

TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA

EXPERIMENTAL Y APLICADA

Y DE

METEOROLOGÍA

SEGUIDO DE UNA COLECCION DE 100 PROBLEMAS CON SUS SOLUCIONES

Ilustrado con mas de 920 grabados intercalados en el texto

Y UNA LÁMINA ILUMINADA

Por A. GANOT

PROFESOR DE MATEMÁTICAS Y DE FÍSICA

Última edicion francesa, *augmentada respecto à las anteriores con varias teorías y aparatos nuevos*

Difusion, dialisis, oclusion, disociacion, termodinámica, nueva teoría de la electricidad, máquina neumática de mercurio de MORREN, experimentos de HELMHOLTZ sobre la análisis y la síntesis de los sonidos, llamas manométricas de KEMIC, máquina dieléctrica de CARRÉ, termómetro eléctrico de BECQUEREL, pirómetro eléctrico de Ed. BECQUEREL, aparato para la rotacion electro-dinámica y electro-magnética de los líquidos por BERTIN, conmutador del mismo, telégrafo autográfico de hélice de MEYER, galvanómetro receptor de WILLIAM THOMSON, máquina electro-magnética de GRAMME, etc.

TRADUCIDA, ANOTADA Y AMPLIADA EN LA PARTE DE MECÁNICA

CON LAS TEORÍAS DE LAS FUERZAS, MOVIMIENTOS, CENTRO DE GRAVEDAD Y MÁQUINAS

Por

D. EDUARDO SANCHEZ PARDO Y D. EDUARDO LEON

Auxiliares del Observatorio astronómico de Madrid

Entrega *3^a*

MADRID

CÁRLOS BAILLY-BAILLIERE

LIBRERO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL, DEL CONGRESO DE LOS SEÑORES DIPUTADOS Y DE LA ACADEMIA DE JURISPRUDENCIA Y LEGISLACION

LIBRERÍA EXTRANJERA Y NACIONAL, CIENTÍFICA Y LITERARIA

Plaza de Topete, núm. 10.

Paris, J. B. BAILLIERE É HIL. || Londres, H. BAILLIERE.

1872.

Dep.
14056-y
74187
Sep 1884

7429

LIBRERIA DE D. CARLOS BAILLY-BAILLIERE.

Plaza de Topete, núm. 10, Madrid.

TRATADO PRACTICO
DE FOTOGRAFIA

O sea Química fotográfica, que contiene: Los elementos de Química explicados por medio de ejemplos aplicados á la fotografía.—Los procedimientos sobre cristal (colodion húmedo, seco ó aluminado), sobre papel y sobre placa.— El modo de preparar por sí mismo, ensayar y emplear todos los reactivos y de utilizar los residuos; escrito en francés por MM. BARRESWIL y DAVANNE; traducido al castellano y aumentado con los procedimientos conocidos hasta el día, por D. Benito de Cereceda. Madrid, 1864. Dos tomos en 8.º ilustrados con 93 magníficos grabados en madera intercalados en el texto y encuadernados en tela á la inglesa, 11 pesetas en Madrid y 12 en provincias, franco de porte.

CURSO ELEMENTAL DE MECANICA

TEÓRICA Y APLICADA:

Por M. Ch. DELAUNAY; traducido al español de la última edicion francesa, y completado en su texto y láminas, con cálculos, tablas, estudios teóricos, aplicaciones y todos los nuevos aparatos inventados y admitidos en la práctica industrial: obra acomodada á las necesidades de las Escuelas y de los Establecimientos públicos, por D. José Canalejas y Casas, ingeniero mecánico, antiguo pensionado en el extranjero por el Ministerio de Marina, etc., etc. Madrid, 1864. Un magnífico tomo en 8.º prolongado, ilustrado con 577 magníficos grabados intercalados en el texto y encuadernado en tela á la inglesa. Precio: 11 pesetas en Madrid y 12 en provincias, franco de porte.

ELEMENTOS DE ZOOLOGÍA.

O Historia natural de los animales, escritos en francés para uso de los colegios y de las escuelas normales, por MILNE-EDWARDS y COMTE. Obra adoptada por el real Consejo de Instrucción pública para servir de texto en la enseñanza de la Historia natural en los establecimientos de la Universidad de Francia; adornada con 29 láminas. Traducidos al castellano de la cuarta edicion, por D. Pedro Barinaga.—Obra aprobada para texto por el Real Consejo de Instrucción pública.—Segunda edicion. Madrid, 1863. Un tomo en 8.º, 7 pesetas y 50 céntimos de peseta en Madrid y 8 pesetas y 50 cént. de peseta en provincias, franco de porte.

MANUAL
DEL ARTE DE ESTUDIAR CON FRUTO

O sea Guía del que quiere instruirse y utilizar la memoria y el tiempo: obra escrita en francés por A. de GRANDSAGNE, JULLIEN y V. PARISOT; revisada y traducida al español por D. José Canalejas y Casas. Tercera edicion. Madrid, 1871. Un tomo en 12.º, encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 25 cént. de peseta en Madrid y 3 pesetas y 75 cént. en provincias, franco de porte.

CURSO COMPLETO DE MINERALOGÍA.

Acompañado de 138 grabados intercalados en el texto, por GUIBOURT; traducido de la última edicion francesa y seguido de un extracto exacto de las aguas minerales de la Península y una reseña de los criaderos mineralógicos de España, por D. Ramon Ruiz. Segunda edicion española, corregida y considerablemente aumentada. (Obra adoptada para texto por el Real Consejo de Instrucción pública). Madrid, 1862. Un tomo en 8.º, 10 pesetas en Madrid y 11 pesetas en provincias, franco de porte.

pura, y se continúan estas divisiones hasta la parte inferior del vástago, que ha de tener el mismo diámetro en toda su longitud.

Para conocer la densidad de un líquido, del ácido sulfúrico por ejemplo, basta introducir en él el densímetro, y si enrasa en la division 54, indica que el volumen del líquido desalojado está representado por 54, siendo 100 el del agua V. Ahora bien, como todo cuerpo flotante desaloja un peso de líquido igual al suyo (99), resulta que el volumen de agua V, ó 100, y el del ácido sulfúrico 54, pesan lo mismo que el instrumento; pero, en igualdad de peso, los volúmenes de dos cuerpos están en razon inversa de sus densidades. Por consiguiente, si llamamos x la densidad del ácido sul-

fúrico, siendo 1 la del agua, resultará $\frac{x}{1} = \frac{100}{54}$, de donde $x = \frac{100}{54} = 1,85$.

Cuando ha de servir el densímetro para líquidos menos densos que el agua, hay que lastrarle de manera que el punto 100, que corresponde al agua destilada, se encuentre en la base del vástago. Se fija luego en su extremidad superior un peso igual á la cuarta parte del peso del instrumento, el cual, si antes pesaba 100, pesará ahora 125. Se graba, pues, este último número, que se continúan luego hacia arriba.

2.º **Densímetro del Sr. Rousseau.**—El densímetro de Gay-Lussac requiere una cantidad de líquido suficiente para llenar una probeta de alguna capacidad, lo cual es, en ciertos casos, un grave inconveniente, como cuando en Fisiología se examinan líquidos animales, de los cuales solo se han recogido unos pocos gramos. En tales casos se investiga la densidad por medio del densímetro del Sr. Rousseau, instrumento que en la forma difiere un poco del areómetro de Baumé, pues lleva en el vértice del vástago una capsulita A (fig. 180), donde se pone el líquido cuya densidad se busca. En la pared de dicha capsula se ve una señal que marca una capacidad AC de un centímetro cúbico.

Para graduar el instrumento, se le lastra de manera que en el agua destilada, y á 4º, su punto de enrase esté en B, origen del vástago: este punto es el cero del instrumento. Llénase, en seguida, de agua destilada y á 4º la capacidad que decimos mide un centímetro cúbico, ó lo que es lo mismo, se le añade un peso de un gramo; en el nuevo punto de enrase, se marca 20, y se divide el intervalo de 0 á 2) en 20 partes iguales, continuando luego las divisiones hasta el vértice del vástago. Si tiene este igual diámetro en toda su longitud, corresponde cada division á $\frac{1}{20}$ de gramo, ó sean 0g,05.

Si se desea conocer la densidad de un líquido, la de la bilis por ejemplo, se echa dicho líquido en la capsulita, en cantidad que ocupe toda la capacidad AC, y si el instrumento enrasa á 20 divisiones y media, se deduce que el peso de la bilis de la capsula es igual á 0g,05 \times 20,5, ó sea 1g,025, es decir, que, siendo iguales los volúmenes, y 1 el peso del agua, el de la bilis es 1,025. Este último número representa, pues, la densidad de la bilis con relacion al agua; porque, bajo el mismo volumen, los pesos están en razon directa de las densidades.

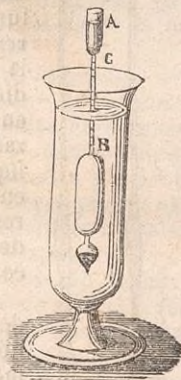


Fig. 180.

CAPÍTULO II (1).

HIDRODINÁMICA.

113*. **Objeto de la Hidrodinámica.**—Se dijo ya (78) que la *Hidrodinámica* es la parte de la *Mecánica* que trata del movimiento de los líquidos, y que la seccion de esa ciencia, que estudia especialmente la conduccion y elevacion de las aguas, se designa con el nombre de *Hidráulica*, la cual no viene á ser otra cosa que la parte práctica de la *Hidrodinámica*.

Se supone en esta, lo mismo que en *Hidroestática*, que los líquidos son completamente incompresibles, perfectamente flúidos, ó dicho de otra

(1) Este capitulo está suprimido en la última edicion francesa.
GANOT.—11

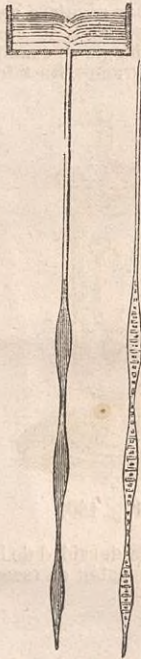
44 29

manera, sin viscosidad alguna. Pero no gozando los líquidos sino de un modo imperfecto de estas propiedades, las consecuencias teóricas á que su estudio conduce se hallan mas ó menos discordes con los resultados de la experiencia.

Varios casos se presentan en el movimiento de los líquidos, el cual puede verificarse: 1.º saliendo el líquido de un depósito por un orificio practicado en pared delgada, es decir, cuyo espesor no llega á la mitad de la menor dimension del orificio; 2.º saliendo por un tubo adicional corto; 3.º por tubos largos y de gran diámetro; 4.º por tubos capilares; 5.º por un canal, como los rios. Solo nos ocuparemos de los cuatro primeros casos.

A. Salida por orificios practicados en pared delgada; vena líquida.

—Sea, en primer lugar, un vaso de paredes delgadas, lleno de agua.



Haciendo en un punto cualquiera de su pared un agujerito, sale el líquido mediante la influencia de dos fuerzas, una la gravedad que le solicita segun la vertical, y otra la presión del líquido que actúa normalmente sobre la pared, y proporcionalmente á la profundidad. El chorro líquido que mana entonces se llama *vena*. Si el orificio está abierto en el fondo del depósito, la vena es vertical y rectilínea, porque actúan en esta dirección las dos fuerzas arriba citadas; pero si se abre en una pared vertical ó inclinada, una de las dos fuerzas es vertical, y la otra horizontal ú oblicua, y como el líquido sigue la dirección de la resultante, la vena toma en tal caso la forma de una curva que, á no mediar la resistencia del aire, sería exactamente la curva que describen los proyectiles en el vacío, y que se conoce con el nombre de *parábola* (fig. 131).

B. Constitución de la vena. —Savart, estudiando detenidamente la vena, halló en ella los siguientes fenómenos. Se compone de dos partes distintas: la primera, que principia en el orificio, está completamente tranquila, trasparente, y parece un cilindro del mas limpio cristal, mientras la segunda, por el contrario, está turbia, agitada, y presenta de trecho en trecho hinchazones prolongadas dispuestas con regularidad (figura 181), las cuales se denominan *vientres*.

Esta segunda parte de la vena no es continúa, puesto que aun cuando la constituya un líquido opaco, como el mercurio, se ve al través de ella. Los vientres se componen de glóbulos discontinuos, alargados en la dirección transversal de la vena, mientras las contracciones, que se llaman *nodos*, están formadas por glóbulos discontinuos, alargados en la dirección longitudinal (fig. 182). Además, observando la vena con una luz muy viva, se notan en la parte trasluciente hinchazones anulares que, á intervalos iguales, nacen cerca del orificio, y se propagan hasta la parte turbia, donde se separan. Estas hinchazones provienen de pulsaciones periódicas que tienen lugar en el orificio. Su número está en razón directa de la velocidad de salida, é inversa del diámetro del orificio.

Tales pulsaciones pueden ser bastante rápidas para dar origen á un sonido que se refuerza haciendo caer la vena sobre una membrana tensa.

Fig. 181. Fig. 182.

Produciendo con un instrumento de música un sonido al unísono con el de la vena, se modifica esta de manera que adquieren mayor regularidad los vientres y los nodos, desapareciendo casi por completo la parte trasparente.

Por último, la resistencia del aire no influye en la forma y dimensiones de la vena, y tampoco en el número de pulsaciones. Además, la constitucion de las venas horizontales ú oblicuas, no difiere esencialmente de la de las verticales.

C. Contraccion de la vena. — En la salida por orificios circulares abiertos en pared delgada, es tambien circular la seccion de la vena líquida, pero su diámetro es variable, pues principia por ser igual al del orificio, decrece luego rápidamente, y á una distancia casi igual á la longitud del diámetro de dicho orificio, ya no tiene el de la seccion de la vena mas que unos dos tercios de ese otro diámetro. Cuando la vena se dirige de arriba abajo como en la figura 181, continúa con lentitud el decrecimiento hasta la parte turbia; cuando es horizontal, sigue el decrecimiento de un modo apenas perceptible; y cuando se dirige de abajo arriba, segun un ángulo de 25 á 45 grados, conserva la vena casi el mismo diámetro; pero pasados los 45°, la seccion crece desde la parte contraida hasta la turbia.

La parte en donde el diámetro de la vena alcanza su mínimum, se llama *seccion contraida*. La contraccion de la vena proviene de las dos direcciones convergentes que toman las moléculas líquidas en el interior del vaso, al dirigirse hácia el orificio. Es visible este fenómeno poniendo en el agua cuerpos líquidos que permanezcan en suspension y dejándola salir por un orificio abierto en un vaso trasparente cuyas paredes sean delgadas. Si el diámetro de la abertura es de un centímetro, se nota que á 2 ó 3 centímetros de distancia los cuerpos en suspension se dirigen desde todos los puntos hácia dicho orificio, describiendo líneas curvas, y precipitándose hácia él como si fuera un centro de atraccion (figura 181); y como en el exterior continúa la convergencia iniciada dentro del vaso, se adelgaza gradualmente la vena líquida hasta que las moléculas, por efecto de su accion recíproca, toman una direccion paralela, ó direcciones divergentes. Forma así la vena una especie de cono truncado, cuya base mayor es el orificio, y la menor la seccion contraida.

Hasta ahora suponiamos circular el orificio. Dado caso que sea poligonal ó de cualquier otra forma no circular, la seccion de la vena no conserva la forma de la abertura, sino que cambia sucesivamente, á medida que se aleja, pero originando siempre nodos y vientres.

D. Teorema de Torricelli sobre la velocidad de la salida de los líquidos. — Siempre que un líquido sale por un orificio abierto en pared delgada, sea cual fuere su forma, se determina la velocidad de salida por medio del siguiente teorema:

Las moléculas líquidas, al salir por el orificio, llevan la misma velocidad que adquiririan cayendo libremente en el vacío de una altura igual á la distancia desde el centro del orificio, á la superficie del líquido en el depósito.

Esta proposicion es conocida con el nombre de teorema de Torricelli, en memoria del célebre físico que la estableció en 1643, como un corolario de las leyes de la caida de los cuerpos, que acababa de descubrir Galileo.

En efecto, probando dichas leyes que la gravedad es una fuerza continua y constante, se deduce (38*, E) que *cuando un cuerpo es lanzado de*

abajo arriba con una velocidad cualquiera, tiende á subir á la altura misma de que debería caer para adquirir dicha velocidad. Ahora bien; siempre que la salida de un líquido se efectúa de abajo arriba (fig. 183), se observa que la vena llega casi á la altura del líquido en el vaso, y si no la alcanza por completo, depende de que á la elevacion del líquido

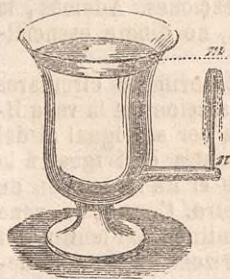


Fig. 183.

se oponen la resistencia del aire y el choque mútuo de las moléculas líquidas al caer. Luego es indudable que al salir el líquido del orificio *n*, se halla animado de una velocidad igual á la que adquiriría cayendo desde la altura *mn* á la cual tiende á subir.

Confirma el teorema de Torricelli el que si se miden los litros de agua que salen por un orificio, en la unidad de tiempo y con una velocidad constante, y luego, apreciando en decímetros cuadrados la seccion contraida de la vena, se la multiplica por la velocidad, valuada en decímetros, que dá el teorema de Torricelli, se obtiene en decímetros cúbicos, ó sea en litros,

un volúmen igual (113, E) al que dió la medicion, pues esto prueba que la velocidad calculada es exactamente la velocidad real.

E. Consecuencias del teorema de Torricelli. — Dedúscense del teorema de Torricelli dos importantes consecuencias.

1.^a Que puesto que caen con igual velocidad todos los cuerpos en el vacío, la velocidad de salida de un líquido es independiente de su densidad. El agua y el mercurio, por ejemplo, saldrán con igual velocidad, siempre que sea igual para ambos líquidos la altura del nivel sobre el orificio. Pruébese, en efecto, experimentalmente, que para alturas iguales y orificios del mismo diámetro, salen en el mismo tiempo volúmenes iguales de ambos líquidos.

2.^a Que la velocidad de salida, en el borde del orificio, es proporcional á la raíz cuadrada de la altura del nivel del líquido en el depósito, sobre el centro del orificio.

Este es tambien otro corolario de las leyes de la gravedad, pues segun se vió (60), representando por *v* la velocidad adquirida por un móvil que cae en el vacío, y por *h* la altura de descenso, se tiene $v = \sqrt{2gh}$. La velocidad que se calcula con esta fórmula, es la velocidad teórica.

F. Gasto efectivo y gasto teórico. — Llámase *gasto efectivo* de un orificio el volúmen de líquido que sale por él en cada segundo; y *gasto teórico* el volúmen de líquido igual al de un cilindro ó de un prisma que tuviese por base el orificio, y por altura la velocidad teórica calculada por el teorema de Torricelli. Es decir, que el gasto teórico es el producto del área del orificio por la velocidad teórica.

El gasto efectivo es siempre menor que el gasto teórico. En efecto, aquel es igual al producto del área de la seccion contraida por la velocidad media de las moléculas al llegar á ella. Si el área de esta seccion fuese igual á la del orificio, y si la velocidad media equivaliese á la teórica, el gasto efectivo seria idéntico al teórico; pero sucede, ó que el área de la seccion de la vena es bastante menor que la del orificio, como en la salida por pared delgada, ó que la velocidad, en la seccion, es menor que la teórica, como sucede á causa del rozamiento, en los orificios

de las paredes gruesas. De suerte que, en ambos casos, el gasto efectivo es menor que el teórico, siendo preciso, para deducir de este el primero, multiplicar el último por una fracción llamada *coeficiente de contracción*.

De un gran número de experimentos resulta que el gasto efectivo solo llega por término medio á los dos tercios del teórico.

G. Salida constante. — En varios experimentos de hidráulica se requiere que la velocidad de salida sea constante, lo cual exige que la altura del líquido sobre el orificio sea invariable. Este resultado se logra de varios modos: 1.º por la *rebosadura ó derrame*, haciendo llegar al depósito una cantidad de agua algo mayor que la que sale por el orificio, vertiéndose el exceso, ó por los bordes, ó por un agujero á este fin destinado; 2.º por medio del *sifon* ó del *vaso de Mariotte*, que mas adelante describirémos (191 y 199); y 3.º mediante el *flotador de Prony*.

Este aparato (fig. 184) consta de una caja PQ llena de agua y provista de dos flotadores FF, enlazados entre sí por una varilla de hierro, los cuales por medio de otras dos varillas sostienen un depósito móvil B, situado debajo de la caja PQ. Forma parte de una pared de esta última una placa A que tiene varios orificios de diferentes formas y tamaños, y un embudo, colocado debajo de ellos, sirve para conducir al depósito B el líquido que salga. Si, dispuesto así el aparato, abrimos uno de estos orificios, y sale, por ejemplo, un kilogramo de agua, el peso de los flotadores aumenta tambien un kilogramo, y por lo tanto, segun las condiciones de equilibrio de los cuerpos flotantes (99) se introduce en el líquido una parte más de

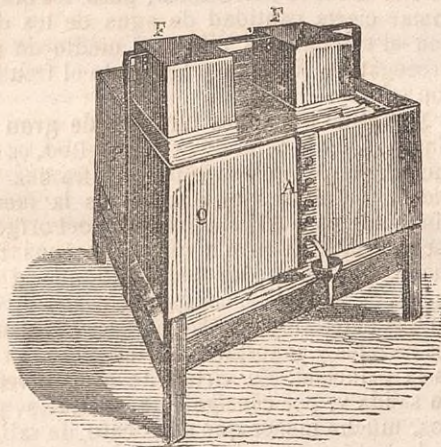


Fig. 184.

dichos flotadores, cuyo volumen es equivalente al del agua vertida, resultando de aquí que en la vasija PQ permanece constante el nivel, y en su consecuencia la velocidad de salida.

H. Salida por tubos adicionales. — *Tubos adicionales* son los que se colocan en los orificios de los depósitos (fig. 185). Su forma puede ser cualquiera, aunque por lo comun es cilíndrica ó cónica.

En el uso de tales tubos pueden ocurrir dos casos, á saber: ó que la vena líquida pase por el tubo sin adherirsele, en cuyo caso el gasto no se modifica, ó que la vena se le adhiera por un efecto de la atracción molecular entre las paredes y el líquido, y entonces la parte contraída de la vena se ensancha, aumentando el gasto.

En los tubos cilíndricos, para que haya semejante aumento, es menester que su longitud sea de dos á tres veces mayor que su diámetro. De esta manera sale el líquido á *boca llena*, es decir, á tubo lleno, aumentando el gasto en un tercio próximamente.

Los tubos cónicos convergentes hacia el exterior del depósito aumentan el gasto aun mas que los anteriores; sale el chorro por ellos con mucha regularidad y es lanzado á mayor distancia ó altura. El gasto y la velocidad de salida varían con el ángulo de convergencia, es decir, con el que forman las prolongaciones de dos generatrices opuestas del tronco de cono que constituye el tubo adicional.

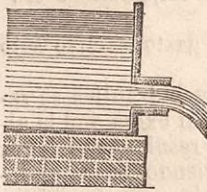


Fig. 183.

De todos los tubos adicionales, los que mas gasto producen son los cónicos divergentes hacia el exterior. Venturi dedujo de sus experimentos que estos tubos podian dar un gasto efectivo 2,4 veces mayor que el de un orificio en pared delgada, de igual diámetro que la base menor, y 1,46 veces mayor que el gasto teórico.

Ya los antiguos ciudadanos romanos conocieron esta propiedad de los referidos tubos adicionales, pues los que disfrutaban de la concesion de tomar cierta cantidad de agua de los depósitos públicos, encontraban con el uso de tales tubos, el medio de acrecentar los productos de su prerogativa, llegando á tal punto el fraude, que al fin las leyes prohibieron su uso.

I. Salida por tubos largos y de gran diámetro.—Para que salga un líquido por un tubo de gran longitud, es preciso, ó que este tenga cierta inclinacion, ó que el líquido sufra una presion en el origen del tubo. Siendo continúa en ambos casos la fuerza, deberia acelerarse el movimiento; pero á corta distancia del origen se observa que aquel es uniforme, lo cual revela que existe una fuerza que destruye constantemente el aumento de velocidad que el líquido tiende á adquirir. Esta fuerza es la resistencia que proviene de la adhesion de las moléculas líquidas entre sí y con las paredes, aparte de la resistencia que ofrecen los recodos y angosturas de los tubos, si bien es verdad que la primera es la principal. En virtud de estas diversas resistencias, la velocidad de salida y, por consiguiente, el gasto, puede llegar á ser, en los tubos, mucho menor que en el caso de salida por orificios en paredes delgadas.

J. Salida por tubos capilares.—La salida por tubos capilares, es decir, de diámetro muy pequeño, merece llamar la atencion por las aplicaciones de que es susceptible en Fisiología. El doctor Poiseuille hizo numerosos experimentos sobre este punto, variando en los tubos su longitud, su diámetro y la presion que determina la salida.

Operando con tubos de vidrio, estableció las tres leyes siguientes:

- 1.^a Para un mismo tubo, el gasto es proporcional á la presion.
- 2.^a A igualdad de presion y de longitud, el gasto es proporcional á la cuarta potencia de los diámetros.
- 3.^a A igualdad de presion y de diámetro, el gasto está en razon inversa de la longitud.

Observó, además, Poiseuille, que la naturaleza del líquido modifica la velocidad de salida. El nitrato de potasa disuelto en el agua facilita la salida, y, por el contrario, el alcohol la retarda. El suero fluye con una velocidad casi dos veces menor que la del agua; el alcohol mezclado con el suero retarda aun más la salida; pero si á esta mezcla se añade nitrato de potasa, recobra el suero su velocidad primitiva.

Habiéndose hecho estos diversos experimentos con tubos de vidrio, se trató luego de averiguar si los resultados serian los mismos en los vasos capilares de los cuerpos orgánicos. A este fin se operó en animales muertos, á los cuales se les dejaba enfriar hasta la temperatura del ambiente, é inyectando suero en la arteria principal de un órgano, se halló que el nitrato de potasa facilitaba la salida en los vasos capilares de los cuerpos orgánicos sin vida, lo mismo que en los tubos de vidrio, y que el alcohol, por el contrario, la retardaba. Los experimentos del Sr. Poiseuille tienden, pues, á probar que la circulacion de la sangre, en las arterias y en las venas, está sometida á las mismas leyes que la salida de los líquidos por tubos capilares.

K. Surtidores.— Los *surtidores* son chorros de agua muy delgados que salen con fuerza por un orificio á causa de la presion que ejerce una columna de ese líquido mas ó menos alta respecto á dicho orificio. Cuando este se halla practicado en una pared horizontal, el surtidor es vertical; pero cuando lo está en una pared oblícua, el surtidor sale inclinado, y describe una curva que, sin la resistencia del aire, seria una parábola.

En virtud del principio indicado anteriormente (113*, D), el surtidor tiende á subir á una altura igual á la del nivel del agua en el depósito, sin llegar á alcanzarla nunca por las tres causas siguientes: 1.^a por el rozamiento del agua en los tubos de conduccion, que destruye en parte su velocidad; 2.^a por la resistencia del aire, y 3.^a por el choque que las moléculas líquidas que suben experimentan de parte de las otras que caen de la cúspide del surtidor.

A fin de obtener el máximum de altura de un surtidor, es preciso que el diámetro de los tubos de conduccion aumente segun su longitud; que dichos tubos no tengan angosturas ni recodos demasiado bruscos; que el orificio de salida esté practicado en una pared delgada, y por último, que salga algo inclinado el surtidor, con objeto de evitar la tercera resistencia que hemos indicado.

Los orificios en pared delgada son los que dan surtidores de mayor altura, mas regulares y mas trasparentes. Los tubos adicionales cónicos dan tambien surtidores unidos y trasparentes; pero su altura solo alcanza las ocho ó nueve décimas partes de la que proporcionan los orificios en pared delgada. Por último, los tubos adicionales cilíndricos producen surtidores turbios, cuya altura solo es 0,66 de la correspondiente á los orificios en pared delgada.

Por medio del cálculo se deduce, abstraccion hecha de la resistencia del aire, que para que un surtidor alcance lateralmente la mayor amplitud posible, debe formar con el horizonte un ángulo de 45°.

CAPÍTULO III.

CAPILARIDAD.

114. **Fenómenos capilares.**— Originanse, en el contacto de los sólidos con los líquidos, una série de fenómenos llamados *capilares*, porque se observan principalmente en los tubos de diámetro bastante pequeño para que pueda compararse con el de un cabello. La parte de la Física que tiene por objeto el estudio de tales fenómenos, se designa con el nombre de *capilaridad*, el cual se aplica tambien á la fuerza que los produce.

Aunqu muy variada estos fenómenos siempre dependen de la mútua atraccion de

las moléculas líquidas entre sí, y de la que se ejerce entre estas moléculas y los cuerpos sólidos: de esta clase de fenómenos son los siguientes.

Cuando se introduce un cuerpo sólido en un líquido que le moja, este último, cual si no estuviese sometido ya á las leyes de la hidrostática, se eleva alrededor del cuerpo, y su superficie deja de ser horizontal, tomando una forma cóncava (fig. 186).

Si, por el contrario, el líquido no moja el cuerpo sumergido, como le sucede al vidrio en contacto con el mercurio, no sube, sino que baja la superficie del líquido

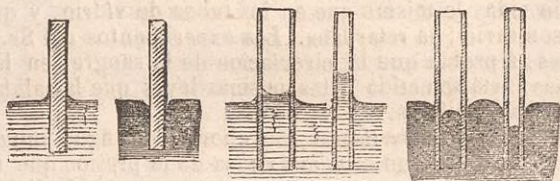


Fig. 186. Fig. 187. Fig. 188. Fig. 189.

afectando una forma convexa (fig. 187). La misma concavidad ó convexidad adquiere la superficie del líquido en los bordes de la vasija que lo contiene, según moje ó no sus paredes.

Más palpables son aun estos fenómenos cuando en vez de un cuerpo macizo se introducen tubos de vidrio de pequeño diámetro, pues según que los moje ó no el líquido, así se nota una elevación ó una depresión, tanto mayor, cuanto menor es su diámetro (figs. 188 y 189).

Cuando el líquido moja los tubos, la superficie de aquel toma la forma de un segmento hemisférico cóncavo, llamado *menisco cóncavo* (fig. 188), y cuando no los moja, forma un *menisco convexo* (fig. 189).

115. **Leyes de la elevación de los líquidos en los tubos capilares.**—Gay-Lussac demostró experimentalmente que si las paredes de los tubos se mojan previamente por un líquido, se verifican las dos leyes siguientes:

1.^a La elevación varía con la naturaleza del líquido y con la temperatura; pero es independiente de la materia de los tubos y del espesor de sus paredes.

2.^a Para un mismo líquido, la elevación está en razón inversa del diámetro del tubo, mientras este diámetro no exceda de 2^{mm}.

Esta segunda ley es conocida con el nombre de *ley de Jurin*, que fué el primero que la dió á conocer.

Ambas leyes se verifican lo mismo en el vacío que en el aire; pero Wolf demostró que si aumenta la temperatura, disminuye la elevación del agua en los tubos, pudiendo llegar á ser nula y hasta trasformarse en depresión.

116. **Leyes de la depresión de los líquidos en los tubos capilares.**—Para los líquidos que no mojan los tubos, como sucede con el mercurio si son de vidrio, la depresión está también en razón inversa del diámetro de los tubos; pero si estos tienen igual diámetro, dicha depresión varía según su naturaleza. Así, por ejemplo, mientras en un tubo de hierro de un milímetro de diámetro, la depresión es de 1^{mm},226, en un tubo de platino de igual diámetro no es más que de 0^{mm},635. Depende también la depresión de la altura del menisco convexo del mercurio, altura que varía mucho, á igualdad de diámetro, con la pureza del metal y según que el movimiento de la columna mercurial que ha originado el menisco haya sido ascendente ó descendente en el tubo. En el primer caso el menisco es más alto que en el segundo.

117. **Leyes de la elevación y depresión entre dos láminas paralelas ó inclinadas.**—Fenómenos análogos á los que ofrecen los tubos capilares, se originan entre dos cuerpos de forma cualquiera introducidos en un líquido, si se encuentran bastante próximos uno al otro. Por ejemplo, si se introducen en el agua dos láminas de vidrio paralelas, tan poco distantes que lleguen á unirse las dos curvaturas formadas en su contacto por el líquido, se observa: 1.^o que el agua se eleva con regularidad entre las dos láminas, en razón inversa del intervalo que las separa; 2.^o que para un intervalo dado la elevación es mitad de la que se observaría en un tubo cuyo diámetro fuese igual á este intervalo.

Si las láminas paralelas se introducen en el mercurio, se observa una depresión, pero en conformidad con las mismas leyes.

Si se introducen en un líquido que las moje dos láminas de vidrio AB y AC (fig. 190), formando un ángulo diedro, de manera que la arista sea vertical, el líquido se eleva hacia el vértice del ángulo, y la sección vertical de la superficie, desde el punto más alto al más bajo, afecta la forma de una *hipérbola equilátera*.

Si el ángulo fuese muy pequeño y la arista horizontal, según representan las figuras 191 y 192, supuestos prolongados los lados, una gota de agua colocada entre ellos se abuecaría por los dos extremos, formando así en cada uno un menisco cóncavo (fig. 191), y además se precipitaría hacia el vértice del ángulo.

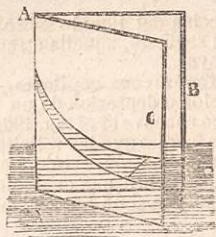


Fig. 190.

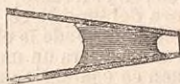


Fig. 191.



Fig. 192.

Si la gota en vez de agua fuese de un líquido que no mojase las láminas, como el mercurio, se redondearía en los dos extremos, formando así en cada uno un menisco convexo (fig. 192), y se alejaría del vértice del ángulo.

118. **Atracciones y repulsiones que resultan de la capilaridad.**—La capilaridad origina las atracciones y repulsiones que se observan entre los cuerpos que flotan en los líquidos, las cuales se hallan sujetas á las siguientes leyes.

Cuando un líquido moja dos cuerpos flotantes, como sucede con dos esferitas de corcho introducidas en el agua, se desarrolla una gran atracción apenas se encuentran suficientemente próximos uno á otro para que ya no haya superficie plana entre ellos.

Si ninguno de los dos cuerpos es mojado, como acontece con dos bolitas de cera en el agua, se nota también una viva atracción luego que se hallan en iguales condiciones que los anteriores.

Y por último, si un cuerpo se moja y el otro no, v. gr., una bolita de corcho y otra de cera puestas en el agua, se rechazan cuando están bastante inmediatos para que se verifique el contacto de las dos curvaturas contrarias del líquido.

Dependiendo todos los fenómenos capilares, que acabamos de describir, de la curvatura cóncava ó convexa que afecta la superficie del líquido que se halla en contacto con los cuerpos, réstanos dar á conocer la causa que determina la forma de esta curvatura.

119. **Causa de la curvatura de las superficies líquidas en su contacto con los sólidos.**—La forma de la superficie de un líquido en contacto con un cuerpo sólido, proviene de la relación que existe entre la atracción del sólido con el líquido (77, C) y la de este consigo mismo (77, A).

En efecto, sea m (fig. 193) una molécula líquida en contacto con un cuerpo sólido. Dicha molécula se halla sometida á tres fuerzas, á saber: la gravedad que la solicita

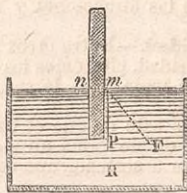


Fig. 193.

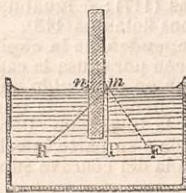


Fig. 194.

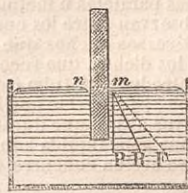


Fig. 195.

en la dirección de la vertical mP ; la atracción del líquido que actúa según la línea mF , y la atracción de la lámina que se ejerce en la dirección mn . Según sean las respectivas intensidades de estas fuerzas, su resultante puede afectar las tres posiciones siguientes:

1.ª Si la dirección de la resultante es la vertical mR (fig. 193), la superficie en m es plana y horizontal, porque en virtud de las condiciones de equilibrio de los líquidos (88), su superficie ha de ser normal á la dirección de la fuerza que solicite sus moléculas.

2.^a Si aumenta la intensidad de la fuerza n ó disminuye la de F , la resultante R va por dentro del ángulo mmP (fig. 194), y habiendo de ser tambien la superficie del líquido normal á mR , dicha superficie resulta cóncava.

3.^a Si, por el contrario, aumenta en intensidad la fuerza F ó disminuye la n , la resultante R (fig. 195) va por dentro del ángulo PmF , y la superficie del líquido, normal siempre á la dirección mR , resulta convexa.

El cálculo demuestra que, en el primer caso, la atracción del líquido sobre sí mismo es doble de la del sólido sobre el líquido; que, en el segundo, aquella atracción es menor que el doble de esta, y que, en el tercero, es mayor.

120. **Influencia de la curvatura del líquido en los fenómenos capilares.**—De la forma cóncava ó convexa del menisco depende la elevación ó depresión de un líquido en un tubo capilar. En efecto, si se considera un menisco cóncavo $abcd$ (fig. 196), como sus moléculas líquidas se sostienen en equilibrio por las fuerzas que las solicitan (119) no ejercen presión alguna sobre las capas inferiores, y como además actúan por cohesión sobre las mas inmediatas de estas capas, resulta que sobre una cualquiera mn , considerada en el interior del tubo, es menor la presión que si no hubiese menisco.

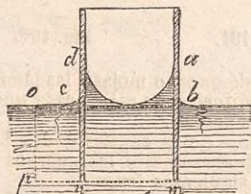


Fig. 196.

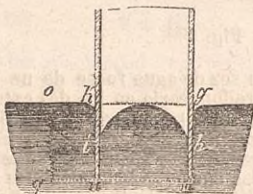


Fig. 197.

De consiguiente, según las condiciones de equilibrio de los líquidos (89), debe subir el líquido en el tubo hasta que la presión interna sobre la capa mn sea igual á la presión externa op que se ejerce sobre un punto cualquiera p de la misma capa.

En el caso de ser convexo el menisco (fig. 197), hay tambien equilibrio en virtud de las fuerzas moleculares que solicitan al líquido; pero como faltan las moléculas que ocuparían el espacio $ghik$, si no hubiera acción capilar, ya no obran por cohesión sobre las moléculas inferiores. De aquí resulta que la presión, en una capa cualquiera mn , es mayor dentro del tubo que si estuviese lleno el espacio $ghik$, porque las fuerzas moleculares que dicha cohesión determina, son mucho mas intensas que la gravedad. El líquido debe bajar pues, en el tubo, hasta que la presión interna, en la capa mn , sea la misma que la externa ejercida en un punto cualquiera q de dicha capa.

Es la teoría de la capilaridad una de las mas difíciles de la Física, y no puede abarcar en toda su extensión sino por medio de la análisis matemática; por eso la han estudiado en particular los matemáticos, y en Francia especialmente Cléruet, Laplace, Poisson y el Sr. Quet. Tal cual acabamos de darla á conocer, esta teoría explica la elevación y depresión de los líquidos, no solo en los tubos, sino tambien entre las láminas paralelas ó inclinadas (117); é igualmente las atracciones y repulsiones que se observan entre los cuerpos flotantes (118).

121. **Diversos hechos que dependen de la capilaridad.**—Entre otros fenómenos, á mas de los dichos, que reconocen por causa la capilaridad, citaremos los siguientes:

Si se introduce un tubo capilar en un líquido que lo moja, y se le saca luego con precaución, se advierte que la columna líquida que queda suspendida en el tubo, alcanza mayor altura que durante la inmersión. Depende esto de que el tubo arrastra consigo una gota líquida adherida á su parte inferior, donde forma un menisco convexo, cuya acción concurre con la del cóncavo superior á sostener una columna mas alta (120).

Por igual razon un tubo capilar introducido en un líquido no determina la salida de este, aunque sea mas corto que la columna líquida que tiende á subir por él. Proviene esto de que en el momento en que llega el líquido á la parte superior del tubo, la superficie que á ella corresponde, de cóncava que era, se vuelve convexa, y por lo tanto, siendo mayor la presión que si fuera plana dicha superficie, cesa el movimiento ascendente.

Véanse á menudo insectos que se pasean, sin hundirse, por la superficie del agua. Esto es tambien un fenómeno capilar debido á que las patas de dichos insectos están recubiertas de una materia grasa que impide que se mojen, formándose alrededor de ellas una depresión que los sostiene á pesar de su peso, como el agua se sostiene en los tubos. Mediante una depresión análoga, una aguja fina de coser colocada cuidado-

samente sobre el agua, permanece en la superficie, si antes se dió á la aguja una capa de materia grasa, porque entonces no se moja; pero lavándola con alcohol ó con potasa, se va al fondo.

Tambien por un efecto capilar sube el aceite por las mechas de las lámparas y se empapan de líquidos las maderas, las esponjas, y en general, todos los cuerpos que poseen poros sensibles (15). Por último, con los nombres de endósmosis, de absorcion y de imbibicion, vamos á dar á conocer nuevos fenómenos que guardan estrecha analogia con la capilaridad, confundiendo frecuentemente con ella.

CAPÍTULO IV.

DIFUSION, ÓSMOSIS, ABSORCION Y DIÁLISIS DE LOS LÍQUIDOS.

122. **Difusion de los líquidos.**—Llámanse *difusion* la mezcla espontánea de dos líquidos de diferente naturaleza ó distinto grado de concentracion, y sin accion química el uno sobre el otro.

La difusion de los líquidos fué observada ya en el siglo último por Priestley y otros físicos; pero esta clase de fenómenos no se estudiaron detenidamente hasta 1834, en Londres, por Graham.

El aparato de que se sirvió este sabio consiste en un pequeño frasco de boca ancha (fig. 198) y de 11 centilitros de capacidad. Lleno este frasco de la disolucion en que

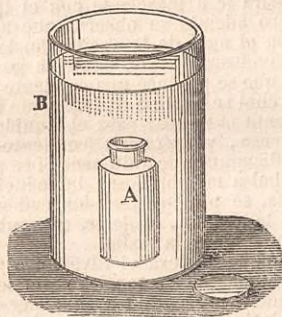


Fig. 198.

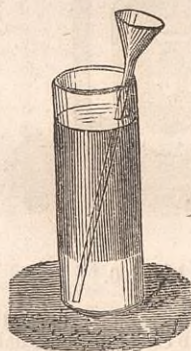


Fig. 199.

se quiera estudiar la difusion, una disolucion salina, por ejemplo, se le tapa con un obturador de vidrio y se le introduce en un depósito B de un litro de capacidad, donde se echa agua destilada hasta unos 2 ó 3 centímetros por encima del frasco A. Quitase en seguida con cuidado el obturador y se deja todo en reposo, á una temperatura constante, durante algunos dias. Pasados estos, se vuelve á poner el obturador y se retira el frasco A del depósito, y dejando evaporar el agua en él contenida, se ve que deja por residuo una gran parte de la sal que contenia la disolucion del frasco; lo cual revela que aquella se difundió por el agua del depósito B.

Se hace tambien visible el fenómeno de la difusion por medio del experimento siguiente: llénanse las tres cuartas partes de una probeta alta de vidrio con tintura de tornasol poco concentrada (fig. 199); despues se echa lentamente ácido sulfúrico, haciéndole llegar á la parte inferior de la probeta por medio de un embudo largo. Obsérvase entonces cómo la tintura de tornasol se va enrojando gradualmente de abajo arriba, y que al cabo de cuarenta y ocho horas todo el líquido está ya rojo. Ha habido, pues, difusion del ácido por el líquido sobre él situado.

123. **Leyes de la difusibilidad de los líquidos.**—Graham demostró experimentalmente las siguientes leyes acerca de la difusibilidad de los líquidos.

1.^a *En igualdad de tiempo, la difusibilidad varia de un líquido á otro.* El líquido mas difusible es el ácido clorhídrico; la albúmina, que es uno de los menos difusibles, se difunde cuarenta y nueve veces mas lentamente que aquel. Esta débil difusibilidad de la albúmina juega necesariamente un papel muy importante en la economía animal.

2.^a *En disoluciones de una misma sal en distinto grado de concentracion, la difu-*

sibilidad es proporcional á la cantidad de sal en disolucion; además aumenta con la temperatura.

3.^a Si á dos líquidos sin accion química el uno sobre el otro, y desigualmente difusibles, se los mezcla en un frasco de difusion (fig. 498), se separan en parte, siendo el mas difusible el primero en aparecer suelto.

124. **Osmosis, endósmosis y exósmosis.**—Dáse el nombre de *ósmosis* (impulsion) á la difusion entre dos líquidos separados por una membrana orgánica ó por un diafragma inorgánico poroso. Dutrochet fué el primero que en 1826, en Francia, dió á conocer detalladamente este fenómeno, poco estudiado hasta entonces.

Al aparato de que se sirvió para sus investigaciones le denominó *endosmómetro*: consiste en una bolsa membranosa que comunica con un tubo de vidrio bastante largo, á cuya extremidad inferior se halla sujeta por una fuerte ligadura que la cierra herméticamente (fig. 200). Llena esta bolsa de una disolucion muy gomosa ó de otro líquido mas denso que el agua, como la leche, la albúmina, una disolucion de azúcar, etc., se la introduce en una vasija llena de agua. Nótase muy pronto que el nivel sube poco á poco en el tubo á una altura que suele ser de algunos decímetros, y que descendiendo en la vasija que contiene al endosmómetro, deduciéndose de aqui que parte del agua pura pasa al través de la membrana para ir á mezclarse con el líquido del interior. Pero además se observa que al cabo de cierto tiempo el agua de la vasija, donde está sumergido el endosmómetro, contiene goma; claro está, pues, que se produce una corriente en ambos sentidos, lo cual se expresa diciendo que hay *endósmosis* (corriente entrante) para el líquido cuyo volumen aumenta, y *exósmosis* (corriente saliente) para el que disminuye de volumen. Si se pone agua pura en la bolsa membranosa, introduciéndola en agua gomosa, se produce tambien endósmosis del agua pura á la gomosa, es decir, que sube el nivel en el exterior ó sea en la vasija.

La altura á que se eleva el nivel en el endosmómetro varía segun los diferentes líquidos. De todas las sustancias vegetales, el azúcar disuelto es el que, en igualdad de densidades, presenta mayor poder endosmótico, y de las animales la albúmina. La gelatina, por el contrario, le posee muy débil. En general, la corriente de endósmosis se dirige hácia el líquido mas denso. Sin embargo, el alcohol y el éter constituyen una excepcion, pues con el agua obran como si fueran líquidos mas densos. Con los ácidos, segun estén mas ó menos diluidos, hay endósmosis del agua hácia ellos, ó vice-versa.

Dutrochet observó que, para que se produzcan los fenómenos de endósmosis, es preciso: 1.º que los líquidos sean heterogéneos y susceptibles de mezclarse, como por ejemplo el agua y el alcohol, pues entre el aceite y el agua no se verifica; 2.º que los dos líquidos tengan diferente densidad; 3.º que el tabique intermedio sea permeable por lo menos respecto á uno de ellos.

Todas las sustancias vegetales y animales son permeables, y en cuanto á las inorgánicas, como las pizarras, los gres, la porcelana sin barnizar, la tierra de pipa poco cocida, etc., son tanto menos permeables, cuanto mas sílice contienen. La tierra de pipa, mas aluminosa que la porcelana, es tambien mas permeable, por cuya razon se pega á la lengua.

Aunque débil la corriente al través de delgadas láminas inorgánicas, puede continuarse indefinidamente. Lo contrario les sucede á las membranas orgánicas, que se desorganizan muy pronto, cesando la endósmosis.

Varias teorías se han propuesto para explicar la endósmosis. Unos la han atribuido á una corriente eléctrica que tiene igual direccion que la endósmosis; otros han admitido que la causa del fenómeno era una accion capilar, unida con la afinidad de ambos líquidos; algunos han creído que la originaba una desigual viscosidad de estos; y varios han fijado su causa en la mayor ó menor permeabilidad de las membranas para tal ó cual líquido. Ninguna de estas hipótesis explica de un modo satisfactorio la endósmosis; pero como quiera que sea, el fenómeno se enlaza al parecer intimamente con las mismas causas que determinan la capilaridad. Obsérvase, sin

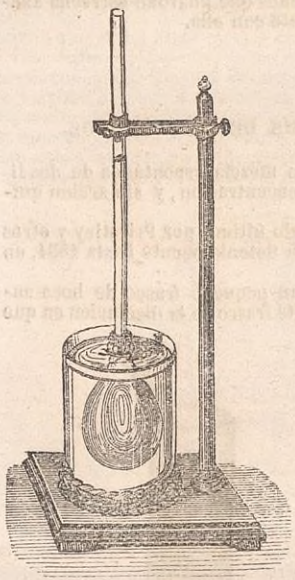


Fig. 200.

embargo, que la elevacion de temperatura que activa la endósmosis, entorpece, por el contrario, las acciones capilares.

Graham explicaba los fenómenos de endósmosis y exósmosis por el diferente grado de adhesion de dos líquidos con la membrana que los separa; el que mas fácilmente la moja penetra primero en sus poros, la traspasa, y se difunde en seguida mas ó menos rápidamente al otro lado (122).

125. **Absorción é imbibicion.**—Casi sinónimas son en Física las palabras *absorción é imbibicion*, pues ambas indican penetracion de una sustancia extraña en un cuerpo poroso. Sin embargo, la absorcion se aplica indistintamente á los líquidos y á los gases, mientras que la imbibicion no se extiende mas que á los primeros.

En Fisiología se distingue la absorcion de la imbibicion; pues con el primer nombre se designa el fenómeno de penetrar una sustancia extraña en los tejidos de un ser viviente, mientras que con el segundo solo se expresa la penetracion en cuerpos porosos sin vida, sean ó no orgánicos. De modo que, en la absorcion entran en juego las fuerzas vitales, y en la imbibicion no.

126. **Fenómenos de absorcion en las plantas.**—En el reino vegetal se verifica la absorcion por todas las partes de las plantas, pero sobre todo por las esponjuelas ó pelos en que terminan las raíces, y por las hojas. Merced á estos órganos se absorben, en el estado de agua, de ácido carbónico y de amoniaco, el oxígeno, el hidrógeno, el carbono y el nitrógeno, necesarios para la nutricion de los vegetales.

Los líquidos, y las sales en ellos disueltas, son primeramente absorbidos por las raicillas, mediante un doble fenómeno de endósmosis y de capilaridad, y luego la sávia elaborada por el vegetal, al aumentar en densidad en las partes superiores, da lugar tambien á una endósmosis que es causa de su direccion ascendente. Además, la elevacion de la sávia se halla favorecida por el vacio que tiende á producirse en las partes altas de la planta, por efecto de la exhalacion que se opera por las hojas. En cuanto á la accion capilar, no puede hacer subir los líquidos mas que á las celdillas inferiores, sin producir corriente.

Al doctor Boucherie, de Burdeos, debemos una feliz aplicacion de la propiedad absorbente de los vegetales para la introduccion, en el tejido de las maderas, de sales que les comunican colores mas ó menos vivos, que aumentan su flexibilidad y su tenacidad, ó que las hacen menos combustibles.

127. **Fenómenos de absorcion en los animales.**—En los animales inferiores, cuyos tejidos no constan mas que de celdillas, se verifican dichos fenómenos lo mismo que en los vegetales, por imbibicion y por endósmosis. La imbibicion, que es el sistema alimenticio de algunos de ellos, es una verdadera endósmosis.

En los animales superiores hay absorcion. Por ejemplo, la rubia, tomada interiormente por estos animales, penetra hasta los huesos, colorándolos de rojo, y si un liquido se halla en contacto con una superficie cutánea sin epidermis, ó con una membrana mucosa, como tales superficies son muy vasculares, pasa el liquido á los vasos por un efecto de endósmosis, constituyendo así la absorcion.

Cuanto mas líquida es una sustancia, con mayor facilidad es absorbida: si bien es necesario para la absorcion, que los líquidos mojen las membranas, pues las grasas, que no las mojan, no son absorbidas; sin embargo, el Sr. Cl. Bernard reconoció que lo son fácilmente estando emulsionadas con el jugo pancreático. El doctor Loze ha observado recientemente que, emulsionando de igual manera el aceite de hígado de bacalao, medicamento que tanta boga ha adquirido en estos últimos años, goza de mas energia porque es absorbido con mayor prontitud.

Favorecen la absorcion y la endósmosis, el calor, la deplecion, una traspiracion abundante ó una sangria.

