan debilitada, que no puede hacer funcionar el receptor situado en la estación de recibo. En este caso hay que valerse de unos aparatos llamados por nuestros telegrafistas, *relés*, de la palabra francesa *relais*, que tienen por objeto introducir la corriente de una nueva pila colocada en dicha estación, y que, por este motivo, recibe el nombre de *pila local*.

El *relé* de M. Froment es uno de los que mejor se prestan para dicho objeto. Consiste (fig. 558) en un poderoso electro-imán, unido respectivamente por los extremos de sus hélices al alambre de la línea y á la plancha de tierra; en frente de sus polos se halla colocada una ligera armadura de hierro dulce, terminada por su parte superior en una varilla metálica, que puede oscilar entre dos tornillos, cuyo objeto es limitar la amplitud de sus movimientos y cerrar, por medio del que está colocado á la derecha en la figura, el circuito de la pila local. Para esto comunica dicho tornillo con uno de los alambres del receptor de esta estación, mientras que el eje de la armadura está unido al polo positivo de dicha pila. Por último, un muelle antagonista,

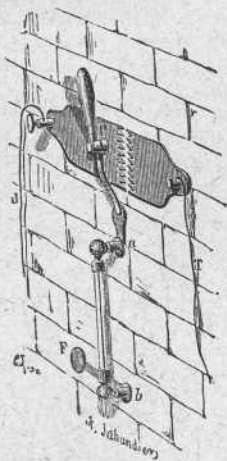


Fig. 557.

regulado por un tornillo fijo en la parte superior é izquierda del dibujo, mantiene á la armadura separada de los polos del electro-imán.

Esto supuesto, aplicando dicho *relé* al telégrafo de Morse, y estableciendo las comunicaciones como indica la figura 559, las corrientes de la estación inmediata llegarán á ésta por el alambre de la línea, y, pasando por los puntos *e* y *a* del manipulador, seguirán por el electro-imán del *relé* *R'*, para marchar después al depósito común por el alambre de tierra; al verificarse esto, es atraída la armadura del *relé*, y la corriente de la pila local se dirige al eje de la misma; desde aquí sigue por su parte superior y tornillo de la izquierda al electro-imán del receptor, dirigiéndose después de hacerle funcionar al polo negativo de dicha pila. Se comprende perfectamente que, cuantas veces sea atraída la armadura del *relé* lo será la del receptor y, por lo tanto, los signos marcados en éste, serán iguales que si hubieran sido producidos directamente por la corriente de la

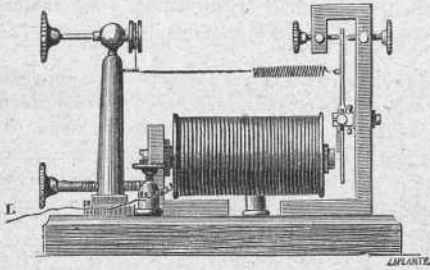


Fig. 558.

Fig. 559. Diagram of a telegraph system showing a local battery (Pila local), a manipulator (Manipulsteur) with points A, B, C, a, b, and a relay (Relé) with points R, R', and a ground connection (Terra). The diagram illustrates the electrical circuit connecting the local battery, the manipulator, the relay, and the line (Ligne).

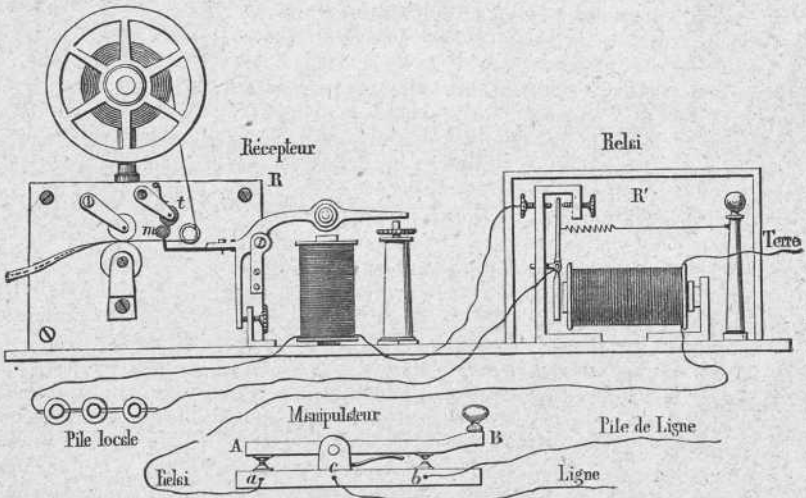


Fig. 559.

línea; además, por muy débil que llegue esta corriente á la estación, tendrá suficiente energía para mover la armadura del *relé*, y en cambio el receptor funcionará por la acción de una nueva corriente tan intensa como sea necesario.

En el primitivo telégrafo de Morse, los signos se producían timbrados en el papel por la presión de una punta de acero, y era indispensable, para obtener una impresión clara, valerse de los *relés*, pero hoy que aquéllos se marcan con tinta, se puede sin inconveniente alguno prescindir de estos aparatos.

1056. Traslatores.—Sucede con mucha frecuencia en el servicio telegráfico

tener que comunicar entre sí dos estaciones no inmediatas, sin que la intermedia tenga necesidad de recibir el telegrama de la primera para repetirlo después á la segunda.

Desde luego se ocurre la posibilidad de conseguir esto, uniendo en la estación inmediata, por medio de un conmutador, el alambre de entrada con el de salida, y así se hace, en efecto, cuando la distancia que separa á las estaciones extremas no es muy considerable, pero si, por el contrario, mediase entre ambas una gran extensión, se comprende fácilmente la necesidad de valerse de otro medio que evite la gran pérdida que experimentarían las corrientes al salvar tales resistencias.

Este problema se resuelve perfectamente por medio de unos aparatos llamados *traslatores*, que en realidad no son otra cosa que dos *relés* colocados en la estación inmediata, y dispuestos para cerrar el circuito de su pila con la estación opuesta á la que transmite; así, llamando *A*, *B* y *C* á dichas estaciones, sucede que las corrientes emitidas por *A*, sólo llegan hasta uno de los *relés* del traslator colocado en *B*, y entónces éste lanza la corriente de su pila á la otra estación *C*; por el contrario, si las corrientes vienen de *C* ponen en movimiento el otro *relé* de dicho traslator, y se cierra el circuito entre *B* y *A*. Se concibe además fácilmente, que por este sistema pueden comunicarse dos estaciones muy distantes, colocando en las intermedias dichos aparatos.

Hoy, sin embargo, que según hemos indicado antes, puede funcionar el receptor de Morse sin auxilio de pila local, se ha simplificado la construcción de los traslatores, suprimiendo uno de los *relés*, el que ha sido reemplazado por el mismo receptor. Para esto se prolonga la palanca en que está fija la armadura del electro-ímán (fig. 552), de modo que venga á chocar, cuando es atraída, con un tornillo colocado debajo, cerrando de este modo el circuito de la pila de la línea con la estación inmediata; así que, en realidad, el receptor hace oficio de uno de los *relés* de los antiguos traslatores.

ARTÍCULO II.

TELÉFONOS.

1057. Transmisión eléctrica del sonido.—La perfección que hemos visto han adquirido hoy día los aparatos telegráficos, y la facilidad con que por ellos puede transmitirse el pensamiento, valiéndose de signos convencionales, no han bastado á satisfacer el deseo de nuevos prodigios en esta materia, y se han querido obtener aparatos que *hablen* por sí mismos.

Desde hace mucho tiempo se había intentado transmitir la *palabra* por medio de la electricidad, valiéndose para ello de aparatos más ó menos ingeniosos, combinados de manera que las vibraciones sonoras, recibidas en el manipulador, se transformasen en corrientes eléctricas; éstas, después de recorrer la línea, debían originar los sonidos correspondientes en el receptor de la otra estación. Cierto es que con estos aparatos se había logrado transmitir con bastante claridad los sonidos musicales, lo que en realidad constituía por sí solo un gran triunfo en la cuestión; pero la *palabra articulada*, esa mezcla heterogénea de vibraciones á cual más diferentes, siempre se había resistido á ser reproducida de esta manera, hasta que M. Graham Bell,

con un ingenio superior á toda ponderación, resolvió, en 1876, dicho problema del modo más sencillo que pudiera concebirse.

1058. Teléfono de M. Bell.—Este aparato, llamado con razón por W. Thomson, *maravilla de las maravillas*, consiste (fig. 560) en una espe-

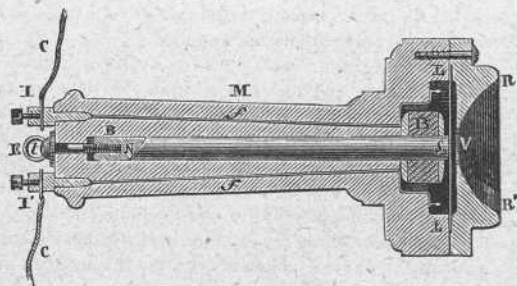


Fig. 560.

cie de caja circular de madera, provista de un mango *M*, de la forma que indica el dibujo. En su interior se halla fijo, por su extremo *B*, un imán cilíndrico *NS*, que lleva en su polo libre *S* un pequeño carrete de madera, rodeado por un

alambre fino de cobre cubierto de seda, cuyos extremos van á unirse á los casquillos de empalme *II'*, por medio de los conductores *ff*. Delante del polo *S*, y á muy corta distancia, se encuentra extendida una lámina muy delgada de hierro dulce *LL*, sujeta por tornillos entre la parte superior del aparato y una boquilla de madera *RR'*, perforada en su centro *V*. Por último, el imán puede aproximarse ó separarse de la lámina *LL* por medio del tornillo regulador *E*, colocado en el extremo del mango *M*.

Esto supuesto, uniendo por medio de los conductores metálicos *CC* dos aparatos iguales al que acabamos de describir, si se habla delante de la boquilla de uno de ellos, las ondulaciones producidas en el aire por la voz ponen en vibración la lámina de hierro del aparato, con una amplitud y velocidad proporcionadas á la de aquel fluido; estas vibraciones, á su vez, haciendo variar la intensidad del imán *NS*, originan en la bobina *B* una serie de corrientes inducidas, las cuales, al llegar al carrete del otro aparato, modifican el estado magnético del imán, y, en su consecuencia, la lámina de hierro colocada cerca de él experimenta una serie de atracciones, más ó menos rápidas é intensas, que dan origen á la repetición de las palabras pronunciadas en el teléfono transmisor.

Cierto es que las palabras producidas por el receptor son muy débiles y tienen un timbre metálico característico, pero no por eso dejan de ser perfectamente claras, sobre todo, aplicando el oído á la boquilla del aparato.

Después de la admirable invención de M. Bell, se ha tratado de perfeccionar tan ingenioso instrumento, principalmente en lo que se refiere á la poca intensidad de los sonidos resultantes, habiéndose conseguido por medio de los *micrófonos*.

1059. Micrófonos.—Una vez descubierto el teléfono, y valiéndose de él como medio de hacer sensibles al oído las vibraciones de los cuerpos, M. Hughes ha ideado un instrumento, por medio del cual se amplifican extraordinariamente los sonidos que se producen en las inmediaciones de dicho aparato.

Su principio está basado en la propiedad que presentan ciertos cuerpos en polvo, y principalmente el carbón calcinado, de permitir el paso al fluido eléctrico con tanta más facilidad, cuanto más comprimidos se hallen. Dicha propiedad era conocida desde hace bastante tiempo, pero á pesar de todo, no se había sacado partido de ella hasta en 1876, en que M. Edison la aplicó á un sistema especial de teléfonos.

Muchas son las disposiciones adoptadas para el *micrófono*, pero la siguiente, debida á M. Hughes, es de las que mejor se prestan á una porción de curiosas experiencias.

Consiste éste (fig. 561), en un prisma de madera *M*, colocado verticalmente sobre una tabla horizontal; dicho prisma tiene fijos en una de sus caras dos cubos de carbón de retorta *A* y *B*, en los que se ha practicado una cavidad semi-esférica, para contener las puntas de un doble cono de carbón *C*, de unos cuatro centímetros de largo y medio de diámetro; por último, dos contactos metálicos ponen en comunicación, por medio de conductores de cobre, dichos cubos con un teléfono *T* y con los polos de una batería voltaica *P*.

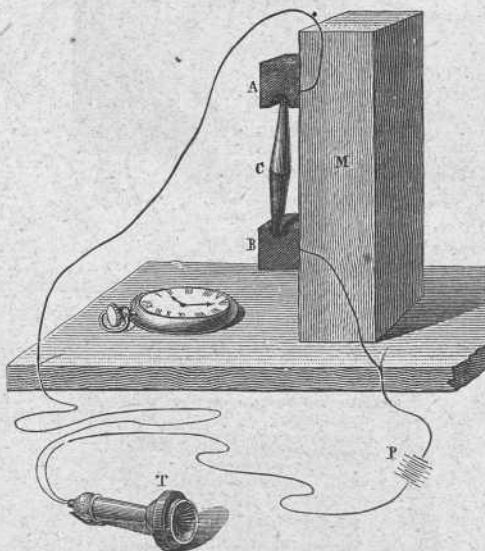


Fig. 561.

Esto supuesto, colocando encima de la tabla del aparato un reloj de bolsillo en marcha, los movimientos de su volante producen en aquella ciertas vibraciones, que son transmitidas por el prima *M* á los cubos de carbón *A* y *B*; á su vez estas vibraciones establecen grandes diferencias en los contactos del doble cono *C* con dichos cubos, los que originan cambios análogos en la intensidad de la corriente, y, como consecuencia, la lámina de hierro del

teléfono vibra de un modo semejante, produciendo un sonido mucho más intenso que el del reloj.

1060. Micro-teléfonos.—Con objeto de aunar las ventajas que separadamente presentan el teléfono y los micrófonos, se han construido diferentes aparatos en los que el emisor, principalmente, participa de las propiedades de ambos. Entre los muchos modelos ideados con este objeto, el de M. Ader es uno de los que dan mejores resultados.

El emisor de este sistema consiste (fig. 562), en una caja de madera en forma de pupitre, colocada en una tabla adosada al muro en que se fija el

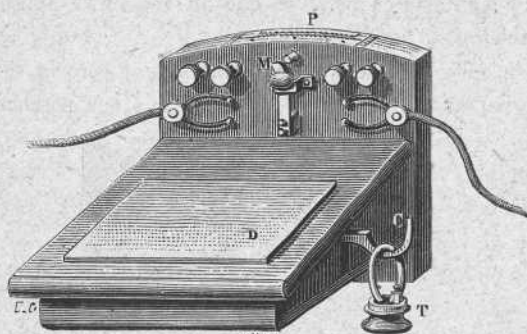


Fig. 562.

aparato. La tapa *D* de esta caja está constituida por una lámina muy delgada de pinabete, para que vibre fácilmente al hablar cerca de ella; en su cara inferior lleva fijas tres barritas de carbón de Bunsen *a b c* (fig. 563), sobre las que descansan, colocados perpendicularmen-

te, varios cilindros *E E* de la misma substancia, constituyendo su mutuo contacto un micrófono múltiple. Con objeto de avisar á la otra estación lleva, además, el aparato un transmisor *M*, que cierra el circuito de la pila con el

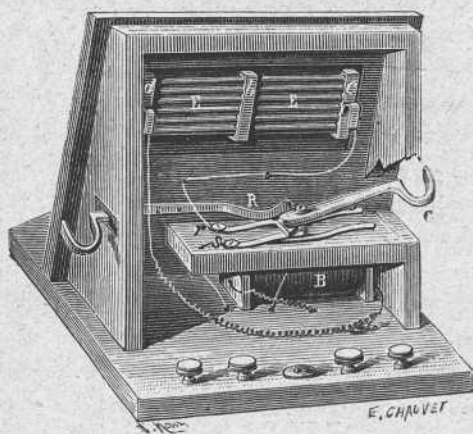


Fig. 563.

timbre de aquella, y para evitar los efectos de la electricidad atmosférica está provisto el aparato de un pararrayos *P*. En uno de los lados del emisor hay un gancho *C*, donde se cuelga, cuando no se habla, uno de los teléfonos *T*, el cual hace bascular con su peso un conmutador que intercala en el circuito el timbre del aparato, dejándole dis-

puesto para avisar cuando

llamen de la otra estación. Los teléfonos que usa M. Ader se diferencian de

los que hemos descrito anteriormente en que el imán está encorvado en forma de anillo, con lo que se hacen más cortos y manejables.

Para establecer una rez telefónica hay que unir el aparato de cada uno de los abonados con la estación central, por medio de un conductor que suele ser de bronce silicioso, haciendo la tierra el papel de segundo conductor, como en los telégrafos: pidiendo á la *Central* comunicación con tal número, ésta reune, por medio de unos conductores flexibles, los hilos telefónicos de los dos abonados, en cuyo caso éstos pueden conversar como si estuvieran en comunicación directa.

Con este aparato se logra una transmisión bastante clara é intensa, sobre todo convirtiendo en inducidas las corrientes de la pila. La ventaja que resulta en todos los micrófonos de sustituir dichas corrientes á las directas, fué observada la primera vez por M. Elisha Gray en sus investigaciones telefónicas, y se obtiene fácilmente haciendo que la corriente de la pila, además de pasar por el micrófono, pase también por el alambre inductor de una bobina de Ruhmkorff alojada dentro de la caja, cuyo conductor inducido se pone en comunicación con el teléfono receptor; de esta manera ganan mucho en tensión las corrientes, y la intensidad de los sonidos producidos aumenta considerablemente.

El uso del teléfono, como telégrafo para el interior de las poblaciones, se va extendiendo de un modo considerable por los beneficios que reporta, tanto al comercio como á los particulares, y es rara la población de alguna importancia que carezca ya de este adelanto.

1061. Fotófono.—Este aparato, inventado por M. Bell, tiene por objeto transmitir los sonidos por medio de las vibraciones luminosas. Está fundado en la propiedad que presenta el *selenio*, observada por M. Smith en 1873, de conducir mejor el fluido eléctrico cuando se halla sometido á la luz de un foco intenso que cuando está sumido en la oscuridad.

Después de un detenido examen, ha podido comprobar J. Tyndall que no son las vibraciones luminosas, sino las caloríficas, las que hacen variar la resistencia eléctrica de aquel metaloide, y en este caso no tiene el fotófono la importancia que se creyó en un principio, puesto que las vibraciones del calor alcanzan á muy poca distancia con la energía necesaria para producir efectos sensibles.

ARTÍCULO III.

RELOJES ELÉCTRICOS.

1062. Objeto de los relojes eléctricos.—La prodigiosa velocidad con que se propaga el fluido eléctrico á lo largo de los cuerpos buenos conductores, ha hecho pensar en servirse de este agente para conseguir un perfecto acuerdo entre varios relojes, unidos entre sí por hilos metálicos, cuestión que desde luego se comprende es de la mayor importancia en las líneas férreas, en la determinación de las longitudes geográficas, en las poblaciones grandes y en otra porción de casos.

1063. Instalación de los relojes eléctricos.—Para establecer un sistema de relojes eléctricos pueden seguirse varios procedimientos, siendo uno de los más sencillos el siguiente:

Un buen *péndulo de segundos*, movido como de ordinario por un peso ó muelle, está encargado de lanzar, de tiempo en tiempo, la corriente de una



Fig. 504.

pila sobre una serie de *contadores*, y éstos, una vez puestos acordes con dicho péndulo ó *regulador*, indicarán exactamente la misma hora que

aquél. Para ello basta poner en la parte superior del vástago del péndulo, y á cada uno de sus lados, unos contactos de platino *P P'* (fig. 564), los que al oscilar aquél se encuentran con unos muelles muy finos, que no evitan el movimiento oscilatorio del péndulo, y cierran á cada segundo el circuito de una pila en el que están intercalados los contadores. Poniendo éstos acordes con el péndulo, se comprende que todos marcharán indicando la misma hora.

Entre los diferentes modelos de contadores que se usan, uno de los mejores es el que representa la figura 565, debido á M. Froment. Consiste en un electro-imán *E*, cuyo conductor forma parte del circuito que cierra el regulador de tiempo; al pasar la corriente atrae una armadura de hierro dulce *d' b*, unida por su extremo *b* á un sistema de tres varillas *b c*, *c a* y *c l*, articuladas en *c* bajo la forma que indica el dibujo. La varilla *c l* está, además, unida en *l* á la pieza acodada *l o n*, la que puede

girar alrededor del punto O , y se halla provista de una uñeta de acero n que engrana, al moverse, en los dientes inmediatos de la rueda R , primera de un sistema de móviles que forman la *cuadratura* del contador.

Cuando pasa la corriente por el electro-imán de este aparato, gira su armadura alrededor del punto d , y su otra extremidad b obliga á ponerse en línea recta á las piezas $c a$ y $c b$; á la vez, la varilla $l c$ marcha hacia la izquierda y levanta la uñeta n , la que, encontrando á la rueda R , la hace avanzar un diente. Al cesar luego la corriente eléctrica, el muelle S obliga á todas las piezas á colocarse en la misma posición que tenían antes,

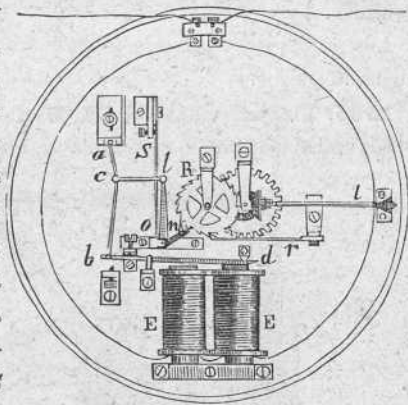


Fig. 565.

menos á la rueda R , que no la permite retroceder otra uñeta r colocada convenientemente. Puede parecer al pronto superfluo el sistema de varillas articuladas $a c b$ sobre que actúa la armadura del electro-imán; pero tiene por objeto transmitir á la uñeta n un movimiento uniforme, evitando el choque brusco que de otra manera tendría lugar con la rueda R . Por último, á fin de poner en hora con facilidad estos contadores, tienen una varilla t que puede girar desde fuera de la caja del aparato por medio de una llave cuadrada, y por el intermedio de una rueda de ángulo, fija en su otro extremo, pone en marcha todo el rodaje del instrumento.