128. **Diálisis.**—La *diálisis* (separacion á través) es una aplicacion hecha á la análisis química de la desigual difusion de los líquidos al través de las membranas. Graham, que dió á conocer la diálisis en 1861, dividió á este propósito las diferentes sustancias en dos grandes grupos: los *crystalóides*, cuerpos dotados de la propiedad de cristalizar (las sales), y los *colóides*, cuerpos no cristalizables (la goma, el almidon, la dextrina, la gelatina, la albúmina, etc.). Las disoluciones de los crystalóides carecen de viscosidad, tienen sabor, y se difunden fácilmente al través de las membranas y de los tabiques porosos; los colóides, por el contrario, son viscosos, insípidos y de no fácil difusion.

El aparato de Graham para la diálisis es un endosmómetro modificado que denominó *dializador*. Se compone de una lámina de gutta-percha, arrollada en un cilindro hueco de 20 á 25 centímetros de diámetro y 5 de altura, tapado por la base con una membrana, de manera que forma una especie de tamiz.

La sustancia preferida por Graham para membrana dialitica es el *papel pergamino*; llámase así el papel sin cola despues de sumergido por breve rato en ácido sulfurico. Este papel se hidrata, se estira y se vuelve trasluciente; pero como aun es muy poroso conviene barnizarle con una ligera capa de albúmina que se deja coagular al ca-

lor. Mojado este papel se aplica á la base del cilindro de gutta-percha citado anteriormente sujetándole con una ligadura (fig. 201).

Así preparado el dializador se echa en él, hasta una altura de unos 12 milímetros á lo más, el líquido que se quiere analizar y se deja flotar el aparato en un vaso mayor que contenga agua destilada en cantidad suficiente para que la difusión pueda efectuarse completamente al través del papel pergamino; dicha cantidad es aproximadamente de 4 á 10 veces el volumen de la mezcla que hay en el dializador (fig. 202). El cristalóide contenido en este se separa entonces casi por completo, en el término de veinte

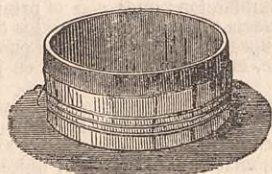


Fig. 201.

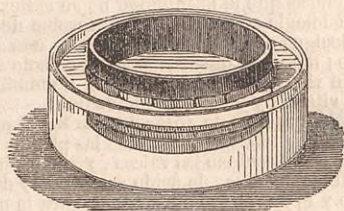


Fig. 202.

y cuatro á cuarenta y ocho horas, de las materias con que está mezclado. Por ejemplo, mezclado con materias orgánicas el ácido arsenioso, que es muy difusible, se separa con suma facilidad, y dejando evaporar el líquido exterior, se obtiene ácido arsenioso casi puro y bastante concentrado para dar un precipitado amarillo con el ácido sulfhídrico. Puede establecerse como regla general que los cristalóides se separan muy fácilmente de los colóides.

La diálisis ha recibido importantes aplicaciones en Farmacia y en Química industrial; el Sr. Dubrunfaut la utilizó, para purificar las melazas, un año antes que se publicasen los trabajos de Graham.

LIBRO IV.

DE LOS GASES.

CAPÍTULO PRIMERO.

PROPIEDADES DE LOS GASES, ATMÓSFERA, BARÓMETROS.

129. Carácterés físicos de los gases.—Los *gases* ó *flúidos aeriformes* son cuerpos de moléculas perfectamente movibles y que se encuentran en un estado continuo de repulsion que se designa con los nombres de *expansibilidad*, *tension* ó *fuerza elástica*, por lo cual se les da tambien el nombre de *flúidos elásticos*.

Divídense los flúidos elásticos en dos clases, que son: los *gases permanentes*, ó gases propiamente dichos, y los *gases no permanentes* ó *vapores*. Pertenecen á la primera los que hasta hoy persisten en el estado aeriforme, sea cual fuere la presion y el descenso de temperatura á que se les someta, como sucede con el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, el bióxido de nitrógeno y el óxido de carbono. Los gases no permanentes, por el contrario, pasan con mas ó menos facilidad al estado líquido, ya sea por una presion excesiva, ó ya tambien por un gran enfriamiento. Con todo, no es rigorosa esta clasificacion, porque muchos gases, tenidos por permanentes, han dejado de serlo en manos de Faraday y de otros físicos, debiéndose admitir que los que no se han liquidado hasta ahora, ha sido por no haberlos sometido á una presion ó descenso de temperatura suficientes. Por esto se llaman, en general, *gases* los cuerpos que siempre se presentan aeriformes á la temperatura y presion ordinarias; mientras que se designa con el nombre de *vapor* el estado aeriforme que toman, por efecto del calor, los cuerpos que, como el agua, el alcohol y el éter, son líquidos á las presiones y temperaturas ordinarias.

Treinta y cuatro gases conoce hasta hoy la Química. Cuatro de ellos son simples, á saber: el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el cloro; solamente siete se presentan libres en la naturaleza, que son: el oxígeno, el nitrógeno, el ácido carbónico, el proto y el bicarburo de hidrógeno, el amoníaco y el ácido sulfuroso; los demás no se obtienen sino por medio de reacciones químicas.

130. Teoría dinámica de los gases.—En la moderna teoría dinámica del calor (8) se admite que las moléculas de los gases son perfectamente elásticas y que están dotadas de un movimiento primordial sumamente rápido, en virtud del cual si no encuentran obstáculo alguno se dispersan indefinidamente en el espacio. Si los gases están en vasijas tapadas, sus moléculas chocan sin cesar las unas con las otras y con las paredes de las mismas, á causa de su perfecta elasticidad. De aquí proviene que un volúmen dado de gas tiene una elasticidad proporcional á la fuerza viva, es decir, al producto de la masa total de sus moléculas por el cuadrado de su velocidad (36).

131. Fuerza expansiva de los gases.—La fuerza expansiva de los gases, es decir, su tendencia á ocupar siempre un volúmen mayor, se

demuestra del modo siguiente: colócase debajo de la campana de la máquina neumática una vejiga con llave, cuidando de comprimirla algo antes de cerrarla, y mojarla, á fin de que tenga una pequeña cantidad de aire y sea mas flexible. Al comenzar la operacion hay equilibrio entr

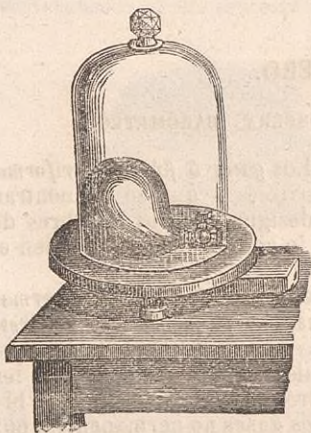


Fig. 205.

la fuerza elástica del aire de la campana y la del que está dentro de la vejiga; pero luego que se principia á hacer el vacío, se va debilitando la presion que esta sufre, inflándose cada vez más cual si en ella se introdujese mas aire (figura 203), quedando así demostrada la fuerza elástica del gas que contiene. Si se deja penetrar luego en la campana el aire exterior por medio de una llave que al efecto tiene el aparato, se comprime de nuevo la vejiga y vuelve á adquirir su volúmen primitivo. De igual manera se prueba la fuerza expansiva de todos los gases.

Parece natural que estos se salgan instantáneamente de las vasijas abiertas que los contienen en virtud de su fuerza expansiva; y en verdad, tal es lo que sucederia en el vacío, pero no en las circunstancias ordinarias, pues á ello se opone la presion del aire exterior. Con todo, apremurémonos á decir que esto solo es exacto

para el aire mismo, pues la experiencia demuestra que no es posible equilibrar la fuerza expansiva de un gas, sino mediante la presion de una masa gaseosa de su misma naturaleza. Por ejemplo, la presion del aire no puede equilibrar la fuerza expansiva del hidrógeno ó del ácido carbónico; porque si bien es verdad que no escapan estos flúidos cual lo harian en el vacío, sin embargo, se mezclan rápidamente el interior con el exterior.

Mas adelante demostraremos que la fuerza elástica de los gases es siempre igual y de sentido opuesto á la presion que sufren, y que en igualdad de volúmenes aumenta con la temperatura.

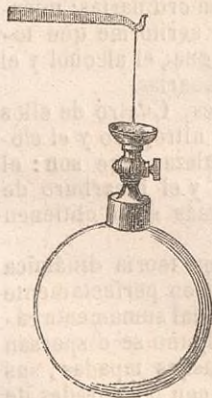


Fig. 204

132. **Peso de los gases.** — Por su extremada fluidez y sobre todo por su expansibilidad, parece que los gases no se hallan sujetos á las leyes de la gravedad; mas á pesar de ser tan sutiles estos flúidos, obedecen á dicha fuerza, lo mismo que los sólidos y los líquidos. Para probarlo, se suspende, de uno de los brazos de una balanza muy sensible, un globo de cristal de 3 á 4 litros de capacidad, cuyo cuello tiene una llave que le cierra herméticamente (fig. 204). Pésase primero el globo lleno de aire, y despues de hecho el vacío por medio de la máquina neumática, se repite la operacion y sucede que esta vez el peso del globo es algunos gramos menor, lo que da á conocer el peso del aire que se ha extraído.

Conociendo de antemano el volúmen del globo, en litros, se averigua por este procedimiento que un litro de aire puro, á la temperatura de cero

Pero vimos (458) que para una misma masa de gas, si es igual la temperatura, el producto del volúmen por la presion es constante. Resulta, pues,

$$\left\{ v \frac{(1 + \delta T)}{1 + \alpha T} + \frac{v}{1 + \alpha'} \right\} (A' + a) = \left(v + \frac{v}{1 + \alpha'} \right) A.$$

Esta ecuacion se ha resuelto por el método de las *aproximaciones sucesivas*. Es decir, que sustituyendo primero en las dos fracciones $\frac{v}{1 + \alpha T}$ y $\frac{v}{1 + \alpha'}$, en vez de α el valor aproximado, ya conocido, del coeficiente de dilatacion del aire, y resolviendo con relacion al binomio $1 + \alpha T$, se deduciria un segundo valor de α mas aproximado que el primero; despues sustituyendo tambien este valor en las fracciones anteriores, y resolviendo la ecuacion, resulta otro tercer valor de α mas aproximado que el segundo, y así se continúa hasta que sea constante el valor de α .

El Sr. Regnault empleó tambien, como ya queda dicho, el método de *presion constante y volúmen variable*, y vió que la dilatacion de los gases siendo el volúmen variable es mayor que cuando es constante. Además ha probado que á una misma temperatura, la dilatacion de los gases, excepto la del hidrógeno, es tanto mayor cuanto mas fuerte es la presion, lo cual revela que no es exacta la ley de Davy de que *el coeficiente de la dilatacion de los gases es el mismo á todas las presiones*. Por último, el mismo sabio ha observado que los coeficientes de dilatacion de los gases se diferencian tanto menos entre sí cuanto mas débil es la presion; de donde se sigue que la ley de Gay-Lussac se aproxima tanto mas á la verdad cuanto mas enrarecidos están los gases.

Hé aqui los coeficientes obtenidos por Regnault, entre cero y 100°, para presiones constantes comprendidas entre 0^m,30 y 0^m,50 en una variacion de temperatura de 1 grado.

Hidrógeno.	0,005661
Oxido de carbono.	0,005669
Aire.	0,005670
Acido carbónico.	0,005710
Protóxido de ázoe.	0,005749
Cianógeno.	0,005877
Acido sulfuroso.	0,005905

519. **Termómetro de aire.**—Este termómetro está fundado, segun indica su nombre, en la dilatacion del aire. El mas sencillo seria el tubo capilar con una esfera que empleaba Gay-Lussac para medir el coeficiente de dilatacion de los gases (figura 581). En efecto, así como conocida la temperatura se ha deducido, del movimiento del indice en el tubo, el coeficiente de dilatacion del aire, así tambien reciprocamente, una vez conocido este, es fácil calcular la temperatura que corresponde á cada movimiento del indice. Pero la marcha de este indice siempre se hallaria sujeta á la misma causa de error que condujo á Gay-Lussac á hallar un coeficiente de dilatacion demasiado grande, y se obtendrian temperaturas demasiado altas. Por esta razon se adopta con preferencia para termómetro de aire un tubo semejante al que sirvió para medir el coeficiente de dilatacion de los gases en el aparato de Regnault (figs. 582 y 585). Operando con este tubo, como en el experimento del párrafo 517, se determinan las cantidades P, P', A, A' y α , que entran en la ecuacion (5), y como α y δ son conocidas, de ella se deduce la temperatura t á la cual ha estado sometido el termómetro.

Pero el uso de este instrumento requiere mucho tiempo y esmero, por lo que generalmente es preferible el ordinario de mercurio ó el de peso. Sin embargo, no debe perderse de vista que los termómetros de aire presentan sobre los de mercurio dos importantes ventajas: 1.^a son mucho mas sensibles, por ser el aire veinte veces mas dilatante que el mercurio; y 2.^a mientras que dos termómetros de mercurio rara vez están acordes, á no ser entre -56 y 100° (280), dos de aire siempre son comparables entre sí, lo cual es debido tambien á la gran dilatacion de los gases, ante la cual no

ejerce influencia alguna la pequeña diferencia de dilatacion de las diversas especies de vidrios con que se fabrican los termómetros.

Segun las investigaciones de Regnault el termómetro de aire y el de mercurio van casi acordes hasta 240° cuando el vidrio del segundo es verde y ordinario, pues si es de cristal, la discordancia es mayor, y cuando el termómetro de aire marca 550° , el de mercurio señala $560^{\circ},5$.

320. Pirómetro de aire. — Los cuerpos preferibles para medir altas temperaturas son los gases por la regularidad que presenta su dilatacion; pero para aplicarlos á la construccion de pirómetros (289) es necesario que los vasos que los contengan sean infusibles á las temperaturas para cuya observacion se les destine. Pouillet habia adoptado desde 1836, para pirómetro un termómetro de aire cuyo depósito era de platino; pero como posteriormente el Sr. H. Sainte-Claire Deville ha probado (168) que este metal es permeable á los gases sometién-dole á altas temperaturas, no puede ya emplearse en la construccion de los pirómetros de aire. Por esta razon dicho sabio adoptó la porcelana vidriada de Bayeux despues de haber determinado su coeficiente de dilatacion cúbica, el cual encontró que era 0,0000163 entre 1000 y 1400° , y que llegaba á 0,0000200 al aproximarse á los 1500° .

Modificado así el aparato del Sr. Regnault anteriormente descrito (fig. 384), viene á ser un pirómetro de aire con el cual se observa de la misma manera que se hizo (318) para determinar el valor α en funcion de T ; solo que aquí el valor que se determina es el último en funcion del primero, admitiendo que el coeficiente α permanece constante á cualquier temperatura.

321. Cero absoluto. — Se vió ya (275) que el *cero absoluto* es el que corresponde á la carencia total de calor en los cuerpos, es decir, á la paralización completa del movimiento vibratorio de las moléculas. Para determinar cuál sea el número de grados centesimales correspondiente al *cero absoluto*, conviene observar que el coeficiente de dilatacion del aire, cuyo valor es 0,00366, es casi igual á la fraccion ordinaria $\frac{1}{273}$. Ahora bien, representemos por 1 un cierto volúmen de aire á la temperatura *cero* de la escala centesimal, y por F su fuerza elástica; este volúmen á t° será $1 + \alpha t$, y su fuerza elástica $F(1 + \alpha t)$, por ser la razon de estas fuerzas, en igualdad de volúmenes, como 1 es á $(1 + \alpha t)$.

Admitiendo que á la temperatura *cero absoluto*, sea todavía el aire atmosférico un gas perfecto, es decir, que no se liquide y que continúe aun sujeto á la ley de Mariotte (156), la fórmula $F(1 + \alpha t)$ representa tambien su fuerza elástica. Pero esta debe ser nula en este caso, puesto que el movimiento vibratorio de las moléculas ha cesado completamente; es preciso, pues, que se verifique la igualdad $F(1 + \alpha t) = 0$; de donde $t = -\frac{1}{\alpha}$,

y sustituyendo en vez de α su valor $\frac{1}{273}$ resulta $t = -273$. Este es, pues, el número de grados bajo el *cero* de la escala centesimal que corresponderia al *cero absoluto*, en el caso de ser aun aplicable á dicha temperatura la ley de Mariotte. Las temperaturas contadas á partir de este punto son *temperaturas absolutas*.

322. Pesos especificos de los gases con relacion al aire. — El *peso específico* ó la *densidad* de un gas respecto al *aire* es la razon del peso de cierto volúmen de este gas al de otro igual de *aire*, estando ambos flúidos á *cero* y á la presion de $0^m,76$.

Por consiguiente, para conocer la densidad de un gas debe inquirirse el peso de cierto volúmen del mismo á *cero* y á la presion de $0^m,76$, y despues el de otro volúmen igual de *aire* á la misma temperatura y presion, y dividir el primer peso por el segundo. A este fin sirve un globo de vidrio, cuya capacidad sea de 8 á 10 litros, con una llave en su cuello (figura 204), para poderlo atornillar en la máquina neumática. Pésase sucesivamente este globo vacío, lleno de *aire* y lleno del gas cuya densidad se busca, procurando desecar bien ambos flúidos por el mismo pro-

cedimiento descrito mas arriba y con el aparato representado por la figura 382. Restando el peso del globo vacío del que se obtiene en las dos últimas pesadas, resultan el peso del aire y el del gas bajo el mismo volumen. Si durante estas pesadas estuviese constantemente á cero la temperatura y á 0^m,76 la presión, solo habria que dividir el peso del gas por el del aire, y el cociente seria la densidad buscada. Pero este procedimiento requiere generalmente muchas correcciones para reducir los pesos de los dos gases á cero y á la presión de 0^m,76, y tambien para referir á cero el volumen del globo.

Para hacer estas correcciones es menester ante todo operar en gases secos, lo cual se consigue pasándolos por materias desecantes antes de introducirlos en el globo; y el aire además debe pasar por potasa cáustica para perder el ácido carbónico que contiene. Además, como las mejores máquinas neumáticas nunca hacen el vacío perfecto, á fin de poder prescindir en las pesadas del gas que queda en el globo, se efectuará cada vez el vacío, hasta que la probeta señale la misma tensión e .

En este supuesto, se hace el vacío en el globo, y se deja entrar aire seco, repitiendo varias veces la misma operación hasta que aquel esté perfectamente desecado. Haciendo entonces por última vez el vacío, hasta que la probeta marque la tensión e , se pesa, y se tiene el peso p' del globo que solo contiene aire á dicha tensión. Déjase entonces entrar aire lentamente por varios tubos que contienen, unos cloruro de calcio y otros potasa: se pesa de nuevo y se halla que el peso del globo, cuando está lleno, es P' . Por consiguiente, llamando A' la altura barométrica y t' la temperatura en el momento de la pesada, $P' - p'$ es el peso del aire contenido en el globo á la temperatura t' y á la presión $A' - e$.

Para reducir este peso á la presión de 760^{mm} y á la temperatura de cero, representemos por α' el coeficiente de dilatación del aire y por δ el de dilatación cúbica del vidrio. En virtud de la ley de Mariotte, el peso, que es $P' - p'$ á la presión $A' - e$, á la de

760^{mm} será $(P' - p') \frac{760}{A' - e}$, siendo constante la temperatura t' . Pero como si esta

se reduce á cero, disminuye la capacidad del globo en la relación $1 + \delta t'$ á 1, mientras que el peso del gas aumenta en la de 1 á $1 + \alpha' t'$, según se deduce de los problemas vi (501) y v (516), resulta que el peso del aire contenido en el globo á cero y á la presión de 760^{mm} es

$$(P' - p') \frac{760}{A' - e} \times \frac{1 + \alpha' t'}{1 + \delta t'} \quad [1].$$

Sea igualmente α el coeficiente de dilatación del gas cuya densidad se quiere determinar, P el peso del globo lleno de este gas á la temperatura t y á la presión barométrica A , y finalmente p el peso del globo cuando el gas que en él queda se halla á la tensión e : el peso del mismo, á la presión de 760^{mm} y á la temperatura de cero, estará representado por la expresión

$$(P - p) \frac{760}{A - e} \times \frac{1 + \alpha t}{1 + \delta t} \quad [2].$$

Dividiendo la fórmula [2] por la [1], resulta para la densidad que se busca

$$D = \frac{(P - p)(A' - e)(1 + \alpha t)(1 + \delta t')}{(P' - p')(A - e)(1 + \alpha' t')(1 + \delta t)},$$

cuya fórmula es independiente del volumen del globo.

Si durante el experimento no varían la temperatura y la presión, se tiene $A = A'$, y

$t = t'$, por lo tanto $D = \frac{(P - p)(1 + \alpha t)}{(P' - p')(1 + \alpha' t)}$; y si por fin suponemos $\alpha = \alpha'$, resulta

$$D = \frac{P - p}{P' - p'}$$

323. Método del Sr. Regnault para hallar la densidad de los gases.

— Acabamos de ver el gran número de correcciones que hay que aplicar

para hallar la densidad de los gases segun el método precedente. El Sr. Regnault le ha modificado ventajosamente pudiendo prescindirse de algunas de ellas. Al efecto se toman dos globos con cuello, de idéntico vidrio, y casi igual volúmen exterior, cerrando luego el mayor con un tubo de llave, y el menor con otro simplemente de gancho. Para conseguir que los dos globos sean de igual volúmen, se les llena de agua y se les cuelga de los platillos de una balanza, cuidando de establecer el equilibrio por medio de una tara; luego se les sumerge en una vasija llena del mismo líquido y desaparece el equilibrio: el número de gramos p que hay que agregar para restablecerle representa, en centímetros cúbicos, la diferencia de los volúmenes de los globos (98). Construyendo

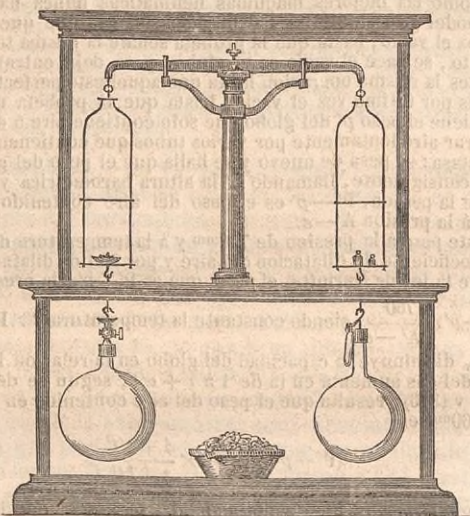


Fig. 585.

entonces un tubo cerrado de vidrio, cuyo volúmen total sea de p centímetros, se le suspende del gancho del menor. Una vez conseguido de esta manera un volúmen equivalente al del globo que va á emplearse, se experimenta en él, como se ha dicho mas arriba (322), pesándole sucesivamente vacío, lleno de aire y lleno del gas cuya densidad se busca, pero teniendo cuidado en cada pesada de equilibrarle con el segundo globo, segun se ve en la figura 385. Además se encierran ambos globos en una caja de vidrio en la cual se deseca el aire con cal viva. De este modo, siendo igual por ambas partes la pérdida de peso en el aire, es evidente que no se necesita hacer ninguna correccion para las pesadas que en él se efectuan.

A fin de evitar las correcciones de dilatacion del vidrio y de los gases en que se experimenta, se llena sucesivamente de aire y gas, á la temperatura de cero, el globo de llave. Al efecto, se le coloca en una vasija llena de hielo (fig. 386), y allí se atornilla en la llave B del mismo otra A de tres vías, que permite ponerle en comunicacion con una máquina neumática por un tubo de caucho D, ó con los tubos M, N, á los

cuales llega el gas por otro C. Los tubos M,N contienen diferentes sustancias que sirven, unas para desecar el gas y otras para purificarle, es decir, para retener los gases que con él están mezclados.

Hecho todo esto y dispuesta la llave A de modo que el globo solo tenga comunicacion con la máquina neumática, se hace en él el vacío, y luego por medio de la misma llave, se interrumpe la comunicacion con la máquina, se establece con los tubos M, N, y llega el gas al globo hasta llenarle. Sin embargo, como en este no se puede hacer el vacío absoluto, y queda siempre algun aire, se vuelve á hacer el vacío y á dejar entrar

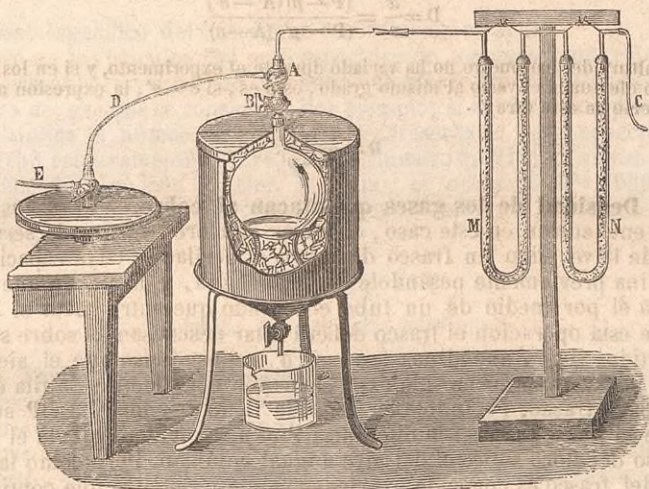


Fig. 386.

el gas de nuevo; repitiendo varias veces esta operacion hasta que se juzgue expulsado todo el aire. Finalmente, haciendo el vacío por última vez, un barómetro diferencial (fig. 233) que comunica con el aparato por el tubo E, da á conocer la fuerza elástica e del gas enrarecido que todavía queda en el globo. Cerrando entonces la llave B y destornillando la A, se saca el globo del hielo, se le enjuga bien y se pesa en la balanza descrita mas arriba (fig. 385).

Obtenido en esta primera pesada un peso p , se vuelve á colocar el globo en el hielo, y poniendo en su lugar la llave A se deja entrar el gas, cuidando que estén abiertas las llaves el tiempo suficiente para que aquel tome en el globo la presión exterior A marcada por el barómetro. Si entonces se cierra la llave B, se quita la A, se saca el globo del hielo con las mismas precauciones que antes y se pesa de nuevo, se halla un peso P; de manera que la diferencia $P - p$ de las dos pesadas es el peso del gas contenido en el globo á cero y á la presión A - e . Decimos á la presión A - e y no á la presión A, porque en la primera pesada contenia ya el globo el mismo gas á la presión e , segun se ha visto anteriormente.

Para determinar el peso x del mismo volumen de gas á la presión de 760^{mm}, como los pesos son proporcionales á las presiones, resulta

$$\frac{x}{P - p} = \frac{760}{A - e}, \text{ de donde } x = \frac{760(P - p)}{A - e}.$$

Por último, repitiendo la misma serie de operaciones con el aire, es decir, pesando primero el globo vacío y despues lleno de aire seco á cero, y representando por p' el

peso del globo cuando se ha hecho en él el vacío á la presión e' , por P' su peso después de haber dejado entrar el aire, y por A' la altura del barómetro en el instante en que se cierra el globo, se ve que el peso del aire allí contenido á cero y á la presión de 760^{mm} está representado por la fórmula

$$x = \frac{760(P' - p')}{A' - e'}$$

Si se divide el peso del gas por el del aire, se obtiene el peso específico que se busca:

$$D = \frac{x}{x'} = \frac{(P - p)(A' - e')}{(P' - p')(A - e')}$$

Si la altura del barómetro no ha variado durante el experimento, y si en los dos casos se ha efectuado el vacío al mismo grado, esto es, si $e = e'$, la expresión anterior se convierte en esta otra:

$$D = \frac{P - p}{P' - p'}$$

324. Densidad de los gases que atacan al cobre. — Para los gases que se encuentran en este caso, como es el cloro, no puede servir un globo de llave, sino un frasco de tapon esmerilado, cuya capacidad se determina previamente pesándole lleno de agua, y haciendo que el gas llegue á él por medio de un tubo encorvado que entra hasta el fondo; durante esta operación el frasco deberá estar descansando sobre su base ó invertido, según que el gas sea más ó menos denso que el aire. Así que se juzga que este ha sido expulsado por completo, se quita el tubo y se tapa el frasco. Pesándole en seguida lleno de cloro, sea P su peso y p si está lleno de aire: la diferencia $P - p$ es evidentemente el exceso del peso del cloro sobre el del aire á igual volumen. Pero como la capacidad del frasco es conocida, se deduce el peso del aire que contiene, y este peso agregado á la diferencia $P - p$ será el del cloro. Ya no queda más que dividir este peso por el del aire, si bien cuidando de hacer las correcciones de temperatura y de presión necesarias para reducir los dos pesos al mismo volumen, á la temperatura de cero y á la presión de 760^{mm}.

Densidades de los gases á cero y á la presión de 0^{mm},760, sirviendo de unidad la del aire.

Aire.	1,0000	Acido sulfhídrico.	4,1912
Hidrógeno.	0,0693	Acido clorhídrico.	4,2472
Hidrógeno protocarbonado.	0,559	Protóxido de nitrógeno.	1,5269
Gas amoníaco.	0,5967	Acido carbónico.	1,5290
Oxido de carbono.	0,9569	Cianógeno.	4,8064
Nitrógeno.	0,9714	Acido sulfuroso.	2,2474
Bióxido de nitrógeno.	4,0388	Cloro.	3,4216
Oxígeno.	4,1056	Acido yodhídrico.	4,443

325. Pesos específicos de los gases con relación al agua. — Se vió ya (133) que el peso específico del aire respecto al agua es el cociente que resulta de dividir el peso de un litro de aire á cero por el de la misma cantidad de agua á 4°, ó sea $\frac{1^{\text{gr}}, 293}{1000} = 0,001293$. En cuanto á los pesos específicos de los demás gases relativamente al agua, se determinan multiplicando las densidades antes obtenidas por el número 0,001293. En efecto, si representamos por a el peso de un litro de aire á cero y á la presión de 760^{mm}, y por a' el de un litro de gas cualquiera, de hidró-

geno, por ejemplo, en las mismas condiciones de temperatura y presión, el peso específico del aire con relación al agua es $\frac{a}{1000}$, y el del hidrógeno respecto del aire $\frac{a'}{a}$, es decir, el número 0,0693 contenido en la tabla anterior. Por lo tanto, el producto de las fracciones

$$\frac{a}{1000} \times \frac{a'}{a} = \frac{a'}{1000},$$

es el peso específico del hidrógeno con relación al agua.

El uso en los cálculos del peso específico de los gases con relación al agua, presenta la ventaja de dar inmediatamente en kilogramos el peso del litro del gas que se considera. Por ejemplo, si en el cálculo precedente se multiplica el número 0,0693, que representa el peso específico del hidrógeno relativamente al aire, por el número 0,001293, que es el peso específico del aire con relación al agua, el producto $0,001293 \times 0,0693 = 0,0000896$ es el peso de un litro de hidrógeno á cero y á la presión de 760 milímetros.

CAPÍTULO V.

CAMBIOS DE ESTADO: VAPORES.

326. Fusión: sus leyes.—Entre los varios fenómenos que presentan los cuerpos que se hallan bajo la influencia del calor solo nos hemos ocupado hasta ahora de su dilatación. Pero aun cuando no fijemos la atención mas que en los sólidos, es fácil reconocer que esta tiene un límite. En efecto, la experiencia enseña que si un cuerpo se va calentando gradualmente, llega un momento en que la fuerza viva del calor supera á la cohesión (77^* , A), originándose entonces un nuevo fenómeno, la *fusion*: es decir, el tránsito del cuerpo del estado sólido al líquido.

Sin embargo, hay muchas sustancias, como el papel, la madera, la lana y ciertas sales, que no se funden por la acción de una alta temperatura, sino que se descomponen. Entre todos los cuerpos simples, solo se conoce uno, que es el carbono, que no se haya fundido hasta ahora, á pesar de haberle sometido á los mas intensos focos de calor. Con todo, el Sr. Despretz consiguió, sometiéndolo á la acción de una corriente eléctrica muy poderosa, reblandecer este cuerpo hasta ponerlo flexible, lo cual indica ya un estado próximo á la fusión.

La experiencia demuestra que la fusión de los cuerpos se halla constantemente sujeta á las dos leyes siguientes:

1.^a *Todo cuerpo entra en fusión á una determinada temperatura, invariable para cada sustancia, si la presión es constante.*

2.^a *Sea cual fuere la intensidad de un manantial de calor, desde el momento en que empieza la fusión, cesa de subir la temperatura, permaneciendo estacionaria hasta que termina por completo.*

Temperaturas de fusion de diversas sustancias.

Protóxido de nitrógeno.	- 400°	Azufre.	+ 441°
Acido carbónico.	58	Estaño.	228
Mercurio.	39	Bismuto.	264
Bromo.	- 20	Plomo.	326
Hielo.	0	Tálio.	290
Cloruro de calcio hidratado.	+ 29	Zinc.	360
Seco.	33	Antimonio.	432
Fósforo.	44	Bronce.	900
Acido margárico.	57	Plata.	1000
Potasio.	58	Fundicion blanca.	1100
Estearina.	60	gris.	1200
Cera amarilla.	61	Paladio.	1200
Cera blanca.	69	Oro.	1250
Acido esteárico.	70	Aceró.	1350
Sodio.	90	Hierro dulce.	1500
Aleacion de Darcet (1 de plomo, 1 de estaño y 4 de bismuto).	94	Platino.	1940 á 2000
		Iridio.	2500

El Sr. Hopkins, en Inglaterra, ha probado que la temperatura de fusion es mayor á medida que aumenta la presion. Los cuerpos sobre los cuales ha experimentado son el azufre, la cera, la estearina y la sperma de ballena. El Sr. W. Thomson ha observado lo contrario respecto al hielo; es decir, que su temperatura de fusion decrece cuando aumenta la presion. Vemos, pues, que *la temperatura de fusion, para un mismo cuerpo, no es fija, sino que varia con la presion.*

327. Calor latente.—Acabamos de ver (326, 2.ª) que al pasar un cuerpo del estado sólido al líquido, su temperatura permanece constante é igual á la de fusion mientras se verifica el fenómeno, cualquiera que sea la intensidad del origen calorífico. Dedúcese de aquí que el calor comunicado al cuerpo se consume todo en dar á las moléculas la orientacion y el movimiento vibratorio necesarios á la fluidez, ó lo que es lo mismo, en comunicar al cuerpo una nueva fuerza viva (37). Este calor, que así se resuelve en trabajo interior, se pierde entre tanto como *calor sensible*, pues no actúa sobre el termómetro: por esta razon recibe el nombre de *calor de fusion ó calor latente.*

El siguiente experimento es muy adecuado para dar una idea exacta de lo que debe entenderse por calor latente. Si mezclamos primero 1 kilogramo de agua á cero con el mismo peso de agua á 79°, se obtienen inmediatamente 2 kilogramos de agua á 39°,5, es decir, á una temperatura media entre la de los dos líquidos mezclados, conforme podia preverse fácilmente, supuesto que ambos eran de igual naturaleza, é igual tambien su cantidad. Pero si mezclamos 1 kilogramo de hielo machacado con un peso idéntico de agua á 79°, al instante se funde el hielo obteniéndose 2 kilogramos de agua á cero. Vemos, pues, que sin cambiar de temperatura, y únicamente para fundirse, absorbe 1 kilogramo de hielo la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 79° 1 kilogramo de agua. Esta cantidad de calor representa, pues, el calor de fusion del hielo ó el calor latente del agua.

Cada líquido posee distinto calor latente, el cual se determina experimentalmente, segun luego veremos (394).

328. Disolucion.—Se dice que un cuerpo se *disuelve* cuando se lícua por efecto de la afinidad que se ejerce entre sus moléculas y las de un líquido. La goma arábiga, el azúcar y la mayor parte de las sales se disuelven en el agua.

Durante la disolucion, lo mismo que mientras se efectúa la fusion,

desaparece una cantidad mas ó menos considerable de calor latente, circunstancia que explica por qué las disoluciones de las sales determinan, en general, un descenso de temperatura. Con todo, se observa en ciertas disoluciones que, en vez de bajar, sube la temperatura, dependiendo esto de que se producen dos efectos simultáneos y contrarios. Es el primero el tránsito de sólido á líquido que ocasiona un descenso de temperatura; y el segundo, la combinacion del cuerpo disuelto con el líquido, que, como toda combinacion química, determina un desprendimiento de calor. Por lo tanto, segun que domine alguno de estos dos efectos, ó que se compensen, así se dejará sentir frio ó calor, ó bien permanecerá constante la temperatura.

329. Solidificacion: sus leyes. — La *solidificacion* ó *congelacion* es el tránsito de un cuerpo del estado líquido al sólido. Este fenómeno se halla sometido siempre á las dos leyes siguientes, que son reciprocas de las de la fusion, y se patentizan experimentalmente:

1.^a *La solidificacion se efectúa en cada cuerpo á una temperatura fija, que es precisamente la de su fusion.*

2.^a *Desde el momento en que principia la solidificacion, hasta que termina por completo, la temperatura del liquido permanece estacionaria.*

Depende esta segunda ley de que el calor latente durante la fusion reaparece al efectuarse la solidificacion; en cuanto á la primera puede ser modificada por varias causas (333).

Hay algunos líquidos, como el alcohol y el éter, que no se solidifican, aunque se les someta á los frios mas intensos. Sin embargo, merced al enfriamiento producido por una mezcla de protóxido de nitrógeno líquido, ácido carbónico sólido y éter, consiguió Despretz dar al alcohol tal consistencia, que pudo volver la vasija que lo contenia sin que el líquido se vertiese.

330. Cristalización. — Por punto general, los cuerpos que pasan lentamente del estado líquido al sólido, afectan determinadas formas geométricas, llamadas *crisales*, como tetraedros, cubos, prismas, romboedros, etc. Si un cuerpo en estado de fusion, tal como el azufre ó el bismuto, se solidifica, se dice que la cristalización se efectúa por la *via seca*; mas si aquel se halla disuelto en un líquido, se dice que tiene lugar por la *via húmeda*. Dejando que se evaporen lentamente los líquidos que tienen sales en disolucion, se consigne que estas cristalicen. La nieve, el hielo naciente y las sales, nos ofrecen ejemplos de cristalización.

331. Formacion del hielo. — El agua destilada se solidifica á cero, tomando entonces el nombre de *hielo*; pero este fenómeno se verifica con lentitud y luego veremos (333) las varias causas que pueden retardar la congelacion del agua.

El hielo presenta el singular fenómeno de ser menos denso que el agua; pues, en efecto, vimos ya que este líquido no se contrae por el enfriamiento sino hasta 4° (313), aumentando despues de volúmen á partir desde dicho punto hasta cero. Este aumento de volúmen persiste y crece aun en el acto de la congelacion, de manera que el volúmen del hielo á cero es 1,075 veces el del agua á 4°. Por efecto de esta dilatacion, la densidad del hielo es solo 0,930 de la del agua; así es que flota en la superficie de este líquido.

El aumento de volúmen que adquiere el hielo al formarse, va acompañado de una gran fuerza expansiva, que hace estallar las vasijas que lo contienen. Las piedras que se resquebrajan ó parten despues de una

helada, lo efectúan á causa del agua que despues de penetrar en sus poros se congela en ellos.

Para demostrar el físico inglés Williams la fuerza expansiva del hielo, colocó, en una atmósfera á muchos grados bajo cero, una bomba llena de agua, despues de haber cerrado sólidamente su orificio con un tapon de madera. En el momento de la congelacion fué lanzado el tapon con fuerza á una gran distancia, formándose un reborde de hielo alrededor del orificio.

No es el agua la única sustancia que aumentando de volúmen al solidificarse sea mas densa en el estado líquido que en el estado sólido; el hierro fundido, el bismuto y el antimonio presentan el mismo fenómeno.

Otras sustancias, por el contrario, tales como el mercurio, el fósforo, el azufre, la estearina y la cera, se contraen al solidificarse.

332. Regelacion del hielo. — Es el fenómeno que presentan dos trozos de hielo de soldarse uno á otro al ponerse en contacto, aun cuando floten en agua bastante caliente para no poder aguantar en ella la mano. Faraday fué el primero que en 1860 señaló la regelacion del hielo, cuyo fenómeno le estudiaron despues Thomson, Forbes y Tyndall, habiéndose propuesto diferentes hipótesis para explicarle.

El Sr. Tyndall observa que durante la fusion de un pedazo de hielo, las moléculas de su superficie están libres por la parte exterior y fuera de la accion coercitiva de las inmediatas interiores del mismo cuerpo; mas cuando se ponen en contacto dos superficies fundentes, dejan de ser tales superficies por hallarse entonces trasportadas virtualmente al centro del hielo, y como sus moléculas pierden la libertad de pasar al estado líquido, se ponen en equilibrio de movimiento con las que están alrededor, resultando de esto la regelacion.

La facilidad y prontitud con que dos fragmentos de hielo se sueldan mutuamente, permite amoldar una masa dada de hielo en la forma que se quiera, mediante una presion mas ó menos fuerte. Por ejemplo, si se la comprime entre dos moldes hemisféricos, hay primero ruptura en fragmentos mas pequeños, que en breve se sueldan unos á otros; esforzando la presion, hay de nuevo fractura en partes aun menores, y despues regelacion, y así sucesivamente, hasta que se llega, si la presion es suficiente, á una bola de hielo compacta y trasluciente.

El Sr. Tyndall ha hecho una feliz aplicacion de la moldeadura del hielo por presion á la teoría de los ventisqueros en los Alpes.

333. Causas que retrasan la congelacion de los líquidos: sobrefusion. — Varias son las causas que pueden influir en los líquidos y disminuir la temperatura de su congelacion, á saber: las sustancias disueltas, la falta de aire ó de cualquier otro gas en disolucion, una completa inmovilidad, una gran agitacion y un exceso de presion.

Se da el nombre de *sobrefusion* á este fenómeno del descenso de la temperatura de solidificacion de los líquidos por una de las citadas causas. Se observó primero en el agua, en la cual es muy notable, y tambien se encuentra en otros líquidos.

La influencia de las sales en disolucion se manifiesta en el agua del mar, que no se congela hasta — 2°.5. Asimismo, si se hierve una disolucion saturada de sulfato de sosa en un tubo de vidrio largo y estrecho para expulsar de él el aire, se le cierra despues á la lámpara para impedir su entrada, y se enfria la disolucion, no cristaliza la sal, á pesar

de haber saturacion; pero si se rompe la punta del tubo, entra el aire y al instante cristaliza la sal.

En este último experimento influyen simultáneamente la sustancia disuelta y la privacion de aire, bastando que el agua no contenga aire y esté completamente inmóvil para que baje muchos grados su punto de congelacion. En efecto, habiendo puesto Gay-Lussac una probeta llena de agua destilada en una mezcla frigorífica, y colocado todo ello bajo la campana de la máquina neumática para que se desprendiese el aire, vió descender el agua hasta -12° y aun más, sin solidificarse; pero si entonces se mueve ligeramente la masa líquida, parte de ella se congela al instante, y se observa el extraordinario fenómeno de que la parte que queda líquida se pone en seguida á cero. Esta elevacion de temperatura manifiesta que la fuerza viva comunicada á las moléculas al pasar un cuerpo del estado sólido al estado líquido (327) se trasforma en calor en el fenómeno inverso de pasar del estado líquido al sólido.

El azufre, que se funde y congela á 111° , queda líquido hasta la temperatura ordinaria, cuando su enfriamiento se opera lentamente y en reposo. Lo mismo sucede con el fósforo, que se solidifica á 44° , y en el agua perfectamente tranquila puede permanecer líquido hasta los 22° . Si en este estado se toca el fósforo fundido con un pedazo de fósforo sólido, comienza en seguida la solidificacion por el punto de contacto y recorre rápidamente toda la masa líquida. El Sr. Gernez ha observado que se determina tambien la solidificacion de todas las sustancias que se hallan á la temperatura de sobrefusion frotando mutuamente dos cuerpos sólidos en la masa fundida, ó bien un cuerpo sólido contra las paredes de los tubos donde se hallen los cuerpos en fusion.

Tambien puede oponerse á la congelacion de los líquidos una agitacion muy rápida, así como cualquiera otra accion que, estorbando á las moléculas en su movimiento, no las permita agruparse con las condiciones necesarias al estado sólido. De este modo ha podido Despretz enfriar el agua en tubos muy capilares hasta -20° sin congelarse. Este experimento puede servir para explicar cómo es que las plantas en ciertos límites resisten las heladas, lo cual consiste en que los vasos que contienen la sávia son muy capilares.

Finalmente, el Sr. Boussingault ha probado durante el invierno de 1870 y 1871, que una gran compresion impide la congelacion del agua, sirviéndose al efecto de un cañon de acero cuyas paredes tenian 8^{mm} de espesor y podian resistir la presion de algunos centenares de atmósferas. Colocada en su interior una bala de acero, y lleno completamente de agua el cañon, le tapó herméticamente por medio de un tornillo de presion. Abandonado todo durante tres dias y otras tantas noches á una temperatura entre -12° y -20° , aun persistia el agua en el estado líquido, lo cual se conocia por el sonido de la bala cuando se agitaba el cañon. Explícase este fenómeno por la resistencia que el agua allí encerrada encuentra á la dilatacion que precede siempre á su congelacion.

334. Mezclas frigoríficas.— El estado latente del calor en los cuerpos al pasar de sólidos á líquidos (327), se ha utilizado para producir frios artificiales mas ó menos intensos. Obtiénese este resultado mezclando sustancias que tengan entre sí afinidad, siendo sólida por lo menos una de ellas, como son el agua, el hielo ó un ácido cualquiera mezclados cada uno con una sal. En tal caso la afinidad química acelera la fusion, y la parte fundida quita al resto de la mezcla gran cantidad de calor que se

hace latente, resultando de aquí un descenso de temperatura á veces muy considerable.

La siguiente tabla indica las proporciones y la naturaleza de las sustancias que pueden emplearse para obtener un determinado descenso de temperatura.

SUSTANCIAS,	PARTES EN PESO.	ENFRIAMIENTO.
Sulfato de sosa	8	+ 10° á - 17°
Acido clorhídrico	5	
Hielo machacado ó nieve	2	+ 10° á - 19°
Sal marina	1	
Sulfato de sosa	5	+ 10° á - 19°
Acido nítrico diluido	2	
Sulfato de sosa	6	+ 10° á - 26°
Nitrato de amoniaco	5	
Acido nítrico diluido	4	
Fosfato de sosa	9	+ 10° á - 29°
Acido nítrico diluido	4	
Cloruro de calcio en polvo	4	+ 10° á - 31°
Hielo machacado ó nieve	5	

Las mezclas frigoríficas se utilizan frecuentemente en Química, en Física, en los procedimientos industriales y en la economía doméstica. Hace ya algun tiempo que con el nombre de *garapiñera de familia* se fabrica un aparatito para obtener hielo en todas las estaciones del año por medio de una disolución de sulfato de sosa en ácido clorhídrico, bastando 6 kilogramos de esta sal y 5 de ácido para obtener en una hora 5 ó 6 kilogramos de hielo. Consiste el aparato en un cilindro de metal que contiene otros tres concéntricos; en el del centro se pone el agua que debe congelarse; sigue luego la mezcla frigorífica; á continuación otra cantidad de agua, y finalmente en el departamento exterior se pone un cuerpo poco conductor, v. g., algodón, para evitar el paso del calor que viene del exterior. El mejor modo de utilizar una mezcla frigorífica es ir la formando sucesivamente.

VAPORES: MEDIDA DE SU TENSION.

335. Vapores. — Se dijo ya (129) que se da el nombre de *vapores* á los flúidos aeriformes en que, por la acción del calor, se trasforman muchos líquidos, tales como el éter, el alcohol, el agua y el mercurio. Llámense líquidos *volátiles* los que poseen la propiedad de poder pasar al estado aeriforme, y *fijos* los que no dan vapores á ninguna temperatura, como los aceites grasos. Hay cuerpos sólidos, como el hielo, el arsénico, el alcanfor y las materias odoríferas, que los producen inmediatamente sin pasar por el estado líquido.

Algunos líquidos, como el éter y el alcohol, dan vapores á todas las temperaturas; el agua se vaporiza también á muchos grados bajo cero, y el mercurio á la temperatura ordinaria y aunque sea mas baja. Para probarlo, se cierra un frasco, en que se ha echado un poco de este metal, con un tapon cuya cara inferior está cubierta de una hoja de oro, la cual

al cabo de algunos dias se pone blanca por efecto de los vapores mercuriales. El ácido sulfúrico no se vaporiza á la temperatura ordinaria aun en el vacío, pues si se ponen debajo de la campana de la máquina neumática dos vasijas, una con ácido sulfúrico y con agua de barita la otra, y se hace el vacío, mientras la temperatura es inferior á 30°, no se enturbia el agua, señal de que no se produce vapor ácido; pues de no suceder así se disolveria al instante, habria formacion de sulfato de barita, y como esta sal es eminentemente insoluble, se enturbiaria el líquido.

Los vapores son transparentes como los gases, y por lo comun incoloros; solo hay un corto número de líquidos coloreados cuyos vapores lo sean tambien.

336. Vaporizacion. — El paso de un cuerpo de líquido á vapor se designa con el nombre general de *vaporizacion*; pero se entiende especialmente por *evaporacion*, cualquiera produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido, y por *ebullicion*, la formacion rápida de vapor en su misma masa. Pronto veremos (348) que bajo la presion ordinaria de la atmósfera la ebullicion, y lo mismo la fusion, solo se producen á una temperatura determinada. No sucede así en la evaporacion, que se verifica en un mismo líquido á temperaturas muy diversas, si bien cesa al parecer toda vaporizacion mas allá de cierto enfriamiento. El mercurio, por ejemplo, no da ya vapor á -10° , y el ácido sulfúrico á los 30° .

Mas adelante (357) se verá cómo durante la vaporizacion, lo mismo que durante la fusion (327), desaparece en estado latente una gran cantidad de calor, la cual es equivalente á la de trabajo consumida en el acto de la vaporizacion para aumentar la fuerza viva de las moléculas (267).

337. Fuerza elástica de los vapores. — Los vapores, lo mismo que los gases, poseen una fuerza elástica, en virtud de la cual ejercen en las paredes de las vasijas que los contienen una presion mas ó menos considerable. Para demostrar la tension de los vapores, se llena de mercurio hasta su mitad un tubo de vidrio encorvado en forma de sifon (figura 387); y haciendo pasar luego una gota de éter á la rama corta, que está cerrada, se introduce el tubo en un baño de agua cuya temperatura sea 45° próximamente. Entonces baja lentamente el mercurio en la rama menor, y el espacio AB se llena de un gas en un todo parecido al aire, y con una fuerza elástica que equilibra evidentemente la columna de mercurio CD, mas la presion atmosférica que se ejerce en D; este gas es seguramente el vapor de éter. Si se enfria el agua de la vasija, ó lo que es igual, si se saca el tubo del baño, se observa que va desapareciendo rápidamente el vapor que llena el espacio AB, volviéndose á formar la gota de éter. Si, por el contrario, se calienta mas el agua del baño, el nivel del mercurio desciende aun lo cual indica un aumento de tension.

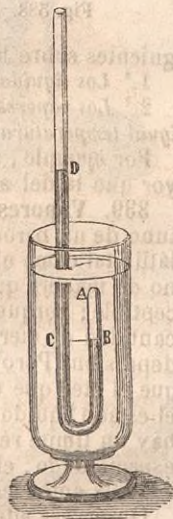


Fig. 387.

mas del punto B,

338. Formacion de los vapores en el vacío. — En el experimento anterior el paso al estado de vapor se efectúa con lentitud, sucediendo tambien otro tanto cuando se expone al aire libre un líquido volátil, porque en ambas circunstancias la presion atmosférica es un obstáculo para la

vaporización; pero no sucede así cuando los líquidos se exponen en el vacío, pues entonces, no encontrando ya resistencia alguna la fuerza elástica de los vapores, es instantánea su formación; demuéstrase esto introduciendo varios tubos barométricos en una misma cubeta (figura 388). Llenos todos previamente de mercurio, se deja uno, el A por ejemplo, para que sirva de barómetro, y luego se introducen algunas gotas de agua, de alcohol y de éter, en los tubos B, D, E respectivamente. En el momento mismo en que estos líquidos penetran en la cámara barométrica de cada uno de los tubos, desciende el nivel del mercurio, conforme se ve en la figura. La causa de la depresión no puede ser el peso del líquido, porque este no representa mas que una pequeñísima fracción del peso del mercurio desalojado; de suerte que debe admitirse para cada líquido una producción instantánea de vapor, cuya fuerza elástica ha repelido la columna mercurial.

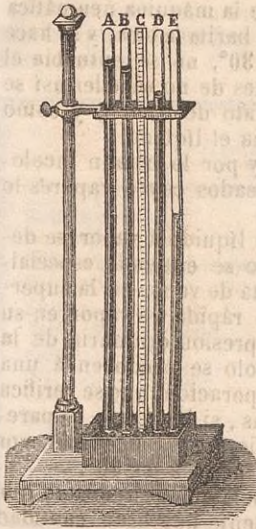


Fig. 388.

Este experimento prueba además que no es igual la depresión en los tres tubos, sino que es mayor en el tubo en que se puso el alcohol que en el del agua, y mayor aun que en ambos en el tubo donde se introdujo el éter. Desde luego, pues, podemos sentar las dos leyes siguientes sobre la formación de los vapores:

- 1.^a Los líquidos se vaporizan instantáneamente en el vacío.
- 2.^a Los vapores de líquidos diferentes no poseen la misma fuerza elástica á igual temperatura.