ARTÍCULO IV.

MOTORES ELÉCTRICOS.

1064. Fundamento de estas máquinas—La facilidad con que puede imanarse por medio de las corrientes eléctricas una barra de hierro dulce, perdiendo tan luego como cesa dicha corriente su fuerza atractiva, permite obtener con facilidad un movimiento alternativo en la armadura de dicha barra. Este movimiento alternativo puede luego transformarse en giratorio por los medios conocidos en Mecánica, originándose, por lo tanto, un aparato que se moverá con más ó menos energía por la acción de una corriente eléctrica; estos aparatos han recibido el nombre de *motores eléctricos*, y si bien es cierto que económicamente no pueden competir con las máquinas de

vapor, no lo es menos que tienen sobre ellas grandes ventajas, siendo en algunos casos, como en la navegación aérea y submarina, de un uso indispensable.

Los principales electro-motores que hoy se conocen pueden reducirse á los siguientes tipos.

1065. Electro-motor de M. Bourbouze.—En esta máquina (figura 566), un balancín análogo al de las máquinas de vapor, recibe un movimiento

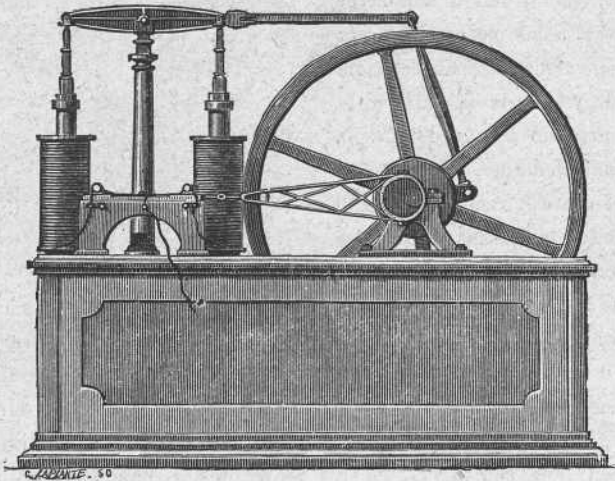


Fig. 566.

alternativo por la acción de dos electro-imanés colocados á diferente lado de su punto de apoyo. Para esto, las barras de hierro de dichos electro-imanés sólo ocupan la mitad inferior del hueco de los carretes, y en el vacío que queda en su parte superior penetran, al descender, otras dos barras de hierro articuladas en los extremos del balancín. Colocando el aparato en la posición que indica la figura, y haciendo pasar la corriente de una pila por el electro-imán de la izquierda, las barras correspondientes serán atraídas por dichas hélices, é inclinándose el balancín hacia este lado, obligará á girar al volante de la máquina por el intermedio de la biela y manivela de que se halla provista. Al mismo tiempo, las barras del segundo electro-imán se habrán elevado, llegando á lo más alto de su carrera; y si en este momento se hace pasar la corriente por el electro-imán á que corresponden, serán atraídas, á su vez, hacia el anterior de sus respectivos carretes, y el volante girará otra media vuelta, y así sucesivamente.

Este cambio de corrientes á cada media vuelta del volante, se verifica automáticamente por medio de una éxcéntrica unida á su eje, la que pone

en movimiento un conmutador á propósito colocado cerca de los electro-ímanes; así es que, una vez iniciado el movimiento, este aparato marcha por sí solo como una máquina de vapor, mientras la pila produzca una corriente de suficiente intensidad.

1066. Electro-motores de reversión.—Los primeros electro-motores que se inventaron, produjeron un gran entusiasmo, pero en la práctica presentaban una dificultad insuperable, cual es el precio á que resultaba la fuerza desarrollada. En efecto; hasta hace poco tiempo no se conocía otro medio para obtener corrientes de cierta intensidad que la pila de Bunsen, y en ella el zinc que se *quema*, es un combustible demasiado caro para hacer competencia á la *ñulla*; más desde la invención de las máquinas dinamo-eléctricas, la cuestión ha variado completamente de aspecto, y se empieza á sospechar si podrá ser económico valerse de aquellos aparatos para transmitir la fuerza á distancia.

Se ha observado, además, que todas las máquinas dinamo-eléctricas, capaces de producir por su rotación una corriente continua, se convierten en electro-motores haciendo pasar por ellas una corriente eléctrica en sentido opuesto. Bajo este principio, llamado de *reversión*, las máquinas de Gramme y Siemens son los electro-motores más enérgicos que se conocen; esta última, sin embargo, debe modificarse cuando se destina á este objeto, dando una forma helicoidal á los sectores en que termina lateralmente la bobina interior, con objeto de evitar en lo posible la duración de los *puntos muertos*. Esta modificación, ideada por M. Trouvé, le ha servido de base para construir pequeños electro-motores animados por pilas de Bunsen, los que, con un gasto relativamente pequeño, pueden poner en movimiento una máquina de coser, un torno de poca fuerza, ó cualquier otro aparato de los que se emplean en las pequeñas industrias.

Aplicando las máquinas dinamo-eléctricas de Gramme y Siemens, tanto para electro-motores como para producir la corriente necesaria, se han hecho ensayos muy notables con objeto de mover diferentes máquinas agrícolas y utilizar la tracción eléctrica, habiendo ya instalados en muchos puntos de Europa y América tranvías eléctricos que funcionan con gran regularidad.

Estos ensayos prueban que, si bien hasta ahora no hay economía en la generalidad de los casos, en sustituir al vapor por la electricidad, puede, sin embargo, ser éste el único medio de aprovechar ciertas fuerzas naturales, como los saltos de agua, perdidas hoy por la dificultad de instalar á su lado una industria que las aproveche; transportando su energía, por medio de dichas máquinas y cables á propósito, al interior de las poblaciones, resultaría muy económica la fuerza transmitida.

Contadores de las corrientes eléctricas.—Una interesante aplicación de los motores eléctricos es el uso que de ellos ha hecho E. Thomson para construir un aparato que mide el consumo de electricidad que tiene lugar en una aplicación cualquiera de este agente.

El fundamento del citado *contador* es el siguiente: La corriente que se quiere medir circula por unos carretes rodeados de alambre grueso de cobre, los que actúan por inducción sobre un inducido análogo al del dinamo Siemens (1030). Dicho inducido está montado en derivación sobre dos puntos de entrada y salida de la corriente que se quiere medir, y el alambre que le forma presenta una resistencia tal, que sólo puede pasar por él una corriente igual á 0,1 de ampère. El eje de este órgano tiene en uno de sus extremos un tornillo sin fin, el que engrana en un sistema de ruedas dentadas, análogas á las que forman el contador de vueltas de la Sirena (632). El otro extremo de dicho eje va provisto de un freno electro-magnético, formado por un disco de cobre y tres imanes en herradura, entre cuyas ramas pasa al girar el plano de aquél.

Esto supuesto, al pasar por el inductor la corriente que se trata de medir, hace girar el árbol en que está montado el inducido, y el contador de vueltas indicará las revoluciones verificadas por aquél. Al mismo tiempo se originan en el disco de cobre, bajo la influencia de los imanes, una serie de corrientes inducidas que tienden á paralizarle, por cuyo motivo, el movimiento giratorio del eje del inducido se verifica con uniformidad y en proporción con la energía de la corriente que circula por el inductor. Bastará, por lo tanto, contar el número de vueltas que acusa el contador por el paso de una corriente de potencia conocida, para graduar el aparato de modo que indiquen las agujas el número de *wats* que se crea conveniente.

Á fin de evitar todo género de influencias extrañas en el movimiento de este ingenioso aparato, ha creído conveniente su autor suprimir los haces de hierro dulce que generalmente figuran en todos los motores eléctricos.

Hoy, que se distribuye la electricidad producida por grandes dinamos para aplicarla al alumbrado particular y á otros diversos usos, es indispensable el empleo de dicho contador, ó de otros análogos, para medir la corriente que consume cada abonado.

LIBRO QUINTO.

METEOROLOGÍA.

Introducción.

1067. Objeto y división de la Meteorología.—La *Meteorología* tiene por objeto el estudio de los fenómenos físicos que se verifican en la atmósfera y superficie terrestre. Estos fenómenos pueden referirse á la temperatura, humedad, densidad del aire, etc., cuyas variaciones originan á su vez otros fenómenos pasajeros, llamados *meteoros*, tales como la *lluvia*, los *vientos*, etc.

La causa primera de los cambios que se observan en la atmósfera y superficie terrestre es el Sol. Él es, en efecto, el que determina la temperatura de los diferentes puntos del globo; á la acción de sus rayos se debe el desequilibrio que se nota en la presión del aire de unas á otras comarcas y, como consecuencia, los vientos que recorren la superficie terrestre; por su influjo se verifica la evaporación de las aguas y condensación consiguiente y, por último, la luz que nos envia origina, en condiciones determinadas, el arco iris y demás fenómenos luminosos.

Estos diferentes meteoros han recibido los nombres de *aéreos*, *acuosos*, *luminosos*, etc., con arreglo al origen de que dinamam.

La Meteorología puede dividirse en dos partes bien distintas; la primera, ó *teórica*, estudia las causas productoras de los diferentes meteoros y las relaciones é influencia que entre sí pueden tener; la segunda, ó *práctica*, procura averiguar el tiempo futuro, por los datos que la suministra la observación de los meteoros en un momento dado. Esta segunda parte, llamada *previsión del tiempo*, está desgraciadamente muy poco adelantada, y nosotros sólo indicaremos los principales resultados á que modernamente se ha llegado.

CAPÍTULO PRIMERO.

Temperatura.

1068. Temperatura del aire.—Una de las causas que más directamente influyen en la producción de los meteoros es la temperatura del aire; de aquí que sea importante determinarla con exactitud.

Para conseguirlo hay que valerse de termómetros bien contruidos, y situarlos en condiciones que no pueda influir sobre ellos la radiación de los objetos inmediatos. Uno de los mejores procedimientos consiste en colocar los termómetros en una especie de armario, por cuyo interior circula libremente el aire, para lo cual sus paredes, techo y fondo están contruidos en forma de persianas. Dicho armario ha de estar colocado á metro y medio del suelo, y en un sitio descubierto, para que circule el aire en todos sentidos; debe estar, además, protegido de la lluvia por un techo de madera, á fin de que en ningún caso puedan mejorarse los termómetros del interior.

Observando la marcha de un buen termómetro en las condiciones que acabamos de indicar, se nota que, á partir de la hora del crepúsculo de la mañana, se va elevando la temperatura del aire, hasta próximamente las dos de la tarde en invierno y las tres en verano, á cuyas horas llega á su máximo; desde esta hora comienza á descender, hasta llegar á un *mínimo* que coincide aproximadamente con los primeros albores del día. Fácil es comprender por qué no coincide la temperatura máxima del día con la hora de las 12, en que el Sol está á su mayor altura sobre el horizonte. Resulta, en efecto, que la Tierra, al mismo tiempo que se calienta por la influencia solar, se enfría por radiación hacia el espacio, y á las 12 del día los rayos que absorbe tienen mayor intensidad que los que emite, aumentando por consiguiente la temperatura hasta las dos ó las tres de la tarde en que se iguala la intensidad de dichos rayos. Desde dicha hora empieza á enfriarse más que se calienta, hasta que, poco antes de salir el Sol, vuelve á recibir más calor que pierde.

Se comprende desde luego que, para definir la temperatura de una localidad, será necesario deducir de las observaciones practicadas á diferentes horas, la *temperatura media* de todo el día, y para conseguirlo con exactitud, el mejor procedimiento consiste en observar el termómetro de hora en hora; sumando después los grados obtenidos en las 24 observaciones, y dividiendo el resultado por 24, tendremos evidentemente la *temperatura media de aquel día*.

Se comprende fácilmente lo penoso de este trabajo, y á fin de evitarlo, se han hecho repetidos cálculos para averiguar á qué horas es necesario consultar el termómetro, para que, con dos ó tres observaciones, pueda fácilmente obtenerse la media diurna. El resultado de estas investigaciones ha sido algo diferente de unas localidades á otras, pero en Madrid puede aceptarse, como muy aproximado á la verdad, las nueve de la mañana, las tres de la tarde y las nueve de la noche. Aun hay otro medio más sencillo para deducir la temperatura media de un día; observando la *máxima* y *mínima*, por medio de los termómetros destinados á este objeto, y dividiendo por 2 la suma de sus indicaciones, se obtiene, sin error sensible, dicha media diurna.

Averiguada la temperatura media de un día, puede hallarse la *media mensual* sumando las 30 ó 31 medias diurnas, y dividiendo por 30 ó 31 el resultado. Del mismo modo, para encontrar la *temperatura media anual* se suman las doce medias mensuales, y se divide por 12 el total. Á continuación exponemos una tabla que expresa la temperatura media anual de algunas poblaciones del mundo.

TEMPERATURA MEDIA Á DIFERENTES LATITUDES.

POBLACIONES.	LATITUD.	TEMPERATURA.	POBLACIONES.	LATITUD.	TEMPERATURA.
Abisinia.....	15° 10' N....	31°,0	Madrid.....	40° 24' N....	15°,7
Calcuta.....	25° 33' N....	26°,5	Pekin.....	39° 54' N....	12°,7
Manila.....	14° 35' N....	27°,9	Paris.....	48° 50' N....	10°,8
Habana.....	25° 9' N....	26°,4	Ginebra.....	46° 11' N....	5°,7
Fernando Póo.....	3° 45' N....	26°,6	Stokolmo.....	59° 20' N....	5°,6
Río Janeiro.....	22° 54' S....	25°,1	Moscou.....	55° 45' N....	3°,6
El Calro.....	36° 2' N....	22°,4	Monte de San Gotardo..	46° 30' N....	— 1°,0
Nápoles.....	40° 51' N....	16°,7	Mar de Groenlandia....	75° N....	— 7°,7
Marsella.....	43° 17' N....	14°,1	Isla de Melville.....	75° 5' N....	—18°,7

1069. Líneas insotermas.—Si se reúnen en un mapa, por medio de líneas, los diferentes puntos del globo en que la temperatura media anual es idéntica, resultan unas curvas muy importantes, ideadas por Humboldt, que han recibido el nombre de *líneas insotermas*. Estas curvas no siguen, como al pronto pudiera creerse, la dirección de los paralelos geográficos, de los cuales se separan, sobre todo, en el interior de los continentes. Pueden trazarse líneas insotermas atendiendo á la temperatura media de un día determinado, de un cierto mes, ó bien la de todo un año. Se comprende fácilmente la importancia del estudio de estas curvas, pues que por ellas pueden deducirse las relaciones que existen entre las temperaturas de diferentes localidades.

Estudiando las isotermas correspondientes al mes de Enero, se observa

desde luego un minimum de temperatura (fig. 567), que pasa de 43° bajo cero, y corresponde á la Siberia, cerca de Iakoutsk, habiendo bajado el termómetro en algunas ocasiones á — 63°,2; además, resulta de la inspección de esta carta, la influencia que ejercen los mares sobre la temperatura de la Tierra, la cual se enfría más que aquéllos durante el invierno y se calienta más que el mar durante el verano, consecuencia legítima de la gran capacidad colorífica que el agua posee.

La carta correspondiente á las isotermas de Julio (fig. 568) manifiesta, á su vez, que existen en el África y en el Asia varios máximos de temperatura, en que ésta alcanza 35°, habiendo llegado accidentalmente á 67°,7, en el país de los Tonaregs, hacia la parte media del desierto de Sahara.

1070. Variaciones anuales de temperatura.—Si durante un año se observan los termómetros de máxima y mínima, colocados en diferentes parajes de la Tierra, se notará que mientras en unos puntos no pasa de 8° la diferencia de aquéllos, en otros alcanza un valor de 30 ó más grados. Estas diferencias caracterizan el clima del país á que corresponden, y con arreglo á ellas se han dividido aquéllos en *regulares*, *moderados* y *excesivos*.

En los climas *regulares*, llamados también *marinos*, la diferencia entre la temperatura media de verano y la de invierno no pasa de 6 á 8°, así sucede en Cayena, San Francisco, Batavia, etc.

En los climas *moderados* suele haber una diferencia de 16 á 20° entre las temperaturas medias de verano é invierno, como acontece en París, Roma, Buenos Aires, etc.

Por último, en los climas *excesivos*, llamados también *continentales*, llega dicha diferencia á 30 ó más grados, correspondiendo á los mismos, Madrid, Viena, Nueva York, etc.

1071. Condiciones que determinan la temperatura media de los diferentes puntos del globo.—La primera causa que influye para hacer más ó menos elevada la temperatura media de un lugar es su latitud. En efecto; á medida que aumenta la latitud de un paraje, disminuye la altura del Sol sobre su horizonte y, por consecuencia, los rayos de este astro, cayendo más oblicuamente, han de perder en su intensidad con arreglo á la ley que ya conocemos (pág. 369). El decrecimiento de temperatura con relación al aumento de latitud, no es el mismo en todas partes, pero en general se obtiene la disminución de 1° por cada 185 kilómetros que se avanza hacia los polos.

Otro factor importantísimo para la cuestión que nos ocupa es la altitud del punto que se considere. Se observa, en efecto, que á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar decrece la temperatura del aire, dependiendo

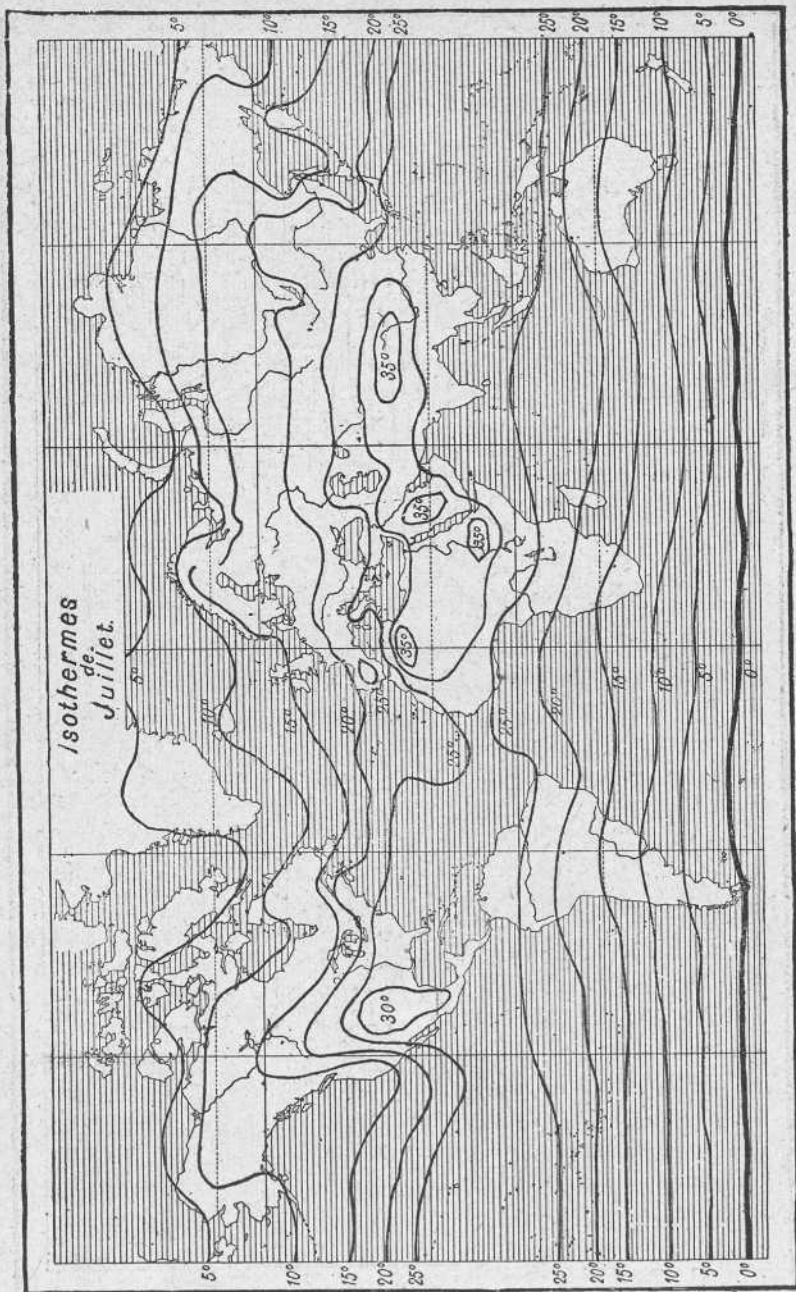


Fig. 568

este descenso, en primer lugar, de la diatermancia del aire, y en segundo de la dilatación que experimenta dicho fluido en las altas regiones, dilatación que lleva consigo un enfriamiento considerable. La disminución de temperatura por esta causa se ha calculado que equivale, aproximadamente, á 1° por 180 metros de elevación.

Además de estas causas generales, influyen en la temperatura media de un lugar otras particulares y relativas al paraje en cuestión, como son la proximidad al mar, vientos dominantes, exposición, naturaleza del terreno, etcétera.

1072. Región de las nieves perpetuas.—Puesto que á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, decrece rápidamente la temperatura, llegará un caso en que ésta no pase de 0°, y desde este limite los vapores de agua, al condensarse, darán origen á nieves que nunca se liquidarán. Bien se comprende que esta región de nieves perpetuas se hallará tanto más elevada sobre el nivel del mar, cuanto más nos aproximemos al Ecuador, en el que no se presentan hasta unos 5.000 metros, mientras que en latitudes mayores, como en Islandia aparecen á menos de 1.000.

1073. Temperatura del suelo.—Como la Tierra es un cuerpo que conduce mal el calor, sucede que á poco que se profundice en ella, dejan de ser apreciables los cambios que experimenta la temperatura diurna, bastando un metro de profundidad para que esto se verifique. Profundizando más en la Tierra llega un caso en que las variaciones anuales de temperatura tampoco se dejan sentir, y, por lo tanto, existe una capa de *temperatura constante*, cuya profundidad crece con la latitud del lugar. En efecto; por repetidos sondeos se ha visto, que mientras en la zona tórrida aparece dicha capa invariable á un metro ó menos de profundidad, en nuestras latitudes existe próximamente á unos 22 metros.

Si á partir de dicha capa invariable se sigue profundizando en el terreno, se observa un aumento progresivo de temperatura, que se ha calculado, como término medio, equivalente á 1° por cada 30 metros. Si este aumento es progresivo, se comprende fácilmente que á grandes profundidades todos los materiales de que está formada la Tierra se hallarán en estado líquido ó gaseoso; viniendo esto á confirmar la teoría geológica del fuego central de aquélla.

Las aguas termales deben, probablemente, su elevada temperatura al calor que tienen las capas terrestres de donde proceden, existiendo puntos, como Islandia, en que el agua sale de los *geiseres* á la temperatura de su ebullición. En España tenemos muchos y buenos ejemplos de esto, siendo las más calientes de todas las de Caldas de Montbuy, cuya temperatura llega á 69°.

1074. Temperatura de los lagos y mares.—Vimos en el tratado del calor (826) que el agua destilada presenta á 4° su máxima densidad, y, en consecuencia con esta notable propiedad, el fondo de los lagos profundos deberá presentar constantemente dicha temperatura. Así resulta, en efecto, de los sondeos practicados en varios lagos de Suiza.

En el mar cambia por completo la cuestión, debido, en primer lugar, á que el máximo de densidad del agua salada se verifica á temperaturas inferiores á 0°, y en segundo á las corrientes que se establecen de unas á otras latitudes, efecto de su desigual temperatura. La más notable de éstas es la *corriente del Golfo*, que tiene su origen en las costas occidentales de África y, después de bifurcarse, atraviesa su rama principal el Atlántico, penetrando por el mar de las Antillas en el golfo de México; desde allí, pasando entre Cuba y la Florida, atraviesa el Océano del norte siguiendo la dirección nordeste, con una velocidad media de 6 kilómetros por hora. Después vuelve á bifurcarse, pasando una de sus ramas entre la Islandia y las islas Británicas, mientras que la otra rama desciende hacia el Ecuador paralelamente á las costas de Portugal. La *corriente del Golfo*, efecto de la alta temperatura de sus aguas, contribuye á dulcificar el clima de las costas occidentales de Europa.

CAPÍTULO II.

Meteoros aéreos.

1075. Definiciones.—Reciben el nombre de *vientos* las corrientes de aire que se establecen de unos á otros puntos de la atmósfera.

Interesa estudiar en los vientos su *dirección*, su *velocidad* y su *causa*. Vamos á ocuparnos sucesivamente de estas tres cuestiones.

1076. Dirección del viento.—Se aprecia por medio de unos aparatos denominados *veletas*. Consisten generalmente en una chapa metálica de forma rectangular, terminada por una varilla cuya punta afecta la forma de una flecha. Suspendido este conjunto por su centro de gravedad, y de tal manera que el plano de la chapa quede vertical, girará este aparato bajo la acción del viento, señalando la flecha la dirección de donde aquél sopla. Como estos aparatos han de estar forzosamente expuestos á la intemperie, se comprende que el eje de giro debe hallarse dispuesto de modo que no se oxide y pierda la veleta su movilidad, lo que se consigue haciendo de porcelana ó cristal los contactos de dicho eje. Con objeto de facilitar la obser-

vación de estos aparatos, suele prolongarse su eje por la parte inferior, penetrando, á través del techo, en el edificio en que se hallan instalados, bastando entonces observar la dirección que marca una flecha colocada paralelamente á la veleta, para saber la dirección del viento. Cuando se trata de corrientes de aire á gran altura, hay que acudir á la dirección que en su marcha llevan las nubes, ó el humo.

Para expresar las distintas direcciones en que puede soplar el viento se usa generalmente la *rosa náutica*, por la que se divide todo el horizonte en 32 rumbos distintos.

1077. Velocidad del viento.—La velocidad del viento, ó sea el espacio que recorre en un tiempo dado, se aprecia por medio de los *anemómetros*. El más usado es el de Robinson, el cual consiste en cuatro semiesferas huecas (fig. 569), soldadas en los extremos de dos varillas colocadas en forma de cruz, y dispuestas de manera que puedan girar alrededor de un eje vertical. Dispuestas las semiesferas de modo que la parte hueca de cada una mire hacia la convexa de la siguiente, girará este aparato, cualquiera que sea la dirección del viento, adelantando la parte convexa de dichas esferas; se comprende, además, que su movimiento será tanto más rápido cuanto mayor sea la velocidad de dicho fluido, la cual se podría deducir contando las vueltas que da el anemómetro en un tiempo dado. El autor de este aparato ha calculado que la velocidad del centro de las semiesferas al girar, es la tercera parte de la que corresponde al viento que las impulsa, y puesto que aquéllas recorren un camino representado $2 \pi r$, llamando r al radio del anemómetro, la velocidad por cada vuelta será $3.2 \pi r = 18,85. r$.

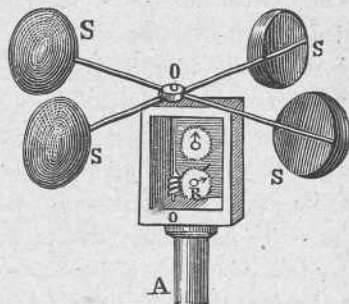


Fig. 569.

Para hacer más fácil la observación del número de vueltas que da el aparato en un tiempo dado, va provisto el eje del anemómetro de un tornillo sin fin, que engrana en un sistema de ruedas dentadas, cuyos centros están provistos de agujas que recorren unos círculos, donde se marcan las decenas, centenas y aun millares de vueltas verificadas por el aparato; además, suelen tener estos instrumentos escrita en kilómetros y miriámetros la velocidad que corresponde á las vueltas verificadas en un cierto tiempo.

Observando este instrumento, colocado en diferentes puntos y á distintas alturas, se nota que es muy variable, de unas á otras comarcas, la velocidad del aire, habiéndose convenido en denominar *viento suave* al que sólo reco-

Observando este instrumento, colocado en diferentes puntos y á distintas alturas, se nota que es muy variable, de unas á otras comarcas, la velocidad del aire, habiéndose convenido en denominar *viento suave* al que sólo reco-

rre 2 metros por segundo; *fresco* si llega á 10; *fuerte* si alcanza 20; *borrasco* de 25 á 30 y *huracanado* de 30 á 40. En Madrid la velocidad media es de 4 á 5 metros por segundo.

1078. Causa de los vientos.—Teniendo en cuenta la gran movilidad que presentan los gases, se comprende fácilmente que el equilibrio de la atmósfera no podrá subsistir sin que todos los puntos de una capa horizontal tengán en un momento dado igual presión. De no ser así, se establecerán corrientes de aire de los puntos de mayor presión hacia los que la tengan menor, siendo, por tanto, la causa general de los vientos dicha diferencia de presiones.

El estudio de la presión atmosférica en los diferentes puntos del globo es, por consiguiente, de la mayor importancia para esta cuestión, y de ella nos vamos á ocupar inmediatamente.

1079. Variaciones de la presión atmosférica.—Observando atentamente un barómetro durante varios días tranquilos de verano, se nota que la columna mercurial, lejos de permanecer invariable, presenta en todos ellos dos *máximos* y dos *mínimos*, verificándose la mayor elevación á las diez de la mañana y de la noche, y la menor altura á las cuatro de la tarde é igual hora de la madrugada. Esta oscilación diurna es tanto más sensible, cuanto menor sea la latitud del sitio en que se verifique la experiencia, alcanzando algo más de 3 milímetros en algunos puntos del Ecuador. En nuestras latitudes sólo llega á 1 milímetro dicha oscilación.

La causa de las oscilaciones diurnas del barómetro, parecen debidas á las variaciones de temperatura que, del día á la noche, experimenta el aire por la acción de los rayos solares.

Durante el año también sufre el barómetro una doble oscilación, cuyos máximos tienen lugar en verano é invierno, presentándose en primavera y otoño los mínimos. La máxima de invierno se explica fácilmente atendiendo al aumento de peso que experimenta el aire por su baja temperatura. Para comprender la causa del máximo de verano, hay que tener en cuenta que, si bien el aire se dilata por la elevada temperatura que entonces reina, el vapor de agua que existe en la atmósfera, y que en dicha época es muy abundante, adquiere con el calor una gran fuerza elástica, la que sumada con el peso del aire da como resultado un máximo de presión. En las estaciones intermedias la influencia de temperatura y de la evaporación no son tan sensibles, y la presión, por lo tanto, es menor que en las estaciones extremas.

1080. Distribución de las presiones sobre la superficie de la Tierra.—La comparación de las presiones que el aire ejerce sobre los dis-

tintos puntos del globo, exige que los barómetros en que se observan aquellas se hallen colocados en una misma capa horizontal, pues de otro modo no podrían relacionarse los resultados. Para esto se ha convenido en tomar como zona de partida *el nivel medio de los mares*, de modo que si el barómetro que se consulta se halla en distinta altitud, hay que reducir la altura observada á dicho nivel. Para hacer esta reducción puede usarse la fórmula de Laplace (177), pues conociendo la altitud D del sitio en que se hace la observación y la altura barométrica a , puede calcularse fácilmente el valor de la altura A al nivel del mar. El promedio de esta corrección, que siempre es aditiva, es de 1 milímetro por cada 10,5 metros, de altitud.

Si después de haber calculado en varios sitios la altura media del barómetro en un día determinado, se reúnen sobre un mapa, por medio de trazos, los puntos que la tengan igual, resultará una línea llamada *isobara*, ó de igual presión media diaria. Si esta operación se realiza uniendo los puntos que presenten igual altura media mensual se tendrán las *isobaras mensuales*, y si se verifica con las correspondientes á un año resultarán las *isobaras anuales*.

Verificado este trabajo, por observaciones recogidas en diferentes puntos del globo, resulta como ley general, que las presiones crecen en sentido inverso de las temperaturas, lo cual es una consecuencia de la dilatación y disminución de peso que experimenta el aire por el calor. Así se observa que en la zona tórrida la presión media es siempre menor que en las latitudes comprendidas entre 20 y 30°, y si á partir de los 40° empieza á decrecer otra vez la presión hasta los polos, depende de las grandes cantidades de vapor acuoso que se condensan en dichas regiones, las que producen la disminución consiguiente en el peso del aire. En el centro de los grandes continentes existe mayor presión en invierno, y menor en verano, que la correspondiente á los mares que los rodean, pues sabido es que aquéllos se enfrían y se calientan más que los mares, por la mayor capacidad calorífica del agua. Como ejemplo de isobaras mensuales ponemos á continuación las correspondientes al Océano Atlántico del Norte durante el mes de Julio, y por dicho mapa podemos observar que existe un máximo de presión hacia las islas Azores (fig. 570).

1081. Dirección general de los vientos. — De lo expuesto anteriormente resulta que, siempre que exista un máximo de presión en un punto determinado, el aire de esta región se lanzará en todos sentidos hasta que vuelva á restablecerse el equilibrio de la atmósfera. Por igual motivo, al presentarse en una determinada región un mínimo de presión barométrica, el aire de las comarcas de alrededor se precipitará hacia el centro de la depresión, para llenar el vacío relativo que en él existía.

La marcha que sigue el aire en los dos casos anteriores está, no obstante, modificada por el movimiento de rotación de la Tierra. Resulta, en efecto, que al avanzar de los polos hacia el Ecuador una masa de aire, va encon-

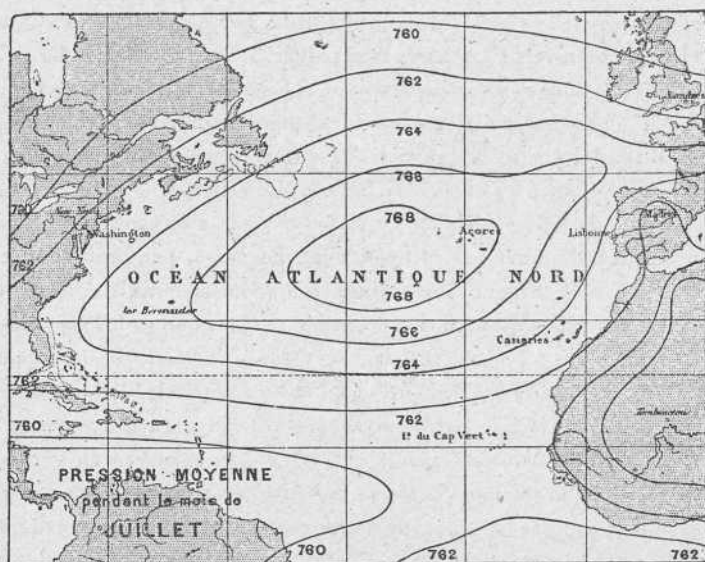


Fig. 570.

trándose con regiones cuyo movimiento de traslación es mayor que el suyo, y, por lo tanto, ha de quedar retrasada hacia el Oeste. Lo contrario sucederá si la masa de aire de que nos ocupamos, avanza del Ecuador hacia los polos, pues entonces, por igual razón, va corriendo paralelos que marchan con menor velocidad que la suya, y dicha masa de aire avanzará hacia el Este.

El resultado definitivo de esta combinación de movimientos, es formar el aire una serie de espirales alrededor de un centro de mayor presión barométrica, cuyas direcciones marchan en nuestro hemisferio *en el mismo sentido que las agujas de un reloj* (fig. 571). Lo contrario se verificará alrededor de un centro de baja presión, hacia el cual afluirá el aire formando también espirales, que marcharán en nuestro hemisferio *en sentido opuesto que las agujas de un reloj*.

En el hemisferio Sur los movimientos del aire, alrededor de los centros de baja presión y máximos barométricos, se verificarán de un modo análogo, pero en direcciones opuestas.

En la figura citada se observa perfectamente lo que acabamos de indicar. Del punto ocupado por las Azores, donde existe en verano un máximo de presión, salen corrientes de aire formando espirales en la dirección antes indicada.

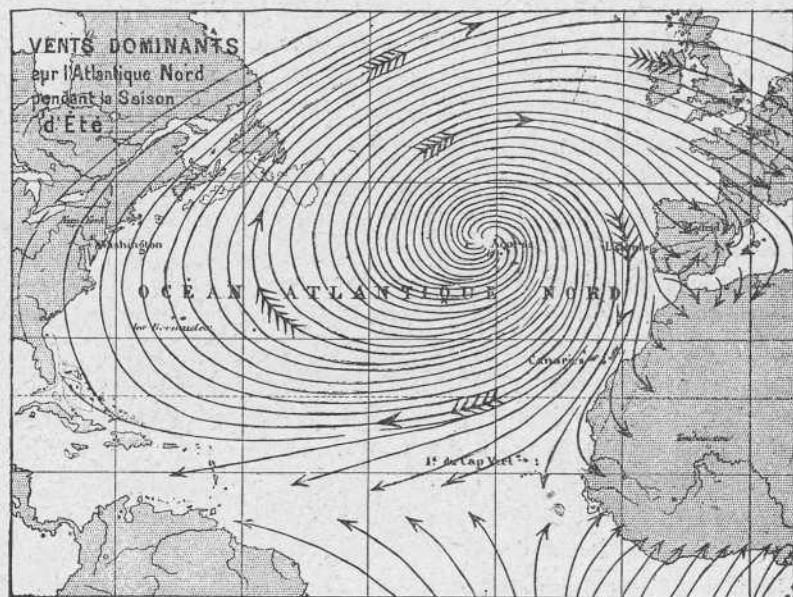


Fig. 571.

La dirección de estas espirales, con respecto á los centros de máxima y mínima presión, ha servido á M. Buys-Ballot para formular la siguiente ley: *Colocándose de frente á la dirección que lleva el viento, se hallarán á la izquierda las altas presiones y á la derecha las depresiones barométricas.*

Creemos inútil advertir que en el hemisferio austral sucede lo contrario, y debemos también indicar, que dicha ley no se verifica con rigor sino en el mar ó grandes planicies, pues en los terrenos montañosos existen obstáculos que hacen cambiar la dirección de los vientos.

1082. Rotación de los vientos.—Si se observan con constancia los diferentes rumbos en que soplan los vientos de Europa, se advierte que su variación se verifica casi siempre saltando el viento del Este al Sur, después al Oeste y por fin al Norte; es decir, que *en sus movimientos sigue la vuela la marcha aparente del sol.* Un movimiento análogo, pero en sentido contrario, se observa en el hemisferio austral. Esta ley, debida á Dove, se explica observando la marcha que siguen en Europa las depresiones barométricas.

Suelen llegar éstas, después de cruzar el Atlántico, por el SO. de Islandia; suben bordeando las costas orientales de esta isla, las occidentales de Escocia y Noruega y desaparecen por la Laponia en el mar glacial. Otras veces se dirigen desde el golfo de Botnia, después de atravesar la península Escandinava, por la Europa central hacia el Mediterráneo ó hacia el mar Negro.

Si teniendo en cuenta esta ruta de las depresiones barométricas, recordamos la ley de Buys-Ballot, veremos que, en efecto, los cambios en la dirección del viento deben verificarse en Europa con arreglo á lo dicho por Dove. Además, como el movimiento de dichas depresiones no es uniforme, tampoco es de igual duración el tiempo que reinan los vientos que originan.

1083. Clasificación de los vientos.— Los vientos pueden dividirse en *constantes*, *periódicos* y *accidentales*. Son vientos *constantes* los que soplan siempre en la misma dirección; *periódicos* los que durante una época dada reinan siempre en cierto sentido, y *accidentales* los que tienen lugar sin época ni duración fija.

Entre los vientos constantes figuran, como de mayor importancia, los *alisios*. Estos reinan en las regiones ecuatoriales, y soplan siempre, con más ó menos intensidad, en la dirección NE. en nuestro hemisferio, y del SE. en el hemisferio austral.

La causa de estos vientos procede de la depresión que constantemente existe en la zona tórrida respecto de las templadas, debida, según hemos indicado, á la mayor temperatura de aquélla. Efecto de dicha depresión acude el aire de los dos hemisferios hacia el Ecuador y, si la Tierra permaneciera inmóvil, soplarían estos vientos del N. en nuestro hemisferio, y del S. en el austral (fig. 572); pero efecto del movimiento giratorio de dicho planeta, se van retrasando aquéllos hacia el O., dando lugar á la dirección NE. en que sopla el alisio del hemisferio boreal y SE. en el austral. Fácilmente se comprende la importancia que tendrá para los marinos el conocimiento de estos vientos; resulta, en efecto, que aprovechando hoy dichas corrientes, sólo se emplean 60 días en ir de Inglaterra á la Australia, mientras que antes se necesitaban 125, y así podíamos citar otros viajes análogos.

Entre los vientos periódicos tenemos los *monzones* y la *brisa del mar*. Ésta sopla durante el día del mar á la tierra, y por la noche de la tierra hacia el mar. Su causa depende de la desigual temperatura que adquieren el mar y la tierra bajo la influencia de los rayos solares. Mientras está el Sol sobre el horizonte, la tierra se calienta más que el mar, efecto de la gran capacidad calorífica del agua y, como consecuencia, el aire de la costa se eleva, viniendo á llenar la brisa del mar el vacío relativo que se forma. Durante la noche, y por igual motivo, la tierra se enfría más pronto que el mar, y el

aumento de densidad que adquiere el aire de la costa le obliga á lanzarse hacia el mar para restablecer el equilibrio.

Cerca de las grandes forestas existe también la llamada *brisa de las montañas*, producida por causas análogas á las que acabamos de indicar.

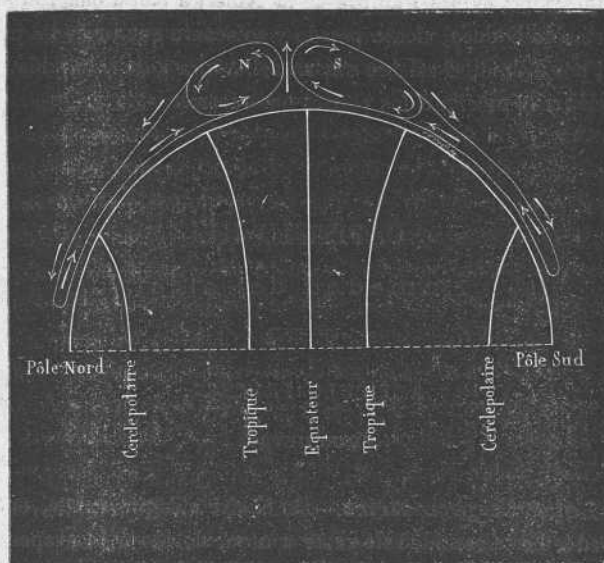


Fig. 572.