Por ejemplo, á 20°, la tensión del vapor de éter es casi 25 veces mayor que la del agua.

339. Vapores saturados: máximum de tensión.—Siempre que en el tubo de un barómetro se introduce en pequeña cantidad un líquido volátil, tal como el éter, se vaporiza instantáneamente por completo, pero no de manera que la columna de mercurio se deprima todo lo que es susceptible; porque si se hace entrar en la cámara barométrica una nueva cantidad de éter, aunque sea muy pequeña, se observa que aumenta la depresión. Pero si se continúa de esta manera, llega un momento en que el éter que entra en el tubo deja de vaporizarse, permaneciendo en el estado líquido. Esto nos indica que, para una temperatura determinada, hay un límite respecto á la cantidad de vapor que puede formarse en un espacio dado, circunstancia que se expresa diciendo que dicho espacio se halla entonces saturado.

Obsérvese además, que desde el momento en que cesa la vaporización del éter, sucede lo mismo á la depresión del mercurio; de suerte que existe tambien un límite para la tensión del vapor, límite que, según demostraremos en breve (342), varía con la temperatura, pero que, dada esta, es independiente de la presión.

Para evidenciar que en un espacio cerrado, saturado de vapor y que contiene líquido en exceso, cuya temperatura es constante, hay un máximum de tensión, del cual no puede pasar el vapor, sea cual fuere la pre-

sion, se emplea un tubo barométrico introducido en una cubeta bastante honda (fig. 389). Haciendo pasar á dicho tubo, lleno ya de mercurio, una cantidad de éter suficiente, no solo para que se sature la cámara barométrica, sino para que aun quede líquido en exceso, se observa en él la altura del mercurio por medio de una escala fija en el mismo. Ora se introduzca mas el tubo, lo cual tiende á comprimir el vapor, ora se eleve, propendiendo así á enrarecer este último, siempre permanece constante la altura de la columna mercurial; la tension del vapor es, por lo tanto, igual en ambos casos, supuesto que ni aumenta ni disminuye la depresion. Dedúcese de este hecho que, cuando el vapor contenido en un espacio saturado está comprimido, vuelve en parte al estado líquido; y que si, por el contrario, disminuye la presion, se vaporiza parte del líquido que quedó en exceso, saturándose de nuevo el espacio ocupado por el vapor; pero en ambos casos permanecen invariables la tension y la densidad de este último.

340. Vapores no saturados.—De lo expuesto se deduce que los vapores se presentan en dos estados enteramente distintos, segun se hallen ó no saturados. En el primer estado, es decir, en el de su saturacion, que es cuando se encuentran en contacto con el líquido que los origina, difieren completamente de los gases, puesto que respecto á una temperatura dada, no pueden ni comprimirse, ni dilatarse, permaneciendo constante su fuerza elástica y su densidad.

En el segundo estado, por el contrario, los vapores no saturados, que no se encuentran en contacto con el líquido que los origina, pueden compararse completamente con los gases, cuyas propiedades todas poseen. En efecto, si repetimos el experimento anteriormente descrito (fig. 389), introduciendo tan solo en el tubo una pequeña cantidad de éter de suerte que el vapor que origine no alcance el estado de saturacion, y hecho esto se levanta un poco el tubo, se observa que asciende el nivel del mercurio, lo cual indica que la fuerza elástica del vapor ha disminuido; pero si por el contrario, se le hunde más, descende en el mismo el nivel del líquido. Vemos, pues, que el vapor en este caso actúa enteramente como un gas, disminuyendo su tension cuando aumenta el volúmen, y creciendo aquella cuando este disminuye; y como en los dos casos que hemos considerado, se observa que el volúmen que adquiere el vapor se halla en razon inversa de la presion, dedúcese inmediatamente que *los vapores no saturados se hallan sujetos á la ley de Mariotte.*

Finalmente, si se calienta un vapor no saturado, se observa en el aumento de su volúmen el mismo orden que en el de los gases, y que el número 0,00367, que representa el coeficiente de dilatacion del aire, casi puede tomarse como tal para los vapores.

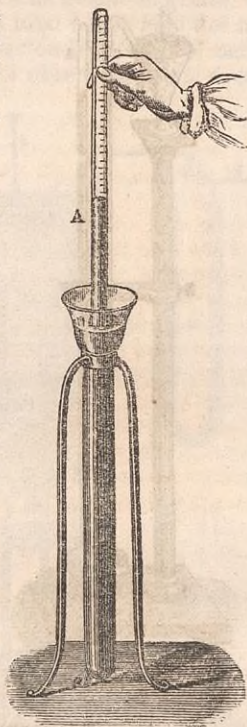


Fig. 389.

Resumiendo diremos que, en vista de lo que antecede, los vapores no saturados son completamente semejantes á los gases, y que pueden aplicarse todas las fórmulas relativas á la compresibilidad y dilatación de estos últimos (159 y 316). Pero no debe olvidarse que existe siempre un límite de presión ó de enfriamiento, respecto á los cuales los vapores no saturados pasan al estado de saturación, y que entonces alcanzan un máximo de tensión y de densidad, el cual no puede excederse sino cuando hallándose los vapores en contacto con los líquidos que los originan, aumenta su temperatura.

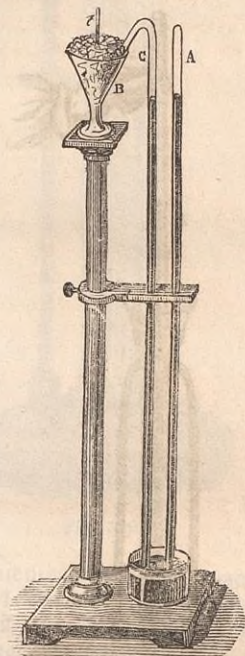


Fig. 390.

A	0° la depresión es.	4mm,60
»	—10.	1 ,96
»	—20.	0 ,84
»	—30.	0 ,36

Estas depresiones dependen necesariamente de la tensión del vapor en la cámara barométrica BC y demuestran que, á temperaturas muy bajas, hay todavía vapor de agua en el aire.

En este experimento las partes B y C de la cámara barométrica donde está el vapor, no participan ambas de la temperatura de la mezcla frigorífica; pero pronto veremos (346) que la tensión de aquel es igual en ambas, y corresponde siempre á la temperatura mas baja de las dos que se consideran.

342. Tension del vapor de agua entre cero y 100 grados.—1.º *Procedimiento de Dalton.*—El físico inglés Dalton midió la fuerza elástica del vapor de cero á 100º por medio del siguiente aparato. Consiste este en dos tubos barométricos A y B (fig. 391) sumergidos en una vasija de hierro fundido, llena de mercurio y colocada en un hornillo: el barómetro B está completamente purgado de aire y de humedad; en el A existe una corta cantidad de agua, y ambos se encuentran dentro de un gran cilindro de vidrio lleno de este líquido; en el centro del mismo se ve un termómetro T, que mide la temperatura del agua. Calentando gra-

dualmente la vasija, y por consiguiente, el agua del cilindro, se vaporiza la que se halla en el tubo A, y á medida que aumenta la tension del vapor desciende el mercurio. Anótase entonces de grado en grado, en una escala E, la depresion que se observa en el tubo A por bajo del nivel B, cuidando de reducir á cero en cada observacion la altura del mercurio en este tubo (312). Las diferencias de nivel observadas dan á co-

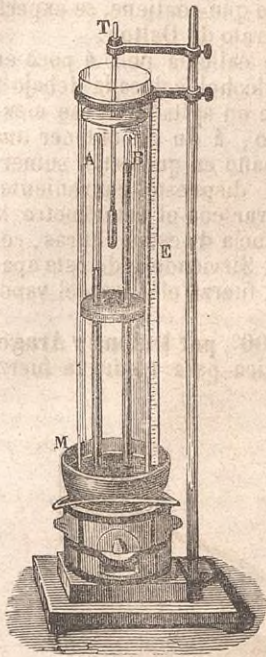


Fig. 391.

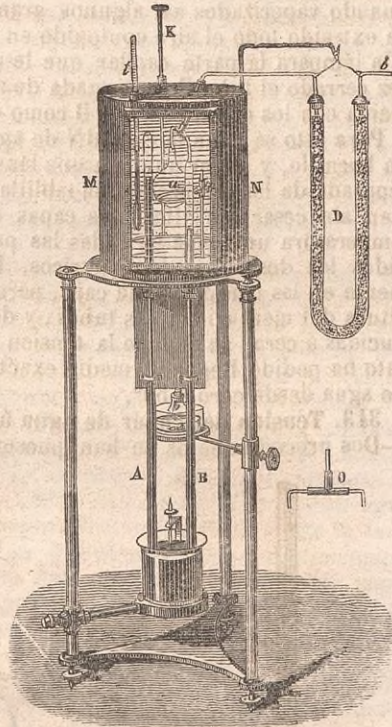


Fig. 392.

nocer las tensiones; de esta manera construyó Dalton por vez primera una tabla de las fuerzas elásticas del vapor de agua desde cero hasta 100 grados.

2. *Procedimiento del Sr. Regnault desde 0 á 50 grados.* — El aparato de Dalton ofrece poca exactitud, porque el líquido del cilindro no puede mantenerse precisamente á la misma temperatura en toda su altura; de suerte que ya no es exacta la temperatura del vapor. El Sr. Regnault modificó dicho aparato, reemplazando el cilindro por una caja de palastro MN (fig. 392) con dos orificios cilindricos en el fondo por donde entran las extremidades superiores de los tubos A y B, quedando allí sujetos por medio de unos ceñidores de goma elástica. El tubo de vapor B está unido á un globo a, por medio de otro de cobre de tres ramas, representado en O á la derecha del grabado; su tercera rama está pegada con mástic á un tubo de vidrio que enchufa en otro D, lleno de pomez

en el agua de la caldera, en cuyas paredes estaban sólidamente afianzados; estos cañones, cerrados por su parte inferior, estaban llenos de mercurio, en el cual se colocaban unos termómetros *t*, que daban á conocer la temperatura del agua y del vapor en la caldera. Medíase la tension del vapor por medio de un manómetro de aire comprimido *m*, igual al que describimos cuando tratamos de la ley de Mariotte (157, figura 229), graduado experimentalmente de antemano y adaptado á una cubeta de hierro fundido *d*, que contenia mercurio. Para conocer la altura de este líquido en la cubeta, se hallaba esta en comunicacion, por su boca y por su base, con un tubo de cristal *n*, en el cual el nivel era siempre igual al de la cubeta. Por último, un tubo de cobre *i* ponía en comunicacion la parte superior de la cubeta *d* con un tubo vertical *c*, que partía directamente de la caldera, y daba salida al vapor. El tubo *i* y la parte superior de la cubeta *d* estaban llenos de agua, que se conservaba constantemente á una baja temperatura, haciendo circular alrededor del tubo una corriente de agua fria, que fluía de un depósito representado á la derecha del dibujo.

Al desprenderse el vapor del tubo *c*, ejercía presión sobre el agua del tubo *i*; trasmítase luego al agua y al mercurio de la cubeta *d*, y subía este último en el manómetro. Observando de grado en grado los termómetros y al mismo tiempo el manómetro, midieron así directamente Dulong y Arago hasta 24 atmósferas la tension del vapor de agua correspondiente á una temperatura dada, valuándola luego por el cálculo hasta 50.

344. Tension del vapor de agua segun una temperatura superior ó inferior á 100°, por el Sr. Regnault.—El siguiente procedimiento debido al Sr. Regnault permite medir la tension del vapor, cuando su temperatura es superior ó inferior á 100°. Consiste en hacer hervir agua en una vasija cerrada, bajo una presión conocida, y medir luego la temperatura á la cual entra en ebullicion. Apoyándose luego en el principio de que, en el momento de efectuarse esta, la fuerza elástica del vapor que se desprende es precisamente igual á la presión que sufre el líquido (352), se conoce la tension del vapor y la temperatura correspondiente, lo cual resuelve el problema.

Consta el aparato de una vasija de cobre *C* (fig. 394), herméticamente cerrada y llena de agua hasta una tercera parte de su capacidad. Cuatro termómetros atraviesan la tapadera, quedando dos de ellos á la altura de las primeras capas de líquido y los otros dos en las inferiores. De la vasija *C* parte un tubo *AB*, que va á adaptarse á la boca de un globo de vidrio *M*, de 24 litros de capacidad y lleno de aire. Rodea al tubo *AB* un cilindro *D*, por el cual circula una corriente de agua fria que sale del depósito *E*. De la parte superior del globo *M* parten dos tubos que comunican, el uno con un manómetro de aire libre *O*, próximo al aparato, y el otro *HH'*, que es de plomo, con una máquina neumática ó con una bomba impelente, segun se quiera enrarecer ó comprimir el aire del globo. Por último, la vasija *K*, donde se halla el globo, está llena de agua á la temperatura ambiente.

Supongamos que se trata primero de medir la fuerza elástica del vapor de agua á una temperatura inferior á 100°. Para esto se fija el extremo *H'* del tubo de plomo en la platina de una máquina neumática, á fin de enrarecer el aire del globo *M*, y por consiguiente el de la vasija *C*. En seguida se calienta esta poco á poco, y entra en ebullicion el agua que contiene á una temperatura, tanto mas inferior á 100°, cuanto más se

ha enrarecido el aire, es decir, cuanto mas débil es la presión que se ejerce sobre el líquido. Por otra parte, al condensarse los vapores en el tubo AB, que según hemos dicho se mantiene constantemente frío, no aumenta la presión que primitivamente indicó el manómetro, y por

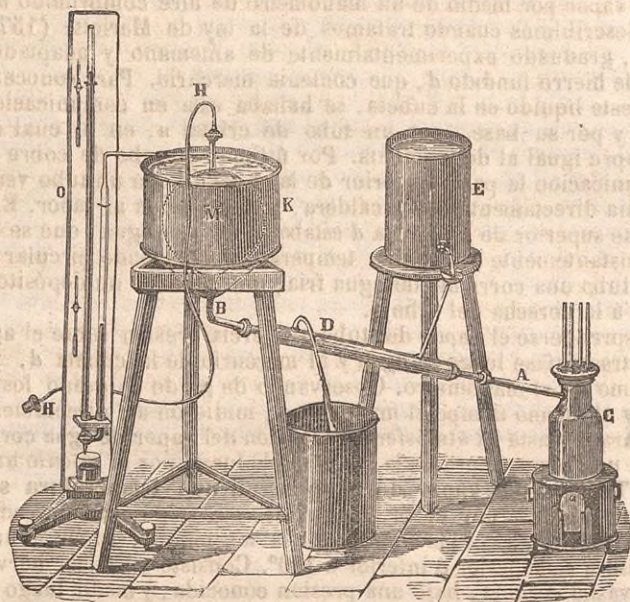


Fig. 394.

consiguiente la tensión del vapor durante la ebullición es igual á la presión que se ejerce sobre el líquido.

Consultando entonces por un lado el manómetro, y por otro los termómetros, se determina la tensión del vapor á una temperatura conocida. Dejando luego que entre un poco de aire en los tubos y en la vasija C, á fin de aumentar la presión, se efectúa una nueva observación, y así se prosigue hasta 100°.

Si se trata de medir la fuerza elástica del vapor á una temperatura superior á 100°, se pone el orificio H' en comunicación con una bomba impenente, por medio de la cual se somete el aire del globo y de la vasija C á presiones sucesivamente superiores á la de la atmósfera. Retárdase entonces la ebullición (352), bastando observar simultáneamente el manómetro y los termómetros para conocer la tensión del vapor á una temperatura superior á 100°.

Las siguientes tablas dan á conocer la tensión del vapor de agua, una desde -10 á 100°, y la otra desde 100 á 230°. Los números de la primera tabla se han obtenido por medio del aparato que acabamos de describir.

La segunda se ha calculado por la fórmula de interpolación,

$$\log. F = a + b\alpha^t + c\delta^t,$$

en la cual F representa la fuerza elástica del vapor, t su temperatura, y a , b , c , α , δ , valores constantes que se calculan principiando por determinar cinco fuerzas elásti-

cas, es decir, cinco valores de F, correspondientes á temperaturas conocidas, lo cual da origen á tantas ecuaciones como incógnitas.

Tensiones del vapor de agua entre — 10 y 100°, segun el Sr. Regnault.

TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.
— 10°	2,095	20°	17,591	50°	91,982	80	554,645
— 5	3,151	25	23,550	55	117,478	85	453,041
0	4,600	30	31,548	60	148,791	90	525,450
+ 5	6,554	35	41,827	65	186,945	95	633,778
10	9,165	40	54,906	70	255,095	100	760,000
15	12,699	45	71,591	75	288,517		

Tensiones, en atmósferas, entre 100° á 250°,9, segun el Sr. Regnault.

TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,5	23
135,9	3	180,5	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	213,6	20	228,9	27
165,5	7	195,5	14	215,5	21	250,9	28

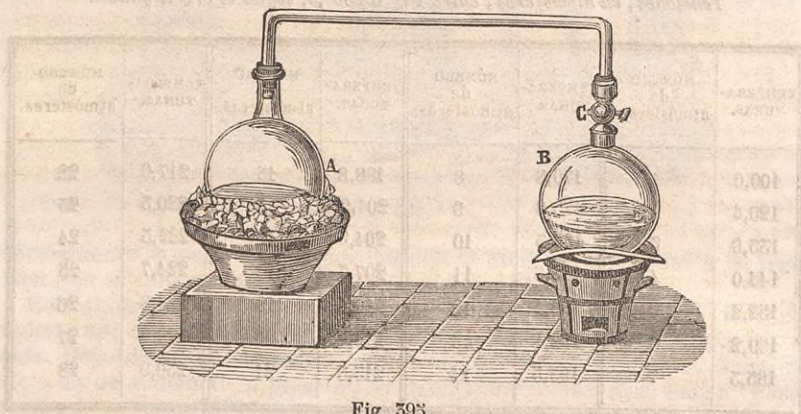
Estas tablas manifiestan que la fuerza elástica del vapor de agua crece siguiendo una ley mucho mas rápida que la temperatura; pero hasta ahora se ignora cuál sea esta ley.

La experiencia enseña, además, que las sustancias en disolucion, como las sales y los ácidos, disminuyen, en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de los vapores, y tanto más, cuanto mas concentrada es la disolucion.

345. **Tension de los vapores de diversos líquidos.** — El vapor de agua es el único que fijó al principio la atencion de los físicos por la importancia de sus muchas aplicaciones; pero Regnault, por los mismos procedimientos que le sirvieron para medir la fuerza elástica del vapor de agua, ha determinado tambien la de los vapores de cierto número de líquidos. La siguiente tabla, donde se hallan algunos de los resultados obtenidos por este sábio, manifiesta la diferencia de tension que á igual temperatura presentan los vapores de algunos de ellos.

LÍQUIDOS.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros	LÍQUIDOS.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros.
Mercurio.	0	0,02	Eter.	-20	9
	50	0,11		0	182
	100	0,74		60	1728
Alcohol.	0	15	100	4920	Acido sulfuroso. {
	50	220	-20	479	
	100	1685	0	1165	
Sulfuro de carbono.	-20	45	60	8124	Amoniaco.
	0	152	-50	441	
	60	1164	-20	4275	
	100	5529	0	7709	

346. Tension en dos vasijas comunicantes á distinta temperatura.
—Cuando se ponen en comunicacion dos vasijas cerradas que contienen un mismo líquido á distintas temperaturas, la tension simultánea de vapor que se establece entre ambas no es, como pudiera creerse, la ten-



sion media entre las correspondientes á cada una de ellas. Sean, por ejemplo, dos globos, el uno A (fig. 395) que contiene agua á cero grados, por hallarse rodeado de hielo fundente, y el otro B, contiene el mismo líquido á 100°. Mientras estos dos globos no se comunican, la tension, en milímetros, es 4,6 en el primero, y 760 en el segundo, segun las tablas anteriores; pero luego que se establece la comunicacion, abriendo la llave C, el vapor del globo B se precipita en A, en virtud de su exceso de tension; pero como se va condensando inmediatamente, porque el último globo no pasa de cero, resulta que no puede adquirir el vapor, en el globo B, una tension superior á la del globo A, es decir, á la que corresponde á cero, surgiendo tan solo, por consiguiente, una destilacion de B hácia A sin aumentar nada la tension.

Podemos sentar, pues, el siguiente principio general: *Quando dos vasijas que contienen el mismo líquido en exceso y á diferentes temperaturas, co-*

munican entre sí, la tension del vapor es la misma en los dos, é igual á la tension que corresponde á la temperatura mas baja.

347. Evaporacion: causas que la aceleran. — Se vió ya (336) que por *evaporacion* se entiende una produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido. Por efecto de una evaporacion espontánea se secan al aire libre las telas mojadas, y se vacía por completo, al cabo de cierto tiempo, una vasija destapada y llena de agua. A la evaporacion que se efectúa en la superficie de los mares, de los lagos, de los rios y del suelo, deben su origen los vapores que se encuentran en la atmósfera, condensándose en ella para constituir las nubes y resolverse luego en lluvia.

Cuatro son las causas que influyen en la rapidez de la evaporacion de un líquido, á saber: 1.^a la temperatura; 2.^a la cantidad de vapor del mismo líquido esparcido ya en la atmósfera ambiente; 3.^a la renovacion de esta atmósfera, y 4.^a la extension de la superficie de evaporacion.

El aumento de temperatura acelera la evaporacion por el exceso de fuerza elástica que determina en los vapores.

Para comprender la influencia de la segunda causa, obsérvese que la evaporacion de un líquido seria nula en un espacio saturado de vapor del mismo líquido, y que llegaria á su máximum en un aire completamente purgado de dicho vapor. Claro está que entre estos dos casos extremos varía la rapidez de la evaporacion, segun que la atmósfera ambiente se halle ya mas ó menos cargada de los mismos vapores.

En cuanto á la renovacion de esta atmósfera, se explica del mismo modo su efecto, porque si no se renueva el aire ó el gas que rodea al líquido, se satura muy pronto, cesando la evaporacion.

La influencia de la cuarta y última causa, es evidente por sí misma.

348. Ebullicion: sus leyes. — Llámase *ebullicion* una produccion rápida de vapor, bajo la forma de burbujas mas ó menos voluminosas, en la masa misma de un líquido.

Cuando se calienta un líquido, el agua por ejemplo, las primeras burbujas que aparecen por la parte inferior, no son mas que el aire que se hallaba disuelto y que se desprende; en seguida suben varias burbujitas de vapor de todos los puntos de las paredes ya calientes; mas, al cruzar las capas superiores, se condensan sin llegar á la superficie, por ser mas baja su temperatura: la formacion y condensacion sucesivas de estas primeras burbujas de vapor ocasionan el ruido que ordinariamente precede á la ebullicion. Elévanse, por último, gruesas burbujas que estallan en la superficie constituyendo el fenómeno de la ebullicion (fig. 396).

Todos los líquidos susceptibles de entrar en ebullicion están sujetos á las tres leyes siguientes, que pueden probarse experimentalmente:



Fig. 396.

- 1.^a La temperatura de ebullicion aumenta con la presion.
- 2.^a Para una presion dada no principia la ebullicion hasta cierta temperatura, que varia segun los liquidos, pero que es siempre la misma para cada uno, supuesto en iguales condiciones de presion, fuerza y contacto con otros cuerpos.
- 3.^a Sea cual fuere la intensidad del foco calorífico, la temperatura permanece estacionaria desde el momento en que principia la ebullicion.

Temperatura de ebullicion á la presion de 0^m,760.

Acido sulfuroso.	- 40°	Agua destilada.	100°
Eter clorhidrico.	+ 44	Esencia de trementina.	157
Acido sulfúrico anhidro.	25	Fósforo.	290
Eter sulfúrico puro.	35,5	Acido sulfúrico concentrado.	325
Sulfuro de carbono.	48	Mercurio (al termómetro de aire).	350
Cloroformo.	63,5	Azufre.	440
Alcohol.	79	Cadmio (Sainte-Claire Deville y Troost).	860
Bencina.	80	Zinc. (id.).	1040
Acido nítrico monohidratado.	86		

Varias son las causas que pueden influir en la temperatura de ebullicion de un líquido, á saber: las sustancias en disolucion, la naturaleza de las vasijas, la falta de aire ó de cualquier otro gas disuelto en el líquido, y la presion. Daremos á conocer sucesivamente los efectos de estas diferentes causas, en particular sobre el agua.

349. **Influencia de las sustancias en disolucion sobre la temperatura de ebullicion.**—Una sustancia disuelta en un líquido cuando aquella no es volátil, ó lo es menos que este último, retarda la ebullicion tanto mas, cuanto mayor es la cantidad de sustancia disuelta. El agua, que hierve á 100° cuando es pura, lo verifica á las temperaturas siguientes cuando se halla saturada de diversas sales :

El agua saturada de sal marina hierve á.	109°
— — de nitrato de potasa á.	116
— — de carbonato de potasa á.	138
— — de cloruro de calcio á.	179

Resultados análogos presentan las disoluciones ácidas; pero las sustancias que se hallan puramente en suspension, como las materias térreas, el serrin, etc., no aumentan la temperatura de ebullicion.

Conviene recordar aquí los experimentos del Sr. Rudberg, pág. 299, segun los cuales probó este sabio que, aun cuando la temperatura de ebullicion del agua sea superior á 100° por efecto de las sustancias que lleve disueltas, el vapor que se desprende está, sin embargo, á dicha temperatura, como con el agua pura, si la presion es de 0^m,76.

350. **Influencia de la naturaleza de las vasijas sobre la temperatura de ebullicion.**—Observó Gay-Lussac que en una vasija de vidrio hierve el agua á una temperatura mas alta que en una de metal, y atribuyó el fenómeno á la adhesion entre el agua y el vidrio. Suponiendo que el agua destilada hierva á 100°, en una vasija de cobre y á la presion de 0^m,76, resulta que, en igualdad de presion, dicho líquido no entra en ebullicion hasta 101° en un globo de vidrio; y si previamente se le ha limpiado bien con ácido sulfúrico concentrado, ó con potasa, dicha temperatura puede llegar hasta 105° ó 106°. Sin embargo, basta poner un simple pedazo de metal en el fondo del globo para que se presente de nuevo la ebullicion á 100°, y desaparezcan al mismo tiempo los violentos

saltos que acompañan á la ebullicion de las disoluciones salinas ó ácidas en las vasijas de vidrio.

La temperatura del vapor, en conformidad con lo que se observa en las sustancias en disolucion, no experimenta variacion alguna por la que adquiere la del agua en las vasijas de vidrio, pues á la presion de 0^m.76 dicha temperatura es aun de 100°, lo mismo que en los vasos de cobre.

351. Influencia de la carencia del aire sobre la temperatura de ebullicion. — Se vió ya (333) que cuando el agua está purgada de aire, su punto de congelacion puede retrasarse algunos grados; pues bien, la carencia de aire en dicho líquido influye tambien en su temperatura de ebullicion. Deluc fué el primero que observó que el agua falta de aire por la ebullicion, y encerrada en un matraz de cuello largo, podia sufrir la temperatura de 112° sin volver á hervir. En 1846 estudió el Sr. Donny, en Gand, el mismo fenómeno por medio de un tubo de vidrio AB (figura 397) encorvado en un extremo y terminado por el otro en una bola gruesa de igual materia y otra mas pequeña que se prolonga en punta

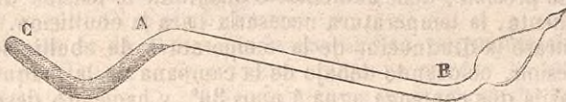


Fig. 397.

afilada. Antes de cerrar esta última se introduce agua en el tubo por el mismo procedimiento que se emplea para llenar el termómetro de alcohol (282), y despues se la hace hervir cierto tiempo para expulsar todo el aire del tubo y de las bolas. Soldando entonces á la lámpara la punta afilada, queda agua en la rama encorvada y solamente vapor á una tension muy débil en el tubo AB y en los globos. Si se introduce entonces la parte AC, que está llena de agua, en un baño concentrado de cloruro de calcio y se le calienta gradualmente, llega el baño á 130°, sin que se manifieste señal ninguna de ebullicion en el tubo, la cual solo se verifica de pronto, á los 138° próximamente, lanzando el agua á las esferas, que se rompen si no son muy resistentes.

Galy-Cazalat reprodujo el mismo fenómeno, para lo cual cubrió con una capa de aceite cierta cantidad de agua purgada de aire por la ebullicion, y la calentó hasta 132° sin que el líquido empezase á hervir; pero no tardó en verificarse una violenta explosion del vapor, la cual arrojó parcialmente el agua fuera de la vasija en que estaba contenida.

El Sr. Dufour, en Lausanne, ha estudiado el retraso de la ebullicion de los líquidos colocándolos libres del contacto con el aire y en suspension en otros líquidos de su misma densidad, pero cuya temperatura de ebullicion sea mas elevada. De esta manera halló que el agua puesta en suspension en una mezcla convenientemente preparada de esencia de clavo y aceite de linaza, que calentaba en el baño de maría, se transforma de pronto en vapor á los 120° próximamente. El ácido sulfuroso líquido que hierve á -10°, puesto en suspension en una mezcla de agua y ácido sulfúrico, permanece líquido hasta +18°.

El mismo físico observó además que tocando con un cuerpo sólido cualquiera, los líquidos puestos en suspension en otros, segun hemos dicho, si están á una temperatura superior á la de su ebullicion, se vaporizan instantáneamente de un modo violento; sin embargo, los cuerpos

empleados como excitadores pierden poco á poco su propiedad activa. El Sr. Dufour explica este fenómeno por la influencia de la capa de aire adherida á estos cuerpos (74), puesto que desprendiéndose el aire condensado en su superficie, cuando la inmersión se prolonga, quedan completamente inactivos.

Estos diferentes experimentos patentizan la influencia de la presencia de los gases sobre la temperatura de la ebullición. Por último, el Sr. Dufour ha probado que cuanto mas pequeña es la cantidad de gas disuelto en un líquido, mas baja es la temperatura de ebullición.

352. Influencia de la presión en la temperatura de ebullición.— Véase por las tablas de las fuerzas elásticas (344), que á 100° , que es la temperatura á que entra en ebullición el agua destilada, á la presión de $0^m,76$, tiene el vapor de este líquido una tensión precisamente igual á dicha presión. Este principio es general y puede enunciarse así: *Ningun líquido entra en ebullición hasta el momento en que la tensión de su vapor es igual á la presión que experimenta.* Claro está que cuando aumente ó disminuya esta presión, debe aumentar ó disminuir la tensión del vapor, y de consiguiente, la temperatura necesaria para la ebullición.

Demuéstrase la disminución de la temperatura de ebullición al disminuir la presión, colocando debajo de la campana de la máquina neumática una vasija que contenga agua á unos 30° , y haciendo despues el vacío. Desde luego se observa que el líquido entra en ebullición con gran rapidez, aunque la vasija esté tapada, lo cual es debido á que el vapor es aspirado por la máquina neumática á medida que se va formando.



Fig. 398.

Puede hacerse el mismo experimento sin recurrir á la máquina neumática. Para esto se toma un globo de vidrio en el cual se hace hervir agua durante algunos instantes. Cuando los vapores que se desprenden durante la ebullición hayan arrastrado consigo todo el aire del globo se tapa este herméticamente y se le invierte (fig. 398). Si en este estado se enfria la parte superior del globo, con una esponja empapada en agua fría, se condensan los vapores, haciéndose el vacío y produciéndose una ebullición intensa. En el vacío absoluto herviría el agua á cero y aun á una temperatura mas baja, puesto que la tensión del vapor á cero es todavía $4^m,6$ (352).

Por efecto de la disminución de la presión atmosférica hierve el agua en las altas montañas á menos de 100° . En el Monte Blanco, por ejemplo,

entra dicho líquido en ebullición á 84° .

Si, por el contrario, aumenta la presión, se retarda la ebullición; de manera que en el agua, por ejemplo, no se efectúa hasta $120^{\circ},6$, cuando aquella llega á dos atmósferas.

353. Hervidero de Franklin.— Demuéstrase tambien la influencia de

la presión en la temperatura de ebullición, por medio del *hervidero de Franklin*.

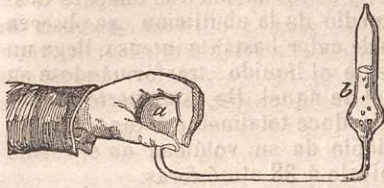


Fig. 399.

Compónese este aparato, que es todo de vidrio, de una esfera *a* y de un tubo *b*, reunidos por otro de menor diámetro (fig. 399). El tubo *b* está aguzado en su extremo superior, por el cual se introduce agua que se hace pasar á la esfera *a* y hervir en ella, calentándola con una lámpara de alcohol. Cuando se juzga que ya los vapores, al des-

prenderse, han arrastrado todo el aire del aparato, se cierra el extremo del tubo *b*, fundiéndole á la lámpara. Hecho así el vacío, ó cuando menos expulsado todo el aire, no sufre el agua mas presión que la tensión de su vapor, la cual es muy débil á la temperatura ordinaria. De aquí resulta que, cogiendo con la mano la esfera *a*, basta el calor de aquella para dar al vapor una tensión que hace refluir el agua al tubo *b*, determinando en él una fuerte ebullición.

354. Medición de la altura de las montañas por medio de la temperatura de ebullición. — La relación que existe entre la temperatura de ebullición y la presión, nos suministra un medio de medir la altura de las montañas, en vez de efectuarlo con el barómetro, que puede reemplazarse á este fin por el termómetro. En efecto, si observamos, por ejemplo, que el agua hierve en la cima de una montaña á 95° siendo así que lo efectúa á 98° en la falda de la misma, y si buscamos en las tablas de las fuerzas elásticas las tensiones correspondientes, encontraremos en ellas, números que representan, en milímetros de mercurio, la fuerza elástica del vapor en el momento en el cual se desprende en la cima y falda de la montaña, y por consecuencia, la presión atmosférica experimentada por el agua al entrar en ebullición en los dos sitios que se consideran. Conociendo de esta suerte la altura del barómetro en dichos puntos, se aplican sin dificultad las fórmulas dadas (155) para medir la altura de las montañas por medio del barómetro.

Para la aplicación de este método se emplean únicamente termómetros muy sensibles, cuya graduación solo se extiende de 80 á 100° próximamente, de suerte que cada grado ocupa una gran extensión en la escala, pudiendo apreciarse las décimas y hasta las vigésimas de grado. Fundado en este principio construyó el Sr. Regnault el *termómetro hipsométrico*, cuyo tubo solo está graduado desde 85° á 100°, estando dividido cada uno de estos en 10 partes iguales. Para servirse de este termómetro calculó el Sr. Regnault unas tablas que dan la tensión del vapor de agua para cada décima de grado entre los límites referidos.

355. Producción del vapor en vasijas cerradas. — Hemos supuesto hasta ahora que los vapores se formaban en un espacio indefinido, por el cual podían difundirse libremente, sin cuya condición no es posible la ebullición; pues en las vasijas cerradas como los vapores no encuentran salida alguna, su tensión y densidad crecen cada vez más con la temperatura, pero es imposible el desprendimiento rápido de los mismos, que es lo que constituye la ebullición. Por lo tanto, mientras que en una vasija abierta, la temperatura de un líquido no puede pasar de la de su ebullición, en una cerrada puede, por el contrario, subir mucho más. Sin embargo, también en este caso reconoce un límite el estado líquido, pues

según los experimentos del Sr. Cagniard-Latour, si se introduce agua, alcohol ó éter en gruesos tubos de vidrio, y se les suelda á la lámpara después de haber expulsado el aire por medio de la ebullicion, se observa que, sometiendo dichos tubos á un foco de calor bastante intenso, llega un momento en el cual desaparece de repente el líquido, trasformándose en vapores, cuyo volúmen difiere poco del de aquel. De esta suerte encontró dicho físico que el éter sulfúrico se reduce totalmente á vapor á 200° , en un espacio que sea menor que el doble de su volúmen en el estado líquido, y que entonces la tension equivale á 38 atmósferas.

356. Marmita de Papin. — El médico francés Papin, muerto en 1710, fué el primer físico que estudió los efectos de la produccion del vapor en vasos cerrados. El aparato que conserva su nombre, es una vasija cilíndrica de bronce D (fig. 400), con una tapadera que puede fijarse muy sólidamente por medio de un tornillo de presion B, el cual la mantiene opresa contra la marmita, á pesar de la fuerza elástica del vapor que tiende á levantarla. A fin de cerrar herméticamente el aparato, se procura, antes de apretar la tapadera, interponer algunas hojas de plomo entre sus bordes y los de la marmita. En la base de una cavidad cilíndrica de la cual forma parte el cilindro S y el tubo σ , tiene la tapadera un pequeño orificio cerrado por una válvula cónica, sobre la cual se apoya un vástago n , que penetra por el cilindro y el tubo, y se halla sujeto contra el disco obturador por medio de una palanca A, movable por su extremo a . Un peso p , que puede correr á lo largo de la palanca Aa, ejerce sobre la varilla n una presion tanto mayor, cuanto mas cerca se encuentra

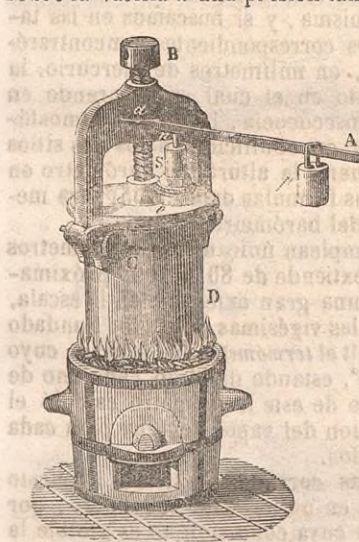


Fig. 400.

dicho peso de la extremidad A, por efecto de una propiedad bien conocida de las palancas (48). Pudiendo así variar la carga sobre la válvula, se arregla aquella de manera que cuando el vapor adquiera en el interior de la marmita una tension determinada, 6 atmósferas por ejemplo, se levante la válvula y dé salida al vapor. Con este mecanismo puede evitarse que estalle el aparato, por cuyo motivo se denomina *válvula de seguridad*.

Calentando la marmita de Papin, llena hasta los dos tercios de agua y tapada, puede sufrir el líquido mucho mas de 100° , y llegar la tension del vapor á cinco ó seis atmósferas, según sea la carga que se haya dado á la válvula de seguridad. Si se abre esta entonces, se escapa silbando á grande altura una columna de vapor, y el agua de la vasija, que aun no habia hervido, entra desde luego en ebullicion, bajando á 100° su temperatura. Puede utilizarse la marmita de Papin para aumentar la accion disolvente de los líquidos, facilitando los medios de darles una temperatura superior á su punto de ebullicion, por lo cual se la conoce tambien con el nombre de *digestor*.

357. Calor latente de los vapores. — Como, según la tercera ley de la ebullición (348), la temperatura de los líquidos permanece estacionaria mientras dura el fenómeno, se deduce de este hecho que en la vaporización, lo mismo que en la fusión, se absorbe una cantidad considerable de calor, cuyo único efecto es hacer pasar los cuerpos del estado líquido al estado aeriforme, sin actuar sobre el termómetro, supuesto que el vapor que se desprende está siempre á una temperatura igual, ó bien algo inferior á la del líquido que le origina. Este calor que desaparece y que se designa con los nombres de *calor latente*, *calor de elasticidad*, *calor de vaporización*, se trasforma por una parte en trabajo interior para aumentar la velocidad de las vibraciones de los átomos, y por otra en trabajo exterior, que comunica á los vapores su fuerza expansiva en el momento de pasar del estado líquido al gaseoso (267).

Sea cual fuere la temperatura á que se produzca un vapor, siempre hay desaparición de calor. Si se vierte en la mano un líquido volátil, éter, por ejemplo, se experimenta un frío muy vivo que proviene del calor que se pierde durante la vaporización (1), la cual puede originar un enfriamiento tan intenso, que sea capaz de solidificar el mercurio (358) y hasta los gases, según se verá luego experimentalmente (304).

Pronto veremos (396) cómo se determina la cantidad de calor absorbida por los diferentes líquidos, durante la vaporización.

358. Frío originado por la evaporación: crióforo: congelación del mercurio. — Acabamos de ver que, cuando se vaporiza un líquido, desaparece una cantidad considerable de calor. Resulta de aquí que, si un líquido que se evapora no recibe una cantidad de calor equivalente á la que absorbe el vapor, baja su temperatura, siendo el enfriamiento tanto mayor, cuanto más rápida es la evaporación.

Leslie consiguió congelar el agua por el simple efecto de una rápida vaporización. Colócase al efecto debajo de la campana de la máquina neumática una vasija de vidrio que contenga ácido sulfúrico concentrado, y encima una capsulita A (fig. 401) de corcho ó de cautchu, con algunos gramos de agua. Al hacer el vacío, entra en ebullición el agua (352); pero como los vapores son absorbidos por el ácido sulfúrico á medida que se van formando, se produce una rápida vaporización que determina muy en breve la congelación del agua de la cápsula.

Légase al mismo resultado con el *crióforo*, debido á Wollaston, que es un tubo de vidrio encorvado y terminado por sus extremos en dos esferas (fig. 402). Después de haber introducido en él un poco de agua y expulsado el aire por el mismo procedimiento seguido con el tubo de Donny (351), se pasa el agua á la esfera A y se sumerge la otra en una mezcla frigorífica. Condensados por el frío los vapores del tubo y de la esfera infe-

(1) Watt habia establecido la ley de que *para calentar desde cero y vaporizar un peso dado de agua, la cantidad de calor es siempre la misma, cualquiera que sea la temperatura á que se produce el vapor, y por tanto la tensión máxima*: ley que supone que el calor latente decrece á medida que la vaporización se efectúa á una temperatura mas elevada. En efecto, si se toma como calor de vaporización del agua el número 540 (396), como el agua se vaporiza á 100°, ha absorbido desde cero hasta su cambio de estado 100 + 540 ó 640 unidades de calor. Por consiguiente, si el agua que se vaporiza á 150°, por ejemplo, absorbe además, según la ley de Watt, una cantidad total de calor igual á 640, su calor de vaporización no seria mas que 640 - 150, ó 490. Southern, al contrario, dió en 1803 esta otra ley de que *el calor latente absorbido en el momento de la vaporización es constante, sea cual fuere la temperatura á que se produce el calor, y por consiguiente la presión*. Pero, según los trabajos de Regnault, no son exactas ninguna de estas dos leyes, creciendo con la temperatura la cantidad total de calor, al paso que decrece el calor latente.

rior, el agua de la esfera A entra en ebullicion y se originan otros nuevos; y como esta rápida produccion de vapor solo se hace á expensas de una gran cantidad de calor, resulta que el agua de esta esfera se enfria con rapidez, convirtiéndose en breve en una masa de hielo.

Si se opera con líquidos mas volátiles que el agua, particularmente con el ácido sulfuroso, que hierve á -10° , se produce un frio bastante intenso

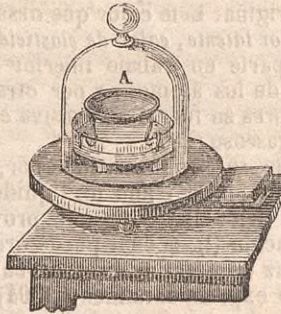


Fig. 401.

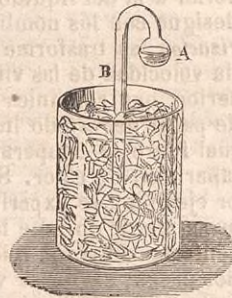


Fig. 402.

para congelar el mercurio. Se efectúa este experimento, envolviendo con algodón una esfera de vidrio llena de mercurio, y luego, despues de haberla mojado con ácido sulfuroso, se coloca debajo de la campana de la máquina neumática, se hace el vacío, y en seguida se solidifica el mercurio.

Thilorier dirigió un chorro de ácido carbónico líquido sobre el depósito de un termómetro de alcohol, y le vió descender hasta 100° bajo cero sin que dicho líquido se congelase; pero ya se ha visto que con una mezcla de protóxido de nitrógeno líquido, ácido carbónico sólido y éter, consiguió el Sr. Despretz producir un frio bastante intenso para reducir el alcohol al estado de un jarabe espeso (329).

El frio que produce la evaporacion se utiliza en los paises cálidos para refrescar el agua por medio de *alcarrazas*, denominándose así unas vasijas de tierra bastante porosa para que el agua se filtre lentamente y vaya á evaporarse en su superficie, sobre todo si se colocan en una corriente de aire.

LICUEFACCION DE LOS VAPORES Y DE LOS GASES.

359. Licuefaccion de los vapores.—La *licuefaccion* ó *condensacion* de los vapores es su paso del estado aeriforme al estado líquido. Tres son las causas que pueden determinar la condensacion, á saber: el enfriamiento, la compresion y la afinidad química. Las dos primeras exigen que los vapores se hallen en el estado de saturacion (339); pero la última produce la licuefaccion por enrarecidos que estén. Esta es la razon por qué muchas sales absorben, condensándole, el vapor de agua de la atmósfera, aunque se encuentre en ella en proporcion muy exígua.

En el momento en que se condensan los vapores, la fuerza viva, comunicada á las moléculas durante la vaporizacion (336) se trasforma para reaparecer en cantidad equivalente como calor sensible. Pruébese, en efecto, experimentalmente, que al licuarse un peso dado de vapor,

reproduce una cantidad de calor exactamente igual á la que desapareció durante la vaporizacion. A este fin se hace entrar una corriente de vapor á 100° en un vaso de agua fria, la cual adquiere rápidamente dicha temperatura sin que se observe en el vapor pérdida alguna de calor sensible, probándose así que el que ha cedido al agua es la exacta representacion del que se habia gastado durante la vaporizacion (396). En una palabra, en la vaporizacion hay pérdida de calor y produccion de fuerza viva: y recíprocamente, en la licuefaccion hay pérdida de fuerza viva y produccion de calor.

360. Destilacion: alambiques. — La *destilacion* tiene por objeto separar un líquido volátil de las sustancias fijas que tiene en disolucion, ó bien dos líquidos desigualmente volátiles.

Los aparatos que sirven para la destilacion se denominan *alambiques*. Su forma puede ser muy variada, pero siempre constan de tres piezas principales, que son: 1.ª la *cucúrbita A* (fig. 403), ó sea una caldera de

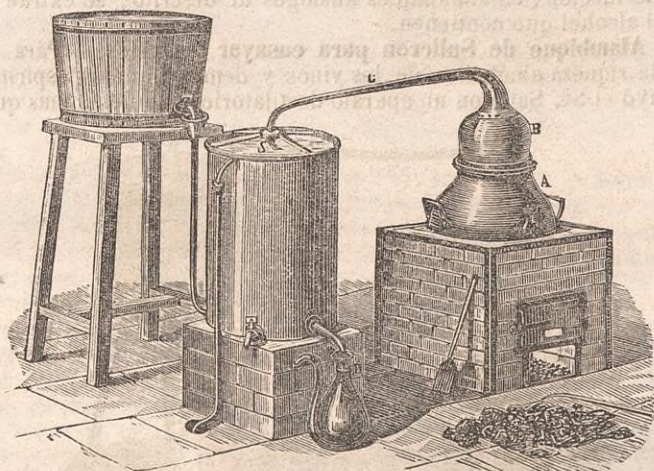


Fig. 403.

cobre estañado que contiene el líquido que se ha de destilar, y cuya base está empotrada en un hornillo; 2.ª el *capitel B*, que se coloca sobre la cucúrbita y da salida al vapor por un cuello lateral *C*; 3.ª el *serpentin S*, que consiste en un largo tubo de estaño ó de cobre, arrollado en hélice, colocado en una cuba llena de agua fria, y cuyo objeto es condensar el vapor enfriándole.

Si queremos destilar agua de pozo ó de rio para purgarla de las sales que contiene en disolucion, y que son principalmente el sulfato de cal, el carbonato de la misma base y algunos cloruros, se vierte aquella en la cucúrbita de manera que llene sus dos tercios, y se calienta hasta que entre en ebullicion. Los vapores que se desprenden van á condensarse en el serpentín, desde el cual el agua que origina la condensacion pasa en seguida al depósito *D*, quedando en la cucúrbita las materias fijas que contenia en disolucion.

Como los vapores que se condensan calientan rápidamente el agua de la cuba (359), conviene renovarla constantemente, pues de lo contrario,

no se efectuaría la condensación. Al efecto hay un embudo que, alimentado sin cesar por una corriente de agua fría, conduce esta á la parte inferior de la cuba, mientras que el agua caliente, que es menos densa, asciende siempre á la superior, vertiéndose por un tubo situado cerca del borde de la misma.

Es necesario no apurar mucho la destilación, porque pudiera suceder que el agua contuviese materias orgánicas, las cuales se descompondrían en las paredes calientes de la cucúrbita, dando origen á productos volátiles.

El agua destilada es perfectamente clara, y no deja residuo alguno después de su evaporación, pero siempre contiene algo de ácido carbónico, porque este gas se encuentra en todas las aguas naturales, y la destilación le separa de ellas solo de un modo incompleto; pero se puede evitar la presencia de aquel gas poniendo en la cucúrbita cierta cantidad de cal que se combina con él y le retiene.

Por destilación, en alambiques análogos al descrito, se extrae de los vinos el alcohol que contienen.

361. Alambique de Salleron para ensayar los vinos.—Para determinar la riqueza alcohólica de los vinos y demás líquidos espirituosos, construyó el Sr. Salleron un aparato destilatorio, que no es más que una

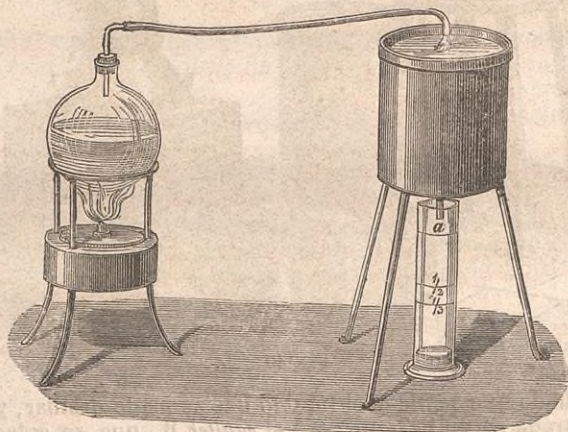


Fig. 404.

modificación de otro de la misma clase debido á Gay-Lussac. Este alambique consta de un globo de vidrio que, sostenido en unas trévedes, se calienta con una lámpara de alcohol (fig. 404). Un tubo le pone en comunicación con el serpentín situado en una vasija de cobre llena de agua fría, debajo de la cual se encuentra una probeta que recibe el producto de la destilación, y en la que están trazadas tres divisiones: una *a* tiene por objeto marcar el volumen de vino que ha de destilarse, y las otras dos, señaladas $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$, sirven para valuar el del líquido que resulta de la destilación.

Se empieza la operación por llenar la probeta hasta la señal *a* del vino que se quiere ensayar, viértese luego en el globo y se pone este en comunicación con el serpentín. Calentándole entonces con la lámpara entra

el vino en ebullicion, y se opera la destilacion, la cual se prolonga para los vinos comunes hasta que el líquido destilado llegue en la probeta á la division $\frac{1}{2}$, y á la $\frac{1}{4}$ para los muy alcohólicos, pues cuando esto sucede puede suponerse que ya ha pasado á aquella todo el alcohol del vino. Entonces se acaba de llenar la probeta hasta la señal *a* de agua destilada, lo que da un volúmen de líquido igual al del vino en que se ha experimentado y de la misma riqueza alcohólica, pero privado de toda sustancia extraña. Ya no queda mas que medir la fuerza de este líquido con el alcohómetro de Gay-Lussac (411), á cuyo efecto el aparato de Salleron va acompañado de dicho instrumento, de un termómetro y de una tabla de correccion.

Constrúyense tambien *termómetros alcohométricos*, empleados para dar á conocer la riqueza alcohólica de los vinos segun su temperatura de ebullicion. En el vértice del tubo de este termómetro está el número 100, que señala la temperatura de ebullicion del agua, y los grados inscritos mas abajo marcan las centésimas de alcohol puro contenido en el líquido sometido al experimento.

362. Absorcion: tubos de seguridad.—Llábase *absorcion*, en Química, un accidente que suele acontecer en los aparatos destinados á la preparacion de los gases, cuando al recogerlos sobre el agua ó sobre el mercurio, penetran estos líquidos en los aparatos, lo cual frustra la operacion.

La causa de este accidente es siempre el exceso de la presion atmosférica sobre la tension del gas contenido en el aparato. Sea, por ejemplo, un gas que se desprende de un matraz *m* (fig. 405) y va á parar á una probeta *A* llena de agua: ínterin el gas se desprende activamente, su tension supera á la presion atmosférica más el peso de la columna líquida *on*; por lo tanto, el agua de la probeta no puede subir al tubo, y es imposible la absorcion; pero si decrece la tension del gas, ora por amenguarse el desprendimiento, ora por enfriarse el matraz, predomina la presion exterior, y cuando el exceso de esta sobre la interior es mayor que el peso de la columna de agua *co*, penetra el líquido en el matraz y se inutiliza la operacion; evítase este accidente por medio de los *tubos de seguridad*.

Este es el nombre que se da á unos tubos que impiden la absorcion, permitiendo la entrada del aire en los aparatos segun va decreciendo la tension interior. El tubo de seguridad mas sencillo es el *Co* (fig. 406), que atraviesa el tapon del matraz *M*, en el cual se prepara el gas, introduciéndose algunos centímetros en el líquido allí contenido. Cuando disminuye la tension del gas en el matraz *M*, la presion atmosférica que se ejerce en el agua de la cuba *E*, la hace subir á cierta altura en el tubo *DA*; pero dicha presion, que actúa tambien en el tubo *Co*, tiende á deprimir igualmente el líquido contenido en este tubo, suponiendo que dicho líquido tenga casi la misma densidad que el agua de la cuba *E*. Como la distancia *or* es menor que la altura *DA*, entra el aire por el orificio *o* antes que el agua de la cuba llegue al punto *A*, y de consiguiente, no hay absorcion.

El tubo *Co* sirve tambien para precaver las explosiones. Cuando es



Fig. 405.

muy rápida la producción del gas, y no basta el tubo *AD* para su desprendimiento, el líquido del matraz *M* es repelido hácia el exterior, escapándose por el tubo *C*, el cual se convierte á su vez en una salida para el gas apenas descende el nivel del orificio *o*.

La figura 407 representa otra especie de tubo de seguridad, conocido con el nombre de *tubo en S*, en el cual hay una esfera *a* que contiene cierta cantidad de líquido, é igualmente la rama *i d*. Si la tensión del gas en la retorta *M* es superior á la presión atmosférica, sube el nivel en la rama *i d* á mayor altura que en la esfera *a*; si equivale á una atmósfera,

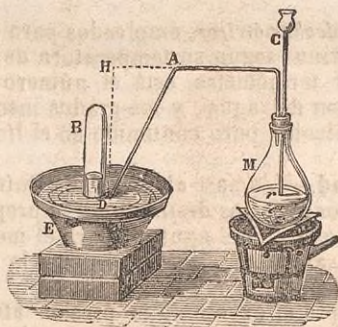


Fig. 406.

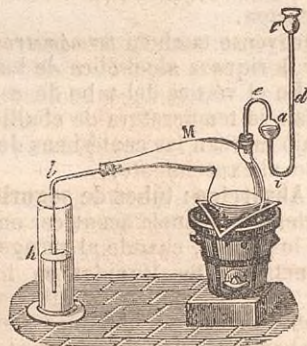


Fig. 407.

es idéntico el nivel en el tubo y en la esfera; y por último, si es menor que la presión atmosférica, baja el nivel en la rama *i d*; y como se procura que la altura *ia* sea menor que *bh*, apenas el aire que entra por la boca *c* llega á la parte curva *i*, levanta la columna líquida *ia* y penetra en la retorta antes que el agua de la probeta haya subido hasta *b*, de suerte que así se equilibra la tensión interior con la presión exterior, siendo imposible la absorción.

363. **Licuefacción de los gases.** — Los gases no son otra cosa que vapores muy dilatados, y por lo tanto, susceptibles como estos de licuarse; pero distando mucho de su punto de licuefacción, solo se consigue esta mediante una presión ó un enfriamiento mas ó menos considerable. Respecto á algunos basta la compresión por sí sola ó bien el enfriamiento; pero la mayoría de ellos exige la acción simultánea de estos dos medios. Pocos son los gases que resisten estas dos acciones combinadas, y debe suponerse que los que hasta ahora no han podido licuarse (129), se conseguiría seguramente si se les sometiera á una presión y enfriamiento suficientes.

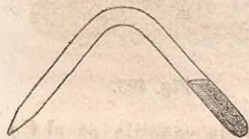


Fig. 408.

Davy y Faraday licuaron muchos gases tenidos hasta entonces por permanentes. Consiste su procedimiento en encerrar dentro de un tubo de vidrio, encorvado á manera de sifon (fig. 408), varias sustancias que, por su reacción química, dan origen al gas que se trata de comprimir; de suerte que, ocupando dichas sustancias una de las ramas del sifon, el gas, á medida que va desprendiéndose, se comprime por sí propio

y se licua en la otra rama, la cual está sumergida en una mezcla frigorífica. Los dos citados físicos consiguieron de esta manera licuar el cloro, el ácido sulfhídrico, el amoniaco y el ácido carbónico.

364. Licuefacción y solidificación del ácido carbónico. — El ácido carbónico requiere una gran presión para pasar al estado líquido, y por

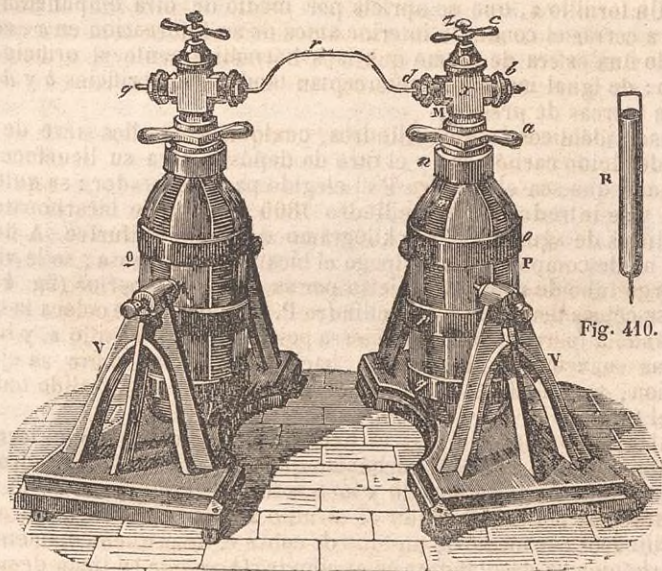


Fig. 409.



Fig. 410.

lo tanto se necesitan al efecto aparatos especiales sumamente sólidos. Thilorier construyó el primer aparato de este género; la figura 409 representa uno construido por el Sr. Deleuil para licuar el ácido carbónico, el cual no es mas que una modificación del de Thilorier, pero muy importante respecto á su solidez.

Consiste este aparato en dos cilindros P y Q, enteramente iguales, ambos movibles en un plano vertical, alrededor de dos ejes sostenidos sobre dos estribos de hierro fundido VV. Dichos cilindros, que son tambien de fundicion, tienen unos seis litros de capacidad, tres centímetros de espesor, y poseen en el sentido de su longitud cuatro nervios ó tiras que sobresalen un centímetro del resto de la pared, siendo su anchura de ocho centímetros. Con objeto de dar al aparato toda la resistencia necesaria, tiene además varias fajas de hierro dulce *m*, que principian en la parte superior de los cilindros, se encajan en el hueco formado por dos nervios consecutivos, se arrollan en la base inferior de los cilindros, que es hemisférica, y luego pasan á la otra cara de los mismos para rematar en la extremidad de donde partieron. Por último, estas tiras se hallan sólidamente afianzadas por cuatro aros *n, o, p, q*, tambien de hierro dulce. Antes de colocar estos aros, se les da la temperatura que corresponde al calor rojo, de manera que, al enfriarse, ejercen por su contracción una inmensa presión, así sobre las fajas longitudinales, como sobre los cilindros.

Véase en la cabeza de cada cilindro una llave *M*, compuesta de varias piezas; la doble empuñadura *a* sirve para apretarla fuertemente en una tuerca abierta en la masa de fundición. En la llave existe un conducto vertical que se bifurca en *x* hacia *b* y *d*, poniendo de esta suerte en comunicación el interior del cilindro con dos orificios existentes en dichos puntos, de los cuales uno puede estar abierto, quedando entonces cerrado el otro. Un tornillo *z*, que se aprieta por medio de otra empuñadura *c*, sirve para cerrar el conducto interior antes de su bifurcación en *x*, comprimiendo una esfera de plomo que tapa herméticamente el orificio del conducto: de igual manera se interceptan también los orificios *b* y *d* por medio de tuercas de presión.

Como son idénticos los dos cilindros, cualquiera de ellos sirve de generador del ácido carbónico, y el otro de depósito para su licuefacción. Supongamos que sea el cilindro *P* el elegido para generador: se quita la llave *M*, y se introducen en el cilindro 1800 gramos de bicarbonato de sosa, 3 litros de agua á 39° y 1 kilogramo de ácido sulfúrico. A fin de que este no descomponga desde luego el bicarbonato de sosa, se le vierte en un largo tubo de cobre *R*, abierto por su extremo superior (fig. 410), el cual se coloca dentro de dicho cilindro *P*. Hecho esto, se coloca la llave *M* apretándola fuertemente, se la cierra por medio del tornillo *z*, y luego se inclina suavemente el cilindro, haciéndole oscilar sobre su eje de suspensión, repitiéndose esta operación hasta que haya salido todo el ácido del tubo *R*.

Se calcula en siete minutos el tiempo necesario para que termine la reacción química. El ácido carbónico que se formó en el cilindro generador se halla en parte licuado y mezclado con el agua *q* e sirvió para su preparación; pero si aflojando el tornillo *z* se ponen en comunicación ambos cilindros por medio de un tubo de cobre *r*, de pequeño diámetro, el ácido carbónico va destilándose en el cilindro *Q*, donde se licua de nuevo



Fig. 411.

por efecto de su propia presión. Thilorier valuó en 50 atmósferas la presión que actúa sobre el depósito, siendo 15° la temperatura. Repitiendo cinco ó seis veces la misma operación, se condensan en el cilindro *Q* hasta dos litros de ácido carbónico líquido.

Para obtener el mismo ácido en el estado sólido, tiene la llave del depósito *Q*, en su parte inferior, un tubo que se introduce en el ácido líquido, y por lo tanto, al abrir un orificio *g* situado á un lado de la llave brota ó salta con fuerza el ácido carbónico líquido por efecto de la presión que sufre, pasando al estado aeriforme. Pero solo se gasifica parte del líquido, porque la cantidad de calor que desaparece al efectuarse este cambio de estado es tan considerable (396), que el resto del líquido se solidifica en copos blancos, cristalizados bajo una forma filamentososa, los cuales se recogen en una caja esférica de latón, de paredes delgadas, teniendo cada hemisferio un tubo forrado de fieltro grueso, que sirven de asa (fig. 411). El ácido carbónico líquido llega á la caja por un tubo que

penetra en ella rozando en la pared. Al salir el chorro de este tubo choca con una hojilla *a* que le deforma, esparciendo el líquido y acelerando así la vaporización. La parte gasificada se desprende por pequeños orificios *m*, *n* y por los tubos que sirven de asas, mientras que la que se solidifica, se aglomera en lo interior de la caja. Un termómetro de alcohol colocado en el chorro desciende hasta -93° .

El ácido carbónico sólido se evapora con mucha lentitud, pudiéndose probar entonces, por medio de un termómetro de alcohol, que su temperatura es próximamente -78° . Con todo, puesto sobre la mano, no causa una sensación de frío tan intensa como pudiera creerse, lo cual es debido á que no hay contacto perfecto; mas si se le mezcla con éter, es tan intenso el frío, que un copo de ácido carbónico sólido, puesto sobre la carne, desorganiza los tejidos lo mismo que el fuego. Esta mezcla solidifica en pocos segundos cuatro veces su peso de mercurio. Sumergiendo en ella un tubo lleno de ácido carbónico líquido, consiguió Faraday solidificar este, formando una masa compacta, tan trasparente como un pedazo de hielo.

365. Licuefacción del protóxido de nitrógeno.—En el aparato que acabamos de describir, el ácido carbónico se comprime por sí mismo, produciéndose en cantidad muy abundante. Pero no todos los gases se obtienen en condiciones convenientes para licuarse en virtud de su propia presión. Entonces es preciso recurrir á una presión artificial, y así es como Natterer licuó varios gases comprimiéndolos en un cañon de fusil por medio de una bomba impelente.

El Sr. Bianchi modificó el aparato de Natterer y le dió la forma que representa en perspectiva la figura 413, y según una sección vertical, en mayor escala, la 412. Este aparato se compone de un receptáculo *A* de hierro forjado, cuya capacidad es de 7 á 8 litros, y su resistencia tal, que puede sufrir presiones de 600 atmósferas. En la parte inferior de dicho receptáculo está atornillada una pequeña bomba impelente, recibiendo el vástago *t* de su émbolo un movimiento de vaiven por medio de un excéntrico articulado *E*, movido por dos ruedas dentadas y un manubrio *M*. Como la compresión del gas y el rozamiento del émbolo dan lugar á un gran desprendimiento de calor, se rodea el receptáculo *A* de una vasija *B*, en la cual se pone hielo; además, el agua procedente de la fusión de este va por un tubo *m* á una capacidad cilíndrica de cobre *C*, que envuelve la bomba impelente, y de aquí sale al exterior por otro tubo *n*, y una llave *o*. Finalmente, todo el aparato se encuentra montado sobre un armazon *PQ* de hierro fundido.

Supuesto esto, se recoge de antemano el gas que trata de licuarse en unas bolsas impermeables *R*, desde las cuales se le dirige á un vaso *V*, lleno de cloruro de calcio, pasando luego á la bomba impelente por un tubo de caucho *H*. Cuando el aparato ha funcionado cierto tiempo, se destornilla el receptáculo *A* situado encima de la bomba, lo cual se consigue sin que el gas ya licuado pueda verterse, supuesto que dicho receptáculo se encuentra herméticamente cerrado, en su parte inferior, por una válvula *S* (fig. 412). Para recoger luego el líquido contenido en el receptáculo, se invierte este y se afloja un tapón de tornillo *r*, que da salida al líquido por un tubito *x*.

La licuefacción mas notable obtenida con este aparato, es la del protóxido de nitrógeno. Una vez licuado este gas, no se evapora sino muy lentamente, aunque se halle contenido en una vasija abierta, conser-

vando una temperatura fija de 88° bajo cero. Si en la vasija donde se halla se echa mercurio en pequeña cantidad, se congela este al momento, y lo mismo sucede con el agua; pero es menester echarla gota á gota, pues de lo contrario, siendo el calor latente de este líquido mucho mayor que el del mercurio (395), el calor cedido por el agua al congelarse, puede producir la detonacion del protóxido de nitrógeno.

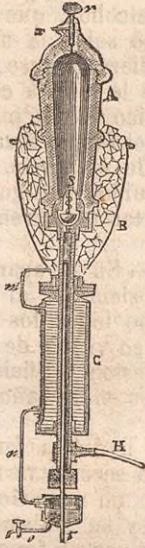


Fig. 412.

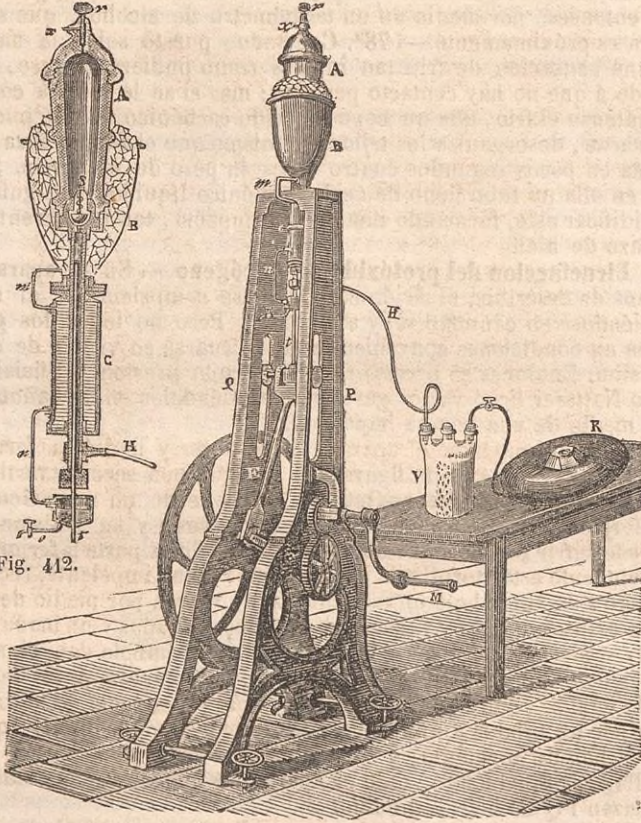


Fig. 415.

Pudiendo el calor descomponer fácilmente el protóxido de nitrógeno, posee este la propiedad de mantener la combustion casi con tanta energia como el oxígeno, cuya propiedad conserva igualmente en el estado líquido, á pesar de su baja temperatura. En efecto, si se arroja en dicho líquido un pedacito de carbon incandescente arde al momento con un resplandor muy vivo.

MEZCLAS DE LOS GASES CON LOS VAPORES.

366. **Leyes de las mezclas de los gases con los vapores.** — Las mezclas de los gases con los vapores están sujetas á las dos leyes siguientes:

1.^a La tension, y por consiguiente la cantidad de vapor que satura un espacio dado, son las mismas cuando dicho espacio contiene un gas, que cuando se encuentra vacío, si la temperatura es igual en ambos casos.

2.^a La fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas del gas y del vapor mezclados, reducido el gas á su volúmen primitivo.

Estas leyes, conocidas con el nombre de leyes de Dalton, que fué el primero que las publicó, se demuestran por medio de un aparato muy sencillo (fig. 414), debido á Gay-Lussac. Consiste dicho aparato en un tubo de vidrio A, á cuyos extremos están pegadas con mástic dos llaves de hierro *b* y *d*. Encima de la llave *d* hay un tubito lateral que pone en comunicacion el tubo A con otro tubo B de menor diámetro. Una escala, situada entre los dos tubos, mide la altura de la columna de mercurio contenida en cada uno de ellos.

Lleno el tubo A de mercurio bien seco, y cerradas las llaves *b* y *d*, se atornilla en la primera, en vez del embudo C, un globo de vidrio M, cerrado tambien con otra llave, y lleno de aire seco ó de cualquier otro gas. Abriendo luego las tres llaves, se deja salir del tubo A una parte del mercurio, que es reemplazado por el aire seco del globo. Ciérranse otra vez las llaves, y como el aire existente en el espacio A se enrareció al salir del globo, se encuentra entonces á una presión menor que la de la atmósfera; pero se restablece esta echando mercurio en el tubo B, hasta que el nivel sea igual en ambos. Por fin, se quita el globo y su llave, colocando en su lugar un embudo C, el cual tiene otra llave *a*, que difiere de las ordinarias, pues no está horadada de parte á parte, poseyendo tan solo una pequeña cavidad, conforme se ve en *n*, á la izquierda de la figura. Despues de echar en el embudo C el líquido que se quiere vaporizar, de anotar el nivel *k* del mercurio, y de abrir la llave *b*, se da vuelta á la *a* de manera que su cavidad *n* se llene de líquido, invirtiéndola luego á fin de que este penetre en el espacio A y se vaporice. De esta suerte se va introduciendo el líquido gota á gota, hasta que el aire del tubo se halle saturado de vapor, lo cual se conoce, en que el nivel *k* del mercurio queda estacionario (339).

Como la tension del vapor que se origina en el espacio A, se agrega á la del aire que allí existia, aumenta el volúmen del gas, pero se le reduce fácilmente el volúmen primitivo, vertiendo de nuevo mercurio en el tubo B. Cuando dicho líquido recobra en el tubo mayor A, al nivel *k* que antes tenia, se observa en ambos tubos una diferencia de nivel *Bo*, que representa evidentemente la tension del vapor que se ha formado, puesto que habiendo recobrado el aire su volúmen primitivo, no ha variado su tension. Si se hacen pasar al vacío de un tubo baromé-

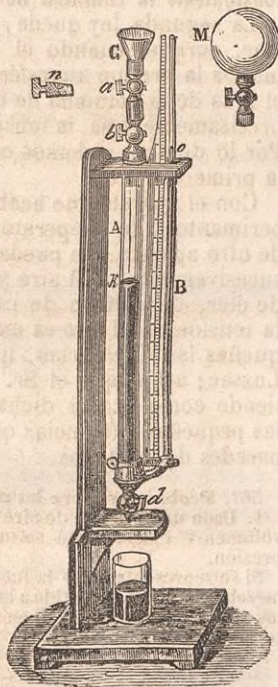


Fig. 414.

trico algunas gotas del mismo líquido introducido en el espacio A, se observa una depresion exactamente igual á B o, lo cual demuestra de una manera evidente que, á igualdad de temperatura, la tension de un vapor en estado de saturacion es la misma en los gases que en el vacío, de donde se deduce que, *permaneciendo constante la temperatura, la densidad y por consiguiente la cantidad de vapor en igual volúmen son tambien las mismas.*

La segunda ley queda, pues, demostrada con el experimento anterior; porque, cuando el mercurio ha recobrado su nivel *k*, resiste la mezcla la presion atmosférica que se ejerce en el extremo del tubo B, más el peso de la columna de mercurio B o; estas dos presiones representan precisamente, una, la tension del aire seco, y la otra, la tension del vapor. Por lo demás, podemos considerar la segunda ley como un corolario de la primera.

Con el aparato que acabamos de describir solo pueden hacerse los experimentos á la temperatura ordinaria; pero el Sr. Regnault, por medio de otro aparato que puede someterse á diferentes temperaturas, comparó sucesivamente en el aire y en el vacío las tensiones de vapor de agua, de éter, de sulfuro de carbono y de bencina, y siempre observó que la tension en el aire es mas débil que en el vacío. Con todo, son tan pequeñas las diferencias, que no invalidan la ley de Dalton y de Gay-Lussac; así es que el Sr. Regnault cree que puede continuarse admitiendo como exacta dicha ley, teóricamente considerada, atribuyendo las pequeñas diferencias que encontró á la afinidad higroscópica de las paredes de los tubos.

567. Problemas sobre las mezclas de los gases con los vapores.

I. Dado un volúmen de aire seco V, á la presion A, se desea averiguar cuál será su volúmen V' cuando esté saturado, permaneciendo constantes la temperatura y la presion.

Si se representa por F la fuerza elástica del vapor que satura el aire, este, en la mezcla, solo está sometido á la presion A—F (566, 2.º). Pero segun la ley de Mariotte, los volúmenes V y V' están en razon inversa de las presiones que sufren, por lo tanto se tiene:

$$\frac{V'}{V} = \frac{A}{A-F}, \text{ de donde } V' = \frac{VA}{A-F}.$$

II. Dado un volúmen de aire saturado V, á la presion A y á la temperatura *t*, ¿cuál será su volúmen V' tambien saturado, á la presion A', y á la temperatura *t'*?

Si se representa por *f* la tension máxima del vapor á *t* grados, y por *f'* su tension máxima á *t'* grados, el aire por sí solo, en cada una de las mezclas V y V', estará sometido respectivamente á las presiones A—*f* y A'—*f'*. Suponiendo primeramente invariable la temperatura, se tendrá á la de *t* grados, segun la ley de Mariotte,

$$V' = \frac{V(A-f)}{A'-f'};$$

á la de cero (316) dicha expresion se convertirá en :

$$V' = \frac{V(A-f)}{(A'-f')(1+\alpha t)}; \text{ y por último á la de } t' \text{ grados será } V' = \frac{V(A-f)(1+\alpha t')}{(A'-f)(1+\alpha t)}.$$

III. Se quiere saber el peso P de un volúmen de aire V, saturado de vapor de agua, á la temperatura *t* y á la presion A, siendo $\frac{1}{\delta}$ la densidad del vapor.

Para resolver este problema, fijémonos en que el volúmen V de aire saturado, es en realidad una mezcla de V litros de aire seco á *t* grados, á la presion A menos la del vapor, y de V litros de vapor saturado á la misma temperatura.

Por lo tanto, si representamos por F la tension del vapor, la presion del aire considerada por sí sola será A—F, y el problema está reducido á investigar: 1.º el peso

de V á litros de aire seco á t grados y á la presión A—F; 2.º el peso de V litros de aire saturado á t grados y á la presión F.

Para resolver la primera parte del problema, sabemos que 1 litro de aire seco á cero grados y á la presión 76^{cm} pesa 1g,295, y que á t grados y á la presión A—F pesa $\frac{1g,295(A-F)}{(1+\alpha t)76}$, 516, probl. vi); por lo tanto V litros de aire seco pesan

$$\frac{1g,295 \times V(A-F)}{(1+\alpha t)76} \quad [1].$$

Finalmente, para obtener el peso del vapor, es preciso determinar previamente el de un volumen igual de aire seco, á la misma temperatura y presión, y despues multiplicarle por la densidad del vapor (516, probl. vii). Y puesto que V litros de aire seco á t grados y á la presión F pesan $\frac{1g,295 \times V \times F}{(1+\alpha t)76}$, V litros de vapor, cuya densidad es $\frac{5}{8}$, pesarán

$$\frac{1g,295 \times V \times F \times 5}{(1+\alpha t)76 \times 8} \quad [2].$$

Por lo tanto el peso P que se busca será igual á la suma de los pesos [1] y [2], y puede representarse por la siguiente expresion:

$$P = \frac{1g,295 \times V(A-F)}{(1+\alpha t)76} + \frac{1g,295 \times V \times F \times 5}{(1+\alpha t)76 \times 8} = \frac{1g,295 \times V}{(1+\alpha t)76} \left(A - \frac{5}{8} F \right).$$

ESTADO ESFEROIDAL.

568. **Experimentos del Sr. Boutigny.**—Si se derrama un líquido sobre una superficie metálica incandescente se originan notabilísimos fenómenos, observados la vez primera, hace ya un siglo, por el Sr. Leidenfrost; posteriormente han sido estudiados por varios físicos, particularmente por el Sr. Boutigny, quien de algunos años á esta parte ha dado á conocer curiosos experimentos, de los cuales vamos á exponer los de mayor interés.

Si despues de haber calentado hasta el rojo una cápsula de plata ó de platino, de paredes gruesas, se vierten en ella algunos gramos de agua por medio de una pipeta, se observa que no se extiende el líquido mojando la cápsula, conforme sucede á la temperatura ordinaria, sino que acepta la forma de un globo aplanado, que es lo que Boutigny expresa diciendo que el líquido pasa al *estado esferoidal*. En tal estado, el agua está animada de un rápido movimiento giratorio sobre el fondo de la cápsula, y no solo no entra en ebullicion, sino que tarda 50 veces mas en vaporizarse que si aquella se verificase. Además, si se enfria la cápsula, llega un momento en que no está bastante caliente para mantener el agua en estado esferoidal, y entonces al mojar el líquido sus paredes, surge repentinamente una violenta ebullicion.

Todos los líquidos pueden aceptar el estado esferoidal; y la temperatura necesaria para que se produzca el fenómeno es tanto mas alta, cuanto mayor sea el punto de ebullicion del líquido. Para el agua hay que calentar la cápsula por lo menos hasta 200º, y hasta 154 para el alcohol.

El Sr. Boutigny ha observado que la temperatura de los líquidos en el estado esferoidal es constantemente inferior á la de su ebullicion. El agua, por ejemplo, no pasa de 95º,3; el alcohol, de 75º,5, el éter, de 34º, y el ácido sulfuroso, de —10º,5. Pero la temperatura del vapor que se desprende es igual á la de la cápsula, de lo cual debemos deducir, que no se forma en la masa del líquido.

La propiedad que presentan los líquidos en el estado esferoidal, de mantenerse á una temperatura inferior á la de su punto de ebullicion, sugirió á Boutigny el notable experimento de la congelacion del agua en una cápsula incandescente. Calienta dicho físico hasta el rojo-blanco una cápsula de platino y vierte en ella algunos gramos de ácido sulfuroso anhidro. Este líquido, que hierve á —10º, puesto en la cápsula sigue la ley general de los demás líquidos, es decir, que adquiere una temperatura inferior á la de su ebullicion. Anadiendo en seguida al ácido sulfuroso una corta cantidad de agua, se congela esta inmediatamente, enfiada por el ácido, y estando aun enrojecida la cápsula, se saca de ella, no sin grande asombro, un pedazo de hielo.

En el estado esferoidal, no hay contacto entre el líquido y el cuerpo caliente, de lo cual se convenció el Sr. Boutigny, haciendo enrojecer una plancha de plata perfectamente horizontal, y vertiendo encima un gramo de agua teñida de negro. Este liqui-

do pasa al estado esferoidal, y colocandole entonces la llama de una bujía á cierta distancia en la prolongacion del plano de la plancha, se distingue con claridad y de un modo continuo dicha llama entre aquella y el esferoide de agua. De aquí se deduce que el líquido se sostiene á corta distancia de la plancha, ó que sus vibraciones son bastante rápidas para que la vista no las perciba.

Explicanse los fenómenos que presentan los líquidos en el estado esferoidal, admitiendo que el glóbulo líquido se halla sostenido á cierta distancia de la vasija por la tension del vapor que se produce en su superficie; de suerte que como el líquido no se calienta por contacto, sino solo por radiacion, se vaporiza muy lentamente, sobre todo si se tiene en cuenta que, siendo el agua diatermana para los rayos caloríficos emitidos por un foco intenso, la mayor parte del calor radiante la atraviesa sin calentarla. Cree Boutigny que la causa que se opone á que el líquido moje el metal es una fuerza repulsiva, que será tanto mas intensa, cuanto mas alta sea la temperatura. Está acorde dicha hipótesis con el siguiente experimento efectuado en Inglaterra por el Sr. Perkins. Puesta una llave en un generador de vapor, debajo del nivel del agua, no manaba el líquido mientras las paredes tenian una temperatura muy alta, por considerable que fuese la presion interior; pero brotaba con fuerza apenas bajaba la temperatura.

DENSIDAD DE LOS VAPORES.

569. **Método de Gay-Lussac.**—Denomínase *densidad de un vapor* la razon entre el peso de cierto volúmen de este vapor y el de otro volúmen equivalente de aire, siendo iguales en ambos la temperatura y la tension.

Dos métodos se han seguido para determinar la densidad de los vapores; el primero debido á Gay-Lussac, es aplicable á los líquidos que entran en ebullicion á una temperatura inferior ó muy poco superior á 100°; y el segundo, inventado por el Sr. Dumas, permite operar á temperaturas que pueden llegar hasta unos 360°.

La figura 415 representa el aparato de Gay-Lussac. Consta de una vasija de hierro fundido llena de mercurio, en la cual se introduce un cilindro de vidrio M que se halla lleno de agua ó de aceite, cuya temperatura indica un termómetro T. En el interior del cilindro existe una campana C, graduada en litros y fracciones de litro.

Para operar con este aparato, se introduce el líquido que se trata de vaporizar, en una ampollita de vidrio como la que se representa en A, á la izquierda de la figura; cerrando en seguida á la lámpara dicha ampollita, se la pesa, y restando del peso obtenido el de la ampollita vacía, se obtiene el del líquido que se introdujo. Llenando luego de mercurio la campana C, se introduce en ella la ampolla y se calienta gradualmente hasta que el agua del cilindro llegue á tener una temperatura superior en algunos grados á la que necesita para entrar en ebullicion el líquido de la ampollita. Rómese esta por la vaporizacion del líquido que contiene, y la tension de aquel deprime el mercurio de la campana, conforme se ve en el grabado. La ampollita debe ser suficientemente pequeña para que todo el líquido que contiene se requiera á vapor, lo cual se verifica cuando, llegado el baño á la temperatura de ebullicion del líquido de la ampollita, el nivel del mercurio permanece, sin embargo, un poco mas alto en el interior de la campana que en el exterior. Esto prueba que no queda nada de líquido sin vaporizar, porque en tal caso el nivel interior seria casi el mismo que el exterior (552). No cabe duda, pues, de que el peso del líquido de la ampollita representa con exactitud el del vapor que se formó en la campana C. Respecto al volúmen de este vapor, se averigua por medio de la escala graduada que existe en la campana; expresando su temperatura el termómetro T, y hallándose entonces á una presion igual á la altura del barómetro, menos la del mercurio que queda en la campana. Solo falta, por lo tanto, calcular el peso de un volúmen de aire que sea igual al del vapor, en las mismas condiciones de temperatura y de presion; y dividién-

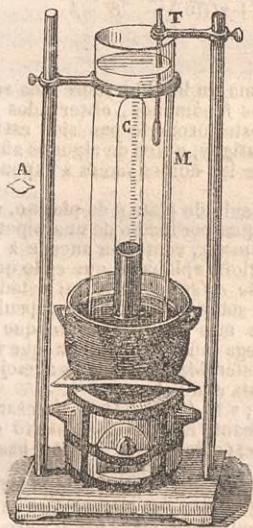


Fig. 415.

duzca á vapor, lo cual se verifica cuando, llegado el baño á la temperatura de ebullicion del líquido de la ampollita, el nivel del mercurio permanece, sin embargo, un poco mas alto en el interior de la campana que en el exterior. Esto prueba que no queda nada de líquido sin vaporizar, porque en tal caso el nivel interior seria casi el mismo que el exterior (552). No cabe duda, pues, de que el peso del líquido de la ampollita representa con exactitud el del vapor que se formó en la campana C. Respecto al volúmen de este vapor, se averigua por medio de la escala graduada que existe en la campana; expresando su temperatura el termómetro T, y hallándose entonces á una presion igual á la altura del barómetro, menos la del mercurio que queda en la campana. Solo falta, por lo tanto, calcular el peso de un volúmen de aire que sea igual al del vapor, en las mismas condiciones de temperatura y de presion; y dividién-

do, por último, el peso del vapor por el del aire, el cociente será la densidad ó el peso específico que se buscaba.

Hé aquí, por lo demás, la marcha que en estos cálculos debe seguirse. Si representamos por p el peso del vapor en gramos, por v su volúmen en litros, por t su temperatura, por A la altura del barómetro, y por a la del mercurio en la campana, resultará que la presión del vapor es $A - a$; ya solo falta calcular el peso p' de un volúmen equivalente de aire v , á la temperatura t y á la presión $A - a$.

Como un litro de aire á cero y á la presión de $0^m,76$ pesa $1^gr,295$, el peso del volúmen v , á la misma presión y á cero, es $1^gr,295 \times v$. Pero vimos (316, prob. vi), que para convertir un peso á cero en el equivalente á la temperatura t , no hay mas que dividirlo por $1 + \alpha t$, siendo α el coeficiente de dilatación del aire; por lo tanto, el peso del vo-

lúmen de aire v , á t grados y á la presión de $0^m,76$, es $\frac{1^gr,295 \times v}{1 + \alpha t}$.

Por último, según la ley de Mariotte el peso del aire á la presión $A - a$, se deduce del peso del mismo á la presión $0^m,76$, multiplicando la fórmula de este por $\frac{A - a}{0,76}$;

de consiguiente, el peso p' de un volúmen de aire v equivalente al del vapor, y á la misma temperatura y presión, es $\frac{1^gr,295 \times v(A - a)}{(1 + \alpha t) \times 0^m,76}$. De aquí resulta para la densidad

$$\text{que se busca, } D = \frac{p}{p'} = \frac{p(1 + \alpha t)0^m,76}{1^gr,295v(A - a)}$$

570. **Método del Sr. Dumas.**—El procedimiento que acabamos de describir no puede aplicarse á los líquidos cuya temperatura de ebullición excede de 150 á 160° . En efecto, para dar esta temperatura al aceite del cilindro, hay que calentar el mercurio de la vasija á un grado tal, que la tensión de los vapores que se desprenderían mercuriales debajo de la campana graduada se agrega á la del vapor en que se experimenta, lo cual es una causa de error; desaparece esta con el siguiente procedimiento, debido al Sr. Dumas. Consta el aparato de un globo de vidrio B (fig. 416), como de medio litro de capacidad. Después de haber secado bien el globo interior y exteriormente, se le pesa lleno de aire seco á la presión A y á la temperatura ambiente t , y después se introducen en él la sustancia ya sea líquida ó sólida, cuya densidad del vapor se trata de averiguar, se sumerge el globo en un baño de agua saturada de sal, ó en uno de aceite de manos de buey, ó de la aleación de Darcet, según la temperatura de ebullición de la sustancia contenida en el globo. A fin de sostener este en el baño, se fija en una de las asas del perol que contiene el líquido, una barra de hierro, á lo largo de la cual puede correr otra del mismo metal que lleva dos aros, entre los cuales se coloca el globo, conforme se ve en el grabado. En la otra asa, una barra, semejante á la primera, sostiene un termómetro de peso D.

Introducidos el globo y el termómetro en el baño, se calientan á una temperatura algo mayor que la de ebullición del cuerpo en el que se experimenta, y el vapor, al salir por la punta afilada, expulsa el aire del aparato. En el momento en que cesa el tiro del vapor, lo cual sucede cuando la sustancia está toda vaporizada, se cierra á la lámpara con un soplete el orificio del globo, procurando anotar al mismo tiempo la temperatura t' del baño y la altura A' del barómetro. En fin, frío ya el globo y enjugado con el mayor esmero, se le pesa de nuevo, y suponiendo que esta segunda pesada excede á la primera en una cantidad Q , esta cantidad representa el exceso de peso del vapor contenido en el globo, á la temperatura t' y la presión A' sobre el peso del aire que antes contenía á la temperatura t y presión A .

Para obtener este último peso es preciso conocer primeramente el volúmen del globo á cero, á cuyo fin se introduce el cuello en una vasija que contenga mercurio y allí se rompe la punta con unas pinzas. Como el vapor está condensado, existe vacío en el globo; resultando de aquí que por efecto de la presión atmosférica se precipita en él el mercurio, llenándole completamente siempre y cuando que haya sido expulsado todo el aire. Vertiendo en seguida en una campana graduada el mercurio que

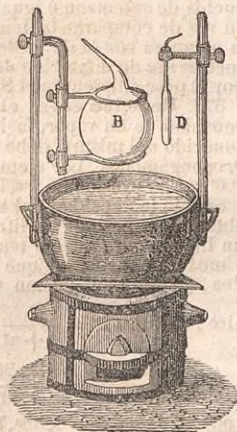


Fig. 416.

ha entrado en el globo, se determina el volumen de este á la temperatura ambiente, con cuyo dato se calcula el volumen V á cero y en seguida el peso P del aire contenido en el globo á la temperatura t y á la presión A (516). El peso P' del vapor que contiene el globo á t' grados y á la presión A' , es pues, $P + Q$.

Calentado, por último, el peso P' del aire que contendría el globo en las condiciones de temperatura y presión t' y A' , resulta: $D = \frac{P'}{p''} = \frac{P + Q}{p''}$.

Si cuando se introduce el mercurio en el globo, existe aun en este alguna cantidad de aire, no se llenará por completo, pero de todas maneras el volumen del mercurio introducido representará el del vapor.

Densidades de algunos vapores con relacion al aire.

Aire.	1,0000	Vapor de sulfuro de carbono.	2,6447
Vapor de agua.	0,6235	— de fósforo.	4,420.
— de alcohol.	1,6138	— de esencia de trementina.	5,0130
— de azufre.	2,206.	— de mercurio.	6,976.
— de éter sulfúrico.	2,5860	— de yodo.	8,716.

571. **Procedimiento de los Sres. Sainte-Claire Deville y Troost.**—Estos físicos han modificado el método del Sr. Dumas, haciéndole aplicable á los cuerpos que no entran en ebullicion sino á temperaturas superiores á la de fusion del vidrio, reemplazando el globo de dicha sustancia por otro de porcelana vidriada de Bayeux, de cuello largo y estrecho, cerrado con un tapon cónico de la misma materia que permite el desprendimiento de los vapores y que en el momento en que cesa la salida de estos puede fundirse con el soplete de gas oxí-hidrogenado. Dicho globo está colocado en una estufa de vapor de mercurio, de azufre, de cadmio ó de zinc, y por consiguiente sometido á la temperatura de ebullicion de estas sustancias, la cual es conocida de antemano é igual respectivamente á 550, 450, 860 y 1080 grados. Finalmente, en vez de comparar la densidad que buscamos con la del aire tomada por unidad, se la compara con la del yodo que es cerca de nueve veces mayor. Una vez conocido el coeficiente de dilatacion del globo, se termina la operacion de la misma manera que por el procedimiento del Sr. Dumas.

572. **Relacion entre el volumen de un liquido y el de su vapor.**—Conocida la densidad de un vapor, fácilmente se deduce de ella el volumen que, un peso tambien conocido del mismo, debe ocupar en el estado de saturacion, á una temperatura dada. Propongámonos, por ejemplo, calcular el volumen de un gramo de vapor de agua á 100° y á la presión de 0^m,76.

Siendo la densidad del vapor de agua, á 100°, con relacion á la del aire, 0^m,6235, se obtendrá el peso de un litro de aquel á 100° y á la presión de 0^m,76, buscando el de un litro de aire á igual temperatura y presión, y multiplicándole por 0^m,6235. Pero vimos (516, probl. vi) que, representando por P' el peso de un litro de aire á t grados, por P el del mismo volumen á cero, y por α el coeficiente de dilatacion del

aire, resulta $P' = \frac{P}{1 + \alpha t}$; por consiguiente, el peso de un litro de aire seco á 100° es

$$\frac{1\text{gr},295}{1 + 0,00367 \times 100} = \frac{1\text{gr},295}{1,367} = 0\text{gr},946; \text{ de manera que un litro de vapor, saturado á}$$

100° y á la presión de 0^m,76, pesa $0\text{gr},946 \times 0,6235 = 0\text{gr},5898$.

Para obtener á la misma temperatura y á igual presión el volumen V que ocupa un gramo de vapor, no hay mas que dividir 1 gr. por 0^{gr},5898 y resulta $V = 1\text{lit},695 = 1695$ centímetros cúbicos. Al trasformarse el agua en vapor á 100° y á la presión de 0^m,76, adquiere, pues, un volumen cerca de 1700 veces mayor que en el estado líquido.

CAPITULO VI.

HIGROMETRÍA.

573. **Objeto de la higrometría.**—La *higrometría* tiene por objeto determinar la cantidad de vapor de agua existente en un volumen dado de aire. Aunque es muy variable esta cantidad, jamás se halla el aire saturado de vapor de agua, por lo menos en nuestros climas. Tampoco se

observa nunca que se halle completamente seco, porque si se exponen á su accion sustancias *higrométricas*, es decir, de gran afinidad respecto al agua, como son el cloruro de calcio ó el ácido sulfúrico, siempre se observa que dichas sustancias absorben vapor de agua.

374. Estado higrométrico. — Como en general nunca está saturado el aire, se llama *estado higrométrico* ó *fraccion de saturacion* del aire, la razon de la cantidad actual de vapor de agua que contiene á la que contendria si estuviere saturado, supuesta en ambos casos la misma temperatura. El grado de humedad del aire no depende de la cantidad absoluta de vapor acuoso existente en la atmósfera, sino de la mayor ó menor distancia á que aquel se encuentra del estado de saturacion; así, por consiguiente, cuando es frio, puede ser muy húmedo con poco vapor, y muy seco, por el contrario, con una cantidad mayor de vapor, si está caliente. Por ejemplo, el aire contiene, en general, mas agua en el verano que en el invierno, y sin embargo, está menos húmedo, porque siendo la temperatura mas elevada, el vapor dista mas de su punto de saturacion. Del mismo modo cuando se calienta una habitacion, no disminuye la cantidad de vapor que existe en el aire, pero si la humedad de este, porque se retarda su punto de saturacion; y aun puede quedar en este caso bastante seco para perjudicar á la economía animal: por esta razon conviene poner sobre las estufas una vasija que contenga agua.

Como la ley de Mariotte es aplicable lo mismo á los vapores no saturados que á los gases (340), resulta que á igualdad de temperatura y de volúmen, el peso del vapor, en un espacio sin saturar, crece como la presion, y por consiguiente, como la tension del mismo vapor. Podemos sustituir, pues, en vez de la razon de las cantidades de vapor, la de las fuerzas elásticas correspondientes, y decir que el estado higrométrico del aire es *la razon entre la fuerza elástica del vapor de agua que contiene y la del que contendria á igual temperatura, si estuviere saturado.*

Es decir, que representando por f la tension del vapor contenido en el aire, por F la del vapor saturado á la misma temperatura, y por E el estado higrométrico, se tiene

$$E = \frac{f}{F}, \text{ de cuya igualdad se deduce: } f = F \times E.$$

Como consecuencia de esta segunda definicion, debe observarse que si la temperatura varía, puede contener el aire la misma cantidad de vapor, y no presentar, sin embargo, el mismo estado higrométrico. En efecto, aumentando la temperatura, la fuerza elástica del vapor que contendria el aire, en el estado de saturacion, crece con mayor rapidez que la misma fuerza correspondiente al que en la actualidad contiene, y por consiguiente disminuye el valor de la fraccion que representa el estado higrométrico.

Pronto veremos (383) cómo de su estado higrométrico se deduce el peso del vapor contenido en un volúmen dado de aire.

375. Diferentes especies de higrómetros. — Denominanse *higrómetros* los instrumentos que sirven para determinar el estado higrométrico del aire. Muchos son los aparatos que con dicho objeto se han ideado, pero pueden clasificarse todos en cuatro sistemas principales, que son: los *higrómetros químicos*, los *de absorcion*, los *de condensacion* y los *psicrómetros*.

376. Higrómetro químico. — Su procedimiento consiste en hacer pasar un volúmen conocido de aire por una sustancia ávida de agua, por ejem-

plo, el cloruro de calcio. Pesando la sustancia antes y despues del paso del aire, se halla un exceso de peso, que es el del vapor que aquel contenia. Para hacer pasar un volúmen de aire mas ó menos considerable, segun convenga, se dispone el experimento como se ve en la figura 417. Dos receptáculos de laton A y B, de construccion y capacidad idénticas, sirven sucesivamente de aspiradores, fijándolos al efecto en un mismo eje á cuyo alrededor se les hace oscilar alternativamente. Dichos

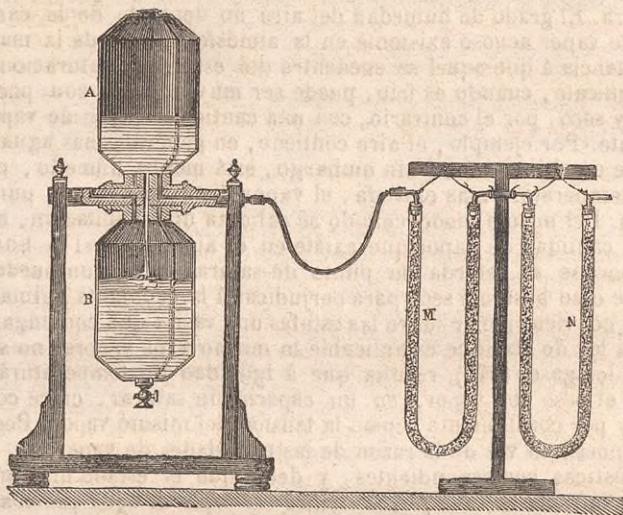


Fig. 417.

receptáculos comunican entre sí por un tubo central, y por otros dos conductos que hay en el eje están siempre en comunicacion, el inferior con la atmósfera, y el superior, mediante un tubo de caucho, con una série de tubos M, N llenos de cloruro de calcio ó de piedra pómez sulfúrica. El primero N, está destinado á absorber el vapor de agua contenido en el aire aspirado, y el segundo, M, detiene el vapor que tiende á pasar de los receptáculos al tubo N.

Lleno de agua el receptáculo inferior y el superior de aire, se hace oscilar el aparato de modo que el líquido corra lentamente de A á B. Haciéndose entonces el vacío en A, entra el aire por los tubos N, M, siendo absorbido en el primero todo el vapor de agua que contenga. Cuando ha pasado toda el agua á B, se vuelve á invertir el aparato, empezando otra vez la misma corriente y aspirándose el mismo volúmen de aire al través del tubo N, y así sucesivamente hasta que haya pasado por el aparato la cantidad de aire que se desee; por consiguiente, si la capacidad de cada receptáculo es, por ejemplo, 10 litros, y si se ha invertido cinco veces el aparato, resulta que han pasado por el tubo N y secándose allí 50 litros de aire. Por tanto, si antes del experimento se ha pesado el tubo N con las materias que contiene, y despues se le vuelve á pesar, el exceso de peso será el del vapor de agua contenido en 50 litros de aire al efectuarse el experimento, deduciéndose luego de este peso, por medio del cálculo, el estado higrométrico de dicho fluido. Este procedimiento es

el mas exacto de todos, pero no presenta el grado de sencillez necesario para las observaciones meteorológicas.

377. **Higrómetros de absorción.**—Estos aparatos están fundados en la propiedad que poseen las sustancias orgánicas de alargarse con la humedad y de acortarse con la sequía. Se conocen varios, pero el mas usado es el *higrómetro de cabello* ó *higrómetro de Saussure*, así llamado por el apellido de su inventor. Este instrumento se compone de un bastidor de cobre (fig. 418) en el cual se halla tenso un cabello *c*, previamente desengrasado en agua que lleve en disolucion una centésima parte de su peso de subcarbonato de sosa; tambien se le puede desengrasar sumergiéndole por veinte y cuatro horas en éter sulfúrico, que es lo que hace Regnault. Si no estuviese limpio el cabello, absorberia poco vapor, y por consiguiente se alargaria muy poco, siendo así que libre de toda materia grasienta, se alarga rápidamente al pasar del estado seco al húmedo.

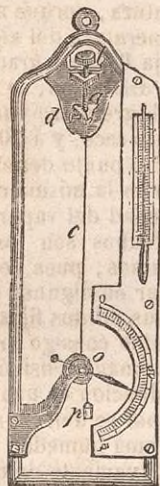


Fig. 418.

Se halla sostenido el cabello *c*, por su extremo superior, por unas pinzas *a* apretadas por un tornillo de presión *d*, cuyas pinzas pueden subir ó bajar para tender el cabello, mediante otro tornillo *b* de tuercas fija. Si estuviese anudado el cabello, la torsion indispensable al efecto ocasionaria un alargamiento irregular. Se arrolla y fija el cabello por el extremo inferior en una polea *o* de dos gargantas, efectuándolo en la segunda garganta, pero en sentido contrario del cabello, un hilo de seda, del cual pende un pequeño peso *p*; finalmente, en el eje de la polea hay una aguja que se mueve sobre un cuadrante ó muestra graduada. Cuando se encoge el cabello, la traccion que ejerce levanta la aguja, y cuando se alarga, el peso *p* la hace descender.

Para graduar la muestra, se marca cero en el punto donde, en el aire completamente seco y á la temperatura ordinaria, se detiene la aguja; 100, allí donde se para cuando el aire está saturado de vapor de agua; y despues se divide el intervalo entre estos dos puntos en 100 partes iguales, que son los grados del higrómetro.

El cero, ó el punto de sequía extrema, se determina colocando el higrómetro debajo de una campana de vidrio, cuyo aire se seca por medio de sustancias muy ávidas de agua, como son el cloruro de calcio ó el carbonato de potasa calcinado. El aire de la campana va perdiendo su humedad, y de consiguiente, se acorta el cabello, haciendo girar la polea y su aguja, pero con mucha lentitud; pues hasta pasados quince ó veinte dias, no queda aquella estacionaria, lo cual indica, que el aire de la campana está completamente seco. Señálase entonces cero en el punto de la muestra donde se detiene la aguja.

Se obtiene la situacion del punto de extrema humedad, quitando de la campana las materias desecantes, y mojando sus paredes con agua destilada. Al evaporarse esta, satura muy pronto el aire, alargándose con rapidez el cabello; entonces el pequeño peso *p*, cuyo hilo se arrolla en sentido contrario que aquel, mueve la aguja tambien en sentido opuesto al cero. En menos de dos horas vuelve á quedar estacionaria, marcándose entonces 100, en el punto en que se para.

Segun Saussure, un cabello tenso por un peso de 3 decigramos, se alarga de cero á 100, $\frac{1}{16}$ de su longitud, que es de unos 20 centímetros. Los cabellos rubios son los que, al parecer, se alargan con mayor regularidad.

Se desprecia la dilatacion del cabello debida á las variaciones de temperatura, porque se ha observado que, por una diferencia de 33° en la temperatura del aire, el alargamiento del cabello solo hace recorrer á la aguja 0,75 de grado del higrómetro. Haciendo abstraccion de esta exígua dilatacion, se observa que, sea cual fuere la temperatura, la aguja del higrómetro vuelve siempre exactamente al cero en el aire perfectamente seco, y á 100 grados en el que se halla saturado. La fijeza de este último punto demuestra que, en el aire saturado, absorbe siempre el cabello la misma cantidad de agua, sean cuales fueren la temperatura y densidad del vapor.

Muchos son los inconvenientes que ofrecen los higrómetros de que tratamos, pues contruidos con cabellos de diferentes especies, pueden variar en algunos grados sus indicaciones, por mas que estén acordes en sus puntos fijos. Además, un mismo higrómetro no es siempre comparable consigo mismo, pues con el tiempo se alarga el cabello por la continuada tension del peso que sostiene. Por eso el mejor sistema de graduacion es una muestra enteramente circular, de cero arbitrario, en la cual se determina de cuando en cuando la posicion de los puntos de extrema humedad y sequía. El higrómetro de cabello presenta tambien el inconveniente de que sus indicaciones no dan inmediatamente el estado higrométrico del aire, el cual se deduce de ellas por medio de una tabla construida al efecto por Gay Lussac.