Los *monzones* son también unos vientos periódicos que reinan en las costas meridionales del Asia; durante el invierno soplan del NE. y en el verano del SO. La causa de estos vientos es la misma que antes hemos expuesto al hablar de la brisa del mar. Sucede, en efecto, que durante el estío, y efecto de la alta temperatura del continente, el barómetro se halla constantemente más bajo en la India y regiones inmediatas que en los mares que las rodean, y el aire de éstos se dirige hacia la tierra para llenar el vacío que allí existe. En el invierno sucede lo contrario; el barómetro permanece más elevado en dicha parte del continente asiático que en el mar de la India, y el aire de aquellas regiones se lanza hacia el mar para restablecer el equilibrio atmosférico, formando en uno y otro caso las espirales de que antes hablamos. El monzón del invierno, por venir de puntos secos, despeja la atmósfera y barre la excesiva humedad de la India, mientras que el de verano produce abundantes lluvias.

Los vientos *accidentales* no reconocen causa constante en su producción, y dependen muchas veces de circunstancias pasajeras, combinadas con la to-

pografía del terreno. Algunos tienen nombres especiales que varían de unas á otras localidades: el *mistral* en la parte meridional de Francia, que es un viento fuerte y muy frío del NE.; el *siroco*, viento muy cálido que reina en Italia y en la Siria; el *solano* de España, viento seco y abrasador del SE.; el *pampero* que sopla en las Pampas de la América meridional; el *harmatant* en las costas de Guinea, viento pesado y sofocante que llega del interior del Africa, y, por último, el célebre *simoun* del Africa y de la Arabia, que lleva la desolación y la muerte á los puntos que recorre.

CAPÍTULO III.

Humedad del aire.

ARTÍCULO PRIMERO.

HIGROMETRÍA.

1083. Estado higrométrico.—En el aire siempre existe, en mayor ó menor grado, cierta cantidad de vapor acuoso, debido á la evaporación que constantemente tiene lugar en los mares, lagos, ríos, etc. Puede probarse esta verdad enfriando el agua contenida en un vaso de cristal por medio del hielo, en cuyo caso se observará que aquél se empaña por la condensación del vapor acuoso de la atmósfera.

En los fenómenos meteorológicos á que da lugar el vapor acuoso de la atmósfera, influye más que la cantidad absoluta de dicho vapor, la humedad relativa, ó sea *la relación que existe, en un momento dado, entre la cantidad de vapor acuoso del aire y el que tendría si estuviera saturado*. Esta relación, llamada también *fracción de saturación y estado higrométrico* del aire, se aprecia por medio de unos aparatos llamados *higrómetros*. Se comprende fácilmente que dicha fracción de saturación depende en gran parte de la temperatura, pues sabido es que á medida que ésta crece, aumenta también la cantidad de vapor acuoso que necesita para saturarse una cierta cantidad de aire.

La relación que acabamos de indicar, puede reemplazarse por la que existe entre la tensión, ó fuerza elástica, del vapor acuoso en el momento de la experiencia, y la que tendría si estuviera saturado á la misma temperatura. En efecto; según la ley de Mariotte, las fuerzas elásticas de los gases ó va-

pores no saturados son proporcionales á las presiones á que se hallan sometidos, y como las densidades y pesos, para un mismo volumen, son proporcionales también á las presiones respectivas, resulta que las tensiones de aquéllos guardan entre si la misma relación que los pesos. Puede, por tanto, definirse el estado higrométrico del aire diciendo que, *es la relación que existe entre la tensión actual del vapor acuoso y la que tendría estando saturado á la misma temperatura.*

Los higrómetros más usados pueden dividirse en tres grupos:

1.º *Higrómetros de absorción*, fundados en la propiedad que tienen muchas substancias de absorber el vapor acuoso del aire, aumentando sus dimensiones.

2.º *Higrómetros de condensación*, en los que se determina la temperatura necesaria para que el vapor de agua existente en el aire llegue á condensarse.

3.º *Higrómetros de evaporación*, con los cuales se mide el estado higrométrico del aire por el enfriamiento que produce la evaporación del agua.

Además de estos higrómetros puede usarse con ventaja el llamado *higrometro químico*, fundado en la propiedad que tienen algunos cuerpos, como el ácido sulfúrico concentrado, de combinarse con el vapor de agua que existe en el aire, aumentando de consiguiente su peso. Empezaremos por éste el estudio de dichos aparatos.

1084. Higrometro químico.—Consiste este aparato (fig. 573) en una serie de tubos en U, en cuyo interior se colocan pedacitos de piedra pómez empapados en ácido sulfúrico concentrado. El primero de ellos *t* comunica con la atmósfera, y el último se une, por medio de un tubo de goma, á la boca de un *frasco aspirador A*, ó sea un depósito lleno de agua y provisto en su fondo de una llave de fuente. Abriendo ésta saldrá una cierta cantidad de líquido, y el vacío resultante será ocupado por un volumen igual de aire, que al pasar por los tubos, dejará en ellos todo el vapor acuoso que tuviera; pesando dichos tubos antes y después de la experiencia, el aumento de peso que observemos nos dará á conocer el vapor de agua que contenía un volumen de aire igual al agua que ha salido del frasco aspirador. Con este dato, y la temperatura del aire al verificar el experi-

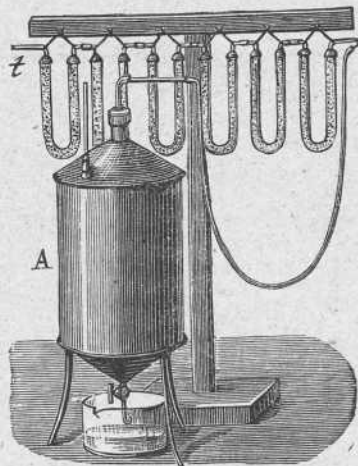


Fig. 573.

mento, se deduce luego por el cálculo el estado higrométrico del aire.

Este procedimiento es muy exacto, pero exige una buena balanza y dura mucho tiempo una operación, en cuyo intervalo podría cambiar la humedad del aire; por esta razón se usa muy poco en Meteorología.

1085. Higrómetros de absorción.—La mayor parte de las substancias orgánicas, y muy principalmente los cabellos, las cuerdas de tripa, las barbas de ballena, etc., absorben la humedad del aire y aumentan de dimensiones ó



Fig. 574.

varian de forma. Fundándose en esta propiedad se han construido varios aparatos para apreciar la humedad del aire, siendo uno de los más sencillos el que representa la figura 574. Un trocito de cuerda de guitarra se halla fijo por uno de sus extremos *C* en una tabla pintada figurando un monje en oración, mientras que el otro extremo se sujeta en *A* á la capucha *M* de dicho monje. Al aumentar la humedad del aire se destuerce dicha cuerda y, girando la capucha en sentido conveniente, cubre la cabeza de

aquél, indicando lluvia probable; un movimiento en sentido contrario se verifica al disminuir la humedad de la atmósfera, y el monje aparece como indica el grabado, dando á entender la presencia del buen tiempo. Esta clase de aparatos son de muy poca exactitud, y se usan más bien como objetos de adorno que como verdaderos higrómetros.

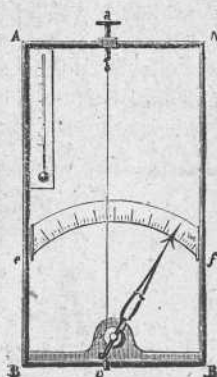


Fig. 575.

1086. Higrómetro de Saussure.—Este aparato, que corresponde al grupo de los higrómetros de absorción, produce resultados mucho más exactos que el anterior, y consiste en un marco metálico *A A B B* (fig. 575), en cuya parte superior se halla fija, por medio de una pieza *a*, una de las extremidades de un cabello desengrasado por medio del éter. El otro extremo se arrolla á una pequeña polea de dos gargantas, cuyo eje se halla provisto de una aguja indicadora que puede recorrer un limbo graduado *e f*;

y para que el cabello quede tenso se arrolla en la segunda garganta de la polea un hilo fino provisto de un pequeño peso *c*. Al aumentar la humedad del aire, el cabello, que suele tener unos 30 centímetros, se alarga, y el pe-

sito *c* obliga á la aguja á moverse en un cierto sentido, originándose un movimiento contrario cuando se acorta el cabello por falta de humedad.

Para graduar este aparato escogió Saussure dos puntos extremos, uno de absoluta sequía y otro saturado de humedad. Para obtener una atmósfera seca, se cubre el aparato con una campana cuyos bordes ajusten bien sobre un cristal deslustrado, y se colocan dentro substancias que absorban la humedad, tales como el cloruro de calcio ó ácido sulfúrico concentrado; á medida que se deseca dicha atmósfera y acorta el cabello, la aguja marcha hacia uno de los lados del limbo *ef*, y donde se detenga, después de transcurrir algún tiempo, se marca el *zero* del higrómetro. Para conseguir una atmósfera saturada de humedad, se sustituye el cloruro de calcio por una copita con agua, ó algunos pedazos de esponja empapados en dicho líquido, en cuyas circunstancias la aguja marcha en opuesto sentido que anteriormente; marcando el número 100 en el punto que se detenga, y dividiendo en 100 partes iguales el espacio comprendido entre dichos números, se tendrá graduado el higrómetro.

Las indicaciones de este aparato no determinan inmediatamente el estado higrométrico del aire, y hay necesidad de unas tablas, construidas por Gay-Lussac, para averiguarle. Estas tablas, sin embargo, sólo sirven para el cabello que se haya usado en la experiencia, pues varía de unos á otros la dilatación que sufren por la humedad.

TABLA DE GAY-LUSSAC.

Grados del higrómetro.	Estado higrométrico.	Grados del higrómetro	Estado higrométrico.
0.....	0,0	79.....	0,6
22.....	0,1	85.....	0,7
29.....	0,2	90.....	0,8
53.....	0,3	95.....	0,9
64.....	0,4	100.....	1,0
72.....	0,5		

1087. Higrómetro de Daniell.—Este aparato corresponde á los higrómetros de condensación, y suministra con bastante exactitud el estado higrométrico del aire. Consiste en un tubo doblado dos veces en ángulo recto (figura 576), y terminado por dos esferas *A* y *B*. El cristal de la esfera *A* está teñido de azul, con el objeto que luego diremos, y en su interior hay un poco de éter y un pequeño termómetro *t*; el tubo y esfera *B* sólo contienen

vapor de éter, para lo cual se ha hecho hervir este líquido hasta desalojar el aire de su interior, cerrando luego con la lámpara de esmaltar un pequeño tubito en que termina la esfera *B*, la cual, además, se forra con una tela absorbente de algodón. Por último, el aparato descansa sobre un pie metálico provisto de un termómetro *t'*.

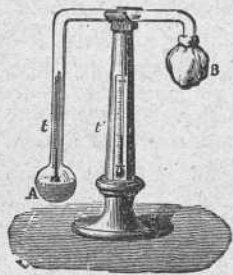


Fig. 576.

Para verificar una operación con este higrómetro, se empieza por transportar todo el líquido á la esfera *A*, y luego se empapa con éter la tela que cubre la esfera *B*. Abandonándole á sí mismo, se evapora rápidamente el éter de la esfera *B*, y el frío que origina este fenómeno produce la condensación de los vapores que hay en su interior. Efecto de esta condensación se forma un vacío dentro del higrómetro, y el éter de la esfera *A* se evapora rápidamente, por lo que se enfría dicha esfera y á su vez el termómetro de su interior. Continuando en esta misma forma la experiencia, llega un momento en que se cubre la esfera *A* de una capa de rocío, fácilmente visible por su color azul, y su temperatura, indicada por el termómetro *t*, nos dice la que habría de tener el aire para estar saturado con el vapor acuoso que contiene. Con este dato, llamado temperatura del punto del rocío, y observando la del termómetro *t'*, podremos calcular el estado higrométrico del aire, consultando en la tabla de las tensiones del vapor acuoso cuáles son las correspondientes á dichas temperaturas, bastando luego dividir el menor de los números hallados por el mayor. En efecto; al enfriarse el aire, la tensión del vapor acuoso que contiene permanece invariable hasta que se halle saturado, luego la tensión correspondiente á la temperatura del punto del rocío será la que tenga el vapor acuoso del aire en el momento de la experiencia; observando luego la tensión máxima de dicho vapor á la temperatura ambiente, tendremos los elementos que constituyen el estado higrométrico. Así, por ejemplo; si la temperatura del termómetro interior al formarse el rocío era de 10° y la del exterior 30°, veríamos en la tabla antes citada, que las tensiones del vapor acuoso á dichas temperaturas eran respectivamente 9,17 y 31,55 y, por lo tanto, el estado higrométrico sería igual á $\frac{9,17}{31,55} = 0,29$. El higrómetro de Daniell presenta en la práctica algunos inconvenientes, los que han sido eliminados por Regnault por medio del aparato representado en la figura 577. Consiste éste en un tubo de cristal terminado en su fondo por una especie de dedal de plata pulimentada *C*. La boca de este tubo se halla cerrada herméticamente por un tapón de cor-

cho provisto de dos orificios, por uno de los cuales pasa un termómetro *D* y por el otro un tubo acodado *e*, los cuales llegan hasta cerca del fondo de dicho tubo. Éste tiene también cerca de su boca una abertura lateral en co-

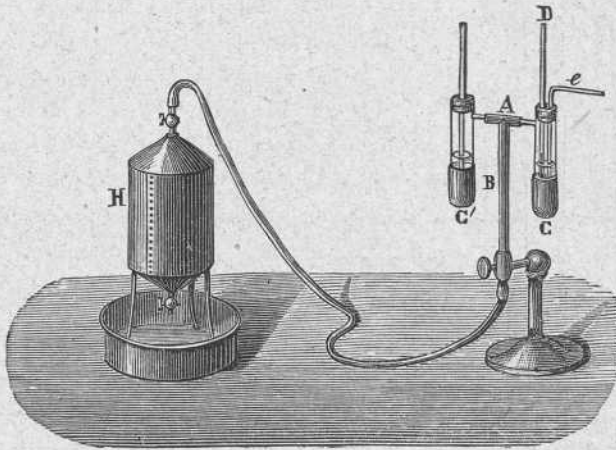


Fig. 577.

municación con un aspirador *H*, por medio del tubo *B* que sirve de sostén al aparato, y un largo tubo de goma. Lleno de agua el aspirador y abierta su llave, se hace un vacío en el tubo *C* al salir aquel líquido, y el aire exterior penetra por el tubo *e*, evaporándose el éter ó alcohol que tiene en su interior y, como consecuencia, se enfría el dedal de plata *C*. Este enfriamiento llega á condensar sobre su superficie el vapor de agua de la atmósfera, y el termómetro *D* nos indicará la temperatura que ha sido necesaria para conseguirlo. Para apreciar fácilmente el momento en que se empaña dicho dedal, lleva el aparato otro tubo idéntico *C'*, y dentro de él se pone un termómetro que indica la temperatura del aire. Con estas dos temperaturas se calcula luego el estado higrométrico como hemos dicho al hablar del higrómetro de Daniell.

1088. Psicrómetro de M. Augusto.—Este aparato permite medir con más facilidad que ningún otro el estado higrométrico del aire, y por esta razón es el más usado en Meteorología. Consiste en dos termómetros iguales (fig. 578) colocados en un pie; el depósito de uno de ellos está envuelto por una tela ligera de algodón, la que se prolonga en forma de toreaida y se halla sumergida en el agua contenida en una copa ó pequeño depósito.

Expuesto al aire libre este instrumento, el agua que rodea al termómetro húmedo se evapora tanto más rápidamente, cuanto más seca esté la atmós-

fera en que se coloque, produciendo un enfriamiento proporcional á dicha causa; este enfriamiento será acusado por dicho termómetro, mientras que

el termómetro seco nos dará la temperatura del aire, y por medio de estas dos temperaturas, la presión barométrica y unas tablas construidas para este objeto, se determina fácilmente el estado higrométrico del aire.

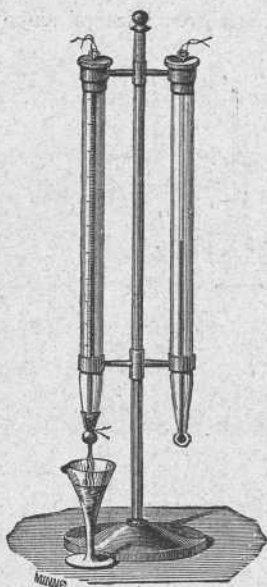


Fig. 578.

1089. Distribución de la humedad sobre la Tierra.—Averiguado con los aparatos que acabamos de describir el estado higrométrico de los diferentes puntos del globo, se ha visto que aquél aumenta, por regla general, desde el Ecuador hasta los polos, y disminuye á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar ó nos internamos en los grandes continentes. Aumenta también en el invierno y disminuye en verano, siendo tanto menor el estado higrométrico del aire en las diferentes horas de un día, cuanto más elevado se halle el termómetro.

Una relación casi contraria se verifica al considerar, no el estado higrométrico del aire, sino la cantidad de vapor acuoso que contiene; éste aumenta desde los polos hasta el Ecuador, lo cual es una consecuencia de la mayor rapidez con que se evapora el agua á medida que aumenta la temperatura. Depende también de la situación y naturaleza del punto que se considere, siendo tanto mayor, por esta causa, cuanto más inmediato al mar se halle el sitio en cuestión. Así resulta que, el aire en el centro de los grandes mares se halla frecuentemente saturado de humedad, mientras que el que ocupa el interior de los continentes suele encontrarse muy seco. También influye mucho la altitud en dicha cuestión, observándose que el vapor acuoso del aire disminuye notablemente á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar.

Las estaciones, y aun la hora del día en que se haga la observación, influyen notablemente en este asunto, siendo mayor la cantidad de vapor acuoso que existe en el aire durante el verano que en el invierno, y mayor en las horas de calor que á cualquier otra del día.

ARTÍCULO II

METEOROS ACUOSOS.

1090. Rocío.—Consiste este meteoro en la precipitación del vapor acuoso del aire durante la noche, sobre los objetos que cubren la superficie terrestre. Para que se verifique, es necesario que el aire contenga bastante humedad; y que la temperatura sea baja durante la noche. En este caso, el aire inmediato á los cuerpos que más se enfrían por la radiación nocturna, toma la temperatura de éstos, y condensándose su vapor acuoso, se precipita sobre aquéllos.

Favorecen la formación del rocío la tranquilidad del aire, la ausencia de nubes que eviten el enfriamiento de la tierra, la facultad emisiva de los cuerpos y su mala conductibilidad.

El rocío se forma generalmente en primavera y á principios de verano, por que entonces es grande la evaporación durante el día y las noches suelen ser bastante frescas.

1091. Escarchas.—Si por efecto de la radiación nocturna llega la temperatura de los cuerpos, en las circunstancias que acabamos de considerar, á ser inferior á 0°, no sólo se condensa el vapor acuoso del aire, sino que se precipita sobre aquéllos en forma de pequeñas agujas cristalinas, dando origen á la *escarcha*.

Todas las condiciones que favorecen la precipitación del rocío, influyen del mismo modo en la formación de la escarcha. Este meteoro es muy frecuente en invierno, sobre todo si el tiempo está despejado y frío.

1092. Nieblas.—Recibe este nombre la falta de transparencia que adquiere el aire, por la condensación, en toda su masa, del vapor acuoso de la atmósfera. Para que se verifique, es necesario que la tierra esté húmeda y más caliente que el aire; en este caso la tierra produce gran cantidad de vapor acuoso, y el aire se satura muy pronto de humedad, efecto de su baja temperatura. Continuando la producción de vapores, éstos tienen forzosamente que condensarse, y lo verifican en gotitas líquidas imperceptibles que enturbian la diafanidad del aire, originando el meteoro de que hablamos.

Entre el rocío y la niebla existe una diferencia esencial, debida á su manera de formarse; el rocío sólo se precipita sobre ciertos cuerpos, con las condiciones que antes hemos indicado, y la niebla se precipita y los moja á todos por igual. La niebla es propia de los meses de otoño é invierno, en que

el aire suele estar más frío que la tierra, y se forma generalmente sobre los ríos, cañadas y sitios húmedos.

1093. Nubes.—Cuando las nieblas se presentan á bastante altura sobre la superficie terrestre reciben el nombre de *nubes*. La causa de su formación es idéntica á la de las nieblas; si una masa de aire se enfría continuamente, por cualquier circunstancia atmosférica, llegará á saturarse con el vapor de agua que contenga, y desde este momento, siguiendo el descenso de temperatura, se condensará en gotitas líquidas parte de su vapor acuoso, originando una nube. Esta condensación puede verificarse también por el encuentro de dos masas de aire saturadas de humedad, una fría y otra caliente.

Antes se admitía que las nubes estaban formadas por *vesículas acuosas*, llenas de aire más caliente que la atmósfera en que flotaban, y por esta



Fig. 579.

razón se sostenían á cierta altura, á modo de pequeños mongolfieras. Hoy se cree con fundamento, como ya hemos indicado, que están constituidas por gotitas líquidas de un tamaño inapreciable, y su suspensión en el aire es tan sólo aparente. Resulta,

en efecto, que al caer dichas gotitas, si bien lentamente, efecto de su poco peso, se encuentran, en general, con una capa de aire no saturado y más caliente que la región de donde proceden, en la cual se evaporan y hacen invisibles. Al mismo tiempo que la nube se deshace por su parte inferior, se está regenerando por la superior, efecto de la condensación del vapor acuoso que llevan las corrientes de aire calientes que se elevan desde la superficie terrestre, y de este doble



Fig. 580.

cambio resulta la variación de forma que continuamente sufren las nubes, y á veces su aparición ó desaparición en nuestro horizonte.

Atendiendo á la forma y aspecto con que suelen presentarse, se las ha dividido en cuatro especies principales, á saber: *cirrus*, *cúmulus*, *stratus* y *nimbus*.