378. **Tabla de correccion de Gay-Lussac.** — La experiencia demuestra que las indicaciones del higrómetro de cabello no son proporcionales al estado higrométrico del aire. Por ejemplo, cuando marca la aguja 50 grados, que es el número que corresponde á la mitad de la graduacion, dista mucho de ofrecer el aire una semi-saturacion; ha sido, pues, preciso determinar experimentalmente el estado higrométrico que corresponde á cada grado del instrumento. Gay-Lussac resolvió este problema fundándose en que los vapores resultantes de una disolucion salina ó ácida tienen una tension máxima, tanto mas débil para una misma temperatura, cuanto mayor es la cantidad de sal ó de ácido disueltos (344).

Colocaba Gay Lussac el higrómetro de cabello debajo de una campana donde habia una mezcla de agua y ácido sulfúrico, y anotaba el grado del higrómetro, despues de saturado el aire. Para obtener la tension correspondiente del vapor, hacia pasar á la cámara barométrica algunas gotas de la misma disolucion salina que habia puesto debajo de la campana, y la depresion del mercurio en el barómetro le daba entonces la tension del vapor, puesto que, en el estado de saturacion y en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de un vapor es la misma en el vacío que en el aire (366, 1.º). Buscando, por fin, en las tablas de las fuerzas elásticas la tension del vapor saturado á la temperatura del aire de la campana, tenia los dos términos de la razon que representaba el estado higrométrico correspondiente al grado marcado por el higrómetro (374). Repitiendo este experimento con disoluciones ácidas, mas ó menos concentradas y á la temperatura de 10°, encontró diez términos de la tabla siguiente, completándola luego Biot por medio de fórmulas de interpolacion.

Estados higrométricos correspondientes á los grados del higrómetro de cabello á la temperatura de 10°.

GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.	GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.
0	0,000	55	0,518
5	0,032	60	0,565
10	0,046	65	0,414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,500
25	0,120	75	0,558
50	0,148	80	0,612
55	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0,791
45	0,241	95	0,891
50	0,278	100	1,000

La tabla anterior manifiesta que á 72 grados está semi-saturado el aire; y como á este punto corresponde las mas de las veces la aguja del higrómetro en la superficie de la tierra, se deduce de aquí que el aire contiene por término medio la mitad del vapor que contendría si estuviese saturado. En nuestros climas nunca baja el higrómetro hasta 100 grados, aun cuando reinen las mas copiosas lluvias; y en las mayores sequías, raras veces sube mas allá de los 30 grados. Cuanto mas alta es la region de la atmósfera en que se observa, mas se aproxima á cero el estado higrométrico.

Segun Gay-Lussac, su tabla de correccion podia aplicarse á todos los higrómetros de cabello; pero el Sr. Regnault ha visto que las indicaciones de estos instrumentos varian con la naturaleza de los cabellos, con su color, con su finura y con el sistema adoptado para desengrasarlos; de suerte que, para obtener indicaciones exactas, es preciso una tabla particular para cada higrómetro, lo cual prueba cuán poco exactos son estos instrumentos y cuántas dificultades ofrece su empleo.

379. Higrómetro de condensacion de Daniell — Los higrómetros de condensacion tienen por objeto dar á conocer, por medio del enfriamiento del aire, á qué temperatura el vapor que contiene seria suficiente para saturarle; tales son los higrómetros de Daniell y el de Regnault.

El *higrómetro de Daniell* consta de dos esferas de vidrio, reunidas por un tubo doblemente acodillado (fig. 419). La esfera A está llena hasta los dos tercios de éter, en el cual está sumergido el depósito de un pequeño termómetro encerrado en el tubo. Las dos esferas y el tubo se hallan completamente purgadas de aire, lo cual se consigue haciendo hervir el éter de la esfera A, mientras que la B está aun abierta, y cerrando esta á la lámpara cuando se juzga que los vapores de éter han arrastrado todo el aire, de suerte que el tubo y la esfera B no contienen mas que vapor de éter.

Envuelta en muselina la esfera B, se vierte sobre ella éter, gota á gota, con objeto de que, al evaporarse, enfrie la esfera (358) y condense los vapores que contiene. Disminuye entonces la tension interior; el éter de la esfera A emite acto continuo nuevos vapores, que van á condensarse

de igual modo en la otra esfera, y así sucesivamente. A medida que el líquido se va así destilando de la esfera inferior A á la superior B, llega un momento en que el aire, que está en contacto con la primera y que se enfria al mismo tiempo que ella, llega á la temperatura á que el vapor de agua que aquel contiene es suficiente para saturarle. Condénsase entonces dicho vapor, depositándose en la esfera A una capa de rocío que la rodea á manera de un anillo situado á la altura de la superficie del líquido, porque allí es efectivamente donde, sobre todo, se produce el enfriamiento originado por la evaporacion. El termómetro interior indica en aquel instante la temperatura del *punto de rocío*, es decir, la temperatura de saturacion del aire ambiente.

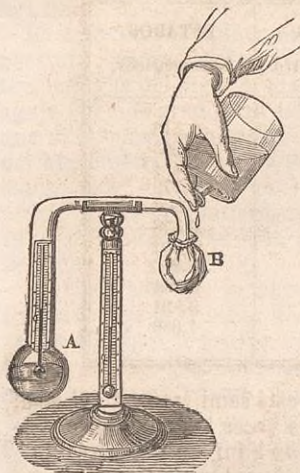


Fig. 419.

Para obtener este punto con mas aproximacion, se observa la temperatura á que desaparece el vapor precipitado, por haberse vuelto á calentar el instrumento, y se toma el promedio entre esta y la de precipitacion. El higrómetro debe estar expuesto durante el experimento á una corriente de aire, en una ventana abierta por ejemplo, á fin de que la evaporacion del éter sobre la temperatura del aire se observa en un termómetro situado en el pié mismo del aparato.

Conociendo ya por el higrómetro de Daniell la temperatura á que estaria saturado el aire, se trata ahora de deducir de ella el estado higrométrico. Obsérvese, al efecto, que en un espacio libre que contiene una mezcla de aire y de vapor, á la presion atmosférica, la fuerza elástica del vapor permanece constante hasta el punto de saturacion cuando baja la temperatura. En efecto, la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas de cada fluido (366, 2.^a), y mientras se enfria el aire, permanece invariable su tension, pues aumenta tanto por la disminucion de volúmen, cuanto disminuye por el descenso de temperatura. La tension del vapor debe, por consiguiente, permanecer invariable, supuesto que la fuerza elástica de la mezcla es necesariamente igual á la presion atmosférica, lo mismo antes que despues del enfriamiento. Por lo tanto, *cuando se enfria el aire, la tension del vapor que contiene permanece invariable hasta el punto de saturacion, en el cual dicha tension es la misma que antes del enfriamiento.*

En virtud de este principio, si se busca en las tablas de las fuerzas elásticas la tension f , correspondiente á la temperatura del punto de rocío, esta será precisamente la que posea el vapor de agua existente en el aire en el momento del experimento. Si se busca luego en las mismas tablas la tension F del vapor saturado á la temperatura del aire, el cociente $\frac{f}{F}$ representará su estado higrométrico (374). Supongamos, por ejemplo, que siendo 15° la temperatura del aire ambiente, el termómetro de la esfera A marca 5° al precipitarse el rocío. Buscando en las tablas de las

fuerzas elásticas las tensiones que corresponden á 5° y 15° respectivamente, se encuentra $f = 6^{\text{mm}},544$ y $F = 12^{\text{mm}},699$; sustituyendo estos valores en la razón $\frac{f}{F}$ y efectuando la division, resulta que el estado higrométrico es 0,514.

El higrómetro de Daniell presenta varias causas de error, siendo las principales las dos siguientes: 1.^a como la evaporacion en la esfera A solo enfria la superficie del líquido, el termómetro que en él se introduce no puede dar con precision la temperatura del punto de rocío; y 2.^a el observador, colocado junto al aparato, modifica la temperatura y el estado higrométrico del aire ambiente.

380. **Higrómetro del Sr. Regnault.** — Este físico construyó un higrómetro de condensacion que no presenta las causas de error que el de

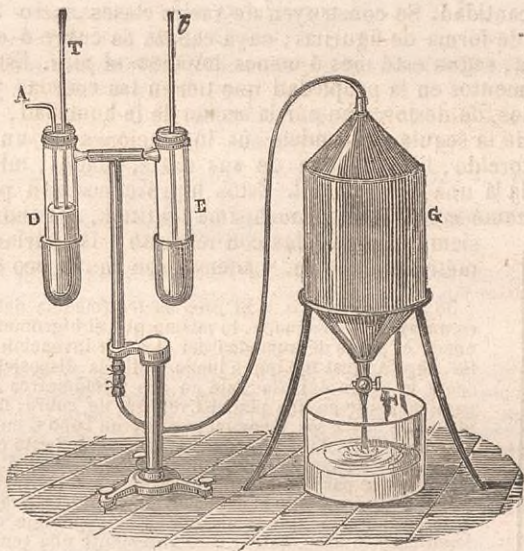


Fig. 420.

Daniell. Consiste el aparato en dos dedales de plata, de paredes delgadas y bruñidas, de 45 milímetros de altura y 20 de diámetro (figura 420), en los cuales se ajustan dos tubos de vidrio D y E; cada uno de ellos contiene un termómetro muy sensible, sujeto con un tapon. El tapon del tubo D está tambien atravesado por otro tubo A, abierto por sus dos extremos, uno de los cuales llega hasta el fondo del dedal. El tubo D comunica además por el mismo pié del sosten y por un tubo de plomo, con un aspirador G lleno de agua. El tubo E no comunica con el aspirador, y solo contiene el termómetro en el cual se observa la temperatura del aire.

Para hacer funcionar el higrómetro se pone éter en el tubo D hasta la mitad de su capacidad, y luego se abre la llave del aspirador, á fin de que salga el agua y se enrarezca el aire del citado tubo. Por efecto de la

presión atmosférica, entra entonces aire por el tubo A; pero como no puede penetrar en el D ni en el aspirador, sin pasar al través del éter, vaporiza una parte de este líquido, enfriándole tanto mas pronto, cuanto mas rápida sea la corriente del aspirador. Llega un instante en que el enfriamiento determina sobre el dedal un depósito de rocío, lo mismo que en el higrómetro de Daniell, y observando en el termómetro T la temperatura correspondiente, se poseen ya los elementos necesarios para calcular el estado higrométrico.

En este instrumento se halla toda la masa del éter á la misma temperatura, á causa de la agitación que le imprime la corriente de aire; y las observaciones se efectúan á cierta distancia por medio de un antejo, consiguiéndose de esta manera evitar las causas de error que antes mencionamos en el higrómetro de Daniell.

381. Higróscopos. — Dáse el nombre de *higróscopos* á unos aparatos que indican si hay mas ó menos vapor de agua en el aire, pero sin dar á conocer su cantidad. Se construyen de varias clases, pero los mas usados son los de forma de figuritas, cuya cabeza se cubre ó descubre con una capucha, segun esté mas ó menos húmedo el aire. Están fundados estos instrumentos en la propiedad que tienen las cuerdas y los intestinos retorcidos, de destorcerse por la acción de la humedad, y de torcerse mas por la de la sequía. Dependen sus indicaciones de un pedacito de intestino retorcido, fijo por una de sus extremidades, mientras que la otra va unida á una pieza móvil. Estos higróscopos son perezosos, es decir, que como marchan con muchísima lentitud, sus indicaciones van siempre retrasadas con respecto á las variaciones higrométricas del aire, y además son muy poco sensibles.

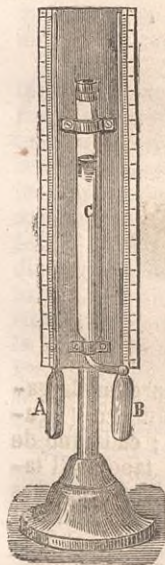


Fig. 421.

382. Psicrómetro. — El *psicrómetro* (medida del enfriamiento) es un aparato destinado, lo mismo que el higrómetro, á dar á conocer el grado de humedad del aire. Su invención se debe á Leslie, pero August fué quien luego le dió la disposición que representa la figura 421. Consiste en dos termómetros A y B, situados paralelamente en una plancha vertical de cobre; fijo en la misma plancha y entre los termómetros hay un tubo C en el cual se pone agua destilada. El depósito del termómetro B está envuelto en una muselina constantemente humedecida merced á una torcida de algodón que parte del pequeño orificio inferior del tubo C, siempre abierto, estando el superior tapado herméticamente.

La evaporación que se origina en la superficie del termómetro le enfria y le hace marcar constantemente una temperatura tanto mas baja respecto á la del termómetro A, cuanto mas rápida es la evaporación, es decir, cuanto menos humedad hay en el aire. De aqui se deduce la tensión x del vapor de agua en el aire ambiente por medio de la siguiente fórmula:

$$M(t-t') = \frac{F' - x}{A} \quad [1],$$

en la cual t representa la temperatura del termómetro seco, t' la del termómetro húmedo, F' la tensión del vapor saturado á t' grados, A la presión atmosférica, y M un coeficiente indeterminado.

El primer miembro de la fórmula [1] representa el calor que recibe el termómetro húmedo, el cual, segun la ley de Newton (412), es proporcional á la diferencia $t-t'$, y el segundo miembro representa el calor absorbido por la evaporación, que, segun Dalton, es directamente proporcional á la diferencia $F'-x$, é inversamente á la presión A . Pero cuando el termómetro húmedo adquiere una temperatura fija t' , las cantidades de calor que pierde y recibe son necesariamente iguales; por lo tanto igualando dichas expresiones resulta la fórmula [1].

Para aplicar esta fórmula hay que comenzar por calcular el coeficiente M , con cuyo objeto se determina x por medio del higrómetro de Regnault, y substituyendo el valor que se obtenga, en vez de x , en la ecuación 1, esta dará el de M para otros particulares de $t - t'$, de F' y de A . Considerando como constante dicho valor de M é introduciéndole en la citada ecuación, ya es posible calcular con ella los valores de x correspondientes á los diferentes valores de t y t' observados en el psicrómetro. El señor Regnault ha probado que el valor del coeficiente M varia entre 0,00075 y 0,00150, segun que el aire esté muy seco ó muy húmedo, y además, que tambien influye en dicho valor la rapidez con que se renueva el aire y la situacion del psicrómetro, segun se halle expuesto al aire libre ó resguardado de este: de todo lo cual resulta que las indicaciones de este instrumento ofrecen siempre poca exactitud.

385. Problemas sobre la higrometria.—I. Calcular el peso del vapor de agua contenido en un volúmen de aire V , á la temperatura t , marcando m grados el higrómetro de cabello, y siendo $\frac{5}{8}$ la densidad del vapor con relacion á la del aire.

En la tabla de Gay-Lussac (378) se encuentra el estado higrométrico E que corresponde á m grados del higrómetro, y en las de las fuerzas elásticas se halla la tension F del vapor saturado á t grados; por consiguiente, la igualdad $f = F \times E$ (574), nos da á conocer la fuerza elástica f del vapor cuyo peso buscamos.

Conocida esta y sabiendo que 1 litro de aire á cero y á la presion de 76^{cm}, pesa 1^{gr},295, su peso á t° y á la presion f será $\frac{1^{\text{gr}},295 \times f}{(1 + \alpha t)76}$ (516, probl. vi); por consiguiente,

1 litro de vapor cuya densidad sea $\frac{5}{8}$, pesa á la misma temperatura é igual presion,

$$\frac{1^{\text{gr}},295 \times f \times 5}{(1 + \alpha t)76 \times 8};$$

por lo tanto, el peso del vapor contenido en V litros de aire á t grados, siendo E el estado higrométrico, es $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V \times f \times 5}{(1 + \alpha t)76 \times 8}$, cuyo valor es independiente de la presion atmosférica.

II. Calcular el peso P de un volúmen V de aire húmedo, cuyo estado higrométrico es E , á la temperatura t y á la presion A , siendo la densidad del vapor con relacion á la del aire $\frac{5}{8}$.

Para resolver este problema, conviene recordar la segunda ley de las mezclas de los gases con los vapores, segun la cual el volúmen de aire propuesto no es otra cosa que una mezcla de V litros de aire seco á t grados y á la presion A , menos la del vapor, y de V litros de vapor á t grados y á la presion dada por el estado higrométrico; por lo tanto, debemos determinar aisladamente el peso del aire y el del vapor.

La fórmula $f = F \times E$ sirve para calcular la tension f del vapor que existe en el aire, puesto que conocemos el valor E y el de F se encuentra en las tablas de las fuerzas elásticas. Conocida la tension f , si representamos por f' la tension del aire, tendremos $f + f' = A$, de la cual se deduce $f' = A - f = A - FE$.

Queda por lo tanto reducida la cuestion á calcular el peso de V litros de aire seco á t grados y á la presion $A - FE$, y despues el de V litros de vapor tambien á t grados, pero á la presion FE . Pero como sabemos que V litros de aire seco á t grados y á la

presion $A - FE$ pesan $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V(A - FE)}{(1 + \alpha t)76}$, y que, segun hemos visto en el problema anterior,

V litros de vapor á t grados y á la presion FE , pesan $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V \times FE \times 5}{(1 + \alpha t)76 \times 8}$; si se efectúa la suma de los dos pesos obtenidos y se hacen las reducciones necesarias resulta:

$$P = \frac{1^{\text{gr}},295 \times V \left(A - \frac{5}{8} FE \right)}{(1 + \alpha t)76} \quad [A].$$

Si el aire se encontrase saturado, tendríamos $E = 1$, y entonces esta fórmula se trasformaría en la que ya hemos deducido para las mezclas de los gases con los vapores saturados (367, probl. iii).

Si $V = 1$ litro, P representa el peso de dicha unidad de aire á la temperatura t , á la presión A y al estado higrométrico E ; es decir, la cantidad x que entra en las fórmulas dadas anteriormente para la corrección de los pesos específicos de los sólidos y de los líquidos (514).

Como la fórmula [A] contiene además del peso P , otras cantidades variables V, E, A, t , podemos, tomando sucesivamente cada una de estas cantidades como incógnita, proponer la solución de tantos problemas cuantas son aquellas, lo cual se conseguiría resolviendo la ecuación [A] con relación á $V, á E, á A, ó á t$; sirva como ejemplo el problema siguiente.

III. Calcúlese á t grados y á la presión A , el volúmen de un peso de aire P , cuyo estado higrométrico sea E , la densidad del vapor $\frac{5}{8}$, y conocida su tensión máxima F á t grados, en las tablas de las fuerzas elásticas.

Resolviendo con relación á V la ecuación [A] del problema anterior, resulta:

$$V = \frac{P(1 + \alpha t)76}{1^{\text{er}}, 295 \left(A - \frac{5}{8} FE \right)} \quad [B].$$

También podemos resolver directamente este problema. Para efectuarlo, siendo el peso P una mezcla de aire seco á t grados y á la presión $A - FE$, y de vapor á t grados y á la presión FE , representemos por x el peso del aire y por y el del vapor; además, según el enunciado, se tiene $x + y = P$ [1]. Siendo la densidad del vapor los $\frac{5}{8}$ de

la del aire, y debe ser igual á los $\frac{5}{8}$ de x á una presión igual; pero como el volúmen de aire que se busca pesa x á la presión $A - FE$, su peso á la presión FE , que es la del vapor, solo será $\frac{x \times FE}{A - FE}$; por consiguiente,

$$y = \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{A - FE}.$$

Sustituyendo este valor en la ecuación [1], se trasformará en

$$x + \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{A - FE} = P, \quad \text{de donde} \quad x = \frac{P(A - FE)}{A - \frac{5}{8} FE}.$$

Conocido ya el peso del aire, se obtendrá su volúmen en litros, averiguando las veces que dicho peso contiene el de un litro de aire á t grados y á la presión $A - FE$; y como un litro de aire á cero grados y á la presión de 76^{cm} , pesa $1^{\text{er}}, 295$, su peso á t grados y á la presión $A - FE$, será $\frac{1^{\text{er}}, 295 (A - FE)}{(1 + \alpha t)76}$. Así, pues, obtendremos por último

$$V = \frac{P(A - FE)}{A - \frac{5}{8} FE} : \frac{1^{\text{er}}, 295 (A - FE)}{(1 + \alpha t)76} = \frac{P(1 + \alpha t)76}{1^{\text{er}}, 295 \left(A - \frac{5}{8} FE \right)},$$

que es la misma fórmula [B], que hemos obtenido anteriormente.

CAPITULO VII.

CALORIMETRÍA Y EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR.

584. **Objeto de la calorimetría: caloría.** — El objeto de la *calorimetría* es medir la cantidad de calor que ceden ó absorben los cuerpos cuando su temperatura aumenta ó disminuye un número de grados conocido, ó cuando cambian de estado.

No es posible medir la cantidad absoluta de calor que pierde ó gana un cuerpo, sino solamente la relativa, esto es, la relacion entre la cantidad absoluta perdida ó ganada por el cuerpo y la que pierde ó gana otro que se halle en iguales condiciones. El cuerpo elegido como término de comparacion es el agua, y se ha convenido en tomar como *unidad de calor*, ó *caloría*, la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 1 grado la temperatura de un kilogramo de agua.

585. **Calores específicos.** — Llámase *calor específico* ó *capacidad calorífica* de un cuerpo, la cantidad de calor que absorbe al subir su temperatura de cero á 1 grado, comparada con la que absorbería en el mismo caso un peso igual de agua; es decir, que así como se ha elegido por unidad de las densidades la del agua, se toma también

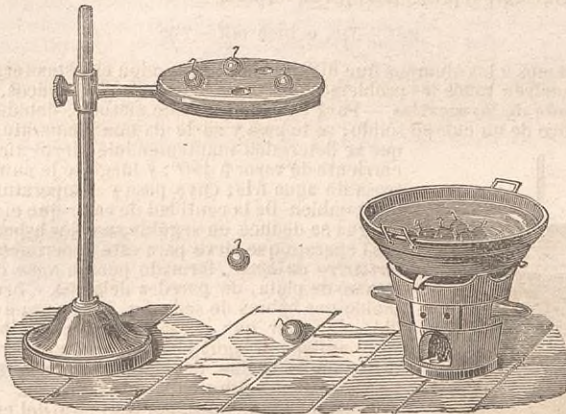


Fig. 422.

por unidad de los calores específicos el del mismo líquido, resultando de aquí que los números que representan los calores específicos, como también los que representan las densidades, no son otra cosa que relaciones.

Fácil es probar que no todos los cuerpos poseen el mismo calor específico, pues si se mezcla, por ejemplo, un kilogramo de mercurio á 100° con otro de agua á cero, la temperatura de la mezcla solo llega á unos 5°; es decir, los 97° de calor que ha perdido el mercurio hacen subir solamente 5° á la misma cantidad, en peso, de agua. Este líquido absorbe, pues, en igualdad de peso, unas 52 veces más calor que el mercurio, supuesta una misma temperatura.

Demuéstrase asimismo que las diversas sustancias, bajo el mismo peso y á igual temperatura, contienen cantidades diferentes de calor, por medio del siguiente experimento de Tyndall. Se echa en un molde de cera amarilla en cantidad suficiente para hacer una torta de 15 á 20 centímetros de diámetro y de unos 12 milímetros de espesor, y ya fría, se la coloca en un sosten anular (fig. 422). Caliéntanse entonces en un baño de aceite á 180°, unas balitas de hierro, cobre, estaño, plomo, bismuto, etc., todas del mismo peso, y cuando han tomado la temperatura del baño, se sacan y posan sobre la torta de cera, viéndose que todas la funden, aunque con velocidades desiguales: el hierro se implanta en ella al momento y la atraviesa; después sigue el cobre; el estaño se implanta también, pero sin atravesarla; y en fin, el plomo y el bismuto no llegan á fundir siquiera la mitad de su grueso. De donde se deduce que, aunque de igual peso y á la misma temperatura, la bala de hierro contiene más calor que la de cobre, esta más que la de estaño, y así sucesivamente.

Tres métodos se han empleado para determinar el calor específico, á saber: el de la fusión del hielo, el de las mezclas y el del enfriamiento: el último consiste en calcu-

lar el calor específico de un cuerpo por el tiempo que este tarda en enfriarse un cierto número de grados. Solo vamos á exponer los dos primeros métodos; pero antes importa dar á conocer el modo de medir la cantidad de calor absorbido por un cuerpo, cuya masa y calor específico conozcamos, cuando su temperatura aumenta cierto número de grados.

586. Medición del calor sensible absorbido por los cuerpos.—Sea m el peso de un cuerpo en kilogramos, c su calor específico y t su temperatura. Tomando por unidad la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 1 grado un kilogramo de agua, es claro que se necesitarán m unidades de estas para elevar de cero á 1 grado un peso de m kilogramos del mismo líquido; y para hacer subir este último peso de cero á t grados, se requerirán t veces más, esto es, mt . Supuesto que tal es la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á t grados m kilogramos de agua, cuyo calor específico es 1, es evidente que para un cuerpo del mismo peso, y cuyo calor específico es c , serán menester c veces mt , ó mtc . De donde se deduce que cuando se calienta un cuerpo de cero á t grados, la cantidad de calor que absorbe puede representarse por el producto que resulta de multiplicar su peso por el número de grados á que se calienta, y por su calor específico.

Si el cuerpo se calienta ó se enfria de t á t' grados, el calor absorbido ó perdido es tará respectivamente representado por la fórmula

$$m(t' - t)c, \text{ ó bien } m(t - t')c.$$

Recomendamos á los alumnos que fijen mucho su atención en estas fórmulas, por que ellas resuelven todos los problemas acerca de los calores específicos.

587. Método de las mezclas.—Para calcular por este método, debido á Black, el calor específico de un cuerpo sólido, se le pesa y se le da una temperatura conocida, que se determina manteniéndole cierto tiempo en una corriente de vapor á 100°; y luego se le sumerge en una masa de agua fría, cuyo peso y temperatura se conocen también. De la cantidad de calor que el cuerpo cede al agua se deduce en seguida su calor específico.

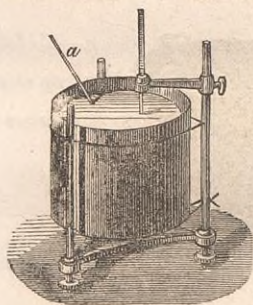


Fig. 425.

El aparato que sirve para este experimento es un *calorímetro de agua*, formado por un vaso cilíndrico de latón ó de plata, de paredes delgadas y bruñidas, sostenido por hebras de seda (fig. 425), para evitar la pérdida de calor que ocasiona la conductibilidad. Este vaso se llena de agua en la que se sumerge un termómetro muy sensible, debiéndose agitar el líquido mientras se calienta con una varilla de vidrio.

Representemos, pues, por M el peso del cuerpo, por T su temperatura en el momento de introducirle en el líquido, y por c su calor específico; sean de igual manera m el peso del agua fría y t su temperatura; y por último m' el peso del vaso que contiene el agua, c' su calor específico y θ su temperatura, que es evidentemente la del agua.

Apenas se introduce el cuerpo caliente en el líquido, aumenta la temperatura de este; y si representamos por θ la mas alta á que llegue, se ve que se ha enfriado el cuerpo un número de grados igual á $(T - \theta)$, y perdido de consiguiente una cantidad de calor que tiene por medida $Mc(T - \theta)$. El agua y el vaso se han calentado, por el contrario, un número de grados igual á $(\theta - t)$, y absorbido respectivamente cantidades de calor iguales á $m(\theta - t)$ y á $m'c'(\theta - t)$, puesto que el calor específico del agua es la unidad. Pero la cantidad de calor que cede el cuerpo caliente, equivale evidentemente á la suma de las cantidades absorbidas por el agua y el vaso; de manera que tenemos la ecuación

$$Mc(T - \theta) = m(\theta - t) + m'c'(\theta - t), \quad [1],$$

de la cual es fácil deducir el valor de c , una vez conocido el calor específico c' del vaso; si no le conociéramos habria que principiar por determinarle introduciendo en el agua un cuerpo caliente de la misma materia que el vaso, y por lo tanto, del mismo calor específico. Entonces la ecuación anterior toma la forma

$$Mc'(T - \theta) = m(\theta - t) + m'c'(\theta - t), \quad [2],$$

y resolviéndola con relación á c' , que es ahora la única incógnita, se halla

$$c' = \frac{m(\theta - t)}{M(T - \theta) - m'(\theta - t)}.$$

Conocido ya el calor específico del vaso, se puede resolver la ecuacion [4], para lo cual, poniendo en el segundo miembro $\theta - t$ como factor comun, se obtiene $Mc(T - \theta) = (m + m'c')(\theta - t)$ [5]; y dividiendo ambos miembros por $M(T - \theta)$ tendremos

$$c = \frac{(m + m'c')(\theta - t)}{M(T - \theta)} \quad [4].$$

El valor de c suele tambien expresarse bajo esta otra forma: $c = \frac{(m + \mu)(\theta - t)}{M(T - \theta)}$ [5],

para lo cual no hay mas que hacer $m'c' = \mu$; es decir, que μ es el peso de agua que absorberia la misma cantidad de calor que el vaso, lo cual se expresa diciendo que el vaso está *reducido* á agua.

En el procedimiento que acabamos de describir, á fin de precaver la pérdida de calor debida á la radiacion, se hace un experimento preliminar con el cuerpo mismo cuyo calor específico se busca á fin de conocer de un modo aproximado el número de grados que debe subir la temperatura del agua y del vaso sobre la del ambiente. Si este número es, por ejemplo, 10° , se enfrian el agua y el vaso á la mitad, es decir, se les da una temperatura 5° inferior á la del aire ambiente, procediéndose luego al experimento definitivo. Como la temperatura del agua aumenta entonces casi 10° , resulta que la temperatura de la vasija, que era en un principio 5° inferior á la del recinto, es al fin del experimento 5° superior á la de este. Hay, pues, una compensacion entre la pérdida y la absorcion de calor producidas por la radiacion durante el experimento.

Finalmente, para que el método de las mezclas ofrezca toda la exactitud conveniente, debe tenerse en cuenta el calor absorbido por el termómetro.

388. Aparato del Sr. Regnault para el método de las mezclas. — La figura 425

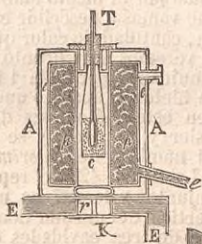


Fig. 424.

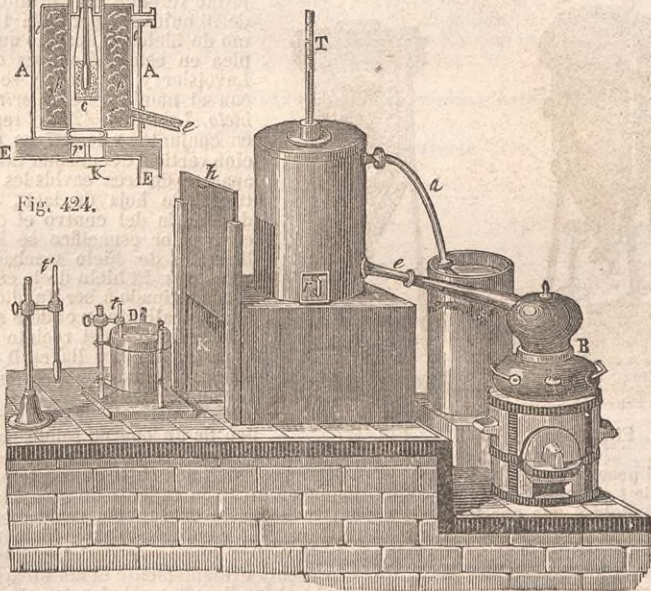


Fig. 425.

representa el aparato adoptado por este físico para la investigación de los calores específicos por el método de las mezclas.

La pieza principal de este aparato es una estufa AA, cuya sección vertical está representada por la figura 424. Se compone de tres cavidades concéntricas: en la cen-

tral está suspendido por medio de hebras de seda un cestito *c* de alambre de latón, donde se coloca, hecha trozos, la sustancia que se somete al experimento. Un termómetro *T*, cuyo depósito se halla situado entre estos fragmentos, marca la temperatura. Por la segunda cavidad *pp* circula una corriente de vapor que llega por un tubo *e*, procedente de una caldera *B*, y se marcha luego por otro tubo *a* á un serpentín, donde se condensa; y finalmente, la tercera *ii* está llena de aire á fin de impedir la pérdida de calor. Debajo de la estufa hay un recinto *K* de dobles paredes *EE*, que forman un depósito constantemente lleno de agua fría, á fin de evitar la trasmisión del calor que proviene de la estufa ó de la caldera. Finalmente, la cavidad central de la estufa está cerrada por un registro *r* que se abre á voluntad, pudiéndose entonces pasar el cestito *c* de la estufa á la cámara *K*.

A la izquierda de la estufa se ve un vasito de latón *D* (fig. 425) de paredes muy delgadas, el cual está suspendido por hebras de seda sobre un carretoncillo que puede entrar y salir en el recinto *K*. Este vaso, destinado á servir de calorímetro, está lleno de agua, y sumergido en ella un termómetro *t* que marca su temperatura. Por último, otro termómetro *t'*, situado cerca de los aparatos, marca la del aire ambiente.

Dispuesto así el aparato, cuando el termómetro *T* indica que la sustancia del cestito *c* ha tomado una temperatura estacionaria, lo cual tiene lugar pasadas dos horas y media ó tres, se levanta la trampilla *h*, y se mete dentro de la cámara el vaso *D* de manera que corresponda exactamente debajo de la cavidad central de la estufa. Tirando entonces del registro *r*, se dejan caer de golpe en el agua del vaso *D* el cestito *c* y las sustancias que contiene, menos el termómetro *T*, que queda fijo al tapon que le sujeta. Sacando al momento el carretoncillo y el vaso *D*, se remueve el agua de este hasta que el termómetro *t* quede estacionario. La temperatura que entonces indica este es la que se ha representado por θ en la fórmula del párrafo anterior. Conocida esta temperatura, lo restante del cálculo se efectúa como ya queda dicho; pero debe tambien tenerse en cuenta el calor cedido al calorímetro por el cestillo de latón. Regnault tomó además en consideracion el que es absorbido por el medio ambiente.

589. Método de la fusion del hielo.—El método que vamos á describir está fundado en el calor latente absorbido por el hielo al fundirse, cantidad de calor que,

conforme veremos muy pronto (595) es de 79 unidades por cada 1 kilogramo de hielo. El aparato que se emplea en este método es debido á Lavoisier y Laplace, y se designa con el nombre de *calorímetro de hielo*. La figura 426 le representa en conjunto, y la 427 es una seccion vertical del mismo. Consta este aparato de tres cavidades concéntricas de hoja de lata, colocándose en la del centro el cuerpo *M* cuyo calor específico se busca, y llenando de hielo machacado las otras dos. El hielo de la cavidad *A* está destinado á ser fundido por el cuerpo caliente, y el de *B* se opone á la radiacion del recinto sobre el aparato. Las dos llaves *D* y *E* dan salida al agua que proviene de la fusion del hielo.

Para determinar el calor específico de un cuerpo sólido por medio de este calorímetro, se halla primero

el peso *m* de dicho cuerpo, en kilogramos, despues se le da una temperatura conocida *t*, sumergiéndole por algun tiempo en un baño caliente de agua ó aceite, ó exponiéndole á una corriente de vapor; trasládasele en seguida rápidamente á la cavidad central, colocando de nuevo las tapaderas y cubriéndolas de hielo (fig. 427). Recógese entonces el agua que sale por la llave *D*, y luego que cesa la salida, se determina en kilogramos su peso *P*, que representa evidentemente el del hielo fundido. Supuesto que un kilogramo de hielo absorbe al fundirse 79 unidades de calor, *P* kilogramos han absorbido *P* veces 79 unidades. Por otra parte, esa cantidad de calor es necesariamente igual á la que perdió el cuerpo *M* mientras se estuvo enfriando desde *t* á cero grados, es decir, á *mtc* (586). Se tiene, pues, la igualdad

$$mtc = 79P; \text{ de donde } c = \frac{79P}{mt}$$

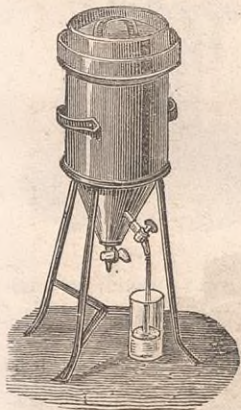


Fig. 426.

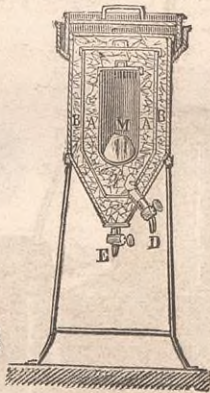


Fig. 427.

El método del calorímetro de hielo presenta muchas causas de error, consistiendo la principal en que parte del agua de fusión queda adherida al hielo no fundido; de suerte que el peso P no puede valuarse con exactitud. Además, el aire exterior que entra en el calorímetro por las llaves, aumenta la cantidad de hielo fundido. Obviáanse en parte estos inconvenientes, sustituyendo al calorímetro, como hacia Black, el *pozo de hielo*. Dáse este nombre á una cavidad abierta con un hierro candente en un trozo de hielo compacto, y en la cual se coloca el cuerpo cuyo calor específico se busca, despues de haberle dado una temperatura conocida (fig. 428). Al abrir el agujero, con el mismo hierro candente, se deja perfectamente plana la superficie donde está el orificio, y lo propio se hace con otro pedazo de hielo, á fin de que, colocándole encima, quede aquel completamente cerrado. Cuando se juzga que el cuerpo se ha enfriado hasta cero, se saca juntamente con el agua de fusión, y despues de determinado el peso de esta, no hay mas que sustituirlo en la fórmula anterior.

590. **Calor específico de los líquidos.**— Puede determinarse igualmente por el método del enfriamiento, por el de las mezclas ó por el del calorímetro de Lavoisier y Laplace. Solo que en este último método es menester encerrarles en un vasito ó en tubos de cristal que se colocan en la cavidad M (fig. 427).

Comparando entre sí los números de la siguiente tabla, se observa que el agua y la esencia de trementina tienen un calor específico mucho mayor que el de las otras sustancias, y sobre todo que el de los metales. Esta propiedad es general para los líquidos, y á ella se debe, tratándose del agua, el que se necesite tanto tiempo para calentarla ó enfriarla, y que absorba ó ceda entonces mucha mayor cantidad de calor que cualquiera otra sustancia, en igualdad de masa y temperatura. Esta doble propiedad se utiliza en el temple del acero y en la calefacción por circulación de agua caliente (454).

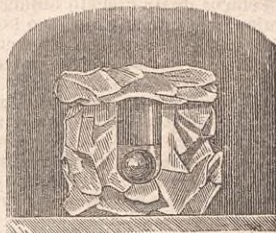


Fig. 428.

591. **Calor específico medio de los sólidos y líquidos entre cero y 100 grados.**— Regnault calculó por el método de las mezclas y por el del enfriamiento los calores específicos de muchos cuerpos. A continuación damos los que ha obtenido por el primer método para los cuerpos de uso mas frecuente en las artes.

SUSTANCIAS.	CALORES específicos.	SUSTANCIAS.	CALORES específicos.
Agua.	1,0080 .	Cobalto.	0,40694
Esencia de trementina.	0,42390	Zinc.	0,09553
Negro animal calcinado.	0,26085	Cobre.	0,09315
Carbon de leña calcinado.	0,24111	Laton.	0,09591
Azufre.	0,20259	Plata.	0,05701
Grafito.	0,21187	Estaño.	0,05625
Vidrio de los termómetros.	0,19768	Iodo.	0,05412
Fósforo.	0,18870	Antimonio.	0,05077
Diamante.	0,14687	Mercurio.	0,05552
Fundicion blanca.	0,12985	Oro.	0,05244
Acero dulce.	0,1175 .	Platino laminado.	0,05245
Hierro.	0,11579	Plomo.	0,05140
Níquel.	0,10865	Bismuto.	0,05084

Los números comprendidos en esta tabla representan los calores específicos medios entre cero y 100°; pues segun resulta de los trabajos de Dulong y Petit acerca del calor, los calores específicos aumentan con la temperatura. Los de los metales, por ejemplo, son mayores entre 100° y 200° que entre cero y 100°, y mayores aun de 200 á 500°. Es decir, que para elevar la temperatura de un cuerpo de 200° á 500°, se requiere mas calor que para efectuarlo de 100 á 200, y en este último caso, mas que para hacerlo de cero á 100°.

En una palabra, el aumento del calor específico con la temperatura es tanto mas perceptible, cuanto mas próximos están los cuerpos á su punto de fusión. Por el con-

trario, toda acción que aumenta la densidad de un cuerpo y su cohesión, disminuye su calor específico.

En cuanto á los líquidos, sus calores específicos aumentan con la temperatura mucho mas rápidamente que los de los sólidos. Exceptuase el agua, sin embargo, pues su calor específico aumenta mucho menos por dicha causa que el de los otros líquidos.

Finalmente, una misma sustancia presenta mayor calor específico en el estado líquido que en el sólido: por ejemplo, el calor específico del hielo es la mitad de el del agua. En el estado gaseoso, el calor específico es menor que en el estado líquido.

392. Ley de Dulong y Petit sobre los calores específicos de los átomos.—En 1819 dieron á conocer estos físicos la importantísima ley de que el producto del calor específico de los cuerpos simples por su peso atómico es el mismo para todos ellos é igual á 57; cuya ley puede enunciarse diciendo que *para los cuerpos simples los calores específicos están en razon inversa de los pesos atómicos*.

El Sr. Regnault, despues de haber determinado con mucho esmero los calores específicos de un crecido número de cuerpos, encontró que el producto del peso atómico por el calor específico no es constante, como habian creído Dulong y Petit; sino que este producto varia entre 58 y 42, cuya variacion puede provenir de no haber sido determinados los calores específicos de los distintos cuerpos á igual distancia térmica de su punto de fusion.

El mismo fisico dedujo además las dos leyes siguientes sobre los calores específicos de los cuerpos compuestos y de las aleaciones.

1.^a *En los cuerpos compuestos que tienen igual fórmula atómica, el calor específico está en razon inversa de su peso atómico.*

2.^a *Para temperaturas algo distantes del punto de fusion, el calor específico de las aleaciones es exactamente el promedio de los calores específicos de los metales componentes.*

393. Calor específico de los gases.—Refiérese este al del agua ó al del aire; en el primer caso representa la cantidad de calor necesaria para que aumente 1° la temperatura de un peso dado de gas comparativamente con el que necesitaría el mismo peso de agua; y en el segundo, representa la cantidad de calor necesaria para hacer subir 1° un volúmen dado de gas en comparacion con el que sería necesario para el mismo volumen de aire.

Cuando los calores específicos de los gases se consideran bajo este último punto de vista, se les puede suponer además á *presion constante* y volúmen variable, ó bien á *volúmen constante* bajo una presion variable.

Los calores específicos de los gases, con relacion al agua, fueron determinados en 1812 por Delaroche y Berard. Mediase al efecto la cantidad de calor que cedía á un peso conocido de agua otro tambien conocido de gas, que circulaba por un serpentín sumergido en el líquido, y en seguida se deducia de ella el calor específico del gas por medio de un cálculo análogo al que se emplea en el método de las mezclas.

Los mismos físicos determinaron los calores específicos de los gases á presion constante, con relacion al aire, comparando entre sí las cantidades de calor cedidas á un mismo peso de agua por volúmenes iguales de gas y de aire á la misma temperatura é igual presion durante todo el experimento. Posteriormente, en 1855, los Sres. de la Rive y Marcet aplicaron tambien el método del enfriamiento á la misma determinacion.

Por último, los calores específicos de los gases á volúmen constante, siempre con relacion al aire, han sido calculados por Dulong, apoyándose en la fórmula que da á conocer la velocidad de propagacion del sonido en los diferentes gases (269).

Segun los cálculos de Laplace y de Poisson y los experimentos de Clément y Désormes, de Delaroche y Berard, de Gay-Lussac y de Dulong, se habia admitido hasta hace poco que el calor específico de los gases á presion constante, es siempre mayor que á volúmen constante. Pero en un reciente trabajo del Sr. Regnault, por un método enteramente nuevo, ha descubierto que la diferencia entre estas dos especies de calor específico es nula ó sumamente pequeña.

Delaroche y Berard han dado sobre los calores específicos de los gases la primera de las dos siguientes leyes, y Dulong la segunda.

1.^a *En igualdad de volúmenes, todos los gases simples tienen calores específicos iguales.*

2.^a *Cuando dos gases simples se combinan sin condensarse, el gas resultante posee el mismo calor específico que los gases simples componentes.*

Los experimentos de Regnault han demostrado que la primera ley no es rigorosa sino para los gases que obedecen á la de Mariotte, es decir, que distan mucho de su punto de licuefaccion. Los mismos experimentos no han podido confirmar la segunda ley.

Calores específicos de los gases simples con relacion al agua.

GASES.	Á VOLÚMEN IGUAL.	Á PESO IGUAL.
Oxígeno.	0,24049	0,21751
Hidrógeno.	0,25590	0,40900
Nitrógeno.	0,25680	0,24580
Cloro.	0,29645	0,12099

394. **Determinacion del calor latente de fusion.** — Es sabido (527) que al pasar los cuerpos de sólidos á líquidos desaparece una cantidad de calor mas ó menos considerable; de aquí el que se llame *calor de fusion de un cuerpo sólido el número de calorías* (584) que necesita 1 kilogramo del mismo para pasar, sin elevacion de temperatura, del estado sólido al líquido. El calor de fusion de los cuerpos se determina por el método de las mezclas, apoyándose en el principio de que al solidificarse un cuerpo que se halla en el estado líquido cede una cantidad de calor exactamente igual á la que habia absorbido durante la fusion.

Propongámonos, por ejemplo, determinar el calor de fusion del plomo: fúndese un peso M de este cuerpo, y despues de averiguada su temperatura T, se le vierte en una masa de agua cuyo peso m y temperatura t conocemos; llamemos c al calor específico del plomo, x al calor de fusion, es decir, á la cantidad de calor latente absorbida por la unidad de peso al fundirse, ó lo que es lo mismo, el que restituye en el momento de la solidificacion; y por fin, sea θ la temperatura final que adquiere el agua calentada por el plomo.

Habiéndose calentado la masa de agua de t á θ grados, ha absorbido una cantidad de calor representada por $m(\theta - t)$ (586); además, al enfriarse la masa de plomo de T á θ , cedió por un concepto una cantidad de calor expresada por $Mc(T - \theta)$, y por otro, en el momento de la solidificacion, se desprende la expresada por Mx . Se tiene, pues, la ecuacion

$$Mc(T - \theta) + Mx = m(\theta - t),$$

de donde

$$x = \frac{m(\theta - t) - Mc(T - \theta)}{M}$$

395. **Calor de fusion del hielo.** — El conocimiento del calor de fusion del hielo es el mas importante por las aplicaciones que ofrece, y se le determina tambien por el método de las mezclas. Sean al efecto M un peso de hielo á cero, y m otro de agua caliente á t grados, suficiente para fundir todo el hielo. Echase aquel en el agua, y una vez fundido, se mide la temperatura final θ de la mezcla. Al enfriarse el agua de t grados á θ cedió una cantidad de calor igual á $m(t - \theta)$; y en cuanto al hielo, si se representa por x su calor de fusion, absorbe, para fundirse, una cantidad de calor Mx; pero además el agua procedente de la fusion se calienta tambien, pasando su temperatura de cero á θ grados, y absorbiendo por lo tanto una cantidad de calor M θ . Puede, pues, formularse la ecuacion $Mx + M\theta = m(t - \theta)$, de la cual se deduce el valor de x

Por medio de este procedimiento, y evitando con el mayor cuidado todas las causas de error, encontraron los Sres. Desains y de la Provostaye que el calor de fusion del hielo es 79; es decir, que al fundirse 1 kilogramo de hielo, absorbe en el estado latente la cantidad de calor necesaria para elevar 79 kilogramos de agua de cero á 1 grado, ó lo que es igual 4 kilogramo de agua de cero á 79 grados.

El Sr. Person, que ha hecho numerosas investigaciones sobre los calores de fusion, ha encontrado experimentalmente los siguientes valores para los de algunos cuerpos simples y compuestos.

Hielo	79,23	Bismuto	12,64
Nitrato de sosa.	62,97	Azufre.	9,37
Zinc.	28,13	Plomo.	5,37
Plata.	21,07	Fosforo.	5,03
Estaño.	44,25	Aleacion de Darcet.	4,50
Cadmio.	43,66	Mercurio.	2,83

396. **Determinacion del calor de vaporizacion.** — Vimos ya (557) que al evaporarse los líquidos hacen desaparecer una cantidad muy considerable de calor, que se

designa con el nombre de *calor de elasticidad ó de vaporizacion*. Para determinar el *calor de vaporizacion* de un líquido ó sea el número de calorías que absorbe 1 kilogramo de este líquido para vaporizarse sin que aumente su temperatura, se admite como evidente que al licuarse un vapor, deja en libertad una cantidad de calor precisamente igual á la que habia absorbido al formarse.

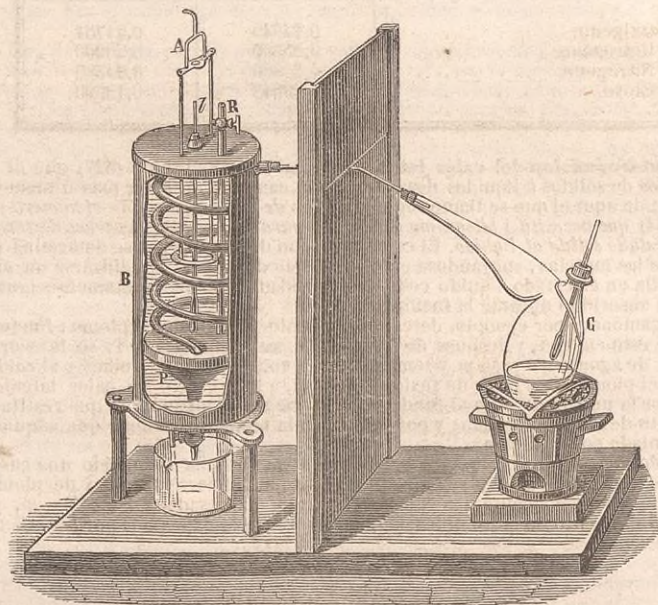


Fig. 429.

Ahora bien, el método que se emplea es el mismo que para la determinación de los calores específicos de los gases con relación al del agua. La figura 429 representa el aparato empleado por Despretz en esta clase de investigaciones. Produece el vapor en una retorta C, cuya temperatura indica un termómetro, y se dirige á un serpentín sumergido en agua fría, donde se condensa, cediendo al serpentín y al agua de la vasija B su calor latente. El agua que resulta de la condensación va á parar á un depósito P donde desemboca el serpentín, y luego al concluir el experimento se recoge y se pesa; el peso del agua da á conocer el del vapor que ha circulado por el aparato. El agitador A, movable á mano, tiene por objeto mezclar las diferentes capas de agua del vaso B, á fin de que toda la masa líquida esté á la misma temperatura, la cual se observa en el termómetro *l* situado en el eje del serpentín. Finalmente, del depósito P parte un tubo terminado por una llave R; cuando se quiere que varíe la presión, y por consiguiente la temperatura del vapor, se pone en comunicación dicha llave, por medio de un tubo de caucho, con una máquina neumática ó con una bomba de compresión.

Conocidos estos detalles, para determinar el calor de vaporización del líquido que hay en la retorta, se le calienta primero hasta hacerle hervir, y entonces se pone aquella en comunicación con el serpentín; despues se recoge el agua y se pesa, pero cuidando antes de interrumpir dicha comunicación.

Supongamos que sea *M* el peso del vapor condensado, *T* su temperatura al entrar en el serpentín, y *x* el calor de vaporización; sean tambien *m* el peso del agua donde está sumergido el serpentín, comprendiendo en este peso el del vaso B, el del termómetro y el del agitador reducidos todos á agua (387), *t* la temperatura inicial del agua, y *θ* la temperatura final al terminar el experimento.

Siendo *x* la cantidad de calor que 1 kilogramo de vapor cede al condensarse, la correspondiente á *M* kilogramos por la misma causa es *Mx*. Además, enfriándose el peso *M* de *T* á *θ*, independientemente de la condensación, pierde una cantidad de calor repre-

sentada por $M(T-\theta)$; por consiguiente, la cantidad total de calor cedida por el vapor es $Mx + (T-\theta)$. Por otra parte el calor absorbido por el agua, el vaso y los accesorios es $m(\theta-t)$; resulta, pues, $Mx + M(T-\theta) = m(\theta-t)$, de donde

$$x = \frac{m(\theta-t) - M(T-\theta)}{M}.$$

Por este medio encontró Despretz que el calor de elasticidad del vapor de agua á 100° está representado por el número 540, es decir, que un gramo de agua á 10° absorbe al vaporizarse la cantidad de calor necesaria para elevar 540 gramos de agua de cero á 1° grado. Regnault encontró 537, y los Sres. Fabre y Silbermann 533,8.

597. **Calorimetro de mercurio de Fabre y Silbermann.**—Estos físicos idearon un calorimetro muy sensible para medir las capacidades caloríficas de los líquidos, el calor de vaporización y el que se desprende en las reacciones químicas.

La figura 450 representa este aparato, cuya pieza principal es un depósito esférico de fundición A, que está lleno de mercurio y contiene 24 kilogramos, lo cual equivale á una capacidad de $1^{\text{lit}},76$. A este depósito están adaptados varios tubos: primeramente á la izquierda de la figura se ven dos de ellos B, donde están fijas dos muflas

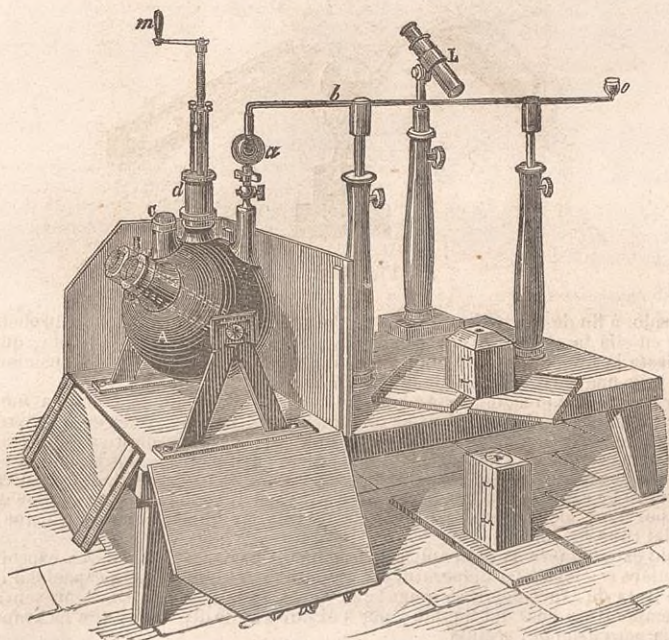


Fig. 450.

de hierro fundido que penetran en la esfera; en cada una de ellas hay una probeta de vidrio donde se pone la sustancia en que se experimenta, bastando una sola mufla y una sola probeta en la mayoría de los experimentos, pues solo se utilizan las dos muflas cuando se quieren comparar las cantidades de calor desprendidas ó absorbidas en dos reacciones diferentes. El tubo C está también provisto de una mufla con su probeta correspondiente; este tubo, que es vertical, sirve para determinar las capacidades caloríficas por el método de Regnault (588), á cuyo fin se coloca debajo del registro r de la figura 425.

Respecto al tubo d , encierra un émbolo vertical de acero, cuyo uso veremos luego y consiste en un vástago, con paso de rosca, que gira por medio de un manubrio m transmitiendo su movimiento al émbolo solo en el sentido de la vertical; pues merced á un mecanismo particular no le comunica el de rotación. En fin, el último tubo de

la derecha tiene una esfera de vidrio *a*, á la cual está soldado un largo tubo capilar *ob* tambien de vidrio, dividido en partes de igual capacidad.

Por esta descripción se ve que el calorímetro de mercurio no es otra cosa que un termómetro cuyo depósito es muy grande y el tubo muy capilar, y por lo tanto muy sensible. Sin embargo, el tubo *bo* no marca las temperaturas del mercurio que está en el depósito *A*, sino las calorías (584) que le ceden las sustancias que están en las mullas.

Para efectuar esta graduación se experimenta del modo siguiente: se principia moviendo el émbolo *d* en un sentido ó en otro, á fin de impeler ó aspirar el mercurio hasta que este llega en el tubo *bo* al punto de donde debe partir la graduación; después se pone en la mulla que se ha elegido una cantidad de mercurio, que ya no variará, y se introduce tambien una pequeña probeta de vidrio *e* de paredes muy delgadas (fig. 451), la cual se asegura con un pequeño tope exterior que no va representado

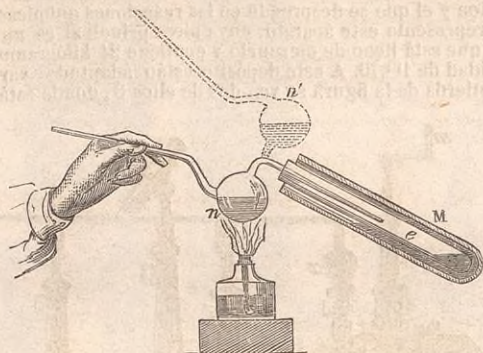


Fig. 451.

en el grabado, á fin de que resista el empuje del mercurio. Dispuesta así la probeta, se introduce en ella la punta de una pipeta de bola, llena de agua destilada, que se calienta hasta la temperatura de ebullición; invirtiéndola entonces de la posición *n* á la *n'* deja salir una parte del líquido que cae á la probeta.

El calor cedido por el agua al mercurio del depósito *A*, dilata la columna mercurial y avanza en el tubo *bo* (fig. 450) cierto número de divisiones, que representaremos por *n*. Si ahora se pesa el agua vertida en la probeta, y se observa su temperatura final al quedar estacionaria la columna de mercurio en el tubo *bo*, el producto del peso del agua en kilogramos, por el número de grados que esta se ha enfriado, da á conocer el número de calorías cedidas por el agua á todo el aparato 584. Dividiendo dicho producto por *n*, el cociente da el número *a* de calorías que corresponde á una sola división del tubo *bo*.

Conocido este número *a*, para aplicarle á la investigación de los calores específicos de los líquidos se eleva á la temperatura *T* un peso *M* del líquido cuya capacidad calorífica *c* se trata de averiguar, y después se le vierte en la probeta *C*. Representando por θ la temperatura final del líquido y por *n* el número de divisiones que ha avanzado la columna mercurial *bo*, resulta

$$Mc(T - \theta) = na, \text{ de donde } c = \frac{na}{M(T - \theta)}.$$

Lo mismo se experimentaría para determinar el calor de vaporización.

Las tablillas que van representadas alrededor del depósito *A* están fijas con visagras, y pueden alzarse formando entonces una caja que se llena de plumon de cisne ó de algodón en rama para evitar toda pérdida de calor. Se acaba de cerrar la caja con las tablillas figuradas á la derecha y dos estuchitos de madera que se colocan en los tubos *d* y *a*. Finalmente, un antejo *L*, cuyo pié puede correr por la mesa, sirve para leer los movimientos del mercurio en el tubo *bo*.

598. **Problemas sobre los calores específicos y los latentes.**—I. Si se pone en una vasija de vidrio que pesa 12 gramos y contiene 0^m.15 de agua á 10°, un trozo de hierro de 20 gramos de peso y á la temperatura de 98°, se observa que el agua sube

á 44°, 29: con estos datos se desea averiguar el calor específico del hierro, sabiendo que el del vidrio es 0,19768.

Resuélvese este problema por medio de la fórmula 14 del párrafo 587, reemplazando en ella las letras M , m , m' , c' , t y θ por los números que les corresponden según el anterior enunciado, y por lo que hace al peso del agua, se obtiene sin mas que observar que pesando 1 litro de agua 1 kilogramo, 0^{lit},15, ó lo que es igual, 0^{lit},150 pesa 150 gramos, prescindiendo de la dilatación del agua de 4 á 10 grados.

Pues bien, haciendo las sustituciones indicadas en dicha fórmula, resulta

$$20(98 - 11,29)c = (150 + 12 \times 0,19768)(11,29 - 10),$$

de donde $c = 0,1153$.

II. Una masa de platino, que pesa 40 gramos, permanece en un horno el tiempo necesario para tomar su temperatura, conseguido lo cual, se la introduce en una cantidad de agua que pesa 84 gramos á la temperatura de 12°, elevándose entonces esta última á 22°: se desea conocer la temperatura del horno, sabiendo que el calor específico del platino es 0,05245.

Si se representa por t la temperatura que se busca, el número de unidades de calor cedidas por el platino al enfriarse de t grados á 22° es $40 \times (t - 22) \times 0,05245$, en virtud de la fórmula $m(t - t')c$ (586). De igual manera el número de unidades absorbidas por el agua, cuyo calor específico es 1, para calentarse de 12 á 22° es $84(22 - 12)$, ó sean 840. Ahora bien, como la cantidad de calor absorbida por el agua es necesariamente la misma que la que perdió el platino, se tiene

$$40 \times (t - 22) \times 0,05245 = 840, \text{ de donde } t = 669°,5.$$

Obsérvese que este valor de t no es mas que aproximado, porque el número 0,05245 es el calor específico del platino entre cero y 100°; pero se vió ya que dicho valor es mayor á una temperatura mas alta (591), y por consiguiente, el número 669°,5 es mayor que el verdadero.

III. Haciendo un hoyo en un trozo de hielo, y encerrando en él una masa de estaño que pesa 55 gramos y cuya temperatura es de 100°, se desea saber cuál será el peso del hielo que puede fundirse, teniendo presente que el calor específico del estaño es 0,056 5, y el de fusión del hielo 79.

Al enfriarse el estaño desde 100 á cero, pierde un número de unidades de calor representado por $55 \times 100 \times 0,05625$, siempre según la fórmula mtc (567). Pero como 1 kilogramo de hielo á cero absorbe para fundirse 79 unidades de calor, claro está que x kilogramos de hielo absorberán un número de unidades representado por $79 \times x$. Tenemos, pues,

$$79x = 55 \times 100 \times 0,05625, \text{ de donde } x = 5^{\text{gr}},9.$$

IV. ¿Cuánto hielo, en peso, se necesitará para que 9 litros de agua, á la temperatura de 20°, se pongan á la de 5°?

Sea M en kilogramos el peso que se busca, el cual absorberá para fundirse un número de unidades de calor igual á $79M$ (535); pero como el peso resultante de agua M se encuentra á cero en el momento de la fusión, y debe subir á 5°, absorbe una cantidad de calor representada por $5M$; de consiguiente, el calor total absorbido es $79M + 5M = 84M$. Los 9 litros de agua ceden al enfriarse de 20° á 5 la cantidad $9(20 - 5) = 153$. De manera que resulta

$$84M = 153, \text{ de donde } M = 1^{\text{kg}},607.$$

V. ¿Cuánto pesa el vapor de agua á 100°, necesario para calentar, al condensarse, 208 litros de agua desde 14 hasta 52 grados?

Sea p este peso en kilogramos: valiendo 510 el calor latente del vapor de agua (596), resulta que los p kilogramos de vapor ceden al condensarse una cantidad de calor representada por $540 \times p$, y dan p kilogramos de agua á 100°. Como esta agua se enfria luego hasta 52°, cede á su vez una cantidad de calor igual á $p(100 - 52) = 68p$. Por otra parte, como los 208 litros que se calientan de 14 á 52° pesan 208 kilogramos, prescindiendo siempre de la dilatación, absorben una cantidad de calor igual á $208(52 - 14) = 5744$ unidades: se tiene, pues, $540p + 68p = 5744$, de donde $p = 6^{\text{kg}},158$.

VI. En una vasija hay agua á 11°, y en otra á 91°: ¿cuántos litros habrá que tomar de cada vasija para formar un baño de 250 kilogramos á 51 grados?

Sean x y y los números en kilogramos que deben tomarse respectivamente de cada vasija y tendremos en primer lugar la ecuación $x + y = 250$ l. Se obtiene una segunda ecuación en x y en y , observando que x kilóg. á 11° contienen $11x$ unidades de

calor, y que y kilóg. á 91° contienen $91y$. Por otra parte, los 250 kilóg. de mezcla á 31° componen 250×31 , ó 7750 unidades, de manera que resulta la ecuación

$$41x + 91y = 7750 \quad [2].$$

Resueltas las ecuaciones [1] y [2] se encuentra $x = 187 \text{ kg. } \bar{5}$, é $y = 62 \text{ kg. } \bar{5}$.

EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR.

399. **Experimentos del Sr. Joule.**—Ahora que ya conocemos las cantidades de calor necesarias para la calefacción de los cuerpos y para su cambio de estado, podemos ocuparnos de la manera de medir la cantidad de calor necesaria para producir un cierto trabajo mecánico (267). Sábese, en efecto, que el calor puede producir un trabajo mecánico, pues tal es lo que sucede en la expansión de los vapores y en la dilatación de los gases; y que recíprocamente puede también desarrollarse calor por efecto de un trabajo mecánico, como, por ejemplo, la percusión, la presión y el rozamiento. Pero los sabios á quienes se debe la teoría dinámica del calor (268) no se han limitado á demostrar que el calor puede trasformarse en trabajo, sino que también han probado que á toda cantidad de calor que desaparece corresponde otra cantidad determinada de trabajo efectuado, y, recíprocamente, que al efectuarse un trabajo cualquiera, aparece ó se desarrolla una cierta cantidad de calor; en una palabra, que entre el calor y el trabajo hay una relación constante ó *equivalencia*. De aquí el que se haya denominado *equivalente mecánico* del calor el trabajo que puede producir la unidad de calor (384); ó lo que es lo mismo, el trabajo necesario para calentar 1 kilógramo de agua desde cero á 1 grado.

El doctor Mayer fué el primero que en 1842 calculó, por consideraciones puramente teóricas, el equivalente mecánico del calor; y el Sr. Joule, en 1845, le determinó ya experimentalmente. Sirvióse al efecto este físico de un calorímetro de agua en el cual giraba un árbol vertical, provisto de paletas. Conseguióse la rotación por medio de un cordón arrollado en el árbol, el cual pasaba luego por medio de una polea para unirse á un peso que se dejaba caer de una altura conocida. Representando este peso por P kilógramos y por a metros la altura de donde caía, el trabajo desarrollado durante el descenso era Pa kilográmetros (56). Trasformándose entonces en calor el trabajo consumido por la resistencia que el agua oponía al movimiento de las paletas se calentaba dicho líquido una cantidad que se observaba en un termómetro sumergido en el calorímetro. Conociendo el peso de este, el del agua y el número de grados que se había calentado, se calculaba la cantidad total de calor desarrollado

por medio de la fórmula *mtc* (386), y el cociente $\frac{Pa}{mtc}$ daba el trabajo correspondiente

á una sola unidad, es decir, el equivalente mecánico del calor.

Sin embargo, en este experimento no todo el trabajo se trasmite al agua, pues una parte se gasta en vencer los rozamientos y otra se pierde en el choque del cuerpo con el suelo al finalizar su descenso, debiéndose tener en cuenta estas causas de error. Experimentando, como queda dicho, y tomando el promedio de un gran número de observaciones, encontró el Sr. Joule que el equivalente mecánico del calor era 424 kilográmetros. Es decir, que la cantidad de calor necesaria para calentar 1° un kilógramo de agua, desarrolla una fuerza motriz capaz de elevar un peso de 424 kilógramos á la altura de 1 metro en 1 segundo; y recíprocamente, que un peso de 424 kilógramos al caer de la altura de 1 metro, puede suministrar la cantidad de calor necesaria para calentar de cero á 1° un kilógramo de agua.

El Sr. Joule determinó también el equivalente del calor por la compresión del aire en un calorímetro de agua, y además por la cantidad de calor que desarrolla el frotamiento de dos cuerpos sólidos el uno contra el otro en un calorímetro de mercurio. Los Sres. Hirn y Fabre, en Francia, determinaron también experimentalmente el equivalente del calor. El promedio de estos diversos experimentos es 425 kilográmetros, cuyo valor es el generalmente adoptado para equivalente mecánico del calor.

400. **Aplicaciones de la termodinámica.**—El principio de la transformación del calor en trabajo y recíprocamente, ofrece numerosas aplicaciones. Cuando aun era desconocida la teoría dinámica del calor, se admitía, por ejemplo, que en las máquinas de vapor la cantidad de calor que al licuarse cede aquel al agua del condensador, era exactamente igual á la que para formarse había recibido del hogar; pero los experimentos del Sr. Hirn han hecho ver que no sucede así: el calor cedido al condensador es mucho menor que el suministrado por la caldera, siendo tanto mayor la diferencia entre ambas cantidades, cuanto mas considerable es el trabajo total efectuado por la máquina. Es decir, que el calor que posee el vapor al salir de la caldera se divide en

dos partes: una que desaparece como calor y se transforma en trabajo, y otra que se apropia el condensador; la experiencia enseña que la segunda es quintupla de la primera.

Las máquinas de aire caliente de Ericsson y otras conducen al mismo resultado acerca de la trasformacion del calor en trabajo, si bien producen mucho más, pues la teoría hace ver que pueden convertir en trabajo la mitad del calor que consumen.

Respecto al calor animal procedente de la combustion del carbono de la sangre en los pulmones, el doctor Mayer fué el primero que anunció que todo animal es una máquina de fuego que transforma su calor en trabajo, lo cual confirmó luego experimentalmente el Sr. Hirn. A este fin encerró dicho físico á un hombre en una garita sin ventilacion ninguna, y observó los efectos caloríficos y químicos de su respiracion, primero cuando el hombre estaba en reposo durante un cierto tiempo, y luego cuando trabajaba por levantar su propio peso sobre la circunferencia de una rueda móvil. A la boca del hombre iban á parar dos tubos, de los cuales uno le suministraba el aire necesario para la respiracion, procedente de un gasómetro, y el otro conducia el aire espirado á un segundo gasómetro; lo cual permitia apreciar el oxígeno consumido y el ácido carbónico que se habia producido.

La temperatura del aire en la garita iba aumentando progresivamente y quedaba estacionaria cuando el calor perdido por la radiacion era igual al producido por el organismo. Reemplazábase en seguida al hombre por la llama de un mechero de gas, la cual se arreglaba de manera que el aire de la garita conservase la misma temperatura constante que cuando aquel estaba en ella. Teniendo en cuenta el volumen de gas que se quemaba se llegaba á saber la cantidad de calor producida por el mechero de gas, y de consiguiente por el hombre, en un tiempo dado.

Cuando aquel estaba quieto gastaba en una hora 50 gramos de oxígeno por cada 450 calorías producidas; y cuando se subia sobre la rueda consumia 150 gramos de oxígeno; pero en este caso el número correspondiente de calorías, que deberia ser 750, solo era 250. Se gastaban, pues, 500 calorías: 1.º en el trabajo muscular interior; 2.º en el trabajo exterior para levantar el peso del hombre.

Obsérvase el efecto inverso cuando sobre un hombre actúa un trabajo independiente del que puede producir, como cuando en vez de subir desciende. A 50 gramos de oxígeno absorbido corresponden entonces mas de 450 calorías, viniendo el exceso de calor en este caso del trabajo exterior efectuado por la gravedad durante el descenso.

Finalmente, el Sr. Béclard ha probado que cuando se levanta un peso cualquiera, los músculos se calientan mucho menos que cuando se contraen sin carga alguna.

DESCOMPOSICION DEBIDA ÚNICAMENTE AL CALOR.

401. Disociacion.—Se vió mas atrás (269) que el calor origina en los cuerpos, además de su calefaccion, otros tres efectos, á saber: dilatacion, cambio de estado y descomposicion. Despues de haber descrito los dos primeros, solo nos resta dar á conocer el tercero, aunque muy sucintamente, pues su estudio corresponde mas bien á la química que á la física.

El calor por sí solo basta para descomponer parcial ó totalmente un gran número de cuerpos compuestos: los nitratos, la mayor parte de los carbonatos, algunos óxidos y las materias orgánicas. Pero así como cada sólido tiene su temperatura propia de fusion y cada líquido la suya de ebullicion, así tambien, segun confirma la experiencia, cada sustancia posee una temperatura fija de descomposicion total. Tratándose del agua, por ejemplo, esta temperatura es de 2500°, aunque tambien dicho líquido, colocado en condiciones convenientes, se descompone parcialmente á una temperatura mucho mas baja, como es entre 1000 y 1200°. Tal es lo que acontece haciendo pasar una corriente de vapor de agua por un tubo de porcelana dentro del cual haya una cápsula llena de plata fundida; el agua se descompone parcialmente, siendo absorbido su oxígeno por la plata y desprendiéndose el hidrógeno con el exceso de vapor.

El Sr. H. Sainte-Claire Deville dió el nombre de *disociacion* al fenómeno, debido al calor, de la descomposicion parcial de un cuerpo á una temperatura inferior á la que ocasiona la total. Este sabio, que ha estudiado detenidamente el fenómeno de la disociacion, la explica comparándole al de la evaporacion de los líquidos, la cual se verifica tambien á temperaturas muy inferiores á las de su ebullicion. Es decir, que así como cada líquido tiene una temperatura fija de ebullicion, lo propio debe suceder á cada sustancia respecto á la de su completa descomposicion; y tambien, así como la evaporacion comienza á una temperatura inferior á la ebullicion, análogamente la descomposicion parcial de los cuerpos empieza á una temperatura mas baja que la que corresponde á la descomposicion total.

Para que haya disociacion, es preciso que una vez libres los gases se hallen en con-

diciones tales que no les sea posible volver á combinarse; tal es lo que acontece en la descomposicion del agua por la plata fundida, pues absorbido por ella todo el oxígeno, el hidrógeno se encuentra necesariamente libre y se desprende como queda dicho.

Sucede tambien que el vapor de agua no presenta señal alguna de descomposicion al pasar por un tubo de platino cuya temperatura está próxima á la de fusion de dicho metal; pero á una temperatura mucho menor, si el tubo es de porcelana sin vidriar, se descompone el vapor, lo cual es debido á que su hidrógeno puede filtrarse y se filta á través de las paredes del tubo (163). De aqui debe deducirse que en el tubo de platino antes citado, lo probable es que haya tambien disociacion, pero como los dos gases quedan en presencia uno de otro, y á una temperatura muy elevada, se vuelven á combinar en seguida.

Nos falta espacio para dar á conocer aqui los bellos experimentos del Sr. H. Sainte-Claire Deville acerca de la disociacion del óxido de carbono, del amoniaco y de los ácidos carbónico, clorhídrico y sulfuroso.

CAPITULO VIII.

CONDUCTIBILIDAD DE LOS SÓLIDOS, DE LOS LÍQUIDOS Y DE LOS GASES.

402. Conductibilidad de los sólidos. — La *conductibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de transmitir el calor con mas ó menos facilidad á lo interior de su masa. Efectúase esta propagacion merced á un movimiento interior de molécula á molécula. Como no todos los cuerpos conducen igualmente el calor, llámanse *buenos conductores* aquellos que le transmiten fácilmente, como son en particular los metales; y se da el nombre de malos conductores á los que oponen mayor ó menor resistencia á la propagacion del calor, cuales son el vidrio, las resinas, las maderas, y sobre todo los líquidos y los gases.

Para comparar el poder conductor de los sólidos, construyó el médico holandés Ingenhousz, que murió á fines del siglo pasado, un aparatito que conserva su apellido (fig. 432). Consiste en una caja de hoja de lata ó de laton, con varios orificios cilindricos donde se fijan con taponés otras tantas barritas de diversas sustancias, como por ejemplo, de hierro, de cobre, de madera y de vidrio. Estas barritas penetran algunos milímetros en el interior de la caja, y se hallan cubiertas de cera amarilla, que se funde á 61°. Llena de agua hirviendo la caja, se observa que en las barritas metálicas empieza muy pronto á fundirse la cera, efectuándose la fusion

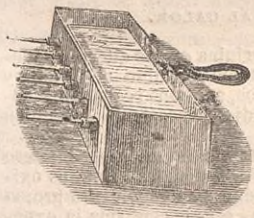


Fig. 432.

hasta una distancia de las paredes de la caja variable para cada una de ellas, mientras que en las otras no se presenta indicio alguno de fusion. El poder conductor es, pues, evidentemente, tanto mas intenso, cuanto mayor es la distancia á la cual se ha fundido la cera.

Despretz comparó los poderes conductores de los sólidos con el aparato representado en la figura 433. Consiste en una barra prismática que posee de decímetro en decímetro pequeñas cavidades llenas de mercurio, en cada una de las cuales se sitúa un termómetro. Expuesta dicha barra por uno de sus extremos á un foco constante de calor, se ve que los termómetros suben sucesivamente á partir del foco, y que despues marcan temperaturas fijas, pero decrecientes de un termómetro á otro. Merced á este procedimiento, comprobó Despretz la siguiente ley formulada la vez primera por Lambert: *Si las distancias al foco crecen en progresion*

aritmética, las diferencias de temperatura sobre la del aire ambiente decrecen en progresion geométrica.

Con todo, esta ley solo es exacta en los metales muy buenos conductores, como el oro, el platino, la plata y el cobre; no es mas que aproxima-

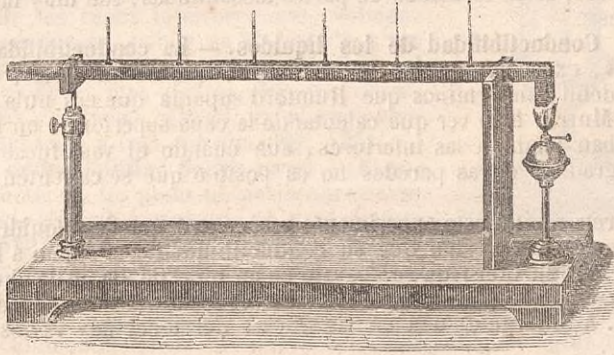


Fig. 455.

mada respecto al hierro, al zinc, al plomo y al estaño, y de ninguna manera aplicable á los cuerpos no metálicos, como el mármol, la porcelana, etc.

Representando por 1000 el poder conductor del oro, encontró Despretz que el de las sustancias siguientes es:

Platino..	981	Estaño..	304
Plata.	973	Plomo.	179
Cobre.	897	Mármol.	23
Hierro.	374	Porcelana.	42
Zinc.	363	Tierra de ladrillos.	44

A fin de no alterar la forma de las barras metálicas abriendo huecos en ellas, conforme lo habia hecho Despretz, lo cual destruía parcialmente la continuidad de los metales, los Sres. Wiedmann y Franz adoptaron en 1853 un procedimiento que evitaba tal causa de error, y consistia en medir la temperatura de las barras en sus diferentes partes por medio de corrientes termo-eléctricas que obtenian aplicando sobre aquellas el punto de soldadura de un elemento de la pila termo eléctrica (292).

Las barras metálicas eran lo mas regulares posible, y estaban dispuestas en un espacio cuya temperatura era constante. Uno de sus extremos se hallaba en comunicacion con un foco de calor, y el elemento termo-eléctrico que se ponía en contacto con ellas era de cortísimas dimensiones, á fin de que gastase muy poco calor.

Operando así, obtuvieron dichos físicos resultados que diferian notablemente de los de Despretz. Representando por 100 la conductibilidad de la plata, encontraron para los demás metales los siguientes valores.

Plata.	400	Acero.	41,6
Cobre.	77,6	Plomo.	8,5
Oro.	53,2	Platino.	8,4
Estaño.	44,5	Alcacion de Rose.	2,8
Hierro.	41,9	Bismuto.	1,8

Las sustancias orgánicas conducen mal el calor, y en cuanto á las maderas, el Sr. de la Rive demostró, en Ginebra, que su conductibilidad es mucho mayor en el sentido de las fibras que transversalmente, y que las maderas mas densas son los mejores conductores. El salvado, la paja, la lana y el algodón, que son cuerpos poco densos, y que, por decirlo así, están formados de partes discontinuas, son muy malos conductores.

403. Conductibilidad de los líquidos. — La conductibilidad de los líquidos, excepcion hecha del mercurio, que es un metal, es sumamente débil, en términos que Rumford suponía que era nula. Sin embargo, Murray hizo ver que calentando la capa superior de un líquido se calentaban tambien las inferiores, aun cuando el vaso fuese de hielo á cero grados, cuyas paredes no es posible que se calienten sin fundirse.

Despretz repitió este experimento y encontró que los líquidos no solo conducen el calor, sino que su conductibilidad está sujeta á la ley de Lambert (402). Consistía su aparato en un tonel de 4^m,50 de altura, lleno de agua y tapado por su parte superior con un vaso de cobre A (figura 434). A lo largo de una de las duelas del tonel hay varios agujeros

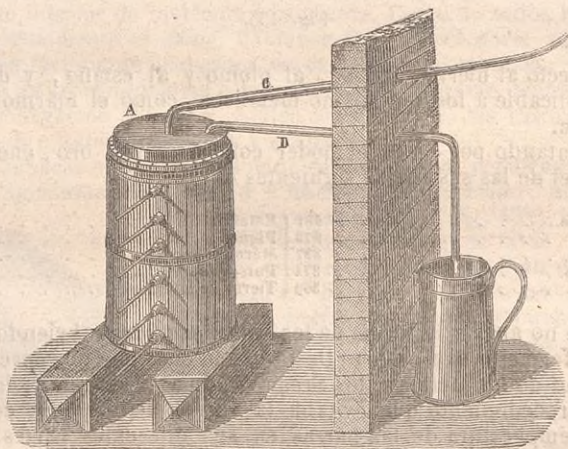


Fig. 434.

por los cuales penetran, quedando allí fijos, otros tantos termómetros. El vaso A se mantiene á una temperatura constante por medio de una corriente de agua caliente á 100° que llega lentamente por el tubo C y sale en seguida por otro D. Calentándose de esta manera el vaso se calienta tambien la capa de agua que está en contacto con él, despues la inmediata inferior, y así sucesivamente las capas siguientes, segun se observa en los termómetros. Pero quedando luego estacionaria la temperatura á pesar de haber prolongado el experimento durante treinta y seis horas, encontró Despretz que la propagacion del calor en los líquidos sigue la misma ley que en las barras metálicas, solo que la conductibilidad es mucho mas débil.

404. Manera de calentarse los líquidos.— Cuando se calientan los líquidos por su parte inferior, resulta de su débil conductibilidad, que el calor se propaga principalmente por medio de las corrientes ascendentes y descendentes que se establecen en su masa. Explicanse estas corrientes por la dilatación de las capas inferiores que, volviéndose menos densas, suben en el líquido y son reemplazadas por las superiores, mas frías, y de consiguiente, mas densas. Pueden observarse estas corrientes echando en el agua serrín, el cual sube y baja con ellas (fig. 435).



Fig. 435.

405. Conductibilidad de los gases.— El poder conductor de los gases no puede apreciarse de un modo directo á causa de su gran diatermancia (429) y de la suma movilidad de sus moléculas; pero, cuando se ponen algunas trabas á sus movimientos, aparece su conductibilidad, que es casi nula. Obsérvase, en efecto, que todas las sustancias entre cuyos filamentos queda aire interpuesto, presentan una gran resistencia á la propagación del calor, como sucede con la paja, el algodón, la plumazon y las pieles. Cuando se calienta una masa gaseosa, lo efectúa principalmente por su contacto con un cuerpo caliente, y por las corrientes ascendentes originadas por la dilatación, de igual manera que en los líquidos.

406. Conductibilidad del hidrógeno.— Magnus determinó la conductibilidad propia de cada gas valiéndose de un tubo de vidrio cerrado con una llave, dispuesto verticalmente, y dentro del cual, en su parte inferior, habia un termómetro que se observaba al través del vidrio, mientras se mantenía á 100° el extremo superior. Experimentando sucesivamente con este tubo primero vacío y despues lleno de diferentes gases, mas ó menos condensados, obtuvo Magnus los resultados siguientes:

- 1.° La temperatura del termómetro es más alta en el hidrógeno que en todos los demás gases.
- 2.° Dicha temperatura es mayor en el hidrógeno que en el vacío, y tanto mas, cuanto mas condensado se halla este gas.
- 3.° En los demás gases la temperatura es menor que en el vacío, y tanto menos, cuanto mas condensados se hallan los gases.

La conductibilidad del hidrógeno es una confirmación de la opinion emitida por algunos químicos de que este gas es un metal.

407. Aplicaciones de la conductibilidad.— La mayor ó menor conductibilidad de los cuerpos se presta á muchas aplicaciones. Si se trata, por ejemplo, de conservar caliente un líquido por largo tiempo, se pone en una vasija de doble cubierta, cuyo intervalo esté lleno de materias no conductoras, como serrín, vidrio, carbon pulverizado ó paja. El mismo procedimiento se emplea para impedir que un cuerpo absorba el calor; así es que para conservar el hielo en el verano, se le rodea de paja ó de lana.

Si nuestras habitaciones nos parecen mas frías cuando están embaldosadas que entarimadas, es porque aquellos pavimentos conducen mejor el calor. La sensación de calor ó frio que experimentamos al contacto de ciertos cuerpos, consiste en la conductibilidad, pues si su

temperatura es menor que la nuestra, nos parecen mas frios de lo que son, por causa del calor que nos roban en virtud de la misma, segun acontece con el mármol; y si, por el contrario, es superior su temperatura á la de nuestro cuerpo, se nos figuran mas calientes de lo que en realidad están, por el calor que nos ceden de los diversos puntos de su masa, que es el fenómeno que nos presenta una barra de hierro expuesta al sol.

CAPITULO IX.

RADIACION, REFLEXION Y ABSORCION DEL CALOR.

408. Radiacion.—Cuando un cuerpo está situado en un recinto de temperatura mas ó menos elevada que la suya, siempre se observa que la del cuerpo sube ó baja progresivamente hasta igualarse con la del recinto; de lo cual se deduce que el cuerpo ha ganado ó perdido cierta cantidad de calor que recibió de los que le rodean, ó que cedió á los mismos; trasmítese, pues, el calor de un cuerpo á otro á través del espacio de la misma manera que la luz. Esta propagacion del calor, que se produce á todas las distancias y en todos sentidos, se designa con el nombre de *radiacion*, y se llama *absorcion* la inversa de esta, es decir, la penetracion del calor radiante en los cuerpos. Finalmente, se denomina *rayo de calor* ó *rayo calorifico* la línea recta que al propagarse sigue el calor, y *haz* un conjunto de rayos: si estos se separan unos de otros, el haz es *divergente*; y si son paralelos, se dice que tambien lo es el haz.

No se crea por esto que solo emiten calor los cuerpos que designamos vulgarmente con el nombre de *cuerpos calientes*, y que únicamente los *frios* le absorben, pues todos ellos, calientes ó frios, emiten y absorben constantemente calor, pero en cantidades desiguales.

En la teoría dinámica del calor, la radiacion es la comunicacion al éter del movimiento vibratorio de las moléculas de la materia, y cuando se enfria un cuerpo es porque sus moléculas pierden una parte de su movimiento cediéndole al éter. Una vez producidas las ondas etéreas van á chocar con las moléculas de los cuerpos que encuentran, los cuales se calientan á su vez, de modo que por un cambio continuo de movimiento se producen todos los fenómenos de calefaccion y enfriamiento de los cuerpos; y á la misma causa se debe el que nos demos cuenta ó percibamos la sensacion de calor ó frio.

En el estudio del calor radiante hay que distinguir el calor *oscuro* y el *luminoso*: el primero es el que emite un cuerpo no luminoso, como un vaso lleno de agua á 100°, siendo el segundo el emitido por un cuerpo luminoso, como el sol, ó una bomba calentada al rojo. En efecto, mas adelante veremos que el calor oscuro y el luminoso se diferencian por algunas de sus propiedades (427 y 433).

409. Leyes de la radiacion —La radiacion del calor está sujeta á las tres leyes siguientes:

1.^a *La radiacion se verifica en todas direcciones alrededor de los cuerpos.*

En efecto, si se coloca un termómetro en diferentes sitios alrededor de un cuerpo caliente, en todos ellos indica una elevacion de temperatura.

2.^a *En un medio homogéneo, la radiacion se efectúa en línea recta.* Porque si se interpone una pantalla en la recta que une un foco calorifico con un termómetro, deja este de sentir la influencia del foco.

Mas al pasar de un medio á otro, por ejemplo, del aire al vidrio, los rayos caloríficos, lo mismo que los luminosos, cambian de direccion, constituyendo el fenómeno conocido con el nombre de *refraccion*, cuyas leyes daremos en óptica, pues son las mismas para la luz que para el calor.

3.^a *El calor se propaga en el vacío.*—Primeramente se admitió que para la radiacion del calor era necesaria la presencia de un medio ponderable. Demuéstrase la propagacion del calor luminoso en el vacío por el que nos envia el sol al través de los espacios planetarios, los cuales no contienen ninguna materia ponderable. En cuanto á la del calor oscuro en el mismo, se prueba por el siguiente experimento debido á Rumford. Suéldase en la pared de un globo de vidrio, que tenga casi medio litro de capacidad, un termómetro cuyo depósito ocupe su centro (fig. 436), y además se une de la misma manera al cuello del globo un largo tubo barométrico; despues se llenan ambos de mercurio seco, é invirtiendo luego el aparato, se introduce el extremo abierto del tubo en una cubeta llena de mercurio; lo mismo exactamente que se hizo en el experimento de Torricelli (fig. 209). Desciende así el mercurio á la altura media de 76 centímetros, y queda vacío el globo y una parte del tubo. Calentando entonces este á la lámpara hasta la fusion del vidrio, por mas arriba del nivel del mercurio, la presion exterior deprime las paredes del tubo, que se sueldan y cierran herméticamente el globo. Purgado así completamente de aire y expuesto á un foco de calor, como por ejemplo metiéndole en agua caliente, se ve subir el termómetro casi de pronto, lo que prueba la propagacion del calor oscuro en el vacío, porque el vidrio es demasiado mal conductor del calor para que pueda efectuarse esta propagacion tan rápidamente por las paredes del globo y el tubo del termómetro.



Fig. 436.

En cuanto á la velocidad de propagacion del calor, aun no ha sido determinada: solo se sabe que debe diferenciarse poco de la de la luz, si no le es exactamente igual, porque la luz solar y las más de las luces artificiales van constantemente acompañadas de rayos caloríficos.

410. **Intensidad del calor radiante y causas que le hacen variar.**—Entiéndese por *intensidad* del calor radiante la cantidad de calor que recibe la unidad de superficie en la de tiempo. Tres son las causas que modifican esta intensidad conforme á las leyes que vamos á exponer; la distancia del foco de calor y la oblicuidad de los rayos caloríficos, ya respecto á la superficie que los emite, ya tambien á la que los recibe.

Primera ley.—*La intensidad del calor radiante está en razon inversa del cuadrado de la distancia.* Esta ley puede demostrarse teórica y experimentalmente. En efecto, supongamos primeramente una esfera hueca *ab* (fig. 437), de un radio cualquiera, y en su centro un foco constante de calor *C*; cada unidad de superficie de la pared interior recibe una cantidad determinada de calor. Pero si se considera una esfera *Cf*, cuyo radio es doble, su superficie, en virtud de un teorema conocido de geometría, será cuatro veces mayor, y por lo tanto, la pared interior contendrá cuatro veces mas unidades de superficie, y como la cantidad de calor emitida desde

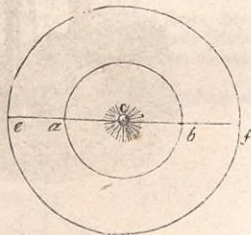


Fig. 437.

el centro no varía, es claro que cada unidad recibirá necesariamente cuatro veces menos.

Para demostrar la misma ley experimentalmente se toma una caja de hoja de lata *M*, llena de agua caliente, con una de sus caras recubierta de negro de humo (fig. 438), la cual se expone á la acción del aparato ter-

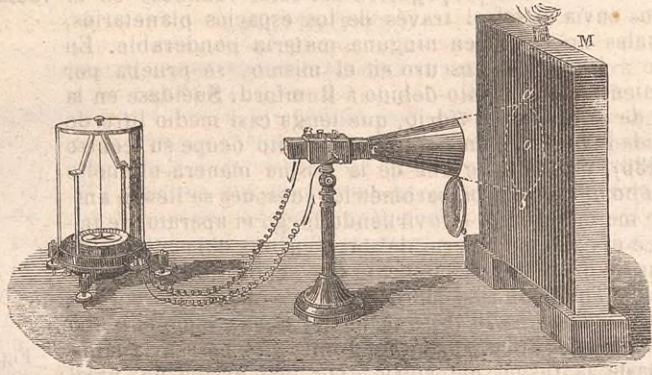


Fig. 438.

mo-eléctrico de Melloni (295). La pila está provista de su reflector cónico, y la pared interna de este se halla también cubierta de negro de humo para impedir toda radiación oblicua. Colocando primero la cara de la pila á una distancia *co* de 20 centímetros, la aguja del galvanómetro se desvia y detiene, por ejemplo, á 80 grados.

Si luego se aparta la pila, como se ve en la figura 439, á una distan-

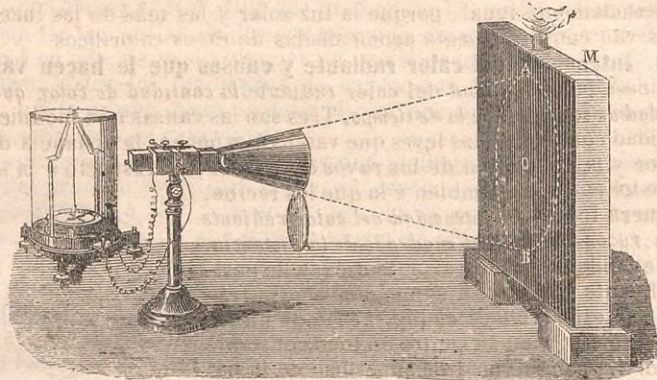


Fig. 439.

cia *CO* doble de *co*, el galvanómetro conserva la misma desviación 80°, lo cual prueba que la pila sigue recibiendo la misma cantidad de calor, sucediendo lo propio si se la lleva á una distancia triple ó cuádruple de la primitiva. Este resultado parece á primera vista contradictorio de la

ley que se trata de demostrar, pero por el contrario la confirma. Efectivamente, en su primera posición no recibe la pila calor sino de la parte circular ab de la pared de la caja, siendo así que en la segunda radia hacia ella la AB . Siendo, pues, semejantes los dos conos ACB y acb , y la altura del primero doble de la del segundo, el diámetro AB es también doble del ab , y por lo tanto, la superficie AB cuádruple de la ab , pues es sabido que la superficie del círculo es proporcional al cuadrado de su radio. Por consiguiente, supuesto que creciendo la superficie radiante de la caja como el cuadrado de la distancia queda estacionario el galvanómetro, es preciso que la intensidad del calor recibida por la pila esté en razón inversa del mismo cuadrado.

Conviene observar que esta ley solo es aplicable á los rayos caloríficos divergentes, pues para los paralelos, la intensidad del calor es igual á todas las distancias, salvo la absorcion por los medios que atraviesa el calor.

Segunda ley. — *La intensidad de los rayos caloríficos emitidos oblicuamente por una superficie radiante es proporcional al coseno del ángulo que forman estos rayos con la normal á la misma superficie.* Para demostrar esta ley representemos, en proyección horizontal, por P la pila de Melloni en comunicacion con su galvanómetro mediante dos alambres conductores, y por A un cubo de hoja de lata lleno de agua caliente (fig. 440).

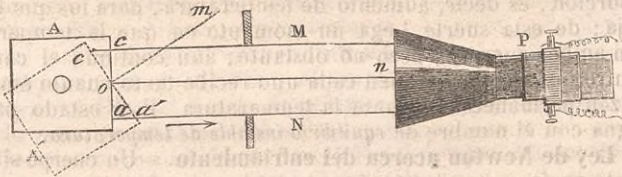


Fig. 440.

Estando primero el cubo en la posición A , de modo que su cara anterior sea perpendicular al haz paralelo MN que cae sobre la pila, el galvanómetro marca cierta desviación, 45 grados, por ejemplo, radiando entonces solo la parte ac de la pared anterior del cubo; y aun cuando este tome otra posición A' , tal que dicha pared sea oblicua al haz MN , se observa que el galvanómetro continúa aun señalando 45°. La superficie $a'c'$, ahora radiante, es mayor que ac ; por consiguiente, si representamos por i la intensidad de los rayos perpendiculares á ac , y por i' la de los oblicuos á $a'c'$, puesto que el efecto es igual en ambos casos, estas intensidades están necesariamente en razón inversa de las superficies ac y $a'c'$; resulta, pues, $i' \times \text{superf. } a'c' = i \times \text{superf. } ac$ [1]. Siendo la superficie ac proyección de la $a'c'$ se tiene, según un teorema conocido de trigonometría, $\text{superf. } ac = \text{superf. } a'c' \cos aod'$; ó bien, $\text{superf. } ac = \text{superf. } a'c' \cos mon$, puesto que los ángulos mo y aod' son iguales por tener sus lados perpendiculares. Sustituyendo en vez de $\text{superf. } ac$ su valor en la igualdad [1] y suprimiendo el factor común, resulta $i' = i \cos mon$, igualdad que demuestra la ley.

Esta ley, conocida con el nombre de *ley de coseno*, no es general, pues los Sres. Desains y de la Provostaye han comprobado que solo se verifica en un caso muy limitado, esto es, cuando los cuerpos carecen de poder reflector, como sucede con el negro de humo (422).

Tercera ley. — *La intensidad de los rayos caloríficos que caen oblicuamente sobre una*

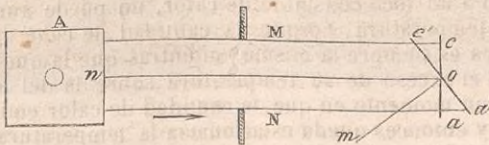


Fig. 441.

superficie es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos incidentes con la

normal á dicha superficie. Esta ley se demuestra del mismo modo que la anterior. En efecto, consideremos un foco de calor constante A, y un haz paralelo MN que cae normalmente sobre una superficie plana, y sea *ac* la parte de la superficie que recibe el haz (fig. 441). Si esta superficie toma la posición *a'c'*, la parte *a'c'* es mayor que *ac*, y recibe la misma cantidad de calor del haz MN; pero estando repartido este calor en una superficie mas extensa, disminuye su intensidad y resulta igualmente $i \times \text{superf. } a'c' = i \times \text{superf. } ac$; de donde se deduce por el mismo calculo que antes, $i' = i \cos \text{mon}$, igualdad que demuestra la tercera ley.

411. Equilibrio instable de temperatura. — Dos son las hipótesis que se han formulado acerca de la radiacion. Supónese en la primera que cuando dos cuerpos de temperatura desigual se hallan en presencia uno de otro, solo hay radiacion desde el cuerpo mas caliente al mas frio, sin que este emita nada hácia aquel, hasta que, bajando gradualmente la temperatura del cuerpo mas caliente, se equilibre con la del mas frio, cesando entonces por completo la radiacion. Esta hipótesis fué reemplazada por la siguiente, debida á Prévost, de Ginebra. Segun dicho fisico, todos los cuerpos, sea cual fuere su temperatura, emiten constantemente calor en todas direcciones, observándose una pérdida de calor, es decir, enfriamiento, en los de temperatura mas alta, porque los rayos que emiten son mas intensos que los que reciben; y por el contrario, hay absorcion, es decir, aumento de temperatura, para los que la tienen mas baja: de esta suerte llega un momento en que la temperatura es igual en ambos cuerpos; pero no obstante, aun continua el cambio de calor entre los mismos, si bien cada uno recibe tanto quanto emite; por cuya razon permanece constante la temperatura. Este estado particular se designa con el nombre de *equilibrio instable de temperatura*.

412. Ley de Newton acerca del enfriamiento. — Un cuerpo situado en un recinto vacío, no se enfria ó no se calienta mas que por radiacion; pero en la atmósfera, además de aquella causa, existe tambien el contacto con el aire. En ambos casos la velocidad del enfriamiento ó de la calefaccion es *la cantidad de calor perdida ó absorbida en la unidad de tiempo*; siendo tanto mayor, quanto mas considerable sea la diferencia de temperatura. Dicha velocidad es mayor en los gases que en el vacío, variando tambien con la naturaleza de aquellos; así es que en el hidrógeno, por ejemplo, es mayor que en el aire. Por último, depende tambien del poder emisivo ó absorbente de los cuerpos y de la presion.

Newton formuló acerca de este punto la siguiente ley: *La cantidad de calor que un cuerpo gana ó pierde, en la unidad de tiempo, es proporcional á la diferencia entre su temperatura y la del recinto.* Dulong y Petit han demostrado que esta ley no es general, y que solo debe aplicarse á diferencias de temperatura que no excedan de 20 á 30°. Pasado este límite, la cantidad de calor que se gana ó se pierde es mayor que la que la ley indica.

413. Corolarios de la ley de Newton. — 1.º Cuando un cuerpo se halla expuesto á un foco constante de calor, no puede aumentar indefinidamente su temperatura, porque la cantidad de calor que recibe en tiempos iguales es siempre la misma, mientras que la que pierde va aumentando con el exceso de su temperatura sobre la del aire ambiente. Llega, pues, un momento en que la cantidad de calor emitida es igual á la absorbida, y entonces queda estacionaria la temperatura.

2.º La ley de Newton, aplicada al termómetro diferencial, hace ver que las indicaciones de este instrumento son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. Sea, en efecto, un termómetro diferencial

con una de sus esferas sujeta á la accion de un foco constante de calor. El instrumento indica primero temperaturas crecientes, quedando luego estacionario, segun lo indica la posicion fija que adquiere el índice. En este momento, la cantidad de calor que recibe la esfera, es igual á la que emite; pero esta última, segun la ley de Newton, es proporcional al exceso de la temperatura de la esfera sobre la del ambiente, es decir, al número de grados que marca el termómetro. De consiguiente, *la temperatura que marca el termómetro diferencial, es tambien proporcional á la cantidad de calor que recibe el instrumento.*

REFLEXION, EMISION Y ABSORCION DEL CALOR.

414. Leyes de la reflexion. — Cuando los rayos caloríficos caen sobre la superficie de un cuerpo, se dividen generalmente en dos partes; unos penetran en la masa del cuerpo, y los otros se vuelven como repelidos por la superficie, á la manera de una bola elástica; circunstancia que se expresa diciendo que se han *reflejado*.

Si representamos por *mn* (fig. 442) una superficie plana reflejante, por *CB* el *rayo incidente*, por *BD* una línea perpendicular á la superficie, que se llama *normal*, por *BA* el *rayo reflejado*, el ángulo *CBD* es el *ángulo de incidencia*, y *DBA* el *ángulo de reflexion*. Entendido esto, la reflexion del calor está sujeta, lo mismo que la de la luz, á las dos leyes siguientes:

- 1.^a El *ángulo de reflexion es igual al de incidencia.*
- 2.^a El *rayo incidente y el refl jado están en un mismo plano, perpendicular á la superficie reflejante.*

415. Demostracion experimental de las leyes de la reflexion del calor. — Estas leyes se demuestran experimentalmente con el termo-

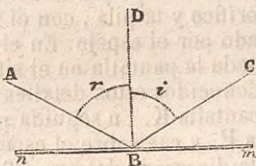


Fig. 442.

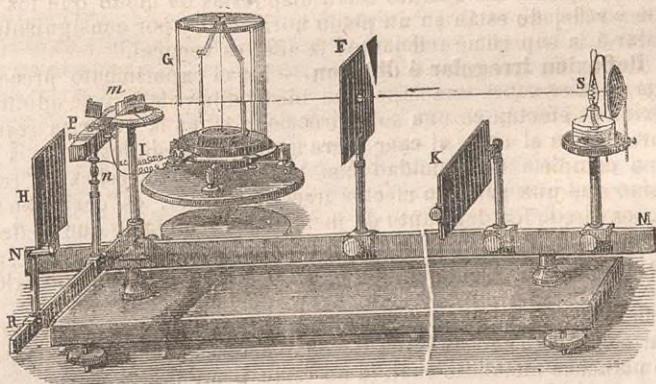


Fig. 443.

multiplicador de Melloni, ó con los espejos cóncavos (418). La figura 443 manifiesta el modo de hacer el experimento con aquel aparato. En una regla horizontal *MN*, de un metro de longitud y dividida en milí-

tros, están fijas con tornillos de presión varias piezas. En S hay un foco de calor que consiste en un cubo de hierro lleno de agua á 100° , ó en un alambre de platino calentado al blanco en la llama de una lámpara de alcohol; una pantalla maciza K intercepta, cuando está alzada, los rayos de calor procedentes del foco; la otra pantalla F, horadada en su centro, sirve para dejar pasar un haz paralelo. En la otra extremidad de la regla hay un vástago I que sostiene un limbo graduado, cuyo cero corresponde á la dirección de la regla MN, y por lo tanto á la del haz Sm. El limbo tiene en su centro un orificio en que gira un eje provisto de un espejo metálico plano m. Alrededor del vástago I puede girar libremente una alidada R, en la cual está fija la pila termo-eléctrica P en comunicación con su galvanómetro G. Entre la pila y el limbo graduado está sujeto sobre la alidada un vástago n cuya punta está encorvada á la altura y en la dirección del limbo graduado para señalar en él los movimientos angulares de la alidada. Por último, fija también en esta hay otra pantalla H cuyo pié es acodillado, la cual puede colocarse entre el foco calorífico y la pila, con el fin de que esta no reciba mas que el calor reflejado por el espejo. En el grabado, por no tapar la pila, no está representada la pantalla en el sitio que debe ocupar.