Los *cirrus*, representados en la figura 579, tienen formas filamentosas ó redondeadas, siempre de color blanco, y se hallan á grandes alturas, pasando ésta generalmente de 5.000 metros, y llegando á veces á 10.000. Como en estas regiones es muy baja la temperatura, se supone que esta especie de nubes se hallan constituidas por cristalitas de hielo, lo cual está comprobado por los fenómenos luminosos (halos, etc.), á que dan lugar. Los marinos llaman á los *cirrus* *colas de gato*, y en Castilla *corderitos*, por el aspecto de lana cardada que á veces presentan.

Los *cúmulus* (figura 580), tienen formas redondeadas, suelen ser muy voluminosas y de color blanco, sobre todo en sus bordes, semejan-do montañas cubiertas de nieve. Su altura es muy variable, y tanto

mayor cuanto más elevada es la temperatura del aire, fluctuando entre 1.000 y 3.000 metros. Los marinos las llaman *balas de algodón*.

Se llaman *stratus* (fig. 581), unas nubes en forma de fajas horizontales, que se presentan cerca del horizonte, afectando colores muy vivos y variados á la puesta del Sol. Su forma estratificada depende de ser examinadas á gran distancia, así que para el observador que se encuentra debajo de ellas no presentan el aspecto indicado.

Los *nimbus* son las nubes propias de lluvia (fig. 582); su color es gris uniforme, con bordes desfilachados, y están generalmente á muy poca altura, sobre todo en invierno.

Las cuatro formas de nubes que hemos descrito suelen combinarse, dando origen á los *cirro-cúmulus*, *cirro-stratus*, etc.



Fig. 581.



Fig. 582.

1094. Lluvia: Pluviómetro.—Este fenómeno es debido á la condensación rápida, efecto de un descenso brusco de temperatura, del vapor de agua existente en una masa de aire húmeda. En este caso, las gotas resultantes tienen un volumen relativamente grande, y pueden llegar al suelo sin evaporarse en las capas inferiores de la atmósfera. También puede originarse la lluvia por el descenso de los *cirrus* hasta la región de los *cumulus*, en cuyo caso se funden rápidamente los cristales de hielo que los forman, originando gotas de gran tamaño; este suele ser el origen de las lluvias de verano.

Se calcula la lluvia que cae en un determinado paraje, suponiéndola recogida regularmente sobre el suelo, y midiendo el espesor de la capa así formada. Para ello se usa un aparato llamado *pluviómetro* (fig. 583), el que consiste en un vaso cilíndrico *A* terminado por dos conos; el superior comu-



Fig. 583.

nica por medio de un tubo con una especie de embudo *B*, y el inferior está provisto de una llave de fuente *r*. Expuesto este aparato á la intemperie, el agua de la lluvia que se quiere medir cae en el embudo *B* y pasa luego al depósito *A*, de donde se la vierte, para medirla, en una probeta cuya superficie sea una parte alícuota del área que presenta la boca del embudo. Supongamos que ésta sea de un decímetro cuadrado y la probeta tenga 10 centímetros cuadrados de sección; cada milímetro de altura que tenga el agua recogida en la probeta, supondrá $\frac{1}{10}$ de milímetro en un vaso de la sección del pluviómetro y, por tanto, bastará dividir

por diez la altura del líquido observada en la probeta, para tener con gran exactitud la capa de agua que ha caído durante el tiempo que el pluviómetro estuvo expuesto al aire libre.

1095. Nieve.—Si la condensación del vapor de agua que origina las lluvias, se verifica á una temperatura inferior á 0°, las gotitas resultantes se congelan en forma de cristales y, adhiriéndose unas á otras, dan origen al indicado fenómeno. Los copos de nieve presentan en general formas regulares (fig. 584), derivadas siempre del prisma exagonal en que cristaliza el agua, y pueden observarse recogiéndolos sobre un paño negro y examinándolos con una lente de aumento.

1096. Granizo.—El granizo se halla formado también por agua en estado sólido, y se diferencia de la nieve en su forma globular, y en hallarse constituido por capas concéntricas de gran dureza. Este meteoro va siempre

acompañado de nubes tempestuosas, lo que hace suponer que interviene en su formación la electricidad atmosférica. Volta admitía que las gotitas de agua, solidificadas por las causas que originan la nieve, eran retenidas por la atracción eléctrica de una nube colocada á mayor altura, y solidificándose

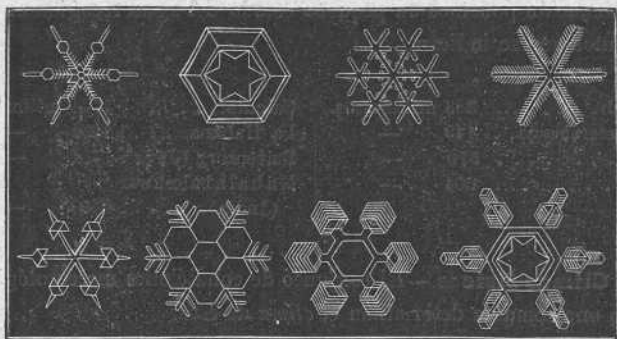


Fig. 584.

el vapor de agua que condensaban en derredor suyo, iban aumentando de tamaño. Cuando el peso del granizo era superior al de la atracción de la nube, ó bien cuando aquélla se descargaba súbitamente por cualquiera causa, caían á tierra los granizos ya formados.

Esta teoría se presta á muy serias objeciones, pero explica en parte las circunstancias que acompañan á dicho meteoro. Se observa, en efecto, que al descargarse una nube tempestuosa, por algún *rayo ó relámpago*, suele verificarse la caída de los granizos, siendo de mayor volumen los primeros que llegan al suelo, como si todos hubieran empezado á caer al mismo tiempo y desde la misma altura. El tamaño de los granizos es muy variable, pero en algunas circunstancias se han recogido del volumen de huevos de gallina, originando su caída en pocos momentos la pérdida total de las cosechas.

1097. Distribución de las lluvias.—Varias causas influyen en la cantidad de agua que cae en los diferentes puntos del globo, siendo una de las principales su latitud. En general aumenta aquélla desde las zonas polares, en que rara vez alcanza á 25 centímetros anuales, hasta el Ecuador, en que llega á 6 y 7 metros.

La proximidad al mar influye también en el asunto que nos ocupa, siendo tanto menor el agua recogida por los pluviómetros, á latitud igual, cuanto más en el interior de los continentes se considere el punto de observación.

Las grandes cordilleras y montañas determinan, á su vez, variaciones notables en la cantidad de agua que se recoge en sus dos vertientes, siendo

mucho mayor en la que se halla expuesta hacia el mar que en la contraria. Por último; depende también este meteoro de la estación del año en que se considere, siendo más abundante, en general, en los meses de calor que en los fríos, por más que en éstos llueve mayor número de días.

Á continuación ponemos un pequeño estado del agua recogida en un año en los puntos que se indican.

Madrid.	333 milímetros.	Calcuta.	1724 milímetros.
San Petersburgo. . .	449 —	La Habana.	1934 —
París.	570 —	Buitenzorg (Java). . .	3751 —
Brest.	904 —	Mahala buleshwar	
		(India).	6450 —

1098. Climas físicos.—El conjunto de condiciones meteorológicas que reinan en una comarca determinan el *clima* de ésta.

Entran como principales factores de este asunto la temperatura media del lugar en cuestión, la altura barométrica, la cantidad de agua que cae en el año y los vientos dominantes. Se comprende fácilmente la influencia decisiva que tendrán dichos meteoros, tanto en la vegetación como en la salubridad de un país, resultando de su armonía regiones tan fértiles y saludables como nuestras Islas Canarias y Schiras en Persia, y otras tan estériles é inhospitalarias como los desiertos de Sahara y de Gobi, en los que es imposible la vida de los seres orgánicos, por su excesiva temperatura y falta casi absoluta de humedad.

CAPÍTULO IV.

Meteoros eléctricos.

1099. Electricidad atmosférica.—Los primeros físicos que lograron obtener la chispa eléctrica que producen nuestras máquinas, compararon este fenómeno con el imponente del *rayo*, y desde luego procuraron demostrar la identidad de ambos. Débese esta gloria á Franklin, en Filadelfia, y á Dalibard, en París; el primero lanzó hacia una nube tempestuosa una cometa armada de una punta metálica, y pudo sacar chispas de una llave atada á la cuerda de aquella. Dalibard consiguió el mismo resultado colocando aislada una barra de hierro de 33 metros de altura; al pasar inmediata una nube tempestuosa, logró cargar botellas de Leyden y sacar chispas de gran longitud, quedando demostrado desde entonces que la causa

que origina el rayo, no es otra que el fluido eléctrico acumulado en las nubes tempestuosas. No es necesaria la formación de estas nubes para que aparezca la atmósfera electrizada, y hoy se sabe que, aun en los días despejados y tranquilos, existe siempre en la atmósfera, con más ó menos tensión, una capa de fluido eléctrico de signo positivo. Para estudiar tan importante asunto se emplean los electrómetros de panes de oro, modificados convenientemente para este objeto, siendo uno de los más usados el que representa la figura 585. Colocando el vástago metálico en que termina el aparato, á la altura que se encuentre la capa de aire que se quiere estudiar, la divergencia de las hojuelas de oro indicará la tensión eléctrica de aquélla. Para estudiar el estado eléctrico de las zonas elevadas de la atmósfera, se lanza hacia ellas una flecha, unida al electrómetro por un cordoncito de seda entrelazado con otro muy fino de cobre. Últimamente ha usado el Dr. Palmieri en el observatorio que tiene instalado cerca del Vesubio, un electrómetro muy sensible, con el que se aprecia, por pequeña que sea, la tensión eléctrica de las capas de aire inmediatas al sitio de la observación.

Con auxilio de estos aparatos se ha comprobado que, en una atmósfera tranquila, existe siempre, á partir de 1,5 á 2 metros, cierta cantidad de fluido positivo libre, variable según las alturas, estado higrométrico del aire y hora en que se estudie el fenómeno. La tensión eléctrica de dicho fluido aumenta con la altura, y presenta durante el día dos máximos y dos mínimos, variables con las estaciones y humedad del aire. En tiempo de tormenta suele variar el signo eléctrico de la atmósfera, pero la superficie terrestre generalmente se encuentra electrizada negativamente.

1100. Causas de la electricidad atmosférica.—Varias son las causas que se supone originan el continuo estado eléctrico en que se encuentran las diferentes capas de la atmósfera. La frotación del aire con el suelo y con otras masas de aire animadas de distinta velocidad; la evaporación del agua y su condensación en las altas regiones de la atmósfera; la vegetación y fenómenos químicos que continuamente tienen lugar en la superficie terrestre pueden contribuir, en mayor ó menor grado, al desarrollo de dicho fluido.

1101. Nubes tempestuosas.—Deben estos meteoros su origen á la

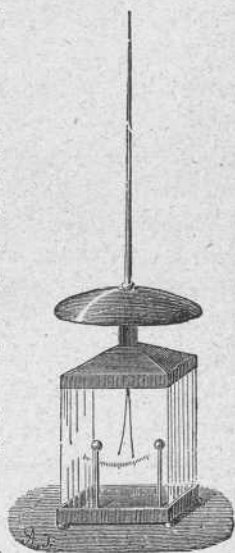


Fig. 585.

acumulación en su masa de grandes cantidades de electricidad. Unos físicos suponen que, al recorrer aquéllas diferentes regiones de la atmósfera cargadas de electricidad, van almacenándola á manera de una esponja respecto del agua, llegando á adquirir de este modo en ellas una tensión considerable el fluido eléctrico. Otros suponen que por la influencia del suelo, ó de las altas regiones de la atmósfera, se electrizan de un modo contrario las capas superior é inferior de dichas nubes, y al resolverse ésta en lluvia desaparece la electricidad de la parte inferior, quedando cargada la nube con la electricidad que tuviera en su cara superior. Por último, el Sr. Palmieri deduce, por observaciones practicadas durante veinte años, que la electricidad de las nubes procede de la condensación del vapor de agua en las altas regiones de la atmósfera.

Los caracteres que distinguen á esta clase de nubes son los siguientes: Su color es plumizo obscuro, con bordes desfilachados, y en general van animadas de un movimiento rápido de traslación. Antes de presentarse este meteoro, suele bajar bruscamente el barómetro, y en cambio la temperatura se eleva más que de ordinario. Las épocas en que con más frecuencia se presentan en nuestras latitudes son á fines de Junio y Julio, y la hora en que suelen verificarse de tres á cuatro de la tarde. Estos meteoros se repiten con tanto mayor frecuencia cuanto más nos acerquemos al Ecuador, y, por el contrario, en las altas latitudes son fenómenos muy raros.

1102. Rayo, relámpago y trueno.—Suponiendo formada una nube tempestuosa, por cualquiera de las causas antes indicadas, sucede que al aproximarse á la superficie terrestre, su fluido eléctrico, generalmente positivo, descompone por influencia la electricidad neutra de la Tierra, atrayendo al fluido negativo á los puntos más elevados, y repeliendo el fluido positivo al interior de nuestro planeta. Si la tensión eléctrica es suficiente, llega un caso en que se combinan ambos fluidos á través de la capa de aire que los separa, dando lugar al imponente meteoro del *rayo*. Esta misma combinación puede verificarse entre dos nubes cargadas de electricidades contrarias, en cuyo caso recibe el fenómeno el nombre de *relámpago*. La luz de este meteoro es una de las acciones más instantáneas que se estudian en Física, no llegando su duración á $\frac{1}{10000}$ de segundo. La combinación de dichas electricidades nunca se verifica en línea recta, sino formando una huella sinuosa, análoga en un todo á la chispa eléctrica de nuestras máquinas. Su longitud alcanza á veces muchos kilómetros, debido, no á que su tensión sea capaz de salvar tan considerable distancia, sino á verificarse una serie de chispas tan inmediatas que, por su rapidez, nos parecen una sola. El re-

lámpago, como sucede á la chispa eléctrica que obtenemos en nuestros aparatos eléctricos, va acompañado de un ruido especial, llamado *trueno*, el cual se percibe algunos segundos después del relámpago, por ser mucho más rápido el movimiento de traslación de la luz que el del sonido. Suponiendo, en efecto, que caiga un rayo á dos kilómetros del sitio ocupado por el observador, éste percibiría la luz del relámpago en el momento de verificarse el fenómeno, y no oiría el ruido del trueno hasta después de 6'', que es lo que tarda próximamente el sonido en recorrer dicha distancia.

Verificándose la combinación de ambos fluidos de un modo instantáneo, parece que había de ser brusco y de corta duración el ruido del trueno, y sabemos por experiencia que no es así, sino que alcanza á veces 40'' ó 50''. Para explicar este fenómeno, suponen algunos físicos que dicho ruido se repite, en forma de eco, por su reflexión en las montañas y nubes inmediatas; otros admiten que la combinación de ambos fluidos no se verifica de una vez, sino formando una serie de chispas á través del aire, análogas á las que se obtienen en el *cuadro mágico* (447), originándose de este modo una serie de chasquidos que, por proceder de diferentes distancias, llegan al observador en distintos momentos.

El rayo puede afectar también una forma esférica, llamada *globo de fuego*, cuya explicación satisfactoria no se ha dado todavía. Según observadores que merecen toda fe, este meteoro cae de la nube con cierta lentitud, y al tocar á la tierra rebota y sigue la dirección que le marcan los cuerpos mejores conductores, disipándose algunas veces sin causar fenómeno alguno notable, y estallando otras con ruido ensordecedor, produciendo en este caso grandes destrozos en los puntos inmediatos. Algo parecido á este meteoro se ha logrado obtener con máquinas electro-estáticas de gran tensión.

1103. Efectos del rayo.— Los efectos del rayo, conocidos en su mayor parte por todo el mundo, son de una energía extraordinaria, debidos á la gran tensión que adquiere el fluido eléctrico acumulado en las nubes.

Efecto, no tan sólo de esta tensión, sino de la enorme cantidad de electricidad combinada, puede el rayo fundir los metales más refractarios y aun volatilizarlos, destrozando los cuerpos malos conductores; provoca también combinaciones y descomposiciones de cuerpos difíciles de verificar con auxilio de la química; altera notablemente los polos de la brújula, y aun puede llegar á invertirlos; causa incendios en edificios y arbolados, y, por último, mata á las personas y animales que se encuentran á su paso.

Puede también producirse la muerte de aquéllos por un fenómeno de influencia, llamado *choque de retroceso*. Su explicación es la siguiente: Supongamos una nube cargada de electricidad positiva, próxima á dos lugares A

y *B* (fig. 586). Bajo la influencia de aquélla, estos dos puntos estarán electrizados negativamente, y si en este estado se verifica una descarga eléctrica en *A*, el punto *B* dejará de estar influenciado por la nube, puesto que por el



Fig. 586.

pronto habrá perdido ésta una gran parte de su tensión, y entonces el fluido positivo de la Tierra acudirá repentinamente á dicho sitio, produciendo en los seres que le ocupen un cambio tan brusco en su estado eléctrico, que podrá causar hasta su muerte.

Si esta influencia se verifica sobre cuerpos buenos conductores terminados en punta, como las veletas de los campanarios, los mastiles de los barcos, etcétera, se escapa por ellos la electricidad de la tierra originando ráfagas luminosas, llamadas por los marinos *fuegos de San Telmo*.

1104. Pararrayos.—Los funestos efectos que, según acabamos de indicar, produce el rayo, han sido causa de que el hombre trate de evitarlos desde muy antiguo, habiéndolo conseguido en la actualidad por medio de los *pararrayos*, ideados en 1755 por el célebre americano Franklin.

El aparato ideado por este sabio, después de algunas mejoras que la práctica ha ido aconsejando, consiste simplemente en una barra de hierro de bastante elevación, terminada en una punta inoxidable y en perfecta comunicación con el depósito común.

Si próxima á su extremidad pasa una nube cargada de electricidad positiva, en virtud de la teoría de la *electrización por influencia* y de la *propiedad de las puntas*, se descompondrá el fluido neutro del pararrayos, marchándose su electricidad positiva á la Tierra, mientras que será atraída la negativa hacia su extremidad, por la que se escapará en forma de surtidor, neutralizando en parte la de la nube. Si por estar ésta muy cargada de fluido

eléctrico no bastase el que sale por el pararrayos para destruirla, se combinarán entonces los dos fluidos, saltando una chispa entre la nube y el pararrayos, por ser éste el cuerpo mejor conductor y más elevado de todos los inmediatos, dirigiéndose después la electricidad por la barra al depósito común, sin causar daño alguno al edificio en que esté implantado.

La barra del pararrayos debe estar hecha de una varilla de hierro dulce, ligeramente cónica, de unos 50 milímetros de diámetro en su base y de 6 ú 8 metros de longitud. Esta barra termina en una punta de platino, ó mejor aún, en un cono de cobre dorado á fuego (fig. 587) descansando toda ella en la parte superior del edificio. Dicha barra comunica con el suelo por medio de un *cable*, hecho con alambres de hierro galvanizados, de un milímetro de grueso próximamente, formando una especie de cordón de 16 milímetros de diámetro.

Desde la base del pararrayos se lleva el cable á tierra por el camino más corto, evitando formar ángulos agudos, y sosteniéndole, de trecho en trecho, por medio de unas palomillas de hierro.

Desde el suelo se dirige dicho cable, por medio de una zanja rellena de coque machacado, á un pozo de aguas permanentes, en donde se deshila su extremidad y se introduce de tal suerte, que siempre quede cubierto por media vara de agua, aun en las mayores sequías. Si no hubiera un pozo inmediato al edificio, se hace un agujero profundo en el suelo, hasta encontrar una capa de tierra que esté constantemente húmeda, en el que se introduce la extremidad deshecha del cable, rodeándole después de coque machacado que conduce muy bien el fluido eléctrico. En esta operación debe ponerse un gran cuidado, pues si la unión del cable con la tierra es imperfecta, y no deja fácil paso á la electricidad, queda el edificio más expuesto á los efectos del rayo que si careciese de este aparato.

Para calcular el número de pararrayos que necesita un edificio, basta tener en cuenta que, según la experiencia ha demostrado, cada uno protege un espacio circular de doble radio que su longitud; así es que teniendo estos aparatos generalmente 6 metros de altura, su influencia se hace sentir en un espacio circular de 12 metros de radio, á la altura de su base. De aquí se deduce que, si el punto en que aquél se hallase colocado se encuentra á mucha altura sobre el resto del edificio, como sucede en las torres, bastará solamente uno de ellos para defenderle completamente; pero, atendiendo á lo

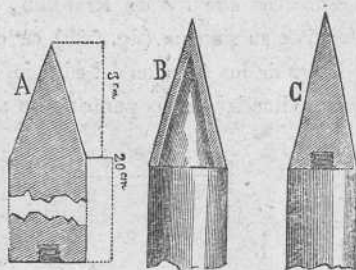


Fig. 587.

poco que cuesta una varilla, respecto de los grandes daños que puede evitar, más vale poner de más que de menos. Si el techo del edificio está chapeado de plomo ó zinc, ó hay en él grandes masas metálicas, conviene unir las íntimamente con el cable del pararrayos, por medio de otros conductores secundarios. Cada dos pararrayos necesitan, además, un cable especial, sin perjuicio de unirlos todos entre sí, haciéndolos llegar á la tierra por varios puntos con las condiciones antes dichas. Teniendo en cuenta todas estas precauciones, nõ son de temer, en manera alguna, los efectos de dicho meteoro.