Conocidos estos detalles, se procede al experimento bajando primero la pantalla K. En seguida pasa un haz paralelo por la abertura de la pantalla F, y cae sobre el espejo m reflejándose allí. Si la alidada no se halla en la dirección del haz reflejado, este no actúa sobre la pila, y el galvanómetro permanece estacionario; mas si se la hace girar lentamente, se encuentra una posición en que el galvanómetro marca una desviación máxima, lo cual sucede cuando la pila recibe de lleno el haz reflejado. Anotando entonces la dirección, en el limbo graduado, de una pequeña aguja perpendicular al espejo y que representa su normal, se observa que esta es bisectriz del ángulo formado por el haz incidente y el reflejado, lo cual demuestra la primera ley.

Demuéstrase también la segunda por el mismo experimento, porque las diferentes piezas del aparato están dispuestas de modo que los rayos incidente y reflejado están en un plano horizontal y por consiguiente perpendicular á la superficie reflejante, la cual es vertical.

416. Reflexión irregular ó difusión. — En el experimento precedente se refleja el calor sobre una superficie bien pulimentada y se admite que la reflexión se efectúa en una sola dirección: tal es la *reflexión regular ó especularia*. Pero el calor al caer sobre la superficie de los cuerpos no se refleja en completa conformidad con las leyes de la reflexión regular (414), sino que una parte lo efectúa irregularmente, es decir, en todas direcciones alrededor del punto de incidencia, fenómeno que se designa con el nombre de *reflexión irregular ó difusión*; entendiéndose por poder difusivo de una sustancia cualquiera, la razón de la cantidad de calor reflejado en todas direcciones á la de calor incidente.

La reflexión regular se origina sobre las superficies pulimentadas, y la irregular sobre las rugosas ó que tienen asperezas como los cristales raspados ó planchas metálicas cuando no están bruñidas.

El poder difusivo varía según el foco calorífico y la superficie reflejante. Con el negro de humo, los metales y los cristales lustrosos es aquel muy débil y puede despreciarse; pero con los metales sin bruñir, el vidrio raspado, el papel y el blanco de albayalde, el poder difusivo es mas ó menos considerable según el foco calorífico.

Melloni fué quien descubrió la difusion del calor por medio del termo-multiplicador (295). Para comprobar su descubrimiento con dicho aparato no hay mas que recibir sobre una superficie mate, ó recubierta de blanco de albayalde, un haz de calor, y cualquiera que sea la inclinacion y el lado de la pila del termo-multiplicador que se dirija hácia el punto de incidencia, siempre la aguja del galvanómetro se desvia mas ó menos en el momento en que el calor encuentra á la superficie reflejante, lo cual patentiza la reflexion del calor en todas direcciones, sea cual fuere la inclinacion.

417. Reflexion sobre los espejos cóncavos. — Dáse el nombre de *espejos cóncavos* ó *reflectores* á unas superficies esféricas ó parabólicas, de metal ó de vidrio, que sirven para concentrar en un solo punto los rayos luminosos ó caloríficos.

Solo consideraremos los espejos esféricos. La figura 445 representa dos de ellos, y en la 444 se ve su seccion mediana, llamada *seccion prin-*

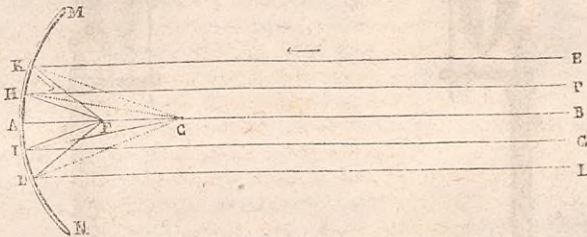


Fig. 444.

cipal. El centro C de la esfera á que pertenece el espejo, se denomina *centro de curvatura*; el punto A, ó la parte media del reflector, es el *centro de figura*; y por fin la recta AB, tirada por estos dos puntos, es el *eje principal del espejo*.

A fin de aplicar á los espejos esféricos las leyes de la reflexion sobre las superficies planas, se los considera formados por una infinidad de superficies planas sumamente pequeñas, perteneciendo cada una al plano tangente correspondiente; mediante esta hipótesis, se puede deducir, por la Geometría, que las normales á estas pequeñas superficies van á concurrir todas al centro de curvatura.

Supongamos en el eje AB del espejo MN un foco de calor bastante lejano para que podamos considerar como paralelos entre sí los rayos EK, PH.... que de él emanan. En virtud de la hipótesis anterior, que supone constituido el espejo por una infinidad de pequeños elementos planos, el rayo EK se refleja sobre el elemento K, exactamente lo mismo que lo haria sobre un espejo plano; es decir, que siendo CK la normal á este elemento, acepta el rayo una direccion KF tal, que el ángulo CKF es igual al CKE. Los demás rayos PH, GI...., que se reflejan del mismo modo, van á concurrir casi á un mismo punto F, situado en la mitad de la recta AC, conforme se demostrará en la óptica (490). Existe, pues, en F, reunion de los rayos caloríficos, y por consiguiente, una temperatura mas elevada que en los demás puntos. De aquí el nombre de *foco* que se ha dado á este punto. La distancia FA del foco al espejo, se llama *distancia focal*.

En la figura anterior se propaga el calor siguiendo las líneas EKF,

LDF....., en el sentido de las flechas; pero, recíprocamente, si el cuerpo caliente se halla en F, se propaga el calor según las direcciones FKE, FDL....., de suerte que los rayos emitidos del foco quedan, después de la reflexión, paralelos entre sí: de lo cual resulta que el calor transmitido no pierde nada de su intensidad.

418 Demostración de las leyes de la reflexión por medio de los espejos cóncavos. — El experimento que sigue, efectuado la vez primera por Pictet y Saussure, en Ginebra, y conocido por el nombre de *experimento de los espejos conjugados*, demuestra á la vez la existencia de los focos, y las leyes de la reflexión del calor. Dispónense al efecto dos reflectores M y N (fig. 445) á 4 ó 5 metros de distancia, de manera que coin-

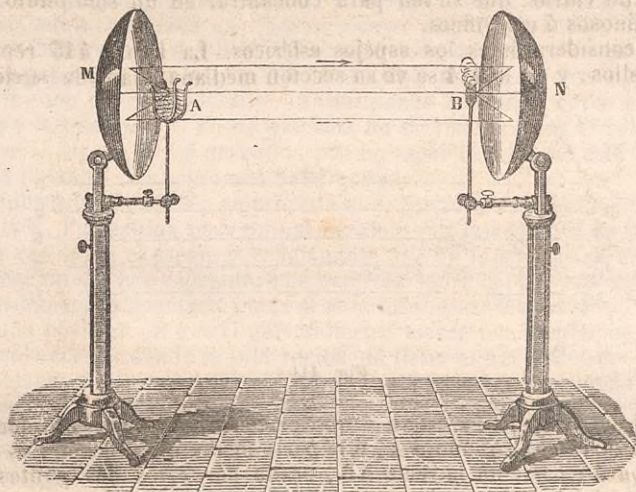


Fig. 445.

cidan sus ejes. En el foco de uno de ellos, en un canastillo de alambre de hierro A, se ponen varias ascuas, y en el foco del otro un cuerpo inflamable B, por ejemplo, yesca. Los rayos emitidos por las ascuas, se reflejan primero en el espejo M: toman, por efecto de esta reflexión, una dirección paralela al eje (417); se reflejan de nuevo sobre el otro reflector, y van á concurrir á su foco B. Así lo prueba la combustión de la yesca que se enciende en dicho punto y no en los demás.

Sirve además este experimento para demostrar que la reflexión del calor y la luz están sujetas á unas mismas leyes. Colócase, al efecto, en el foco A, donde estaban las ascuas, una vela encendida, y en el B una pantalla de vidrio destrozado, ó de papel, observándose en esta un foco luminoso, exactamente en el sitio mismo en donde se enciende la yesca, lo cual nos dice que el foco de calor y el de luz se forman en un mismo punto. Verifícase, pues, la reflexión en ambos casos, siguiendo las mismas leyes. Al hablar de la luz demostraremos (480) que el ángulo de reflexión es igual al de incidencia, y que el rayo incidente y el reflejado se encuentran en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante y por consiguiente, *lo mismo sucede con el calor.*

419. Espejos ustorios. — Los espejos cóncavos han recibido el nombre de *espejos ustorios*, por efecto de la alta temperatura que puede obtenerse en sus focos. Refiérese que Arquímedes incendió los buques romanos delante de Siracusa, por medio de tales espejos. Buffon construyó espejos ustorios, cuya potencia prueba que es muy posible el hecho atribuido á Arquímedes. Dichos espejos constaban de muchos cristales planos y azogados, de 22 centímetros de largo por 16 de ancho, los cuales podían girar independientemente unos de otros en tal ó cual direccion, de suerte que los rayos reflejados fuesen á concurrir á un mismo punto. Con 128 espejos sometidos al ardiente sol del verano, inflamó Buffon una tabla de madera embreada, á 68 metros de distancia.

Recibiendo los rayos solares en un espejo cóncavo de laton batido, cuyo diámetro y rádio de curvatura sean respectivamente 1 y 2 metros, se obtiene un foco calorífico tan intenso, que la sílice, la piedra pómez, el cobre y la plata se funden allí en pocos minutos.

420. Reflexion en el vacío. — El calor se refleja del mismo modo en el vacío que en el aire, conforme se demuestra por medio del siguiente experimento, debido al químico inglés Davy. Dispónense debajo de la campana de la máquina neumática dos pequeños reflectores uno en frente de otro (fig. 446). En el foco de uno de ellos hay un termómetro muy sensible, y en el del otro un manantial de calor eléctrico, que consiste en un alambre incandescente de platino, lo cual se consigue haciendo pasar por él la corriente de una pila. Véese en seguida que el termómetro sube algunos grados, lo cual es debido al calor reflejado, puesto que cuando el termómetro no está situado exactamente en el foco del otro reflector no acusa el mismo incremento de temperatura.

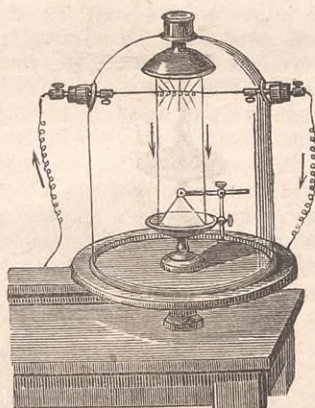


Fig. 446.

421. Reflexion aparente del frio. — Si se colocan dos reflectores uno en frente de otro, como los representa la figura 445, y en vez de ascuas se pone en el foco del espejo M un trozo de hielo ó una mezcla frigorífica, estando el ambiente á 12 ó 15°, por ejemplo, se observa que un termómetro diferencial situado en el foco del otro reflector indica un enfriamiento de algunos grados. A primera vista parece que depende este fenómeno de rayos frigoríficos emitidos por el hielo; pero esta *reflexion aparente del frio*, que es como se llama, se explica por la teoría que expusimos (411) acerca del equilibrio inestable de temperatura que siempre tiende á establecerse entre los cuerpos. En este experimento, lo mismo que en el de la inflamacion de la yesca, el espejo delante del cual está el trozo de hielo se sustituye á una parte del recinto, y por tanto los rayos de calor que este envía hácia el termómetro los intercepta el espejo y son reemplazados por aquellos que procedentes del hielo caen sobre el primer espejo, reflejándose allí hácia el segundo, para ir al fin á caer sobre una de las esferas del termómetro; pero estos rayos no compensan el efecto de los interceptados por el espejo, por ser mas baja su temperatura, resultando de aquí el enfriamiento marcado por el termómetro.

A la misma causa debemos atribuir el frío que sentimos junto á las paredes de ladrillo ó piedra, y en general cerca de toda masa cuya temperatura es inferior á la nuestra.

422. Poder reflector.—Llámanse así la propiedad que posee cualquiera sustancia de reflejar una parte mas ó menos considerable del calor incidente.

Distínguese el *poder reflector absoluto* del *relativo*: el primero es la razon de la cantidad de calor reflejado á la cantidad de calor incidente; el segundo es la razon de la cantidad de calor reflejado por un cuerpo á la misma reflejada por otro, que generalmente es el laton bruñido.

El poder reflector es variable segun la naturaleza de las sustancias, y para poderle estudiar en varias, sin necesidad de construir tantos reflectores cuantas ellas sean, dispuso Leslie sus experimentos como lo demuestra la figura 447. El foco de calor es un cubo *M* lleno de agua á 100°; en el

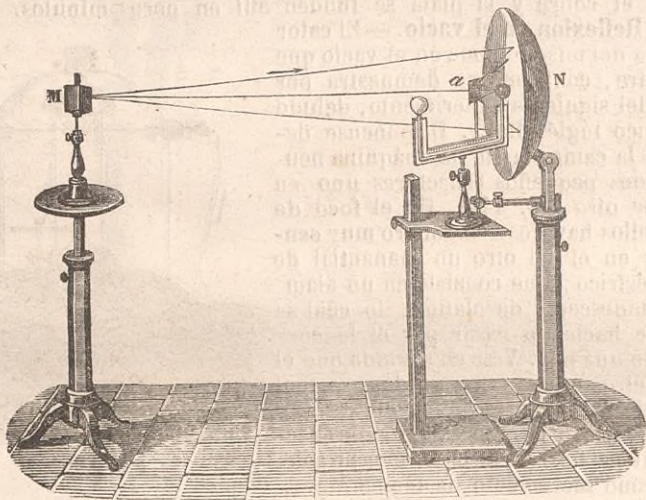


Fig. 447.

eje de un reflector *N*, entre el foco y el espejo, se sitúa una hoja ó plancha *a* de la sustancia cuyo poder reflector se quiere determinar. Con esta disposicion los rayos emitidos por el foco y reflejados primero sobre el espejo encuentran la plancha *a*, se reflejan en ella otra vez, y van á formar su foco entre la misma y el espejo, en un punto donde se coloca una de las esferas de un termómetro diferencial. Obsérvese entonces que, siendo los mismos el reflector y el termoscopio, y estando siempre á 100° el agua del cubo, la temperatura del último varía con la naturaleza de las planchas sometidas al experimento; de donde se deduce, no el poder reflector absoluto de un cuerpo, sino la relacion de este poder con el de otro cuerpo tomado como término de comparacion. En efecto, conforme á lo dicho (413, 2.^a) sobre la aplicacion de la ley de Newton al termómetro diferencial, las temperaturas marcadas por este instrumento son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. Por consecuencia, si una plancha de vidrio y otra de plomo, por ejemplo, hacen va-

riar el termómetro diferencial 1° la primera y 6° la segunda, debemos deducir de esto que la cantidad de calor reflejado por el plomo es séxtupla de la que refleja el vidrio, porque siendo constante la cantidad de calor que emana del cubo, lo mismo sucede á la reflejada por el espejo N, y la diferencia solo puede provenir del poder reflector de las planchas a.

Merced á este procedimiento, y representando por 100 el poder reflector del laton, tomado como término de comparacion, formó Leslie la siguiente tabla de los poderes reflectores relativos.

Laton bruñido.	400	Tinta de China.	43
Plata.	90	Estaño amalgamado.	40
Estaño acepillado.	80	Vidrio.	40
Acero.	70	Vidrio untado de aceite.	5
Plomo.	60	Negro de humo.	0

Estos números solo representan el poder reflector relativo de diferentes sustancias con respecto al laton.

Melloni fué el primero que determinó con el termo-multiplicador el poder reflector absoluto de cierto número de sustancias, y los Sres. Desains y de la Provostaye, que tambien le han determinado para diversos metales, disponian el aparato como lo está en la figura 443. Antes de colocar la plancha m se hacia girar la alidada R hasta que estuviese en la prolongacion de la regla MN, en cuyo caso la pila recibia directamente el calor del foco, marcando el galvanómetro 18° por ejemplo. Colocando entonces en el limbo graduado una planchita bien bruñida m del metal, cuyo poder reflector se trataba de determinar, se daba vuelta á la alidada hasta que la pila recibiese el calor reflejado por la plancha. Como el galvanómetro señalaba actualmente una desviacion menor, tal como 15°, se infirió de esto que el poder absoluto del metal era $\frac{4}{5}$. Así es como los dos citados físicos encontraron los poderes absolutos siguientes, estando reflejado el calor bajo un ángulo de 50°.

Plaqué de plata.	0,82	Acero.	0,82
Oro	0,95	Zinc.	0,81
Laton y cobre.	0,93	Hierro.	0,77
Platino.	0,83	Fundicion de hierro.	0,74

Dentro de poco se verá (427) cuáles son las causas que, en una misma sustancia, modifican el poder reflector.

423. Poder absorbente. — Es la propiedad que poseen los cuerpos de dejar penetrar en su masa una porcion mas ó menos considerable del calor incidente. Análogamente á lo que acabamos de decir, respecto de los poderes reflectores, se distinguen tambien el poder absorbente *absoluto* del *relativo*.

El Sr. Tyndall supone que la absorcion depende del sincronismo que existe entre las vibraciones de los átomos de donde emanan las ondulaciones del éter, y las de otros átomos con las cuales se encuentran dichas ondulaciones; lo cual explica por qué ciertos cuerpos absorben mas calor que otros.

El poder absorbente de un cuerpo está siempre en un orden inverso de su poder reflector; es decir, que cuanto mas calor refleja un cuerpo, menos absorbe, y vice-versa, sin que por esto sean complementarios ambos poderes, esto es, que la suma de las cantidades de calor reflejado y absorbido no representa la totalidad del calor incidente. La cantidad de calor absorbido siempre es menor, lo cual proviene de que el incidente

se divide en tres partes, á saber: 1.^a una que es absorbida; 2.^a otra que es reflejada con regularidad, ó sea segun las leyes antes demostradas (414); y 3.^a otra parte que se refleja de un modo irregular (416). Además, para cierto número de cuerpos hay que considerar otra cuarta parte de calor, la que pasa al través de ellos sin calentarlos (429).

Para determinar el poder absorbente de los cuerpos se sirvió Leslie del mismo aparato ya empleado en la investigación de los poderes reflectores (fig. 447), sin otra modificación que suprimir la planchita *a* y colocar una de las esferas del termómetro diferencial en el foco mismo del reflector. Recubierta sucesivamente esta esfera de negro de humo, barniz, hojillas de oro, de plata, de cobre, etc., y sometido el termómetro á la influencia del foco del calor *M*, indicaba una temperatura tanto mas alta, cuanto mas calor absorbía la sustancia que rodeaba á la esfera focal. De este modo averiguó Leslie que el poder absorbente de un cuerpo es tanto mayor, cuanto mas débil es su poder reflector. Sin embargo, con estos experimentos no es posible deducir la relacion de los poderes absorbentes de la de las temperaturas indicadas por el termómetro, por no ser aquí rigurosamente aplicable la ley de Newton, que solo es cierta tratándose de cuerpos cuya sustancia es invariable, al paso que la cubierta de la esfera focal varía en cada observacion. Pero pronto veremos (425) cómo de las relaciones de los poderes emisivos pueden deducirse las de los absorbentes.

Melloni determinó los poderes absorbentes relativos con su termomultiplicador por el método siguiente; fijaba delante de la pila planchas delgadas de cobre, cuya cara, que miraba á la pila estaba cubierta de negro de humo, y la que recibia los rayos del foco de calor lo estaba de la sustancia cuyo poder absorbente se investigaba, por ejemplo, de una capa de negro de humo, de albayalde, de goma laca ó de una hoja de papel, de oro ó de estaño; como todas estas sustancias absorben en distinto grado el calor incidente, las planchas de cobre radiaban desigualmente hácia la pila, y el galvanómetro marcaba desviaciones diferentes. Tomandó como foco de calor un cubo de Leslie lleno de agua á 100°, y representando por 100 el poder absorbente del negro de humo, determinó Melloni los siguientes poderes absorbentes relativos.

Negro de humo.	100	Tinta de China.	85
Blanco de albayalde.	100	Goma laca.	72
Cola de pescado.	91	Metales.	13

424. Poder emisivo.—El *poder emisivo ó radiacion* de los cuerpos es la propiedad que tienen los mismos de emitir en igualdad de temperatura y superficie una cantidad mayor ó menor de calor. Solo se consideran los poderes emisivos relativos.

Sirvióse tambien Leslie del mismo aparato representado en la figura 447 para la determinacion del poder emisivo de los cuerpos, á cuyo fin colocaba la esfera del termómetro diferencial en el foco mismo del reflector, y las caras del cubo *M* se componian de diferentes metales ó estaban cubiertas con diversas sustancias, como negro de humo, papel, etc. Lleno el cubo de agua á 100°, y en las mismas condiciones todo lo demás, iba volviendo sucesivamente hácia el reflector cada una de las caras del cubo, y anotaba las temperaturas que indicaba el termómetro: de esta manera observó que la cara recubierta de negro de humo originaba en el foco del reflector una temperatura mucho mas alta que

todas las demás, y que las caras metálicas producian las mas bajas. Aplicando la ley de Newton á estas observaciones, y representando por 100 el calor que emitia el negro de humo, formó Leslie la siguiente tabla de los poderes emisivos relativos.

Negro de humo.	100	Cola de pescado.	80
Albayalde.	100	Plomo empañado.	45
Papel.	98	Mercurio.	20
Lacre.	95	Plomo brillante.	19
Vidrio blanco comun.	90	Hierro bruñido.	15
Tinta de China.	88	Estaño, oro, plata, cobre.	12

Obsérvese que en esta tabla el órden de los cuerpos es precisamente el inverso del de la tabla de los poderes reflectores.

Melloni determinó los poderes emisivos tomando, como Leslie, por foco de calor un cubo lleno de agua á 100°, con una de sus caras cubierta de negro de humo, y las otras con diferentes sustancias, como albayalde, cola de pescado, tinta de China, etc. Dirigiendo sucesivamente

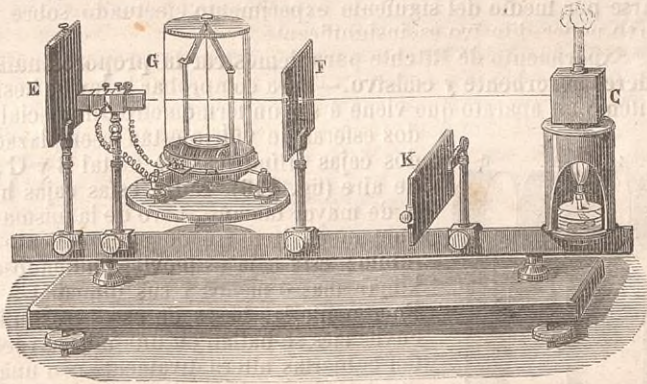


Fig. 448.

sobre la pila los rayos emitidos por estas diferentes caras (fig. 448) y representando por 100 el poder emisivo del negro de humo, halló los siguientes poderes emisivos:

Negro de humo.	100	Tinta de China.	85
Bianco de albayalde.	100	Goma laca.	72
Cola de pescado.	91	Superficies metálicas.	42

Los Sres. Desains y de la Provostaye, que repitieron estos experimentos sirviéndose del termo-multiplicador, hallaron los siguientes valores para los poderes emisivos de los metales, referidos al del negro de humo representado por 100.

Platino laminado.	10,80	Oro en hojas.	4,28
— bruñido.	9,50	Plata virgen laminada.	3,00
Plata mate posada químicamente.	5,36	— pura bruñida.	2,50
Cobre en planchas.	4,90	— posada químicamente y bruñida.	2,25

Comparados estos valores con los obtenidos por Leslie y Melloni se ve que el poder emisivo de los metales no es tan grande como ellos creian.

425. Identidad de los poderes absorbentes y emisivos.— De sus experimentos acerca de los poderes absorbentes y emisivos de diversas sustancias comparados con el del negro de humo, dedujo Leslie de una manera general que, para un mismo cuerpo, el poder emisivo es siempre igual al absorbente; es decir, que si una sustancia emite dos, tres veces mas calor que el negro de humo, absorbe tambien una cantidad doble ó triple del mismo.

Durante mucho tiempo se admitió esta ley como general; pero en virtud de los experimentos de Kirchhoff, quien observó que los poderes emisivos y absorbentes de una misma sustancia no varían en la misma proporcion cuando aumenta la temperatura ó cuando cambia el foco de calor, quedó sujeta la ley de Leslie á las dos condiciones siguientes:

1.^a Al comparar el poder emisivo de un cuerpo con su poder absorbente, la temperatura debe ser próximamente la misma.

2.^a El calor absorbido y el emitido deben ser de la misma naturaleza, es decir, ambos oscuros, ó ambos luminosos (408).

Con estas restricciones, la ley de Leslie es verdadera, y puede demostrarse por medio del siguiente experimento efectuado sobre sustancias cuyo poder difusivo es insignificante.

426. Experimento de Ritchie para demostrar la proporcionalidad de los poderes absorbente y emisivo.— Para comprobar la ley de Leslie, empleó Ritchie un aparato que viene á ser un termómetro diferencial, cuyas

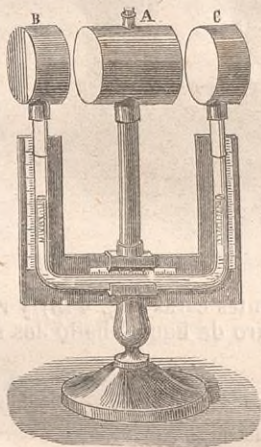


Fig. 449.

dos esferas de vidrio están reemplazadas por dos cajas cilíndricas de metal B y C, llenas de aire (fig. 449). Entre estas cajas hay otra A de mayor tamaño, pero de la misma forma, que puede llenarse de agua caliente por un tubito; esta caja es móvil, pudiéndose aproximar mas ó menos á sus inmediatas B y C. Finalmente las bases de estos tres cilindros, cuyos ejes se hallan en una misma recta, están cubiertas alternativamente con una chapa de plata ó una capa de negro de humo, de manera que las dos caras que afrontan están siempre una plateada y la otra ennegrecida. Por lo tanto, la base plateada de A radia hácia la negra de B, y la negra de A hácia la plateada de C.

Dispuesto así el aparato, y lleno el cilindro A de agua caliente, se observa que cuando está equidistante de B y de C, la columna termométrica queda estacionaria y á la misma altura en las dos ramas; lo cual prueba que los

dos cilindros B y C absorben igual cantidad de calor.

Ahora bien, si representamos por a y e los poderes absorbente y emisivo del negro de humo, y por a' y e' los respectivos de la plata, la cantidad de calor absorbida por B es simultáneamente proporcional á los valores a y e' y está representada por el producto $a \times e'$; análogamente el calor absorbido por C está representado por $a' \times e$; y como ambas

temperaturas son iguales, resulta $a \times e' = a' \times e$, de donde $\frac{a}{a'} = \frac{e}{e'}$;

igualdad que expresa de una manera general que *los poderes absorbentes son proporcionales á los poderes emisivos.*

Pero si se toman por unidades de los poderes absorbentes y emisivos los respectivos del negro de humo, la igualdad anterior se reduce á esta otra: $a' = e'$; es decir, que en este caso el *poder absorbente es igual al emisivo.*

427. Causas que modifican los poderes reflector, absorbente y emisivo.—Siendo iguales los poderes absorbente y emisivo, toda causa que modifique al uno modifica necesariamente al otro en el mismo sentido; en cuanto al poder reflector, como su marcha sigue un orden inverso al de los otros dos, toda causa que aumente el valor de estos disminuye el de aquel, y recíprocamente.

Ya se ha visto que estos poderes varían con las sustancias, y que los metales son los cuerpos de mas poder reflector, mientras que el de negro de humo es el mas débil; pero en un mismo cuerpo se modifican además estos poderes por el grado de pulimento, densidad, espesor de la sustancia radiante ó reflejante, su estado físico, oblicuidad de los rayos incidentes ó emitidos, naturaleza del foco y en fin por la especie de calor, segun que sea oscuro ó luminoso.

Poder reflector.—Durante mucho tiempo se habia admitido que el poder reflector crecia de un modo general con el grado de pulimento de las superficies, y que por el contrario disminuian los otros poderes. Pero Melloni probó que rayando una plancha de metal pulimentada, unas veces disminuía y otras aumentaba el poder reflector, fenómeno que este físico explicaba por la mayor ó menor densidad que adquiere la plancha metálica reflejante. Si esta ha sido antes batida, pierde la homogeneidad por efecto del batido, y la cohesion de las moléculas es mayor en la superficie que en la masa, lo cual aumenta el poder reflector; mas cuando se raya la superficie, la masa interior, que no es tan compacta, queda á descubierto, y el poder reflector disminuye. Por el contrario, en una plancha sin batir y homogénea en toda su masa aumenta el poder reflector cuando se la raya con un instrumento cortante, lo cual proviene de un aumento de densidad ocasionado en la superficie por las rayas que en ella se han trazado.

El poder reflector varia con la inclinacion de los rayos incidentes, cuya influencia es poco perceptible en los metales, pero en las sustancias transparentes, la cantidad de calor reflejado aumenta rápidamente con el ángulo de incidencia: en el vidrio, por ejemplo, el poder reflector absoluto, que es 0,05 para un ángulo de incidencia de 20°, lo es 0,55 para otro de 80°.

El foco de calor influye tambien en el poder reflector: en el acero es 0,60 con el calor solar, y 0,83 con el que emite una lámpara de Locatelli (sin vidrio).

Finalmente, el poder reflector de los metales es mayor con el calor oscuro que con el luminoso.

Poder emisivo.—El espesor de los cuerpos radiantes modifica su poder emisivo, como lo prueban los experimentos de Leslie, Rumford y Melloni. Este último se cercióró de que barnizando las caras de un cubo de metal lleno de agua á una temperatura constante, crecia el poder emisivo con el número de capas de barniz hasta 16, quedando en seguida estacionario por mas capas que se agregasen; y calculó que el espesor de las 16 capas era 0^{mm},04. Respecto de los metales, si se aplican sucesivamente á las caras de un cubo de vidrio varias hojas de oro de 8, 4 y 2 milésimas

de milímetro, se observa que la disminucion del calor radiante es la misma. El espesor de la capa radiante no ejerce, pues, influencia alguna tratándose de los metales, al menos hasta el límite á que aquel se puede llevar.

El estado físico de una sustancia cambia tambien su poder emisoro. Parece ser que los cuerpos reducidos á polvo impalpable tienen todos el mismo poder emisoro; al menos así lo observaron los Sres. Masson y Courtepée en diez y seis cuerpos de veinte que sometieron al experimento. El Sr. Tyndall atribuye este resultado á la goma arábica con que fijaban los polvos, pues sirviéndose del agua halló este físico que los poderes emisivos diferian unos de otros.

El poder emisoro varia además con la inclinacion de los rayos en la superficie que los emite, excepto para el negro de humo, en el cual es aquel constante bajo todas las inclinaciones. Con el blanco de albayalde, el poder emisoro es 100 en la direccion normal; bajo una inclinacion de 80° solo llega á 66. En las mismas condiciones de oblicuidad, el poder emisoro del vidrio es respectivamente 90 y 54.

Por último, en un mismo cuerpo el poder emisoro varia con la temperatura; el del borato de plomo, por ejemplo, disminuye cuando la temperatura es muy alta, pues mientras que á los 100° es casi igual al del negro de humo, á 550° ya no es mas que 0,75.

Respecto á los cuerpos gaseosos en combustion, su poder radiante es sumamente débil, como se prueba aproximando la pila termo-eléctrica á una llama de hidrógeno, aunque la temperatura de esta llama sea muy alta; pero si se pone en ella una espiral de platino, adquiere su temperatura y radia fuertemente. Por un efecto semejante á este radian las llamas de los quinqués y gas del alumbrado mucho mas que la de hidrógeno, lo cual consiste en el exceso de carbono que aquellos contienen, el cual no quemándose en totalidad, se pone incandescente en la llama.

Poder absorbente. — Melloni hizo constar tambien que el poder absorbente varia con la naturaleza del foco de calor. Así, por ejemplo, siendo igual la cantidad de calor incidente, el carbonato de plomo absorbe casi doble calor cuando este es emitido por un cubo lleno de agua á 100° que cuando lo es por una lámpara. Solo el negro de humo absorbe siempre la misma cantidad de calor, cualquiera que sea el foco calorífico.

El poder absorbente varia con la inclinacion de los rayos incidentes y alcanza su máximum bajo la incidencia normal, disminuyendo á medida que aquellos se separan de esta. Hé aquí una de las razones por qué el suelo se calienta mas en verano que en invierno, pues entonces son menos oblicuos los rayos solares.

En una palabra, todas las causas que modifican el poder emisoro modifican en el mismo sentido el absorbente.

428. Aplicaciones. — La propiedad que poseen los cuerpos de absorber, reflejar ó emitir mas ó menos fácilmente el calor, ofrece numerosas aplicaciones en la economía doméstica y en las artes. Por ejemplo, en las vasijas en que se calientan líquidos, como las cafeteras, conviene que la superficie sea negra y sin pulimento, porque entonces es mayor el poder absorbente, y el brillo que se acostumbra á darles ocasiona un gasto mayor de combustible. Si se trata, por el contrario, de conservar caliente un líquido el mayor tiempo posible, se le debe poner en una vasija de metal bruñido que tenga mucho brillo, como las teteras de plata, porque

en tal caso, siendo menor el poder emisivo, el enfriamiento se verifica con mas lentitud.

Franklin colocó sobre la nieve telas de diferentes colores, expuestas á los rayos solares, y observó que las telas negras se hundian á mayor ó menor profundidad, y que las blancas no se hundian por completo; de lo cual dedujo que las primeras absorbian mejor el calor que las últimas. Los experimentos de Franklin han tenido luego aplicacion durante mucho tiempo en la eleccion de nuestros vestidos, suponiendo que los de color blanco son mas frescos que los negros, durante el estío, porque absorben menos calor, y mas calientes en el invierno por ser tambien menor su poder emisivo. A este propósito el Sr. Tyndall observa acertadamente que si todos los rayos caloríficos fuesen luminosos, podriamos del color de los cuerpos deducir con certeza su poder absorbente; pero que siendo invisible la mayor parte de la radiacion solar (536), la coloracion y la absorcion son dos fenómenos distintos. En efecto, el citado físico hizo ver que presentando sucesivamente á la pila del termo-multiplicador tres de las caras de un cubo de hoja de lata, lleno de agua á 100°, una blanqueada con creta, otra enrojecida con carmin, y la tercera ennegrecida con humo, dichas tres caras producen igual desviacion en la aguja del galvanómetro; y que presentando la cara sin pintar, en seguida la aguja se aproxima al cero. Igual resultado se observa si las tres caras del cubo se forran respectivamente de terciopelo blanco, rojo, y negro, quedando la otra descubierta. Finalmente, el Sr. Tyndall hace constar que exponiendo á un foco calorífico dos cartulinas una blanca y otra ennegrecida con yodo, la primera se calienta mucho mas que la segunda; de lo cual deduce que lo que mas influye en nuestros vestidos, en la piel de los cuadrúpedos y en el plumaje de las aves no es el color, sino el tejido y el grado de conductibilidad.

CAPITULO X.

TRASMISION DEL CALOR AL TRAVÉS DE LOS CUERPOS.

429. **Poder diatermano.**—Además de la propiedad que tienen los cuerpos de reflejar, absorber y emitir mas ó menos el calor, poseen tambien la de dejarle pasar al través de ellos sin calentarse, como lo verifica la luz por los cuerpos transparentes: tal sucede con el aire, el agua y el hielo; pero hay sustancias, como son los metales, impermeables al calor.

Melloni llamó *sustancias diatermanas* á las primeras y *atermanas* á las últimas; y se entiende por *poder diatermano* de una sustancia la razon de la cantidad de calor que trasmite á la que recibe.

430. **Experimentos de Melloni.**—Para determinar los poderes diatermanos se sirvió este físico de su termo-multiplicador anteriormente descrito (295), al cual aplicó cinco orígenes distintos de calor, á saber: 1.° una lámpara de Locatelli, es decir, sin vidrio, con reflector y una sola corriente de aire (fig. 450); 2.° una lámpara de Argand, esto es, de doble corriente de aire y provista de vidrio: á esta clase pertenecen las lámparas de Cárcel; 3.° un alambre de platino arrollado en hélice y mantenido al rojo blanco en una lámpara de alcohol (fig. 451); 4.° un cubo de cobre, teñida de negro su superficie exterior, y lleno de agua á una temperatura constante de 100° (fig. 352); 5.° finalmente, una plancha tambien de co-

bre ennegrecida y puesta á la temperatura de 400° próximamente, merced á una lámpara de alcohol (fig. 453).

Es de observar que de estos cinco manantiales de calor el de los tres



Fig. 450.



Fig. 451.



Fig. 452.



Fig. 453.

primeros es luminoso, y oscuro el de los dos últimos; y ahora vamos á ver que el poder diatermano varia en una misma sustancia segun sea la clase de calor (431).

El termo-multiplicador estaba dispuesto como aparece en la figura 454.

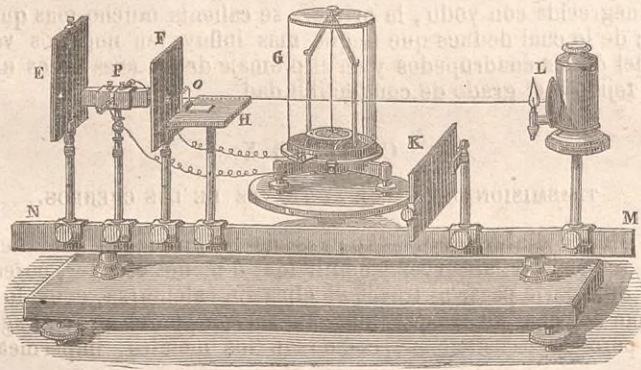


Fig. 454.

Las sustancias sometidas al experimento estaban preparadas en hojas de diferente espesor y fijas en o sobre un sosten H. Los rayos caloríficos, despues de atravesarlas, iban á parar á la pila P y ocasionaban una desviacion en la aguja del galvanómetro G, cuya desviacion indicaba la cantidad de calor trasmitado. Comparando esta desviacion con la que se produce sin exponer á los rayos caloríficos la sustancia sometida al experimento se obtiene su poder diatermano.

431. **Causas que modifican el poder diatermano.** — Los experimentos de Melloni le condujeron al conocimiento de las causas que modifican el poder diatermano, las cuales son seis, á saber:

- 1.^a La naturaleza de las pantallas que atraviesa el calor.
- 2.^a El grado de pulimento de dichas pantallas.

3.^a Su espesor.

4.^a El número de pantallas que sucesivamente atraviesa el calor.

5.^a La naturaleza de las ya atravesadas.

6.^a La del foco de calor.

1.^a *Influencia de la sustancia de las pantallas.* — Experimentando con diversos líquidos puestos sucesivamente en una vasija de vidrio cuyas caras opuestas eran paralelas y distaban entre sí 9^{mm}, 2, y comparando las indicaciones dadas por el aparato, al hallarse interpuestos los líquidos, con el efecto observado cuando el calor llegaba á él directamente, encontró Melloni, tomando como manantial de calor una lámpara de Argand, que de 100 rayos incidentes

El sulfuro de carbono deja pasar.	65
El aceite comun ó de olivas.	50
El éter.	21
El ácido sulfúrico.	17
El alcohol.	15
El agua azucarada ó con alumbre.	12
El agua destilada.	11

Efectuando los mismos experimentos con diferentes sustancias sólidas cortadas en hojas todas del mismo espesor de 2^{mm}, 2, obtuvo los resultados siguientes :

De 100 rayos, la sal gema deja pasar.	92
— el espato de Islandia y el vidrio de espejos.	62
— el cristal de roca ahumado.	57
— el carbonato de plomo diáfano.	52
— la cal sulfatada diáfana.	20
— el alumbre diáfano.	12
— el sulfato de cobre.	0

De los resultados consignados en las dos tablas precedentes se infiere que pueden muy bien dejarse atravesar por el calor sustancias mas ó menos impenetrables á la luz, como el cristal de roca ahumado, siendo asi que pueden ser muy diáfanas otras muy poco permeables al calor, por ejemplo, el sulfato de cal y sobre todo el alumbre. Estos diversos experimentos conducen, pues, á admitir que no existe relacion alguna entre el poder diatermano y la traslucidez de los cuerpos.

2.^a *Influencia del pulimento.* — El poder diatermano de una pantalla aumenta segun que esté mas ó menos bruñida. El citado físico observó que las indicaciones de su aparato variaban de 12 á 5 grados con solo interponer pantallas de cristal de igual naturaleza y grueso, pero mas ó menos pulimentadas.

3.^a *Influencia del espesor.* — La cantidad de calor que atraviesa una pantalla diatermana, decrece cuando aumenta su espesor; pero la absorcion no es proporcional al mismo, pues esta se efectúa generalmente en las primeras capas, y á cierta profundidad el calor trasmitado tiende á quedar estacionario, aun cuando siga aumentando el espesor. Melloni comprobó este hecho experimentando en planchas de vidrio blanco cuyos gruesos eran 1, 2, 3, 4, y encontró que de cada 1000 rayos dejaban pasar respectivamente 619, 576, 558 y 549, números cuyas diferencias tienden á ser nulas.

4.^a *Influencia del número de pantallas.* — Aumentando el número de pantallas que ha de atravesar el calor se produce un efecto análogo al observado cuando aumenta su espesor; es decir, que la absorcion crece

con menos velocidad que el número de pantallas, ó en otros términos, que la cantidad de calor absorbida decrece desde una de ellas á la que sigue. Además, si están sobrepuestas varias pantallas de la misma especie, detienen mas calor que una sola cuyo espesor sea igual á la suma de los de todas ellas. Por último, el efecto que producen sobrepuestas varias planchas, de diferentes sustancias, es independiente del órden en que se suceden.

5.^a *Influencia de la naturaleza de las pantallas ya atravesadas.*— Los rayos caloríficos que han atravesado ya una ó mas sustancias diatermanas, sufren una modificación que los hace mas ó menos á propósito para ser transmitidos al través de otras nuevas sustancias tambien diatermanas. Por ejemplo, comparando los resultados obtenidos con una lámpara de Argand, cuya llama está rodeada de un tubo de vidrio, con otros debidos á una de Locatelli, sin cristal, halló Melloni, representando por 100 los rayos incidentes, los siguientes resultados, relativamente á la cantidad de calor transmitido por ambas lámparas.

SUSTANCIAS.	LÁMPARA de Argand.	LÁMPARA de Locatelli.
La sal gema deja pasar.	92	92
El espato de Islandia y el cristal de espejos.	62	59
El cristal de roca ahumado.	57	37
La cal sulfatada.	20	14
El alumbre.	12	9

Dedúcese de aquí que el calor que en la lámpara de Argand ha atravesado ya el vidrio, se trasmite mas fácilmente por entre las demás sustancias. Solo la sal gema deja pasar siempre la misma cantidad de calor incidente.

6.^a *Influencia de la naturaleza del origen de calor.*— Esta causa modifica mucho el poder diatermano de los cuerpos, segun lo demuestran los resultados obtenidos por Melloni haciendo uso de cuatro distintos focos de calor. En efecto, representando tambien por 100 los rayos incidentes, obtuvo los siguientes resultados:

SUSTANCIAS.	LÁMPARA de Locatelli.	PLATINO incandescente.	COBRE á la temperatura de 400°.	COBRE á la temperatura de 100°.
La sal gema deja pasar.	92	92	92	92
El espato de Islandia.	59	28	6	0
El cristal de espejos.	59	24	6	0
Id. el de roca.	37	18	6	0
La cal sulfatada.	14	5	0	0
El alumbre.	9	2	0	0
El hielo puro.	6	0	0	0

Esta tabla demuestra, sin mas excepcion que la sal gema, que la proporcion de calor transmitido al través de los sólidos va disminuyendo con

la temperatura del manantial de calor, y llega á ser nula en uno de 100°. Los líquidos presentan el mismo fenómeno.

Reconócese tambien examinando la tabla anterior, que el calor luminoso es mas trasmisible que el oscuro, exceptuando tambien la sal gema, cuyo poder diatermano permanece invariable é igual á 92, cualquiera que sea el origen de calor de los que hemos citado. Segun Melloni tampoco influye en dicha sustancia el espesor de las pantallas, pues la pérdida del 8 por 100 del calor que la atraviesa, debe atribuirse únicamente á la reflexion sobre las dos caras de las planchas, y en este supuesto la juzgó perfectamente diatermana; pero posteriormente el Sr. Desains reconoció que el poder diatermano de la sal gema decrece cuando aumenta el espesor ó cuando la temperatura del foco calorifero es menor. Magnus, por su parte, ha hecho ver en sus recientes investigaciones sobre este asunto, que para ciertos manantiales de calor oscuro, y particularmente para el emitido por una plancha de sal gema, cuya temperatura sea 150°, dicha sustancia no es mas diatermana que otra cualquiera; y que su diatermancia, lejos de ser constante, varia con el espesor como la de todos los demás cuerpos. Finalmente el mismo sábio ha probado que el poder diatermano del cloruro de potasio es por lo menos igual al de la sal gema para todos los manantiales de calor.

432. Diatermancia de los gases.—Melloni supuso que todos los gases eran perfectamente diatermanos; pero el Sr. Tyndall, en sus recientes experimentos ha descubierto que, mientras el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno están dotados de tal poder diatermano que solo absorben una cantidad casi inapreciable del calor que les atraviesa, los gases compuestos, como el ácido sulfuroso, el gas amoníaco y el oleificante, paralizan casi por completo el calor, aun cuando su tension sea solamente algunos centímetros de mercurio. Experimentando el Sr. Tyndall en el aire húmedo, encontró que este absorbe 70 veces mas calor que el aire seco, de lo cual dedujo que el poder absorbente del primero es mayor que el del segundo. Pero Magnus, por otra parte, halló que el aire seco y el húmedo tienen casi el mismo poder absorbente, y que solo se encuentra alguna diferencia cuando el agua se halla en dicho fluido en estado vesicular, es decir, en el estado que presenta cuando condensándose en el aire se hace visible. Finalmente el Sr. Wild, en Berna, descubrió que la discordancia entre los resultados de los Sres. Tyndall y Magnus provenia de la pared del tubo donde habian encerrado el aire húmedo para efectuar sus experimentos. Si la pared interior de este tubo está pulimentada, el aire húmedo absorbe mas calor que el seco; y si por el contrario está ennegrecida ó forrada de terciopelo, el aire seco absorbe mas que el húmedo. Por consiguiente, la diferencia que se observa en los resultados obtenidos proviene del vapor que se condensa en las paredes del tubo.

433. Aplicaciones del poder diatermano.—El aire es muy diatermano, y á esta circunstancia se debe el que las capas superiores de la atmósfera estén siempre á muy baja temperatura, á pesar de los rayos solares que las atraviesan. Por ser el agua poco diatermana se produce el fenómeno contrario en el seno de los mares y lagos, participando tan solo de las vicisitudes atmosféricas, segun las estaciones, las capas superiores, y quedando invariable la temperatura á cierta profundidad.

Las propiedades de los cuerpos diatermanos se han utilizado para separar la luz y el calor que radian juntos de un mismo foco. La sal gema cubierta con negro de humo detiene por completo la luz y deja pasar el

calor; y por el contrario, las capas ó disoluciones de alumbre detienen el calor y dan paso á la luz. Aplícase con ventaja este último procedimiento á los aparatos que se iluminan con los rayos solares ó la luz eléctrica, cuando es necesario evitar un calor demasiado intenso. El yodo disuelto en el bisulfuro de carbono produce el efecto contrario, pues absorbe los rayos luminosos y deja pasar el calor.

El uso de campanas de cristal en las huertas y jardines para el abrigo de ciertas plantas está fundado en la propiedad diatermana de aquella sustancia, indicada en la tabla anterior (431, 6.^a), pues la atraviesan los rayos solares que tienen una alta temperatura, y no el calor radiante del suelo.

434. Diferentes especies de rayos caloríficos: termocrosis. — Las propiedades que en su paso al través de los cuerpos ofrece el calor, indujeron á Melloni á emitir acerca de este fluido una hipótesis igual á la que hace tiempo se conoce sobre la luz. Así como Newton admitió varias especies de luz, *roja, anaranjada, amarilla, verde, azul, indigo y violeta*, que son desigualmente trasmisibles al través de los cuerpos diáfanos, y pueden combinarse entre sí ó quedar aisladas; así también Melloni admite la existencia de varias especies de rayos caloríficos emitidos simultáneamente en proporciones variables por los diversos focos de calor y dotados de la propiedad de atravesar mas ó menos fácilmente las sustancias diatermanas. Según esto, dichas sustancias poseerian una verdadera *coloracion* calorífica; es decir, que absorberian ciertos rayos y dejarían pasar los demás, cual un vidrio azul, por ejemplo, se deja penetrar por este color y no por los demás. Melloni ha dado el nombre de *termocrosis* á esta propiedad que tiene el calor de componerse de rayos caloríficos de diferentes especies.

La teoría de Melloni se explica perfectamente en el sistema de las ondulaciones, admitiendo que las propiedades de las diferentes especies de rayos caloríficos deben su origen á números diferentes de vibraciones, ó á ondas caloríficas de desigual longitud.

Esta teoría es la adoptada hoy por todos los físicos; volveremos á ocuparnos de ella al tratar del *espectro calorífico*, cuyo estudio está íntimamente relacionado con el del espectro luminoso (540).

CAPITULO XI.

ORÍGENES DE CALOR Y DE FRIO.

435. Diferentes orígenes de calor. — Según la teoría de la termodinámica solo existe en realidad un origen de calor; el movimiento impreso á las moléculas de la materia. Pero como este puede obtenerse de varias maneras, de aquí el que los orígenes de calor se clasifiquen del modo siguiente: 1.^o orígenes *mecánicos*, que comprenden el frotamiento, la percusion, la presión y la destruccion del movimiento; 2.^o orígenes *físicos*, á saber: la radiacion solar, el calor terrestre, las acciones moleculares, los cambios de estado y la electricidad; y 3.^o orígenes *químicos*, esto es, las combinaciones moleculares, y principalmente la combustion.

MANANTIALES MECÁNICOS.

436. Calor desarrollado por el frotamiento. — El roce de dos cuerpos uno con otro desenvuelve una cantidad de calor tanto mas considerable,

cuanto mas fuerte es la presión y mas rápido el movimiento. Así sucede con frecuencia que los cubos de las ruedas de los carruajes se calientan hasta inflamarse á causa de su roce con el eje. H. Davy fundió en parte dos pedazos de hielo frotándolos uno con otro en una atmósfera bajo cero. Al barrenar Rumford, debajo del agua, una masa de bronce, vió que para obtener 250 gramos de limaduras, es capaz el calor producido por el frotamiento de elevar 25 kilogramos de agua desde cero á 100° , cantidad que representa 2500 calorías. Los Sres. Baumont y Mayer construyeron en 1855, en Paris, un aparato con el cual elevaban en algunas horas, 400 litros de agua desde 10 hasta 130° , cuyo efecto era debido al roce de un cono de madera cubierto de cáñamo y que giraba, con una velocidad de 400 vueltas por minuto, dentro de otro cono hueco de cobre, fijo y sumergido en el agua de una caldera herméticamente cerrada, teniendo cuidado de engrasar continuamente con aceite las superficies frotadas.

Como los experimentos de Rumford y de Baumont y Mayer exigen demasiado tiempo para que puedan repetirse en las cátedras, puede destinarse á este fin un aparato de Tyndall, el cual en pocos minutos demuestra el calor por frotamiento. Consiste en un tubo de latón, hueco y lleno de agua, al cual se da un rápido movimiento de rotación por medio de una polea, en la cual está fijo, de una gran rueda y de una correa sin fin (figura 455). El tubo tiene 10 centímetros de alto próximamente y 2 de diáme-

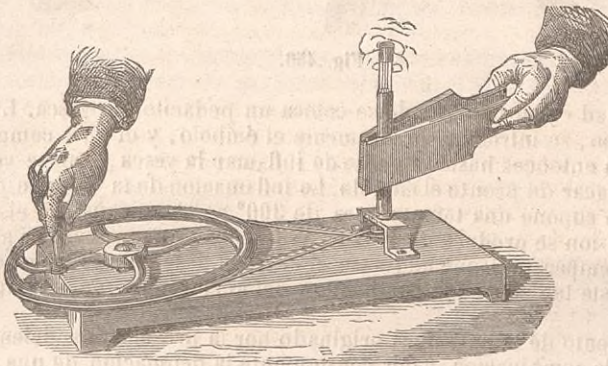


Fig. 455.

tro. Para que dure menos el experimento se le llena de agua templada y se le cierra con un tapon, á fin de que el líquido no salte fuera por efecto de la rotación. Alrededor del tubo se aplican unas pinzas de madera, formadas de dos tablillas reunidas por medio de una visagra y con una ranura cada una para que abarquen mejor el tubo. Mientras que con una mano se hace girar la gran rueda, con la otra se agarra suavemente el tubo entre las dos tablillas, y el frotamiento producido por estas origina una calefacción sumamente rápida, y pasando en breve de 100° la temperatura, la fuerza elástica del vapor hace saltar el tapon.