Recientemente ha adoptado M. Melsens un sistema de pararrayos más económicos que los de Franklin, y de una acción protectora más eficaz. Consiste su sistema (fig. 588) en colocar un conductor delgado de cobre á lo largo de los ángulos del edificio, y hacerle comunicar con varias puntas de cobre, situadas en los puntos más angulosos y salientes. Cada una de estas

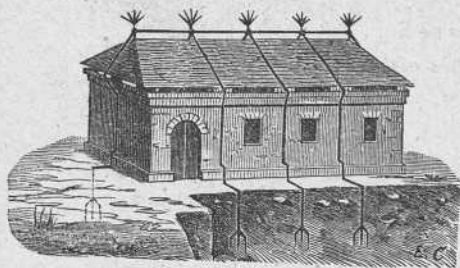


Fig. 588.

puntas se pone en comunicación directa, por medio de un alambre de cobre, con pozos poco profundos abiertos alrededor del edificio. Por este sistema se establece la comunicación con el depósito común de un modo más perfecto, y, como el edificio queda envuelto en una especie de

red metálica, no puede sufrir ningún efecto perjudicial por la caída del rayo. El Ayuntamiento de Bruselas se halla provisto de este sistema de pararrayos, cuyo coste ha resultado inferior al que hubiera ocasionado el antiguo procedimiento

La teoría de los pararrayos nos da la explicación de los desgraciados accidentes á que ha dado lugar la malísima costumbre de tocar á *tente-nublado* en las iglesias, ó guarecerse bajo los árboles en tiempo de tormenta; pues siendo estos objetos muy elevados y terminados en punta, harán oficio de pararrayos, con grave peligro de quien se encuentre cerca de ellos.

En las grandes poblaciones, donde abundan los edificios elevados, y suele haber gran número de pararrayos, se corre poco peligro de ser víctima de una descarga eléctrica; mas no sucede así en las aldeas, y sobre todo en el campo, pues según datos estadísticos de Francia, desde 1835 á 1852, murieron 1.308 personas por esta causa. Conviene, por lo tanto, cuando se está

en dichas condiciones, evitar la proximidad de los objetos metálicos, y aun de las personas; cerrar las puertas y ventanas para dificultar el paso de la electricidad; separarse de las chimeneas que, por ser de hierro el tubo y terminar algo elevadas en el exterior, pudieran servir de conductor al fluido eléctrico; no marchar á caballo por sitios despejados bajo la influencia de una nube y, por último, cubrirse, si es preciso, con telas de seda ú otros cuerpos aisladores.

1105. Trombas.—Consisten estos imponentes meteoros en una masa de vapores procedentes de una nube tempestuosa, que adquiere la forma cónica y se halla animada de un rápido movimiento de giro y de traslación. Su base se halla siempre en dicha nube, y el vértice alcanza á la tierra ó á las aguas del mar (fig. 589), las que se elevan agitadas por la aspiración

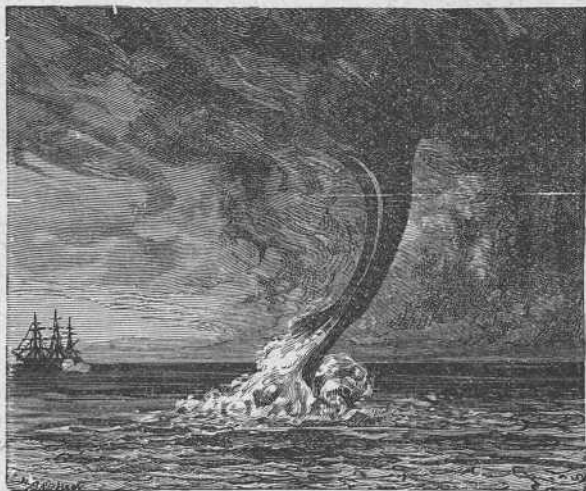


Fig. 589.

que se origina. De su interior suelen partir rayos que ayudan á la destrucción que produce el fenómeno en los sitios que recorre, y no hay árboles, edificios, ni barcos que puedan resistir el empuje de este meteoro. Se admite que su origen es debido á dos corrientes de aire que marchan en sentidos opuestos, y que obligan á una porción de la nube á adquirir un movimiento giratorio más ó menos rápido. Una vez formado el cono que las constituye, se escapa por él, para combinarse con el fluido contrario de la Tierra, la electricidad acumulada en la nube, y á este flujo enorme de electricidad, más que á su movimiento giratorio, deben atribuirse sus terribles efectos. Viene en apoyo de esta teoría el ruido continuo, análogo al del trueno, que sale de

su interior, y el hecho de cesar, mientras dura el meteoro, los fenómenos eléctricos de la nube de que procede. En los mares tropicales suele, por desgracia, ser frecuente este fenómeno, y á sus efectos eléctricos hay que añadir el movimiento vertiginoso que adquiere el aire, dando lugar á la destrucción de los barcos que encuentra á su paso.

1106. Auroras polares.—Consisten estos brillantes meteoros en una faja teñida por colores purpúreos (fig. 590), cuyos diferentes repliegues pare-

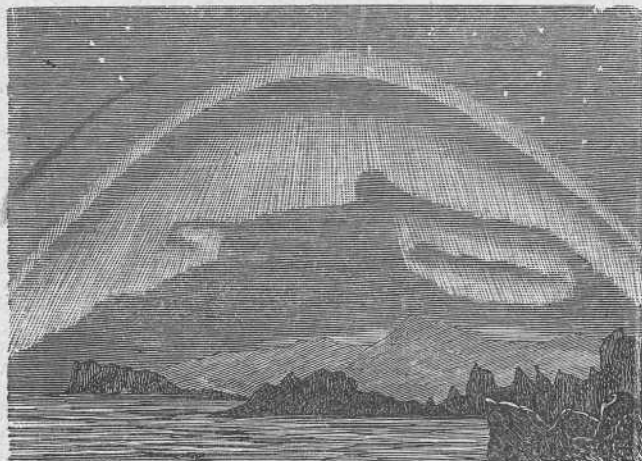


Fig. 590.

cen originarse en los polos magnéticos de la Tierra. Su luz se extiende á grandes distancias, y á veces alcanza nuestras latitudes. Este meteoro es muy frecuente en las regiones próximas á los polos, tanto que en ocho meses han observado M. Bravais y Lontin 143 auroras. Suelen llamarse *auroras boreales* por ser en nuestro hemisferio donde más se las ha estudiado, pero, según repetidas observaciones, se verifican simultáneamente en ambos polos. La influencia que ejerce este meteoro sobre la brújula, y el color violado que le caracteriza, propio de las descargas eléctricas en los gases enrarecidos, han hecho suponer á los físicos que es debido á una serie de descargas eléctricas que tienen lugar entre la electricidad positiva, acumulada en las altas regiones de la atmósfera, y la negativa de las regiones polares.

CAPÍTULO V.

Meteoros luminosos.

1107. Color de la atmósfera: Crepúsculos.—El aire, que en pequeña cantidad es incoloro, deja de serlo en masas considerables, como las que constituyen nuestra atmósfera, tomando entonces un hermoso tinte *azul de cielo*. Este color se altera más ó menos según la cantidad de vapor acuoso que tenga el aire; cuando está muy seco se oscurece y acerca al gris, tirando por el contrario al ceniciento cuando se halla muy cargado de humedad.

Las gotitas de agua que constituyen las nubes, y las partículas térreas suspendidas en el aire, le hacen también cambiar de color, pudiendo observarse ricos y muy variados matices á la salida y puesta del Sol.

La falta de transparencia absoluta del aire origina otro fenómeno luminoso de la atmósfera, llamado *crepúsculo*, que es la luz que precede á la salida del Sol y sigue á su ocultación bajo el horizonte. Si el aire fuera en absoluto transparente, el día sucedería á la noche de un modo brusco, pero, efecto de no serlo, antes de aparecer el astro del día iluminan sus rayos las altas regiones de la atmósfera, y reflejándose en ellas, alumbran gradualmente la Tierra. La duración de los crepúsculos es variable de unas á otras latitudes, y depende de la oblicuidad con que corta al horizonte la línea que sigue el Sol en su marcha aparente. En nuestras latitudes dura, aproximadamente, media hora en el verano y tres cuartos de hora en invierno; mas á medida que crece la latitud del lugar que se considere, aumenta su duración, y recíprocamente. Los astrónomos han calculado que la luz crepuscular dura hasta que el Sol se halla á 18° bajo el horizonte.

1108. Arco iris.—Este magnífico meteoro consiste en un arco circular teñido por los colores del espectro, de un tamaño que depende de la hora y sitio en que se observe. Para que se verifique es necesario que el Sol no pase de cierta altura sobre el horizonte, y que al lado opuesto se halle una nube que esté resolviéndose en lluvia.

Colocado un observador mirando á dicha nube, y de espaldas al Sol, los rayos de este astro son reflejados y descompuestos en las gotas de agua de la nube, produciendo en la retina de aquél el efecto de que nos ocupamos. La marcha de la luz en las diferentes gotas de agua es la que indica la figura 591, y por ella vemos que los rayos luminosos sufren al penetrar en

la gota *m* una refracción, luego una reflexión total y á su salida de la gota líquida otra refracción; en esta última salen divergentes y, como consecue-

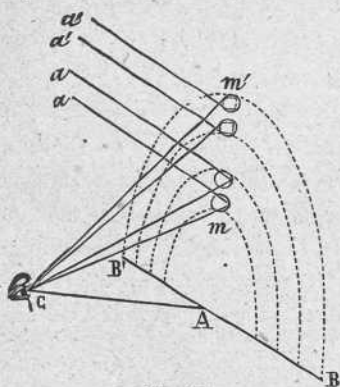


Fig. 591.

cia, la luz queda descompuesta en el colores del espectro. Ahora bien; cálculo demuestra que los rayos rojos, procedentes de esta descomposición, forman con la línea que va desde el Sol á la pupila del observador un ángulo de $42^{\circ} 1'$, mientras que los violados le forman de $40^{\circ} 17'$; por lo tanto, todas las gotitas que se hallen bajo el primer ángulo, que evidentemente formarán un arco de círculo, aparecerán rojas, y violadas las que correspondan á la segunda inclinación, resultando los colores inter-

medios de las inclinaciones comprendidas entre aquéllos. Resulta, pues, que el observador distinguirá una serie de arcos consecutivos teñidos por los diferentes colores del espectro, correspondiendo el rojo á la parte exterior y el violeta al interior de los mismos; su tamaño dependerá de la altura del Sol sobre el horizonte, siendo de 180° á la salida y puesta de este astro, y dejando de percibirse desde que el Sol se halle á $42^{\circ} 1'$ sobre aquel plano.

En circunstancias favorables puede verse un segundo arco sobre el que acabamos de describir, formado, como indica la figura anterior, por dos reflexiones totales de la luz en otra serie de gotas *m'* más elevadas, resultando como consecuencia, la inversión del orden en que aparecen los colores del fenómeno. En teoría pueden observarse otros muchos arcos, originados por tres, cuatro ó más reflexiones totales en las gotas de encima, pero la luz que los forma es tan débil que rara vez se observan más de tres.

El arco iris puede formarse también, en condiciones análogas á las que acabamos de exponer, por la luz de la Luna, si bien los colores son mucho más débiles.

1109. Halos.—En las altas regiones de la atmósfera existen pequenísimos cristales de hielo, procedentes de la condensación del vapor acuoso que elevan las corrientes de aire caliente; al atravesar dichos cristales la luz solar se refleja y refracta, originando círculos concéntricos con dicho astro, teñidos por los colores del iris, los cuales han recibido el nombre de *halos*.

Estos círculos pueden cambiar notablemente de posición, según se hallen colocados los cristallitos de hielo que los originan, resultando fenómenos lu-

minosos muy variados, llamados *parelios*. La Luna puede, á su vez, originar meteoros análogos, que por su origen se llaman *paraselenes*.

Para comprender la formación de dichos círculos, basta recordar que la luz descompuesta por un prisma cambia de dirección á medida que varía el ángulo de incidencia, y que, al llegar al mínimo de desviación, queda estacionado un momento el rayo de la luz descompuesta, para separarse luego en sentido contrario. Ahora bien; los cristalitos de hielo que flotan en la atmósfera están moviéndose continuamente, y originarán espectros en todas direcciones, de los cuales sólo serán visibles aquellos que, por su duración apreciable, sean capaces de impresionar la retina. Esta posición es la que corresponde al *mínimum* de desviación de los prismas de hielo respecto de los rayos solares, y su conjunto, que forzosamente ha de formar un círculo, da origen al fenómeno que nos ocupa.

CAPÍTULO VI.

Meteorología práctica.

1110. Mapas del tiempo.—Todos los conocimientos que actualmente se poseen, relativos á la *previsión del tiempo*, se fundan en las observaciones meteorológicas efectuadas en un momento dado sobre un gran número de comarcas inmediatas; expresando gráficamente sobre un papel el resultado de dichas observaciones, se constituyen los *mapas del tiempo*, cuyo examen suministra, casi siempre, indicaciones de gran utilidad para predecir con cierta antelación los cambios atmosféricos. Los elementos más importantes de dichos mapas son, la altura barométrica y la dirección y fuerza del viento; por medio del adjunto grabado (fig. 592), que representa el mapa del tiempo correspondiente á las tres de la tarde de Febrero de 1879 en Francia, se comprenderá fácilmente la formación de dichos mapas. Desde luego se trazan las isobaras correspondientes á la hora y región que se estudia, anotando en cada una el valor de la presión atmosférica reducida á cero y al nivel del mar; en los puntos ocupados por los observatorios se indica la dirección en que *viene* el viento, por medio de una línea en forma de flecha, y en ella se ponen un número de rayas, imitando las plumas, proporcional á la velocidad del aire.

Construidos los mapas de este modo, la simple inspección de los mismos revela las siguientes consecuencias:

1.^a Las isobaras forman, en general, curvas cerradas, circulares ó elípticas, cuyo centro corresponde siempre, ya á una depresión, ó bien á una máxima barométrica.

2.^a Dichas isobaras son menos frecuentes á medida que se separan del centro.

3.^a Las flechas del viento, especialmente en el mar, son sensiblemente

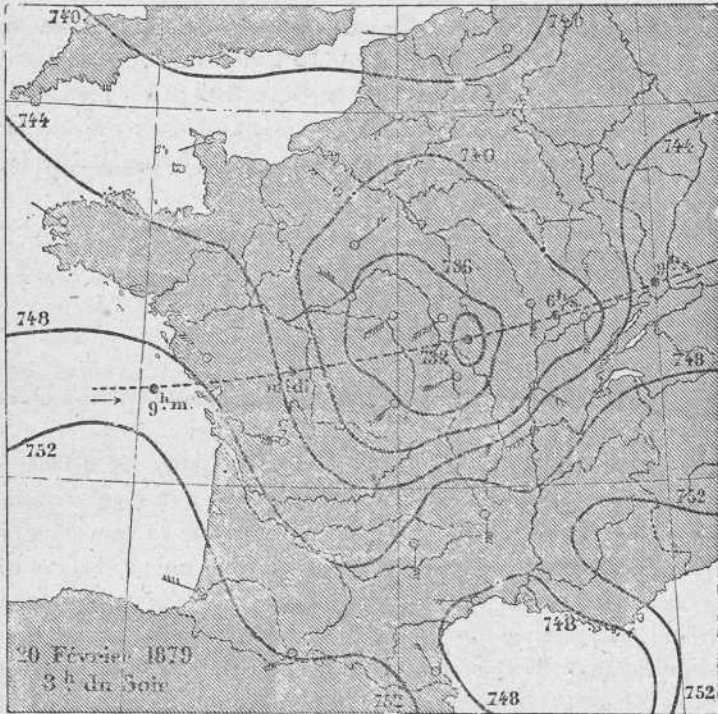


Fig. 592.

paralelas á las isobaras, y su dirección es la que se indicó al hablar de la ley de Buys-Ballot.

4.^a Cuando las isobaras están muy juntas, el viento de la zona á que corresponden es impetuoso, y, al contrario, es débil si aquellas curvas están separadas.

5.^a El conjunto de isobaras se traslada de unos á otros puntos, sin alterar sensiblemente sus relaciones de posición y magnitud.

1111. Marcha de las depresiones.—Estudiando atentamente la relación que pueda existir entre los grandes trastornos atmosféricos y las depre-

siones barométricas, han observado los físicos que la mayor parte de las borrascas son debidas á la proximidad ó presencia de dichas depresiones, las cuales suelen llegar á Europa á través del Atlántico; es, por tanto, de la mayor importancia conocer el camino que suelen recorrer al abordar á Europa y las señales precursoras de estos fenómenos.

La mayor parte de dichas depresiones penetran en nuestro continente, unas veces por Islandia y la Noruega, otras por la Gran Bretaña, y otras, por fin, por el golfo de Gascuña. Una vez en Europa avanzan generalmente del SO. hacia el NE. con una velocidad muy variable de unas á otras; en la figura 583 están marcados los puntos que ocupó el centro de la depresión á que se refiere el grabado de tres en tres horas, y desde luego se observa que su movimiento de traslación es bastante regular.

Los principales síntomas que revelan la proximidad de dichas borrascas, propias generalmente de la estación de invierno, son los siguientes: Presencia de algunas nubecillas blanquecinas ó cirrus; descenso más ó menos rápido del barómetro; cambio de la dirección del viento, inclinándose generalmente hacia el tercer cuadrante; elevación más ó menos notable de la temperatura, y, por último, noticia telegráfica de la marcha de estos mismos fenómenos procedentes de las estaciones situadas al Oeste del sitio en cuestión, siendo este último dato el medio más seguro para predecir tales trastornos atmosféricos.

1112. Efectos que producen las borrascas sobre el tiempo.—

Con los conocimientos que ya tenemos sobre la marcha regular de los vientos (1080), podemos fácilmente deducir las consecuencias que tendrá, para una cierta localidad, la aparición sobre el Atlántico de una depresión barométrica. Supongamos que se trata del centro de España y que aborda en invierno nuestra península uno de estos meteoros por el golfo de Gascuña. El barómetro, que suele estar elevado en esta época del año, empezará á descender á medida que se acerque la borrasca, y el viento, que generalmente es NE. en dicha estación, saltará probablemente al E. y después al S. para pasar luego al SO. Los vientos de este punto son húmedos y templados para España, así que el tiempo se pondrá lluvioso y el termómetro subirá. Á medida que avance la depresión se acentuarán más dichos fenómenos y el viento aumentará en velocidad, hasta que el centro de la borrasca pase al E. del meridiano del punto objeto de nuestro estudio. Desde este momento el barómetro empezará á subir y el viento se inclinará al O. para pasar después al N.; el termómetro descenderá rápidamente y las lluvias irán cesando, para convertirse acaso en nevascos. Á medida que el meteoro avance hacia el E. de Europa el viento disminuirá en intensidad, su direc-

ción irá inclinándose al NE., como estaba al principio, y el barómetro y termómetro volverán á la altura propia de esta época del año.

1113. Previsión del tiempo.—Suponiendo que se remitan por telégrafo á una estación central los resultados de las observaciones practicadas á la misma hora en un gran número de localidades, se podrá dibujar en aquella el mapa del tiempo correspondiente á dicha región, y por su examen averiguar si se acerca alguna depresión ó borrasca. Como el camino y velocidad de estas depresiones es aproximadamente conocido, podrá telegrafarse á los puntos amenazados con varias horas de anticipación, para prevenirles la aproximación del meteoro y evitar en lo posible los daños consiguientes. Este sistema, ideado por Le Verrier, se sigue actualmente en los países más adelantados del mundo, y hasta ahora es el único medio de predecir el tiempo con alguna antelación.

Los países occidentales de Europa se encuentran, sin embargo, en malas condiciones para establecer este sistema, pues hallándose separados de la América del Norte por el mar Atlántico, no es posible, como sería necesario, establecer una serie de observatorios que les uniera con dicho continente, y ya hemos indicado que estos meteoros nos llegan generalmente en la dirección que sigue la *corriente del Golfo*.

1115. Ciclones.—Reciben este nombre unas columnas de aire, más ó menos considerables, animadas de un movimiento giratorio sumamente rápido, las que avanzan á su vez con una velocidad de 15 á 45 kilómetros por hora. Estos meteoros se originan en las regiones tropicales, y reconocen por causa una gran depresión barométrica, debida al encuentro de los alisios procedentes de ambos hemisferios.

El movimiento giratorio se verifica en ellos con arreglo á lo que ya hemos dicho al hablar de las depresiones, ó sea, en nuestro hemisferio en sentido contrario que las agujas de un reloj, y en igual sentido que éstas en el hemisferio austral. El valor de la depresión llega á veces á 40 y 50 milímetros de la columna barométrica y, como consecuencia, la velocidad que adquiere el viento es enorme, llegando en ocasiones á 250 kilómetros por hora. El movimiento de traslación de estos meteoros se verifica en nuestro hemisferio hacia el NO. (fig. 593), y á medida que se separan del Ecuador va cambiando hasta convertirse después en NE.

Efecto de los dos movimientos de giro y traslación que adquieren estas masas de aire, es muy diferente en sus dos bordes la velocidad del viento, siendo mucho más considerable en la parte interna de la curva que forma su trayectoria, por sumarse ambas velocidades, mientras que en el borde exterior se restan, por verificarse dichos movimientos en direcciones opuestas;

este es el borde que llaman los marinos *gobernable*, y se halla separado del *peligroso* por una región relativamente tranquila, pero muy expuesta para los barcos por venir en ella las olas en todas direcciones.

Estos funestos meteoros, que causan infinidad de desgracias en las regio-

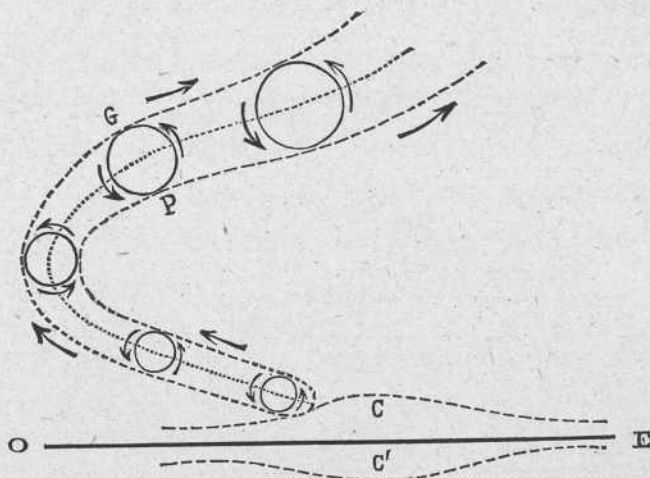


Fig. 593.

nes que atraviesan, se conocen con el nombre de *ciclones* en los mares de las Antillas y de las Indias, *thifones* en el mar de la China, y *tornados* en el Senegal.

Su presencia va acompañada de un brusco descenso barométrico, vientos huracanados y lluvias torrenciales. Al alcanzar nuestras latitudes, se ensanchan por lo general y pierden su intensidad, quedando reducidos á simples depresiones.

FIN.



ÍNDICE DE MATERIAS.

LIBRO PRIMERO.

MATERIA PONDERABLE.

CAPÍTULO PRIMERO.

Nociones preliminares.

	<u>Págs.</u>
Ciencias cosmológicas.—Objeto de la Física.—Cuerpos.—Materia.—Constitución de los cuerpos.—Fuerzas moleculares.—Estados de los cuerpos.—Leyes y teorías físicas.—Agentes naturales.—Plan de la asignatura.....	5

CAPÍTULO II.

Propiedades de los cuerpos.

ARTÍCULO PRIMERO.

PROPIEDADES GENERALES.

División de las propiedades de los cuerpos.—Extensión.—Nonius.—Catetómetro.—Método de multiplicación.—Impenetrabilidad.—Movilidad.—Inercia.—Atracción universal.....	8
--	---

ARTÍCULO II.

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS SÓLIDOS.

Diferentes maneras de ensayar la elasticidad en los sólidos.—Tenacidad.—Ductilidad.—Dureza.....	20
---	----

CAPÍTULO III.

Mecánica de los sólidos.

ARTÍCULO PRIMERO.

ESTÁTICA.

§ 1.º—Fuerzas. Objeto de la Mecánica.—Su división.—Clasificación de las fuerzas.—Su representación.—Medida de las fuerzas.—Composición de las fuerzas.—Paralelogramo de las fuerzas.—Fuerzas paralelas.....	22
§ 2.º—Máquinas. División de las máquinas.—Palanca.—Diferentes géneros de palancas.—Palancas múltiples.—Poleas.—Polipastos.—Torno.—Cabrestante.—Cric.—Ruedas dentadas.—Correa sin fin.—Grua.—Plano inclinado.—Cuña.—Tornillo.—Tornillo sin fin.....	30

§ 3.º— <i>Rozamiento</i> . Diferentes clases de rozamiento.—Causas del rozamiento.—Medios de modificar el rozamiento.—Resistencias pasivas.....	46
---	----

ARTÍCULO II.

DINÁMICA.

§ 1.º— <i>Movimiento de los cuerpos</i> . Diferentes clases de movimiento.—Movimiento uniforme.—Movimiento uniformemente acelerado.—Movimiento uniformemente retardado.—Relación entre las fuerzas y las aceleraciones.—Masa mecánica de un cuerpo.—Relación entre las fuerzas y las masas.—Relación entre las fuerzas y las cantidades de movimiento.—Trabajo mecánico.—Fuerza viva.—Energía.—Conservación de la energía.—Movimiento parabólico.—Movimiento de rotación.—Movimiento circular.—Efectos de la fuerza centrífuga.—Achatamiento de la Tierra.....	47
§ 2.º— <i>Choque</i> . Choque de los cuerpos no elásticos.—Choque de los elásticos.—Choque oblicuo de cuerpos elásticos.—Efectos del choque.—Comunicación del movimiento.....	62

ARTÍCULO III.

GRAVEDAD.

§ 1.º— <i>Modo de obrar la gravedad</i> . Leyes de la gravedad.—Peso y centro de gravedad de los cuerpos.—Dirección de la gravedad.—Equilibrio de los cuerpos suspendidos por un punto.—Equilibrio cuando descansan sobre un plano.—Determinación práctica del centro de gravedad.....	68
§ 2.º— <i>Leyes de la caída de los cuerpos</i> . Descenso de los cuerpos.—Máquina de Atwood.—Velocidad debida á una altura.—Cuerpos lanzados en sentido contrario de la gravedad.....	74
§ 3.º— <i>Péndulo</i> . Movimiento oscilatorio.—Péndulo simple.—Sus leyes.—Longitud del péndulo compuesto.—Péndulo de segundos.—Causas que hacen variar la intensidad de la gravedad.—Aplicaciones del péndulo.....	80
§ 4.º— <i>Peso de los cuerpos</i> . Peso absoluto y relativo de los cuerpos.—Balanza.—Método de las dobles pesadas.—Balanza de Roberval.—Romana.—Báscula de Quintenz.—Densidad y peso específico de los cuerpos.....	85

CAPÍTULO IV.

Mecánica de líquidos.

ARTÍCULO PRIMERO.

HIDROSTÁTICA.

§ 1.º— <i>Presiones que ejercen los líquidos</i> . Caracteres especiales de los líquidos.—Transmisión de las presiones ejercidas en un líquido.—Principio de Pascal.—Prensa hidráulica.—Equilibrio de un líquido sometido únicamente á la acción de la gravedad.—Presiones que sufren las moléculas en el interior de un líquido.—Presiones ejercidas por los líquidos en los vasos que los contienen.—Presión ascendente ó empuje de los líquidos.—Equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes.—Nivel de agua.....	93
§ 2.º— <i>Principio de Arquímedes</i> . Su demostración.—Determinación del volumen de un cuerpo.—Cuerpos flotantes.—Su equilibrio.—Equilibrio de varios líquidos superpuestos.—Nivel de aire.....	106
§ 3.º— <i>Peso específico de los cuerpos</i> . Su determinación por la balanza hidrostática.—Método del frasco.—Aerómetro de Nicholson.—Aerómetro de Fahrenheit.—Aerómetro de Baumé.—Alcohómetro de Gay-Lussac.—Densímetros.—Peso específico de los gases.....	110
§ 4.º— <i>Capilaridad</i> . Fenómenos capilares.—Causas de la capilaridad.—Leyes de la capilaridad.—Hechos que dependen de ella.—Difusión de los líquidos.—Osmosis.....	120

ARTÍCULO II.

HIDRODINÁMICA.

Salida por orificios practicados en pared delgada.—Constitución de la vena líquida.—Teorema de Torricelli.—Gasto de un orificio.—Salida uniforme de un líquido.—Unidades para medir el agua.—Salida por tubos adicionales.—Salida por tubos largos.—Presión hidráulica.—Surtidores.—Reacción producida por la salida de un líquido..... 123

CAPÍTULO V.

Pneumática.

ARTÍCULO PRIMERO.

PNEUMOSTÁTICA.

§ 1.º—*Presión que ejercen los gases.* Caracteres especiales de los gases.—Principio de Pascal aplicado á los gases.—Peso de los gases.—Atmósfera.—Presión atmosférica..... 129

§ 2.º—*Medida de la presión atmosférica.* Barómetro.—Su construcción.—Barómetro de Fortin.—Barómetro de sifón.—Barómetro normal.—Correcciones de la altura barométrica.—Barómetro de Vidie.—Barómetro de Bourdon.—Valor de la presión atmosférica.—Medida de alturas con auxilio del barómetro..... 133

§ 3.º—*Fuerza elástica de los gases.* Ley de Mariotte.—Sus aplicaciones.—Manómetro de aire libre.—Manómetro de aire comprimido.—Manómetro de Bourdon.—Piezómetro de Orsted.—Mezcla de gases.—Disolución de los gases en el agua..... 143

§ 4.º—*Aparatos fundados en las propiedades de los fluidos.* Bomba aspirante.—Bomba impelente.—Bomba mixta.—Bomba de doble efecto.—Bomba de incendios.—Pipeta.—Fuente intermitente.—Sifón.—Frasco de Mariotte.—Máquina neumática.—Máquina de Bianchi.—Trompa de Sprengel.—Aplicaciones de la máquina neumática.—Máquina contra-neumática.—Escopeta de viento.—Fuente de compresión.—Fuente de Herón..... 150

§ 5.º—*Generalización del principio de Arquímedes.* Baroscopio.—Globos aerostáticos.—Ascensiones notables.—Dirección de los globos.—Fuerza ascensional..... 169

ARTÍCULO II.

PNEUMODINÁMICA.

Salida de los gases encerrados en un depósito.—Salida uniforme de un gas.—Fuelles.—Ventiladores de fuerza centrífuga..... 173

CAPÍTULO VI.

Acústica.

ARTÍCULO PRIMERO.

ORIGEN Y PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

Movimiento vibratorio.—Objeto de la acústica.—Causa del sonido.—El sonido no se propaga en el vacío.—Velocidad del sonido.—Todos los sonidos se propagan con igual velocidad.—Estado del aire que transmite un sonido.—Modo de hacer visibles las ondulaciones del aire.—Interferencia del sonido.—Dirección en que se propaga el sonido.—Reflexión del sonido.—Eco.—Bocina.—Trompetilla acústica..... 177

ARTÍCULO II.

CUALIDADES DEL SONIDO.

§ 1.º— <i>Intensidad del sonido.</i> Causas que modifican la intensidad de los sonidos.—Intensidad del sonido transmitido por un tubo.....	190
§ 2.º— <i>Tonalidad de los sonidos.</i>	
A. <i>Número de vibraciones de un sonido.</i> Tono de los sonidos.—Rueda de Savart.—Sirena de Cagniard.—Método gráfico.—Límite de los sonidos perceptibles.....	192
B. <i>Teoría física de la música.</i> Intervalo de dos sonidos.—Escala musical.—Gama cromática.—Escala templada.—Número absoluto de vibraciones de las notas de la gama.—Longitud de la onda.—Acordes.—Pulsaciones.—Armónicos de un sonido.—Límite de los sonidos empleados en música.....	196
C. <i>Vibraciones del aire en los tubos.</i> Tubos sonoros.—Sonidos producidos por los tubos.—Modo de vibrar el aire en los tubos.—Situación de los nodos y vientres.—Su causa.....	201
D. <i>Vibraciones de las cuerdas.</i> Cuerdas sonoras.—Vibraciones transversales de las mismas.—Leyes de dichas vibraciones.—Armónicos de las cuerdas.....	207
E. <i>Vibraciones de los cuerpos rígidos.</i> Vibraciones de las varillas.—Diapason.—Comparación del sonido de dos diapasones.—Vibraciones de las placas.—Vibraciones de las membranas.....	211
§ 3.º— <i>Tímbre de los sonidos.</i> Sonidos simples y complejos.—Análisis de un sonido.—Causa del tímbre.—Síntesis de los sonidos.....	213

ARTÍCULO III.

APARATOS ACÚSTICOS.

Instrumentos de música.—Voz humana.—Mecanismo de la audición.—Fonógrafo.....	217
--	-----

LIBRO SEGUNDO.

ÓPTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Propagación de la luz.

Fluidos imponderables.—Objeto de la Óptica.—Hipótesis de la emisión.—Hipótesis de las ondulaciones.—Diferencias que presentan los cuerpos con relación a la luz.—Transmisión de la luz por un medio homogéneo.—Sombra y penumbra.—Cámara oscura.—Velocidad de la luz.—Medida de la intensidad de la luz.—Fotómetros.....	221
--	-----

CAPÍTULO II.

Catóptrica.

ARTÍCULO PRIMERO.

LEYES DE LA REFLEXIÓN.

Espejos.—Leyes de la reflexión de la luz.—Reflexión difusa.....	229
---	-----

ARTÍCULO II.

ESPEJOS PLANOS.

Imágenes reales y virtuales.—Imágenes producidas por los espejos planos.—Repetición de la imagen de un cuerpo por reflexiones sucesivas.—Aplicaciones de los espejos planos.—Kaleidoscopio.....	230
---	-----

ARTÍCULO III.

ESPEJOS CURVOS.

§ 1.º— <i>Espejos esféricos cóncavos.</i> Reflexión de la luz en los espejos esféricos cóncavos.—Fórmula de estos espejos.—Foco de un punto situado fuera del eje principal.—Construcción de las imágenes.—Tamaño de las mismas.—Determinación del radio de curvatura.....	243
§ 2.º— <i>Espejos esféricos convexos.</i> Reflexión de la luz en estos espejos.—Fórmula de los mismos.—Construcción de las imágenes.—Tamaño de las mismas.—Determinación del radio de curvatura.—Aplicaciones de los espejos esféricos.....	243

CAPÍTULO III.

Dióptrica.

ARTÍCULO PRIMERO.

REFRACCIÓN Á TRAVÉS DE MEDIOS HOMOGÉNEOS.

§ 1.º— <i>Leyes de la refracción.</i> Fenómenos de la refracción.—Leyes de Descartes.—Índices de refracción.—Ángulo límite.—Reflexión total.—Construcción del rayo refractado.—Espejismo.—Fuente luminosa.—Refracción astronómica.....	248
§ 2.º— <i>Refracción á través de cuerpos terminados por superficies paralelas.</i> Cristales planos.—Paralelismo de los rayos incidente y emergente.....	258
§ 3.º— <i>Refracción á través de cuerpos terminados por superficies inclinadas.</i> Prismas.—Refracción de la luz á través de un prisma.—Desviación.—Causas que influyen en la desviación de los prismas.—Reflexión total en los prismas.....	259
§ 4.º— <i>Refracción á través de cuerpos terminados por superficies curvas.</i> Lentes.—Líneas que en ellas se consideran.....	262
A. <i>Lentes convergentes.</i> Marcha de la luz en estas lentes.—Determinación de sus focos.—Fórmula de las lentes convergentes.—Construcción y tamaño de las imágenes.—Determinación de la distancia focal de una lente convergente.....	263
B. <i>Lentes divergentes.</i> Marcha de la luz en estas lentes.—Fórmula de las lentes divergentes.—Construcción y tamaño de las imágenes.—Determinación del foco principal de una lente divergente.—Aplicaciones de las lentes....	269

ARTÍCULO II.

REFRACCIÓN Á TRAVÉS DE MEDIOS HETEROGÉNEOS.

Cristales birrefringentes.—Cristales de uno y dos ejes.—Marcha de la luz en los cristales de un eje.—Causa de la doble refracción.....	273
--	-----

CAPÍTULO IV.

Dispersión de la luz.

ARTÍCULO PRIMERO.

ANÁLISIS DE LA LUZ BLANCA.

Descomposición de la luz por los prismas.—Recomposición de la luz blanca.—Color de los cuerpos.—Análisis de un color.—Luz mono-cromática.....	275
---	-----

ARTÍCULO II.

ACROMATISMO.

Aberración de refrangibilidad.—Prismas y lentes acromáticos..... 280

ARTÍCULO III.

ESTUDIO DEL ESPECTRO.

Diferentes propiedades del espectro.—Radiaciones que constituyen el espectro..... 281

ARTÍCULO IV.

ANÁLISIS ESPECTRAL.

Rayas del espectro.—Espectroscopio.—Diferentes clases de espectros.—Explicación de las rayas del espectro solar..... 282

CAPÍTULO V.

De la visión.

Descripción del ojo humano.—Mecanismo de la visión.—Principales defectos del ojo humano.—Percepción de los colores.—Persistencia de las impresiones en la retina.—Visión sencilla y doble.—Esterescopio..... 284

CAPÍTULO VI.

Instrumentos de Óptica.

ARTÍCULO PRIMERO.

APARATOS DE PROYECCIÓN.

Cámara oscura.—Daguerreotipo.—Cámara fotográfica.—Procedimiento al gelatino-bromuro de plata.—Procedimiento al platino.—Cámara lúcida.—Linterna mágica.—Microscopio foto-eléctrico.—Microscopio solar..... 288

ARTÍCULO II.

MICROSCOPIOS.

Microscopio simple.—Su amplificación.—Microscopio compuesto.—Amplificación de este microscopio..... 297

ARTÍCULO III.

ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.

Anteojo astronómico.—Su amplificación.—Anteojo terrestre.—Anteojo de Galileo.—Telescopio de Gregory.—Telescopio de Newton.—Comparación de los anteojos y telescopios. 300

CAPÍTULO VII.

Fenómenos producidos por la naturaleza especial de las vibraciones del éter.

ARTÍCULO PRIMERO.

INTERFERENCIAS.

Naturaleza de las vibraciones del éter.—Interferencias.—Principio de Huyghens.—Difracción.—Mallas.—Anillos de Newton..... 305

ARTÍCULO II.

POLARIZACIÓN DE LA LUZ.

Polarización por reflexión.—Polarización por refracción sencilla.—Polarización por doble refracción.—Propiedades de la luz polarizada.—Polariscopios.—Polarización rotatoria.—Polarización cromática.—Teoría de la polarización.. 309

CAPÍTULO VIII.

Manantiales de luz.

Luz solar y de las estrellas.—Luz producida por el calor y combinaciones químicas.—Fosforescencia y fluorescencia..... 314

LIBRO TERCERO.

CALÓRICO.

CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos generales.

Efectos que produce el calor.—Hipótesis sobre la naturaleza del calorico..... 317

CAPÍTULO II.

Dilatación de los cuerpos.

ARTÍCULO PRIMERO.

TERMÓMETROS.

Dilatabilidad.—Temperatura.—Termómetros.—Construcción del termómetro.—Diferentes escalas termométricas.—Conversión de unas en otras.—Sensibilidad de un termómetro.—Termómetro de alcohol.—Termómetros de máxima y mínima.—Termómetros diferenciales.—Termo-multiplicador de Nobilli.—Pirómetros..... 318

ARTÍCULO II.

DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS.

Coefficientes de la dilatación.—Relación entre los coeficientes de la dilatación lineal, superficial y cúbica.—Fórmulas de la dilatación de los cuerpos.—Péndulos compensadores..... 329

ARTÍCULO III.

DILATACIÓN DE LOS LÍQUIDOS.

Dilatación real y aparente.—Dilatación real del mercurio.—Dilatación aparente de los líquidos.—Termómetro de peso.—Dilatación del agua.—Corrección de la altura barométrica.. 334

ARTÍCULO IV.

DILATACIÓN DE LOS GASES.

Coefficiente de la dilatación de los gases.—Termómetro de aire.—Pirómetro de aire.—Peso específico de los gases..... 337

CAPÍTULO III.

Cambios de estado.

ARTÍCULO PRIMERO.

FUSIÓN.

Leyes de la fusión.—Particularidades que acompañan á la fusión de algunos cuerpos —Rehelo.—Calórico de fusión.—Disolución.—Mezclas frigoríficas.—Solidificación.—Particularidades de la solidificación de algunos cuerpos.—Cristalización.—Fuerza expansiva del hielo..... 340

ARTÍCULO II.

VAPORIZACIÓN.

§ 1.º—*Evaporación.* Vapores.—Evaporación en espacios vacíos.—Diferencia entre los vapores y los gases.—Medida de la tensión de los vapores.—Evaporación en espacios ocupados por un gas.—Evaporación espontánea —Frio que produce la evaporación..... 345
 § 2.º—*Ebullición.* Leyes de la ebullición.—Circunstancias que modifican la temperatura de ebullición de los líquidos.—Hipsómetro.—Temperatura de ebullición de las disoluciones salinas.—Influencia de los gases en la ebullición. 355

ARTÍCULO III.

LIQUEFACCIÓN DE LOS VAPORES Y GASES.

Destilación.—Liquefacción de los gases..... 360

ARTÍCULO IV.

ESTADO ESFEROIDAL.

Calefacción de los líquidos.—Circunstancias que acompañan á este fenómeno. 362

CAPÍTULO IV.
Propagación del calor.

ARTÍCULO PRIMERO.
CONDUCTIBILIDAD.

Diferentes modos de propagarse el calor.—Conductibilidad de los sólidos.—
Conductibilidad de los líquidos.—Conductibilidad de los gases.—Aplicacio-
nes de la conductibilidad..... 364

ARTÍCULO II.
RADIACIÓN DEL CALOR.

Propagación del calórico radiante.—Velocidad del mismo.—Leyes de la trans-
misión del calórico radiante.—Equilibrio móvil de temperatura.—Ley del
enfriamiento de los cuerpos.—Reflexión del calórico.—Poder reflector de los
cuerpos.—Poder difusivo.—Poder emisivo.—Poder absorbente.—Diaterman-
cia de los cuerpos.—Identidad del calor y la luz..... 367

CAPÍTULO V.
Calorimetría.

Calor específico de los cuerpos.—Su determinación por el método de las mez-
clas y por el de la fusión del hielo.—Ley de Dulong y Petit.—Calórico de
fusión.—Calor de vaporización..... 379

CAPÍTULO VI.
Teoría mecánica del calor.

Orígenes del calor.—Acciones mecánicas como causas del calor.—Orígenes
físicos del calor.—Calor terrestre.—Orígenes químicos.—El movimiento
como causa del calor.—Equivalente mecánico del calor..... 384

CAPÍTULO VII.
Máquinas térmicas.

Máquinas de vapor.—Disposición general de las mismas.—División de las má-
quinas de vapor.—Generadores de vapor.—Máquina de Watt.—Locomoto-
ras.—Máquinas marinas.—Motores de gas..... 388

LIBRO CUARTO.
MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD.

SECCIÓN PRIMERA.
MAGNETISMO.

CAPÍTULO PRIMERO.
Imanes.

Piedra imán.—Imanes artificiales.—Polos y línea neutra.—Orientación de los
imanes.—Acciones recíprocas de ambos polos.—Imanación por influencia.—
Hipótesis sobre el magnetismo..... 397

CAPÍTULO II.

Magnetismo terrestre.

Acción de la Tierra sobre los imanes.—Par magnético terrestre.—Declinación magnética.—Variaciones de la declinación.—Líneas isógonas.—Brújula marina.—Inclinación magnética.—Brújulas astáticas.....	401
--	-----

CAPÍTULO III.

Imanación artificial.

Métodos de imanación.—Simple contacto.—Contacto separado.—Doble contacto.—Diferentes formas de los imanes.—Conservación de los imanes.....	407
--	-----

SECCIÓN SEGUNDA.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos generales.

Descubrimiento de la electricidad.—Medios de producir la electricidad.—Péndulo eléctrico.—Electricidades contrarias.—Hipótesis sobre la naturaleza de la electricidad.—Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.—Cuerpos buenos y malos conductores.—Desarrollo simultáneo de ambos fluidos.—Acumulación de la electricidad en la superficie de los cuerpos.—Distribución de la electricidad entre los cuerpos en contacto.—Distribución sobre la superficie de los cuerpos.—Propiedad de las puntas.—Descarga espontánea de los cuerpos electrizados.....	411
---	-----

CAPÍTULO II.

Electrización por influencia.

Fenómenos de la influencia eléctrica.—Chispa eléctrica.—Explicación de las atracciones y repulsiones eléctricas.—Electroscopios.....	420
--	-----

CAPÍTULO III.

Máquinas eléctricas.

Electróforo.—Máquina de Ramsden.—Máquina de Holtz.—Máquina de Carré.	424
--	-----

CAPÍTULO IV.

Condensación de la electricidad.

Condensadores.—Descarga de los mismos.—Botella de Leyden.—Excitadores.—Baterías.—Cuadro fulminante.—Botella de Franklin.—Electrómetro condensador de Volta.....	431
---	-----

CAPÍTULO V.

Efectos de la electricidad estática.

Efectos mecánicos.—Efectos físicos.—Efectos químicos.—Efectos fisiológicos.	438
---	-----

SECCIÓN TERCERA.
ELECTRICIDAD DINÁMICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

Electricidad desarrollada por las acciones químicas.

ARTÍCULO PRIMERO.

PILAS DE UN SOLO LÍQUIDO.

Experimento de Galvani.—Pila de Volta.—Teoría química de la pila.—Potencial eléctrico.—Diferencia entre la cantidad y tensión eléctrica.—Pila de artesa.—Pila de Wollaston..... 445

ARTÍCULO II.

PILAS DE CORRIENTE CONSTANTE.

Polarización de las pilas.—Pila de Daniell.—Pila de Bunsen.—Pila de Leclanché.—Zinc amalgamado.—Baterías.—Comparación de las pilas..... 451

CAPÍTULO II.

Electricidad desarrollada por el calor.

Corrientes termo-eléctricas.—Experimento de Seebeck.—Causa de las corrientes termo-eléctricas.—Pilas termo-eléctricas.—Propiedades de las corrientes termo-eléctricas..... 458

CAPÍTULO III.

Efectos de la electricidad dinámica.

ARTÍCULO PRIMERO.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS.

Efectos fisiológicos de las corrientes.—Influencia de la electricidad sobre el sistema nervioso..... 460

ARTÍCULO II.

EFFECTOS QUÍMICOS.

§ 1.º—*Electro química*. Descomposición del agua.—Electrolisis de los compuestos binarios.—Electrolisis de los compuestos ternarios.—Teoría de Grothuss.—Descomposiciones por contacto.—Ley de Faraday.—Pilas secundarias.—Acumuladores de la electricidad dinámica..... 461

§ 2.º—*Galvanoplastia*. Objeto de este arte.—Elementos necesarios para obtener un depósito metálico.—Aparatos sencillos.—Aparatos compuestos.—Mol-des.—Dorado galvánico.—Plateado, nikelado y cobreado galvánicos..... 468

CAPÍTULO IV.

Acción de las corrientes sobre sí mismas y sobre los imanes.

ARTÍCULO PRIMERO.

ELECTRO-DINÁMICA.

Conmutadores.—Leyes de las corrientes.—Acción de la Tierra sobre las corrientes móviles.—Corrientes estáticas.—Solenoides.—Acciones recíprocas entre los solenoides.—Acciones entre los imanes y solenoides.—Teoría del magnetismo según Ampère..... 475

ARTÍCULO II.

ELECTRO-MAGNETISMO.

Acción de las corrientes sobre los imanes.—Acción de los imanes sobre las corrientes.—Galvanómetro..... 485

CAPÍTULO V.

Electro-imanés.

Imanación por las corrientes.—Formas usuales de los electro-imanés.—Condiciones de que depende su fuerza atractiva.—Obtención de los imanes permanentes por medio de las corrientes eléctricas..... 490

CAPÍTULO VI.

Medida de las corrientes eléctricas.

Intensidad de una corriente.—Ley de Ohm.—Unidades eléctricas..... 493

CAPÍTULO VII.

Corrientes de inducción.

ARTÍCULO PRIMERO.

DIFERENTES MEDIOS DE OBTENER CORRIENTES INDUCIDAS.

Inducción por otras corrientes.—Inducción por los imanes.—Inducción por la Tierra.—Extra-corrientes.—Causa de las corrientes inducidas..... 495

ARTÍCULO II.

MÁQUINAS DE INDUCCIÓN.

División de estas máquinas.—Carrete de Ruhmköfer.—Máquina de Pixii.—Máquina de Clarke.—Máquina de Siemens.—Máquina de Gramme.—Máquinas dinamo-eléctricas de Siemens y Gramme.—Producción económica de la electricidad..... 499

CAPÍTULO VIII.

Efectos caloríficos y luminosos de las corrientes eléctricas.

Calor producido por las corrientes eléctricas.—Efectos luminosos de las corrientes eléctricas.—Lámpara de Edison.—Lámparas de arco voltaico.—Propiedades del arco voltaico.—Regulador de M. Serrin.—Alumbrado eléctrico.—Tubos de Geissler.....	511
---	-----

CAPÍTULO IX.

Aparatos fundados en la imanación por las corrientes.

ARTÍCULO PRIMERO.

TELÉGRAFOS ELÉCTRICOS.

Teoría de los telégrafos eléctricos.—Elementos que constituyen un sistema telegráfico.—Telégrafo de Breguet.—Telégrafo de Morse.—Telégrafo de Hughes.—Telégrafos electro-químicos.—Aparatos para la telegrafía submarina.....	518
Accesorios de los aparatos telegráficos.—Timbres eléctricos.—Pararrayos.—Relevadores y traslatores.....	531

ARTÍCULO II.

TELÉFONOS.

Transmisión eléctrica del sonido.—Teléfono de Bell.—Micrófonos.—Micro-telefonos.—Fotófono.....	535
--	-----

ARTÍCULO III.

RELOJES ELÉCTRICOS.

Objeto de los relojes eléctricos.—Instalación de los mismos.—Contadores....	540
---	-----

ARTÍCULO IV.

MOTORES ELÉCTRICOS.

Fundamento de estos motores.—Electro-motor de Bourbouze.—Electro-motores de reversión.—Contadores de las corrientes eléctricas.....	541
---	-----

LIBRO QUINTO.

METEOROLOGÍA.

INTRODUCCIÓN.

Objeto y división de la Meteorología.....	545
---	-----

CAPÍTULO PRIMERO.

Temperatura.

Temperatura del aire.—Líneas isotermas.—Variaciones anuales de la temperatura.—Condiciones que determinan la temperatura media de los diferentes puntos del globo.—Región de las nieves perpetuas.—Temperatura del suelo.—Temperatura de los lagos y mares.....	546
---	-----

CAPÍTULO II.

Meteoros aéreos.

Dirección del viento.—Velocidad del viento.—Causas de los vientos.—Variaciones de la presión atmosférica.—Distribución de las presiones sobre la superficie terrestre.—Dirección general de los vientos.—Rotación de los mismos.—Clasificación de los vientos.....	552
--	-----

CAPÍTULO III.

Humedad del aire.

ARTÍCULO PRIMERO.

HIGROMETRÍA.

Estado higrométrico.—Higrómetro químico.—Higrómetros de absorción.—Higrómetro de Daniell.—Psicrómetro de Augusto.—Distribución de la humedad sobre la Tierra.....	560
---	-----

ARTÍCULO II.

METEOROS ACUOSOS.

Rocío.—Escarchas.—Nieblas.—Nubes.—Lluvias.—Pluviómetro.—Nieve.—Granizo.—Distribución de las lluvias.—Climas físicos.....	567
--	-----

CAPÍTULO IV.

Meteoros eléctricos.

Electricidad atmosférica.—Sus causas.—Nubes tempestuosas.—Rayo, relámpago y trueno.—Efectos del rayo.—Pararrayos.—Trombas.—Auroras polares.....	572
---	-----

CAPÍTULO V.

Meteoros luminosos.

Color de la atmósfera.—Crepúsculos.—Arco iris.—Halos.....	581
---	-----

CAPÍTULO VI.

Meteorología práctica.

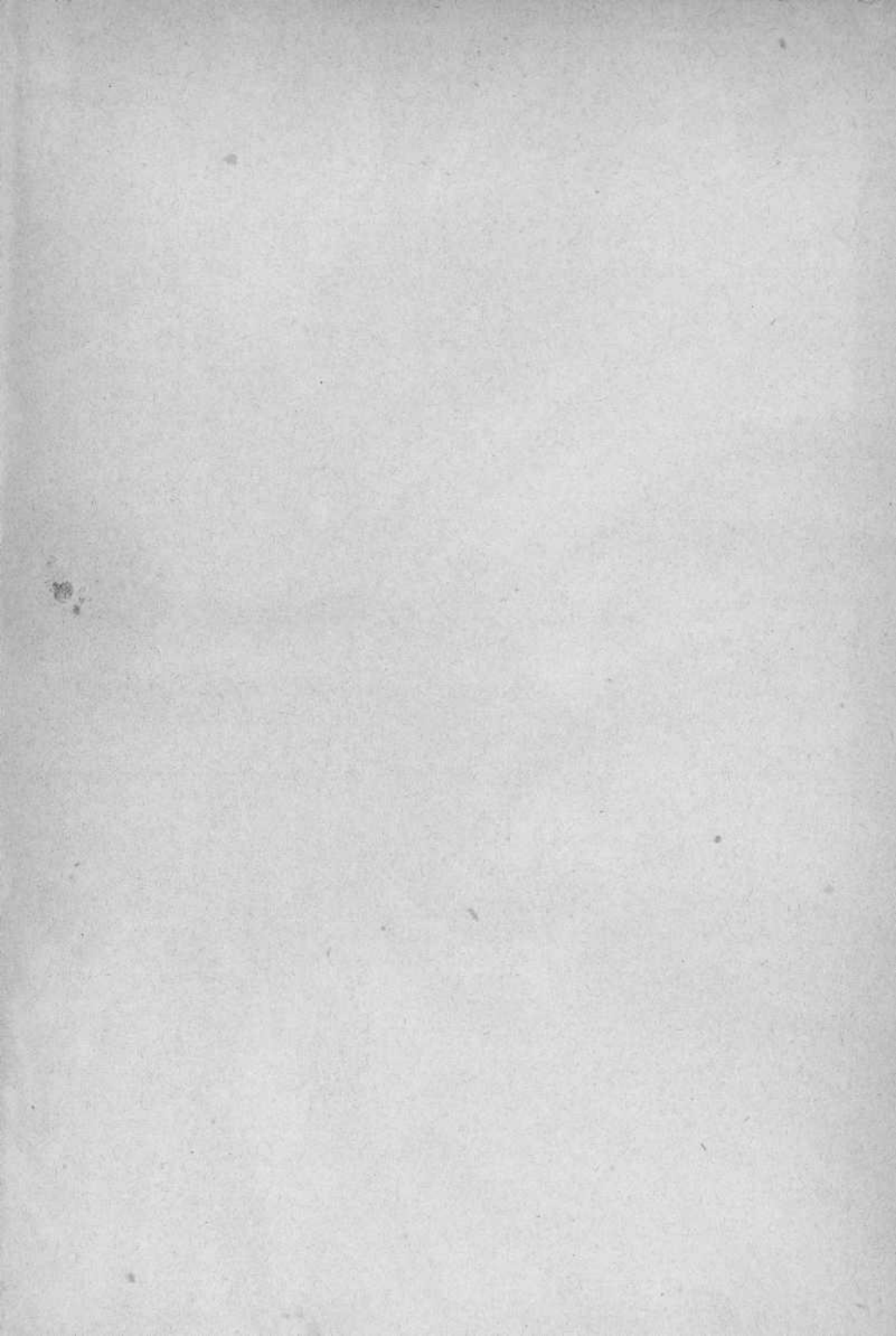
Mapas del tiempo.—Marcha de las depresiones.—Efectos que producen las borrascas sobre el tiempo.—Previsión del tiempo.—Ciclones.....	583
--	-----

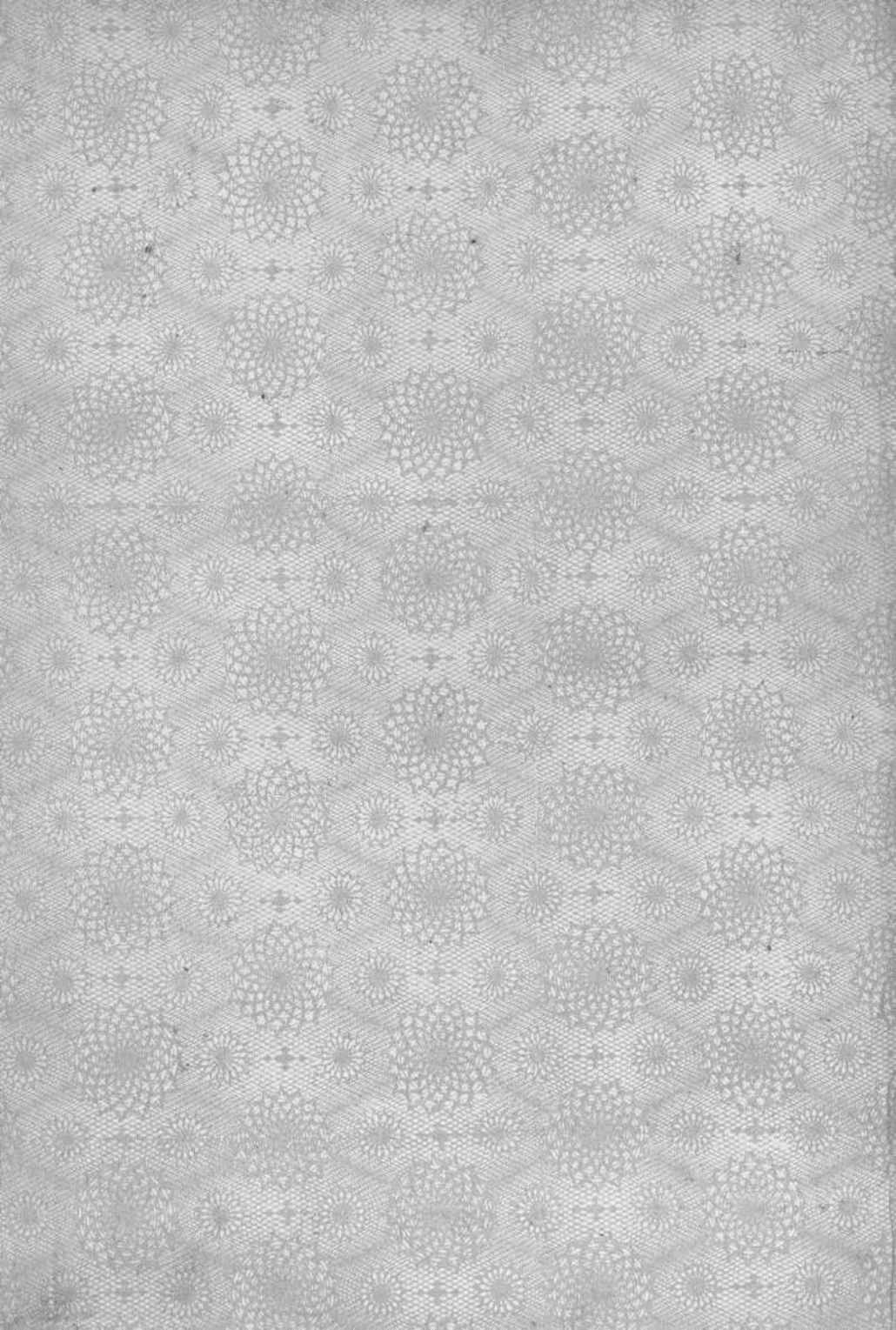
ERRATAS.

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
38	4	resistencia habrá	resistencia se habrá
57	-2	$A a'', a'' b'', b'' c''$	$A a'', A b'', A c''$
79	-12	$e = w - \frac{1}{2} g t^2$	$e = w t - \frac{1}{2} g t^2$
114	-3	= 2,45	= 2,50
158	2	colocada en b	colocada en σ
190	-7	epuár	mente á
190	-8	enmicha	en dicha
190	-9	rayos	rayos
191	-4	extenso	intenso
196	9	su diapasón	un diapasón
334	-1	$\frac{a_o}{a_t} = \frac{1}{1 + Kt}$	$\frac{a_o}{a_t} = \frac{1}{1 + Kt}$
335	-11	DE ALGUNOS LÍQUIDOS	DE ALGUNOS LÍQUIDOS DESDE 0° Á 100°
421	»	La fig. 427 está invertida	
512	2	por el peso	por el paso

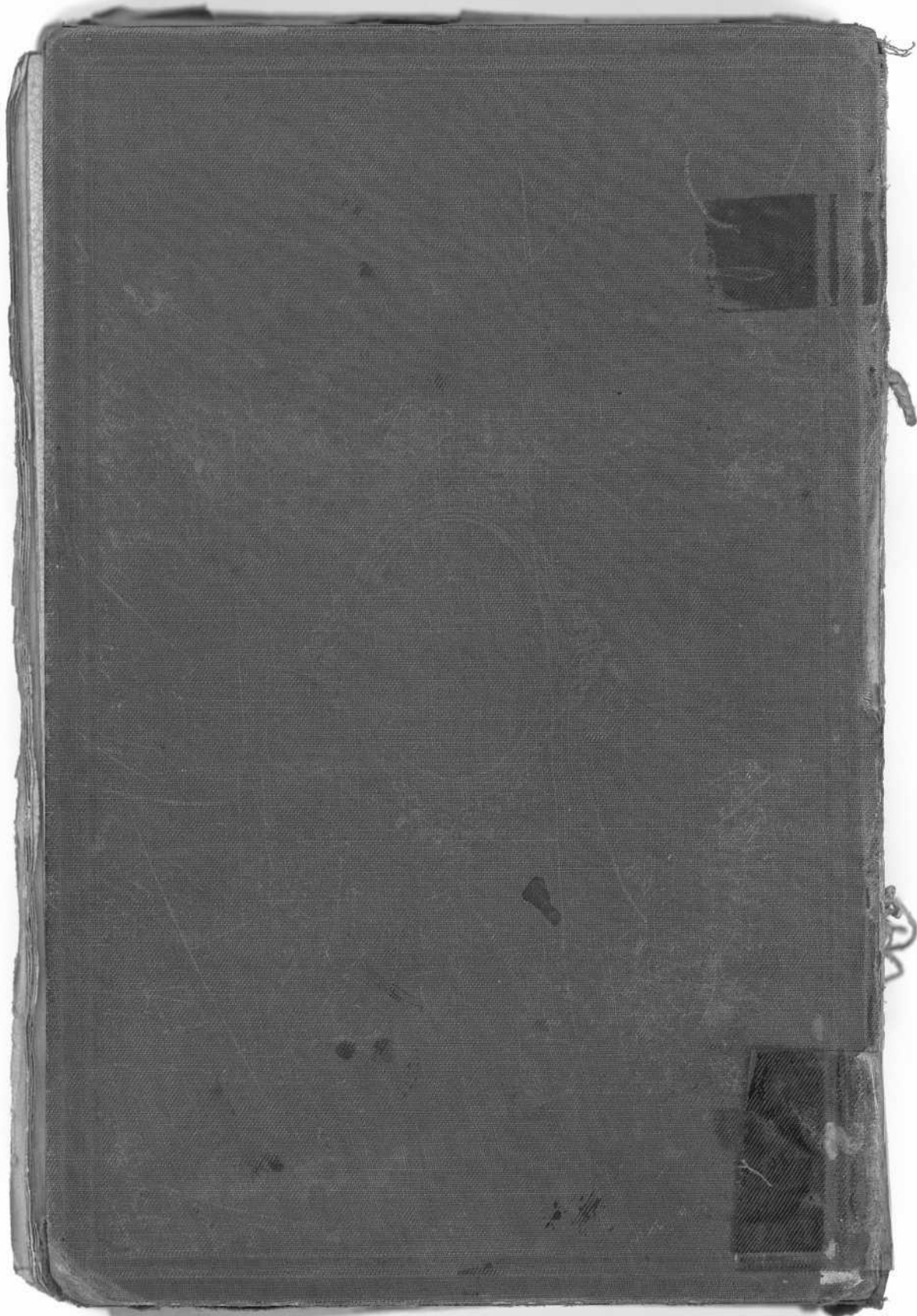
Precio de esta obra, encuadernada en tela, 15 pesetas.







16



718