En el choque del eslabon con el pedernal se desarrolla tal cantidad de calor, que las partículas metálicas que se desprenden llegan á inflamarse en el aire.

En todos estos experimentos el calor producido por el rozamiento se atribuye á un movimiento vibratorio que adquieren las moléculas de los cuerpos; en todos los casos, pues, hay un movimiento trasformado en calor.

437. Calor originado por la presión ó por la percusión. — Si se comprime un cuerpo hasta el punto de aumentar su densidad, se eleva tanto mas su temperatura, cuanto mayor es la disminución de volúmen. Este fenómeno, poco perceptible en los líquidos, lo es más en los sólidos; pero en los gases, que son súmamente compresibles, el desprendimiento de calor que origina el trabajo consumido durante la compresión es muy considerable.

Demuéstrase este fenómeno, tratándose de los gases, por medio del *eslabon neumático*, que consiste en un tubo de vidrio de paredes gruesas, en el cual hay un émbolo de cuero ajustado herméticamente (fig. 456), con

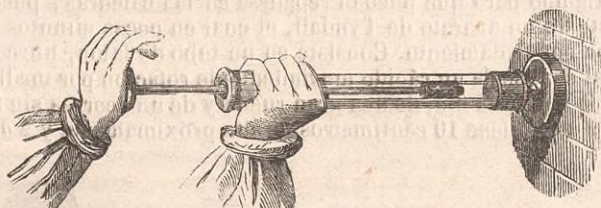


Fig. 456.

una cavidad en su base donde se coloca un pedacito de yesca. Lleno de aire el tubo, se introduce bruscamente el émbolo, y el aire comprimido se calienta entonces hasta el punto de inflamar la yesca, que se ve arder con solo sacar de pronto el émbolo. La inflamación de la yesca en este experimento supone una temperatura de 300° por lo menos. En el acto de la compresión se produce una luz bastante viva, que primero se atribuyó á la alta temperatura que adquiere el aire, y después se ha reconocido que consiste tan solo en la combustión del aceite con que se engrasa el émbolo.

El aumento de temperatura originado por la presión es suficiente para producir la combinación, y por consiguiente la detonación de una mezcla de oxígeno y de hidrógeno.

La percusión es otro manantial de calor, según puede verse batiendo sobre un yunque un metal maleable.

El calor por presión y percusión es debido á un trabajo exterior que se transforma en calor.

438. Experimentos de Tyndall sobre la compresión de los gases. — Tomamos de una obra de este distinguido físico los dos experimentos siguientes, que en el fenómeno de la compresión de los gases patentizan la transformación del calor en trabajo mecánico, y recíprocamente, del trabajo mecánico en calor.

Tómase un vaso de metal de paredes resistentes, provisto de una llave en la cual se atornilla una bomba de compresión, y se comprime el aire en el vaso; como el gas se calienta por la presión, se deja enfriar durante algunas horas hasta que haya vuelto á la temperatura del ambiente. Abriendo luego la llave, el aire sale con violencia, sucediendo esto por

la fuerza expansiva del gas interior; en una palabra, es el aire que se expulsa á sí mismo. Existe, pues, trabajo ejecutado por el gas, y por tanto, segun la teoría dinámica del calor, debe haber desaparicion del mismo. En efecto, si se recibe el chorro de gas en la pila termo-

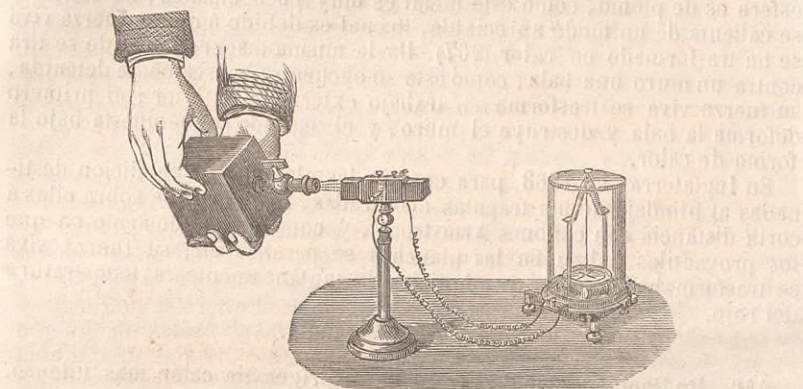


Fig. 437.

eléctrica (fig. 457), el galvanómetro indica, por el sentido de su desviación, que hay enfriamiento.

Por el contrario, si se repite el experimento con un fuelle comun y se recibe tambien el chorro de gas en la pila (fig. 458), la desviación de



Fig. 458.

la aguja del galvanómetro se verifica en el sentido opuesto, lo que prueba que hay calefacción. Efectivamente, en el primer experimento, como el trabajo mecánico de empujar el aire hácia adelante, se ejecuta por el aire mismo, una porción de calor se consume en este esfuerzo; siendo así que en el segundo es la mano del experimentador la que efectúa el trabajo. En este caso, lo mismo que en el eslabon neumático, se transforma en calor un trabajo externo, y en el experimento de la figura 457 el trabajo interior se efectúa á expensas del calor.

439. Calor originado por la destruccion del movimiento.—Si se deja caer una esfera de marfil sobre un cuerpo duro, rebota en virtud de su gran elasticidad y no se calienta, porque el trabajo desarrollado por el descenso se consume inmediatamente al volver á subir (37). Pero si la esfera es de plomo, como este metal es muy poco elástico, no rebota y se calienta de un modo apreciable, lo cual es debido á que su fuerza viva se ha trasformado en calor (267). De la misma manera, cuando se tira contra un muro una bala, como esta se encuentra bruscamente detenida, su fuerza viva se transforma en trabajo exterior é interior; el primero deforma la bala y destruye el muro, y el segundo se manifiesta bajo la forma de calor.

En Inglaterra, en 1863, para ensayar las planchas de fundicion destinadas al blindaje de las fragatas acorazadas, se disparaba sobre ellas á corta distancia con cañones Armstrong, y como en el momento en que los proyectiles daban en las planchas se paralizaban, su fuerza viva se trasformaba en calor y adquirian instantáneamente la temperatura del rojo.

MANANTIALES FÍSICOS.

440. Radiacion solar.—El Sol es el origen de calor mas intenso. Ignórase la causa del calor emitido por este astro, que unos suponen ser una masa inflamada que experimenta inmensas erupciones, y otros le consideran compuesto de capas que reaccionan químicamente unas sobre otras, á semejanza de los pares de la pila voltáica, dando así origen á corrientes eléctricas á las cuales deberíamos la luz y el calor solares. Segun ambas hipótesis, la incandescencia del Sol debe tener un término.

Apoyándose en la teoría dinámica del calor, se ha tratado de explicar la continuidad del emitido por el Sol merced á la caída sobre este astro de una lluvia de asteróides. Es sabido que se llaman así los cuerpos meteóricos que cruzan la atmósfera y que se conocen con el nombre de estrellas fugaces, las cuales aparecen en gran número, principalmente en las noches del 9 y 10 de agosto y en la del 12 de noviembre de cada año. Cayendo estos cuerpos sobre el Sol con una velocidad que excede en mucho á la que se observa en la superficie de la Tierra, su choque desarrolla una enorme cantidad de calor que compensaria el que pierde aquel astro por efecto de la radiacion. Bastaria para esto que la capa de asteróides que caen anualmente sobre el Sol fuese de 20 metros de espesor, cuyo aumento de volúmen es harto insignificante para que pueda apreciarse por los instrumentos que poseemos. Esta hipótesis fué propuesta por Mayer y sostenida luego por los Sres. Waterston y W. Thomson.

Varias tentativas se han hecho para medir la cantidad de calor que anualmente emite este astro. Pouillet calculó con un aparato de su invencion, llamado *pireliómetro*, que si la cantidad total de calor que la Tierra recibe del Sol en el curso de un año se emplease toda ella en fundir hielo, seria capaz de derretir una capa cuyo espesor fuese de 31^m,89 alrededor de todo el globo. Pues bien, atendida la superficie que presenta la Tierra á la radiacion del Sol, y en vista de la distancia á que de él se encuentra, no recibe aquella mas que $\frac{1}{400000000}$ del calor emitido por este astro.

441. Calor terrestre.—Nuestro globo posee un calor propio conocido con el nombre de *calor central*, pues á una corta profundidad, que varía segun los paises, se encuentra una capa cuya temperatura es constante

en todas las estaciones; y de lo cual se infiere que el calor solar no penetra en el suelo sino hasta cierta profundidad. Además, se observa que debajo de esta capa, llamada *capa invariable*, aumenta la temperatura por término medio 1 grado por cada 30 ó 40 metros que se profundice. Esta ley del aumento de temperatura del suelo se ha comprobado á grandes profundidades en las minas y los pozos artesianos. A 3500 metros de profundidad llegaría ya á 100° la temperatura de la capa correspondiente. Las aguas termales y los volcanes confirman la existencia del calor central.

La profundidad de la capa invariable no es la misma en los diferentes puntos del globo, pues en Paris está á 27 metros, y la temperatura es constantemente de 11°,8.

Para explicar el calor central del globo se han emitido varias hipótesis; pero la que generalmente admiten los físicos y los geólogos es la que supone que la Tierra fué líquida en un principio por efecto de una temperatura muy elevada, y que por radiacion se fué solidificando poco á poco la superficie terrestre hasta formar una corteza ó costra sólida, que aun hoy día no pasará de 60 kilómetros de espesor, estando todavía en el estado líquido la masa central. El enfriamiento no puede menos de ser sumamente lento en razon de la poca conductibilidad de las capas terrestres. Por la misma causa el calor central solo eleva al parecer $\frac{1}{3}$ de grado la temperatura de la superficie terrestre.

No obstante esto, algunos físicos, entre los cuales citaremos á Liais, W. Thomson y Huggins, apoyándose en los fenómenos astronómicos de la precesion, nutacion y mareas, han admitido que la tierra es sólida en toda su masa, explicando el calor central por acciones químicas debidas á la infiltracion de las aguas del mar.

442. Calor desarrollado por la imbibicion y la absorcion. — Los fenómenos moleculares, como la imbibicion, la absorcion y las acciones capilares, van acompañados generalmente de un desprendimiento de calor. Pouillet observó que siempre que se vierte un líquido sobre un sólido muy dividido, hay un aumento de temperatura que varia con la naturaleza de las sustancias. En las materias inorgánicas, como los metales, los óxidos y las tierras, es de 2 ó 3 décimos de grado; pero en las orgánicas, como las esponjas, la harina, el almidon, las raices y las membranas secas, varía de 1 á 10 grados.

La absorcion de los gases por los cuerpos sólidos presenta el mismo fenómeno. Dobereiner halló que poniendo en el oxígeno platino muy dividido, cual es el que se obtiene en el estado de precipitado químico con el nombre de *negro de platino*, absorbe este metal muchos centenares de veces su volumen de oxígeno, y la temperatura se eleva entonces lo bastante para dar origen á muy intensas combustiones. La *esponja ó musgo de platino*, que se obtiene precipitando el cloruro de platino por la sal amoníaco, produce el mismo efecto; así es que basta dirigirle una corriente de hidrógeno para que este gas se inflame por el desprendimiento de calor debido á la absorcion.

En este principio se basa el *eslabon de musgo de platino*, que se compone de dos vasijas de vidrio (fig. 459), una de las cuales A penetra en la inferior B por medio de un tubo esmerilado que la cierra herméticamente, y en cuyo extremo hay una masa de zinc Z sumergido en agua cargada de ácido sulfúrico. La reaccion del agua, del ácido y del metal produce un desprendimiento de hidrógeno, que no hallando desde luego ninguna salida, rechaza el agua de la vasija B á la A, hasta que el zinc queda en

seco y cesa la reacción. El tapon de la vasija superior tiene una ranura lateral de modo que permite salga el aire según va subiendo el agua. Un tubo de cobre H, fijo en la pared de la vasija B, tiene un pequeño cono *a* con su orificio, y encima hay en una cápsula *c* donde se pone una esponja de platino.

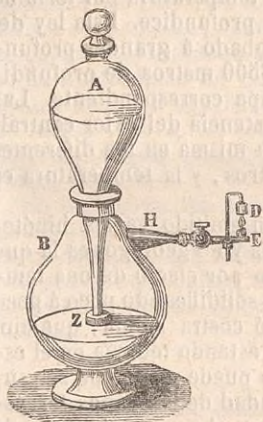


Fig. 439.

Bajo este supuesto, al instante que se abre una llave que cierra el tubo de cobre, se desprende y arde el hidrógeno en contacto con el platino; pero no debe presentarse este metal á la corriente del gas sino después de expulsado todo el aire de la vasija B, pues de otro modo habría una viva detonación producida por la combinación del oxígeno é hidrógeno contenidos en la vasija.

Fabre, que hizo numerosas investigaciones acerca del calor que se desarrolla al ser absorbido un gas por el carbon (167), obtuvo el notable resultado de que el calor máximo emitido por la absorción de 1 gramo de ácido sulfuroso ó de protóxido de azoe excede en mucho al que da la licuefacción de un peso

igual de los mismos gases; el calor desprendido por la absorción del ácido carbónico excede también al que desarrollaría su solidificación. De esto debemos deducir que no puede explicarse completamente el calor obtenido por la absorción de los gases, admitiendo que el gas absorbido se licua y aun se solidifica en los poros del carbon, sino que además ha de admitirse una acción especial entre las moléculas del carbon y las del gas, acción que Mitscherlich designó con el nombre de *afinidad capilar*.

El calor producido en el cambio de estado de los cuerpos ha sido tratado ya en los artículos *Solidificación* y *Licuefacción* (329 y 359), y el que procede de la electricidad se dará á conocer en la teoría de los fenómenos eléctricos.

MANANTIALES QUÍMICOS.

443. Combinaciones químicas: combustión.—Las combinaciones químicas van acompañadas generalmente de un desprendimiento mas ó menos considerable de calor. Este es inapreciable, si se efectúan con lentitud, como por ejemplo, cuando se oxida el hierro en el aire; pero es muy intenso, si se producen con rapidez, surgiendo entonces la *combustión*.

Denomínase así toda combinación química que se efectúa con desprendimiento de calor y de luz. En las combustiones que nos presentan las hornillas, las lámparas, las bujías, sucede que el carbon y el hidrógeno de la madera, del aceite y de la cera se combinan con el oxígeno del aire; pero además existen combustiones en las cuales para nada actúa el oxígeno. Por ejemplo, si en un frasco de cloro se echa antimonio muy dividido, ó fragmentos de fósforo, se unen estos cuerpos con el cloro, con un vivo desprendimiento de luz y de calor.

Algunos combustibles arden con llama. La llama no es otra cosa que un gas ó un vapor, que han adquirido una alta temperatura por efecto de la combustión. Su poder iluminante varia con los productos que se for-

man durante la combustion; la presencia de un cuerpo sólido en una llama, aumenta su facultad iluminante. Las llamas de hidrógeno, de óxido de carbono y de alcohol son pálidas, porque solo contienen productos gaseosos; pero las de las bujías, las de las lámparas y las del gas del alumbrado, poseen un gran poder iluminante por contener un exceso de carbono, el cual, quemándose solo de un modo incompleto, se vuelve incandescente en la llama. Se da una intensidad mucho mayor á una llama, colocando en ella hilos de platino ó de amianto. Obsérvese que la temperatura de una llama no está en relacion con su poder iluminante; pues la del hidrógeno, que es la mas pálida, es, sin embargo, la que mas calor produce.

444. Calor emitido durante la combustion. — Varios físicos, y particularmente Lavoisier, Rumford, Despretz, Dulong, Heiss y los Sres. Fabre y Silbermann han tratado de investigar el calor que emiten los diferentes cuerpos durante la combustion y las combinaciones.

Para estos experimentos empleó Lavoisier el calorímetro de hielo, descrito anteriormente (389); Rumford hizo uso de un calorímetro, que conserva su nombre, y que consiste en una cuba rectangular, llena de agua, en cuyo interior hay un serpentín que atraviesa su fondo, terminando en forma de embudo invertido. Debajo de este embudo es donde se queman los cuerpos que se someten al experimento. Los productos de la combustion se desprenden por el serpentín calentando el agua de la cuba, y de la temperatura de este líquido, se deduce el desprendimiento de calor. Despretz y Dulong modificaron sucesivamente el calorímetro de Rumford, quemando los cuerpos, no debajo de la cuba que contiene el agua que se ha de calentar, sino en una caja de combustion colocada en la masa misma del líquido; el oxígeno necesario á la combustion llegaba por un tubo dispuesto convenientemente en la parte inferior de la caja, y los productos de aquella se desprendian por otro tubo, colocado en la parte superior y arrollado á manera de serpentín en la masa del líquido que se queria calentar. Finalmente, los Sres. Fabre y Silbermann son los que con suma habilidad perfeccionaron mas este calorímetro, evitando, en cuanto es posible, toda causa de error, y haciéndole apto para determinar, no solo la cantidad de calor desprendida en la combustion, sino tambien en las demás reacciones químicas.

Hé aquí los números obtenidos por estos dos físicos, tomando como unidad de calor la cantidad necesaria para elevar 1 grado la temperatura de 1 kilógramo de agua.

Calor de combustion para 1 gramo de combustible.

Hidrógeno con oxígeno.	33 462	Grafito natural.	7 796
— con cloro.	23 783	Diamante.	7 770
Esencia de trementina.	10 832	Alcohol puro.	7 184
Eter sulfúrico.	9 027	Oxido de carbono	2 403
Carbon vegetal.	8 080	Azufre nativo.	2 262

445. Leyes del desprendimiento de calor en las combinaciones químicas. — De los trabajos de Dulong, Despretz, Heiss, Fabre y Silbermann, y de otros físicos, se han deducido las leyes siguientes sobre la produccion del calor en las acciones químicas.

1.ª Un cuerpo en ignicion produce siempre la misma cantidad de calor para llegar al mismo grado de oxidacion, ya lo consiga inmediatamente ó ya de un modo progresivo. Pongamos un ejemplo: un gramo de car-

bono que se trasforma directamente en ácido carbónico desprende la misma cantidad de calor que si se hubiese convertido primero en óxido de carbono, y despues este en ácido carbónico.

2.^a En una combinacion química, cualquiera que sea su duracion, es siempre igual la cantidad de calor desprendido.

3.^a El calor que se desarrolla en la combustion de un cuerpo compuesto es generalmente mas débil que la suma de las cantidades de calor que se obtiene quemando separadamente cada uno de sus elementos.

446. Aparatos destinados á producir temperaturas muy altas. — La combustion por medio del aire, del carbon vegetal y la del coke han sido durante mucho tiempo los únicos orígenes del calor utilizados en la industria para obtener altas temperaturas, que bastan para fundir el hierro, pero no el platino. Fundiase este metal por medio de una corriente eléctrica, pero en cantidad muy pequeña; el Sr. H. Sainte-Claire Deville es el primero que ha conseguido fundirle en gran cantidad por medio de la combustion del gas del alumbrado con solo el oxígeno. El aparato inventado al efecto por este físico consiste en dos tubos concéntricos de cobre terminados cada uno en una punta de platino. Desde un gasómetro llega el oxígeno por el tubo central y el hidrógeno carbonado por entre las paredes de los dos tubos. Una vez encendido este aparato penetra en una mufla de cal que tiene una pequeña abertura lateral, por la cual se desprenden los productos de la combustion. Cuando la mufla esté ya muy caliente se introducen por dicha abertura planchas que se funden casi instantáneamente: en pocos minutos puede fundirse de esta manera un kilógramo de platino. Cuando el metal se halla en el estado líquido es tal su incandescencia, que al abrir la mufla produce un resplandor comparable con el de la luz eléctrica.

Consíguese tambien fundir el platino por la combustion del gas del alumbrado con el aire, para lo cual es preciso que este se halle sometido á una presion por lo menos de dos atmósferas.

En los laboratorios está muy extendido el uso de un aparato conocido con el nombre de *quemador de Bunsen*, por haber sido este físico su inventor. Consiste en dos tubos concéntricos; por el central llega el gas del alumbrado, y el frio, que produce su combustion, aspira el aire por entre los dos tubos. Un solo quemador basta para fundir la plata.

CALEFACCION.

447. Diversos sistemas de calefaccion. — La *calefaccion* es un arte que tiene por objeto utilizar, en la economía doméstica y en la industria, los manantiales de calor que nos ofrece la naturaleza.

La combustion de la madera, del carbon, de la hulla, del coke, de la turba y de la antracita, son los manantiales de calor que principalmente se utilizan en la actualidad. Desde hace algunos años se utilizan tambien para este objeto el gas del alumbrado y los aceites esenciales.

Atendiendo á los aparatos que sirven para la combustion, pueden admitirse cinco procedimientos de calefaccion, á saber: 1.^o la calefaccion de hogar exterior, como acontece en las chimeneas; 2.^o la de hogar interior, tal como el de las estufas; 3.^o la que se efectúa por medio del aire enrarecido, cual sucede con los caloríferos; 4.^o la que utiliza el vapor, y 5.^o la que se obtiene por la circulacion del agua caliente. Describirémos sucintamente estos diferentes procedimientos.

448. Chimeneas. — Las *chimeneas* son hogares abiertos, situados junto á la pared y coronados por un tubo que da paso á los productos de la combustion. La invencion de las chimeneas data, al parecer, del primer siglo de la era cristiana. En tiempos mas remotos, se colocaba el foco en el centro de las habitaciones que debian calentarse, y el humo se escapaba por una abertura que se practicaba en el techo de las mismas. Por eso aconsejaba Vitruvio que no se adornaran con obras suntuosas moradas de invierno, á fin de que el humo y el hollin no las echase á perder.

Las primeras chimeneas, si bien se colocaban junto á las paredes, no llevaban jambas ni dinteles, sino simplemente una *campana* para la salida del humo; de suerte que la forma que hoy se les da es enteramente moderna. Las personas que sucesivamente han ido perfeccionándolas son físicos, y particularmente Filiberto Delorme, Gauger, Franklin, Montgolfier y Rumford.

A pesar de la perfeccion que se ha procurado en la construccion de las chimeneas, son los caloríferos mas imperfectos y mas dispendiosos, porque solo utilizan, con la leña, un 6 por 100 del calor total emitido por el combustible, y un 13 con el coke y la hulla. Proviene esta enorme pérdida de calor de que la corriente de aire necesaria para la combustion arrastra siempre una cantidad considerable del calor producido, de suerte que este se pierde en gran parte en la atmósfera. Esta circunstancia obligó á decir á Franklin que si se deseaba, con una cantidad dada de combustible, obtener el menor calor posible, debian adoptarse las chimeneas. Con todo, son y seguirán siendo el sistema de calefaccion mas agradable y sano, por la presencia del fuego y porque renuevan de continuo el aire de las habitaciones.

449. Tiro de las chimeneas. — Se entiende por *tiro* de una chimenea una corriente que se establece de abajo arriba en el tubo, por efecto de la ascension de los productos de la combustion. Cuando la corriente es rápida y continua, se dice que *tira* bien la chimenea.

El tiro reconoce por causa la diferencia entre las temperaturas interior y exterior del tubo, en virtud de las cuales las materias gaseosas que le llenan son menos densas que el aire del aposento, resultando imposible el equilibrio (172). Efectivamente, como el peso de la columna gaseosa CD (fig. 460) en el tubo es menor que el de la columna de aire exterior AB, que tiene la misma altura, resulta, de afuera hácia adentro, un exceso de presion que repele los productos de la combustion, con tanta mayor rapidez, cuanto mayor sea la diferencia de peso entre las dos masas gaseosas.

Compruébase perfectamente la existencia de las corrientes que originan en los gases, la diferencia de temperatura, por medio del experimento que sigue: se abre una puerta que ponga en comunicacion una pieza caliente con otra que no lo esté, y luego se coloca en la parte superior una vela encendida; su llama se dirige desde el sitio caliente hácia el frio; y por el con

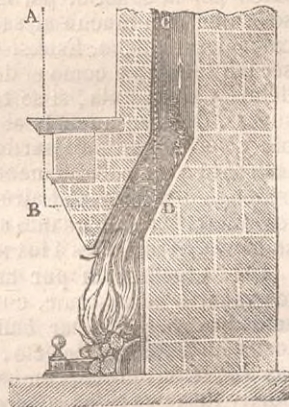


Fig. 460.

trario, si se la pone en el suelo, se dirige la llama desde el aposento frio al que se halla caliente. Dependen estos dos efectos, de una corriente de aire enrarecido que se escapa por la parte superior de la puerta, y de otra fria que pasa á reemplazarle por la inferior.

Para que tire bien la chimenea, debe reunir las siguientes condiciones:

1.^a La seccion del tubo ha de tener las dimensiones estrictamente necesarias para la salida de los productos de la combustion, pues en caso contrario, si es demasiado grande, se establecen á la vez corrientes ascendentes y descendentes, y la chimenea despidе humo. Conviene colocar en la extremidad superior del tubo una caperuza cónica mas estrecha que aquel, á fin de que el humo salga con velocidad suficiente para resistir la accion del viento.

2.^a El tubo de la chimenea ha de ser bastante alto, porque como la causa del tiro es el exceso de la presion exterior sobre la interior, este será tanto mayor, cuanto mas alta sea la columna de aire caliente.

3.^a Es preciso que el aire exterior pueda penetrar en el aposento donde se halle la chimenea con toda la rapidez que exija el hogar. En una habitacion herméticamente cerrada no arderia el combustible, ó se establecerian corrientes de aire descendentes que la llenarian de humo. El aire entra, de ordinario, en cantidad suficiente por las rendijas de las puertas y de las ventanas.

4.^a Debe evitarse siempre que comuniquen entre sí dos tubos de chimenea, porque si el uno tira mas que el otro, surge en este último una corriente de aire descendente que llena de humo la habitacion.

450. **Estufas.** — Las *estufas* son aparatos caloríferos de hogar aislado, situados en medio de la masa de aire que trata de calentarse, de suerte que el calor radia en todas direcciones alrededor del hogar. Por la parte inferior entra el aire necesario á la combustion, y los productos de este salen por la superior por medio de tubos. Como estos productos gaseosos se enfrian mucho al salir, puede así utilizarse casi la totalidad del calor desarrollado. Este sistema es mas económico, pero dista mucho de ser tan saludable como el de las chimeneas, porque su ventilacion es muy débil, y hasta nula, si se toma el aire del exterior como en las estufas suecas. Ofrecen además el inconveniente de producir un olor desagradable y perjudicial, en particular cuando son de hierro fundido ó de palastro, lo que probablemente debe atribuirse á la descomposicion de las materias orgánicas del aire por su contacto con las paredes calientes de los tubos, pues en cuanto aquellas están á una temperatura bastante alta se hacen permeables á los gases del hogar (168) y vician el aire.

451. **Calefaccion por medio del vapor.** — La propiedad que poseen los vapores de restituir, cuando se condensan, su calor de vaporizacion, se utiliza para calentar baños, talleres, edificios públicos, invernáculos, estufas, etc. Al efecto, se produce el vapor en calderas análogas á las que describiremos en seguida (438) al tratar de las máquinas de vapor, y luego se le hace circular por tubos situados en el lugar que se trata de calentar. Condénsase el vapor en estos tubos y les cede todo su calor latente, el cual queda libre en el momento de la condensacion. Este calor se trasmite en seguida al aire exterior, ó al líquido en el cual se sitúan los tubos de conduccion.

452. **Calefaccion por medio del aire caliente.** — La calefaccion por medio del aire caliente consiste en calentar aire en la parte inferior de

un edificio, dejándole que suba luego hasta los pisos superiores, en virtud de su menor densidad, por cañerías situadas en las paredes del edificio. El aparato se halla dispuesto según manifiesta la figura 461. De un horno *F*, situado en los sótanos, parten, enchufando unos en otros, un sistema de tubos encorvados *AB*, de los cuales uno tan solo es visible en el grabado. Por el orificio inferior *A*, llamado *toma de aire*, penetra este en los tubos; allí se calienta, y sube luego en el sentido de las flechas hasta penetrar en las habitaciones *M* por el orificio superior *B*, denominado *boca de calor*. En los diferentes pisos, posee cada pieza una ó varias bocas de calor que se sitúan lo mas bajo posible, porque el aire caliente siempre tiende á subir. El conducto *O* es un tubo de chimenea común, por el cual se desprenden desde el horno los productos de la combustion.

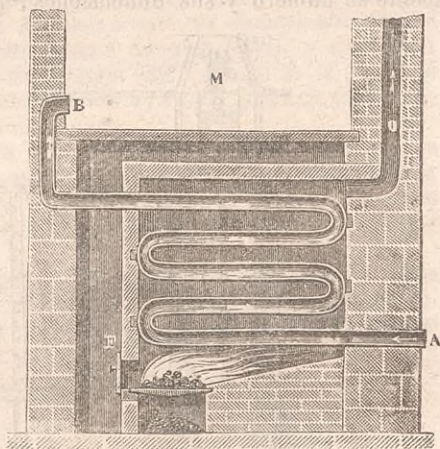


Fig. 461.

Estos aparatos, conocidos con el nombre de *caloríferos*, son mucho mas económicos que las chimeneas, pero no pueden ventilar tan bien el aire de las habitaciones, y por consiguiente, son menos saludables.

453. Calefacción producida por la circulación del agua caliente. — La calefacción por este procedimiento es debida á un movimiento continuo de circulación del agua, que, después de haberse calentado en una caldera, sube por una serie de tubos, volviendo por otros análogos á la misma caldera luego que está fría.

A fines del siglo pasado inventó Bonnemain, en Francia, el primer aparato para este género de calefacción; la figura 462 representa la disposición adoptada por el Sr. Leon Duvoir para calentar un edificio de varios pisos. En el sótano se sitúa una caldera *oo*, en forma de campana, y de hogar interior *F*, y encima un largo tubo *M* que va á un depósito *Q*, situado en el tejado del edificio que se desea calentar. Dicho depósito tiene en su parte superior un tubo *n* cerrado por una válvula *s*, cargada convenientemente á fin de limitar la tensión del vapor en el interior del aparato.

Llenas de agua la caldera, el tubo *M* y parte del depósito *Q*, á medida que se calienta el líquido, se produce en el tubo *M* una corriente ascendente de agua hasta el depósito *Q*, y al mismo tiempo se establecen otras corrientes descendentes del mismo líquido, no tan caliente, pero mas denso, que parten desde el fondo del citado depósito, dirigiéndose respectivamente por otros tantos tubos á los receptáculos *b*, *a*, llenos de agua. Desde estos continúa la corriente descendente por otros nuevos tubos hasta los receptáculos inferiores *d*, *e*, y *f*, *e*, y por fin, desde estos últimos sigue por tubos de retorno hasta la parte inferior de la caldera.

Durante este doble trayecto, el agua caliente comunica sucesivamente

su temperatura á los tubos y á los receptáculos, de suerte que estos se calientan y trasforman en verdaderas estufas de agua. Calcúlase fácilmente su número y sus dimensiones, para calentar un espacio dado,

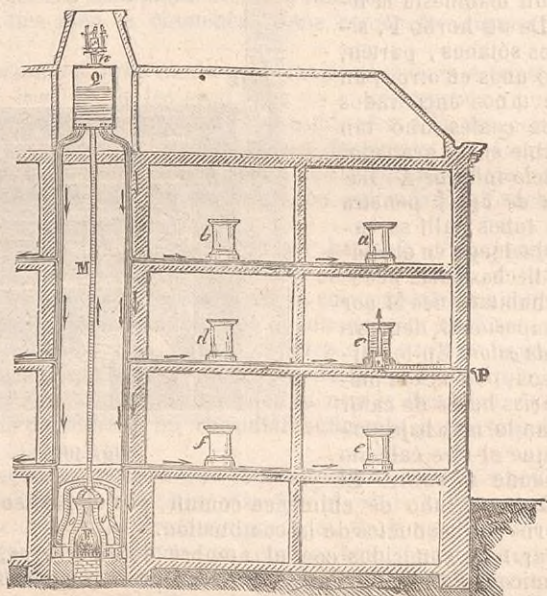


Fig. 462.

apoyándose en que la teoría y la experiencia han confirmado, que un litro de agua basta para comunicar el calor necesario á 3200 litros de aire. Dos de estas estufas pueden, durante el invierno, mantener de 600 á 700 metros cúbicos de aire á una temperatura de 15 grados.

En el interior de los depósitos *a, b, c, d, e, f*, hay tubos de hierro fundido llenos de aire, que se toma del exterior por medio de otros tubos *P*, situados debajo del pavimento. Este aire se calienta en los tubos, y sale luego por la parte superior de los receptáculos.

La ventaja principal de este sistema de calefaccion consiste en dar una temperatura casi constante durante mucho tiempo, pues el agua de los receptáculos y la de los tubos se enfria con gran lentitud. Por esto se usa mucho en los invernáculos, en las estufas, en la incubacion artificial, y en general, en todos los casos en que se requiere una temperatura uniforme.

ORÍGENES DE ENFRIAMIENTO.

454. Diversos manantiales de frio.— Las causas de enfriamiento son: el paso del estado sólido al líquido, el del estado líquido al de vapor ó gaseoso, el enrarecimiento de los gases, la radiacion en general, y particularmente la nocturna. Conocidas ya las dos primeras causas (334 y 358), solo trataremos ahora de las dos últimas.

455. Enfriamiento producido por la dilatacion de los gases.— Dijimos

ya (437) que la compresion de los gases eleva la temperatura; y recíprocamente, el enrarecimiento de un gas va acompañado de un descenso de la misma, á consecuencia de la desaparicion de calor ocasionada por el trabajo interior del gas. Este fenómeno está ya demostrado por el experimento del Sr. Tyndall dado antes á conocer (438), y se prueba tambien poniendo el termómetro de Breguet (285) debajo de la campana de la máquina neumática y haciendo el vacío; á cada golpe de émbolo se dilata el gas y la aguja avanza hácia el cero.

455*. **Aparato de Carré para la fabricacion de hielo.**—Se vió ya (357) que al evaporarse un líquido absorbe en el estado latente una cantidad considerable de calor, y de aquí un manantial de frio tanto mas abundante, cuanto mas volátil es el líquido y mayor su calor de vaporizacion.

El Sr. Carré utilizó esta propiedad de los líquidos para helar el agua por la destilacion del amoniaco. Su aparato consiste en una caldera cilíndrica C (figs. 463 y 464) y en un vaso ligeramente cónico A, que es

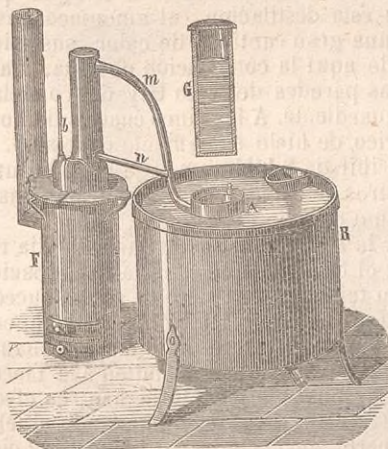


Fig. 465.

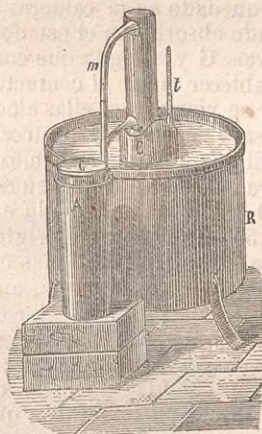


Fig. 464.

el congelador. Estas dos vasijas comunican entre sí por un tubo *m*, y un travesaño *n* sirve para unir las sólidamente una á otra. Ambas están construidas con palastro estañado bastante grueso, y pueden resistir presiones de siete atmósferas.

La caldera C, cuya capacidad es de 8 litros, está llena en sus tres cuartas partes de una disolucion amoniaca concentrada, que sirve indefinidamente. En un tubo adaptado á la pared superior de la misma se echa aceite, y en este aceite se pone un termómetro *t* que marca las altas temperaturas de 100 á 150 grados. Por último, el congelador A está formado por dos vasijas concéntricas, de modo que estando vacía su parte central en toda su altura, puede colocarse allí un vaso de hoja de lata G que contiene el agua que ha de helarse. Segun esto, solamente el espacio comprendido entre las paredes del congelador es el que comunica con la caldera por el tubo *m*. En el fondo superior del congelador hay un tubito por donde se introduce en el aparato la disolucion amoniaca, y se expulsa

de él el aire, cerrándole en seguida herméticamente con un tapon de metal.

Conocidos estos detalles, la fabricacion del hielo comprende dos operaciones distintas. En la primera (fig. 463) está situada la caldera en un hornillo F y el congelador en una cuba R llena de agua de pozo cuya temperatura sea 12° próximamente. Calentando la caldera hasta los 130° , el gas amoníaco disuelto en el agua se desprende de esta y va al congelador, donde se licua por su propia presión, conteniendo todavía como un décimo de su peso de agua. Esta destilacion de C hacia A queda terminada en cinco cuartos de hora, y entonces empieza la segunda operacion, que consiste en poner la caldera en la cuba de agua fria (fig. 464) y el congelador en la parte de fuera, cuidando de rodearle de una tela de lana bien seca. En este estado se introduce en el congelador el vaso de hoja de lata G, lleno de agua en sus tres cuartas partes. Enfriándose así la caldera, el gas amoníaco que la llena se disuelve de nuevo, y produciéndose el vacío, el amoníaco líquido que está en A se gasifica y destila entonces de A hacia C para disolverse nuevamente en el agua que ha quedado en la caldera. Durante esta destilacion, el amoníaco gasificado absorbe en el estado latente una gran cantidad de calor, sustraída al vaso G y al agua que contiene; de aquí la congelacion de esta. Para establecer mejor el contacto entre las paredes del vaso G y del congelador se vierte entre ellas alcohol ó aguardiente. A los cinco cuartos de hora se saca del vaso G un trozo cilíndrico de hielo sumamente compacto.

El aparato que acabamos de describir da 2 kilogramos de hielo en una hora, pero se construyen tambien otros de accion continua que dan hasta 200 kilogramos de hielo en el mismo espacio de tiempo.

456. Enfriamiento originado por la radiacion nocturna.—De dia recibe la Tierra del Sol mas calor que el que ella emite hacia los espacios celestes, y por lo tanto, aumenta su temperatura; pero de noche sucede todo lo contrario. El calor que pierde entonces la Tierra no está compensado, y de aquí resulta un descenso de temperatura tanto mayor, cuanto mas despejado está el cielo; porque, si hay nubes, estas emiten á la Tierra mayor cantidad de calor que los cuerpos celestes. Obsérvese, en efecto, en ciertos inviernos, que no se hielan los rios, aun cuando el termómetro marque menos de 4° bajo cero, por encontrarse cubierto el cielo, mientras que en otros inviernos menos rigorosos se hielan aquellos, porque está despejada la atmósfera. El poder emisor influye muchísimo en el enfriamiento por la radiacion nocturna; pues cuanto mayor es aquel, tanto mas considerable es el enfriamiento.

Ya se verá en la Meteorología, que el enfriamiento originado por la radiacion nocturna, es la causa del fenómeno denominado rocío.

En Bengala se utiliza el enfriamiento nocturno para obtener artificialmente el hielo. Con este objeto, durante las noches serenas, se exponen á la intemperie grandes vasijas llenas de agua, de gran superficie y poca altura, procurando que descansen sobre sustancias mal conductoras, como son la paja, las hojas secas, etc. Entonces, por efecto de la radiacion nocturna, estas vasijas se enfrían lo suficiente para que se congele el agua, aun cuando el aire esté á 10° sobre cero.

CAPÍTULO XII.

MÁQUINAS DE VAPOR.

457. **Objeto de estas máquinas.**—Las *máquinas de vapor* son unos aparatos que sirven para utilizar la fuerza elástica del vapor de agua como fuerza motriz. En las máquinas generalmente usadas, el vapor, en virtud de su fuerza elástica, imprime á un émbolo un movimiento rectilíneo alternativo, que se trasforma luego en circular y continuo por medio de diversos mecanismos. El inventor de estas máquinas fué Watt, célebre ingeniero inglés.

Toda máquina de vapor se compone de dos partes enteramente distintas, que son el aparato en que se produce el vapor y la máquina propiamente dicha; describirémos desde luego la primera.

458. **Generador de vapor.**—Dáse el nombre de *generador ó caldera* al aparato que sirve para la produccion del vapor. La figura 465 repre-

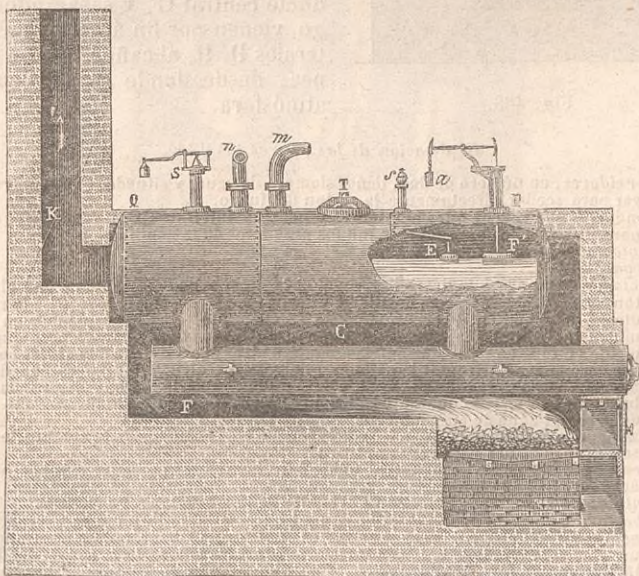


Fig. 465.

enta una vista longitudinal y la 466 una seccion trasversal de un generador de máquina fija, pues los de las locomotoras y buques de vapor son muy diferentes. Este generador es un largo cilindro de palastro PQ, cerrado en sus extremos por dos casquetes esféricos; debajo hay otros dos cilindros B, B, de menor diámetro y de la misma materia, que comunican con el generador por dos tubos. Estos cilindros, llamados *hervidores*, se hallan inmediatamente expuestos al fuego del hogar y están completamente llenos de agua, mientras que el cilindro PQ lo está únicamente algo mas de la mitad. Por debajo de los hervidores se halla el hogar, ali-

mentado con carbon de piedra ó leña, y para multiplicar la superficie de calefaccion y utilizar todo el calor de los productos de la combustion, se

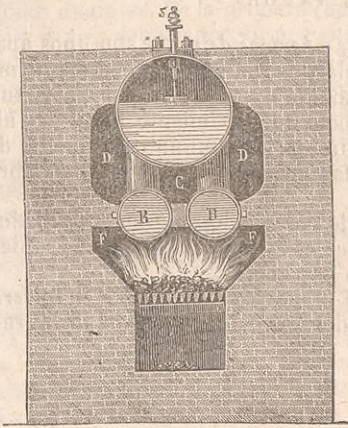


Fig. 466.

hace que estos circulen por unos conductos de ladrillos que rodean á las paredes de los hervidores y del generador, y que dividen el hogar en dos cavidades horizontales F, F y D, C, D (figura 466); la superior está dividida además en tres conductos distintos D, C, D, por dos tabiques verticales que no van representados en el grabado y corresponden por ambos lados á los hervidores. La llama y los productos de la combustion, van rozando primero la parte inferior de aquellos de delante hácia atrás, vuelven en sentido contrario por el conducto central C, y separándose luego, vienen por fin á parar por los laterales D, D, al cañon K de la chimenea, desde donde se pierden en la atmósfera.

Explicacion de las figuras 465 y 466.

- B, B** Hervidores, en número de dos, llenos siempre de agua, y situados en el centro del hogar para recibir directamente la accion del fuego.
- C, D, D** Conductos que rodean á los hervidores y paredes inferiores del generador, sirviendo para utilizar el calor que arrastran los productos de la combustion.
- E, F** Flotador del silbato de alarma.
- F, F'** Hogar.
- F'** Flotador destinado á indicar el nivel del agua en la caldera. Consta de una piedra rectangular, sumergida parte de ella en el agua, conforme se ve, merced á la rotura indicada de la pared del generador. Esta piedra, que se halla suspendida en la extremidad de una palanca, permanece en equilibrio por la pérdida de peso que experimenta en el agua y por un contrapeso *a*. Mientras el agua llega á la altura conveniente, permanece horizontal la palanca que sostiene al flotador; pero cuando no hay bastante agua se inclina hácia *F'*, y en sentido contrario, si hay demasiada. En ambos casos es un signo que sirve al fagonero para regular convenientemente la introduccion del agua de alimentacion.
- K** Cañon de la chimenea por donde se desprenden los productos de la combustion, dándosele grande altura para activar el tiro.
- P, Q** Generador cilindrico de palastro, unido á los hervidores por cuatro tubos, y lleno de agua casi hasta la mitad.
- S** Válvula de seguridad, descrita ya al hablar de la marmita de Papin (356).
- T** Abertura ó entrada (*trou d'homme* de los franceses) para la limpieza y reparacion del generador. El cierre de esta abertura es *autoclavo*, es decir, que se cierra por sí misma mediante una tapa aplicada interiormente á los bordes de la pared, donde no solo la sostiene un tornillo de presion, sino que tambien la comprime de abajo arriba contra estas mismas paredes. Además, cuanto mayor es la presion del vapor, mas comprimida está la tapa contra las paredes y mas hermético es el cierre.
- a** Contrapeso del flotador.
- m** Tubo por donde pasa á la máquina el vapor del generador.
- n** Tubo que da entrada al agua de alimentacion del generador.
- s** Silbato de alarma, así llamado porque avisa cuando no hay bastante agua en la caldera, circunstancia que puede causar una explosion al entrar en ella aquel liquido, porque encontrándose al rojo las paredes, se forma al instante un exceso de vapor. Mientras el nivel en la caldera no es demasiado bajo, no pasa el vapor al silbato; pero si desciende aquel á un punto inferior á la altura conveniente, baja un pequeño flotador E, que cierra el pié del silbato y da salida al vapor. Al escaparse este, pasa rozando los bordes de un disco delgado de metal, y le pone en vibracion haciéndole producir un sonido agudo que sirve de aviso al fagonero.

459. Máquinas de vapor de doble efecto. — Denominanse así las máquinas en las cuales actúa el vapor alternativamente por encima y por

debajo del émbolo para darle un movimiento rectilíneo intermitente, que se trasforma despues en circular y continuo.

La figura 467 da una idea del conjunto de esta máquina, y las 468 y

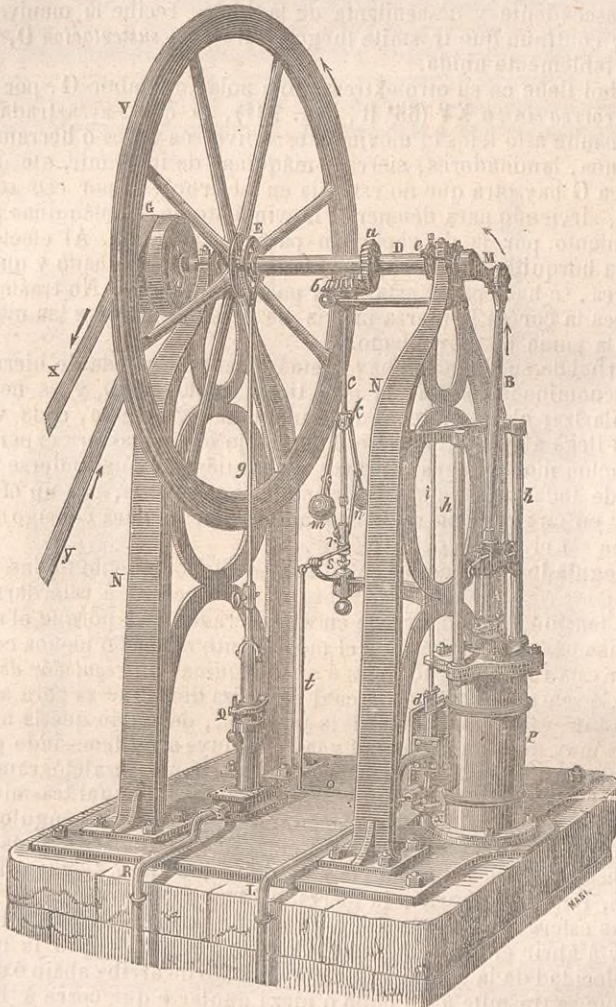


Fig. 467.

469 representan una seccion vertical del cilindro y de la distribucion de vapor. Esta máquina es de hierro fundido y está sostenida en unos estribos N, N del mismo metal.

A la derecha del dibujo hay un cilindro *p* á donde llega el vapor de la caldera por un tubo *x*. En este cilindro, cuya seccion vertical se ve en la figura 469, hay un émbolo *T*, sobre el cual obra el vapor alterna-

tivamente de arriba abajo y de abajo arriba. Participando el vástago A del émbolo de este doble movimiento, le trasmite á una larga pieza B que se llama *biela* y se articula por un extremo con el del vástago A y por el otro con una pieza mas pequeña M, que es la *manivela*. Del movimiento ascendente y descendente de la biela, recibe la manivela uno circular y continuo que trasmite luego al *árbol de sustentacion* D, al cual está invariablemente unida.

Este árbol tiene en su otro extremo una polea ó tambor G, por donde pasa una *correa sin fin* XY (55° R, pág. 101), la cual, arrastrada por la polea, trasmite á lo lejos el movimiento á diversos útiles ó herramientas, como tornos, laminadores, sierras, máquinas de imprimir, etc. Al lado de la polea G hay otra que no está fija en el árbol, y por eso se llama *polea loca*, sirviendo para detener el movimiento de las máquinas puestas en movimiento por la de vapor sin parar esta última. Al efecto, mediante una horquilla de hierro, que no aparece en el grabado y que abraza la correa, se hace pasar esta de la polea G á la loca. No transmitiendo ya entonces la correa la fuerza motriz, se paran al instante las máquinas que aquella ponía en movimiento.

En el árbol de sustentacion hay además una gran rueda de hierro fundido V, denominada *volante*, la cual tiene mucho peso, y es necesaria para regularizar el movimiento de la máquina. En efecto, cada vez que el émbolo llega al punto mas alto ó mas bajo de su carrera experimenta una detencion momentánea, durante la cual tiende á suspenderse el movimiento de toda la máquina. Pero entonces el volante, por un efecto de inercia, y en virtud de su velocidad adquirida, arrastra consigo al árbol y mantiene así el movimiento regular.

460. Regulador de fuerza centrífuga. — El movimiento de las máquinas de vapor propende continuamente á acelerarse ó á retardarse, ora porque la tension del vapor varía en el generador, ora porque el número de mecanismos á que se trasmite el movimiento es mas ó menos considerable. Por esta razon añadió Watt á sus máquinas un *regulador de fuerza centrífuga*, ó sea un aparato en el cual se utiliza dicha fuerza para arreglar la cantidad de vapor que llega á la máquina, de modo que la aumenta cuando es muy débil la velocidad y la disminuye si es demasiado grande.

El regulador de fuerza centrífuga consiste en un paralelógramo articulado *kmnr* (fig. 467), fijo en un vástago vertical *c*, al cual trasmite el árbol su movimiento de rotacion por medio de dos ruedas en ángulo *a* y *b*. Dos de las ramas adyacentes del paralelógramo están cargadas cada cual con una esfera de hierro colado *m* y *n*, que por su peso tienden sin cesar á cerrarle. Por el contrario, la fuerza centrífuga que resulta de la rotacion de las esferas con el vástago *c*, propende constantemente á hacerlas divergir y á abrir el paralelógramo. De aquí resulta, segun la mayor ó menor velocidad de la máquina, un movimiento de arriba abajo ó de abajo arriba, que se trasmite á un cubo ó pieza anular *r* que corre á lo largo del vástago *c*, y que por un sistema de palancas *s*, *t*, *O*, hace abrir ó cerrar una válvula *v* (fig. 468) situada en el tubo *x* por donde llega el vapor, la cual está dispuesta de modo que se cierra tanto mas, cuanto mas divergen las esferas del regulador. Por consiguiente, cuando la velocidad de la máquina excede del límite debido, llega el vapor en menor cantidad, y disminuyendo la fuerza motriz, se retarda el movimiento.

461. Bomba alimenticia. — Es necesario alimentar el generador de agua á medida que esta se va evaporando, de cuyo trabajo está encar-

gada la máquina misma de vapor, para lo cual forma parte de ella una bomba Q (fig. 467) aspirante é impelente, cuyo vástago *g* recibe su movimiento de vaiven de una excéntrica E situada en el árbol de sustentacion. Esta bomba, que se designa con el nombre de *bomba alimenticia*, aspira el agua de un pozo y por un tubo de cobre R la repele al generador.

462. Distribucion de vapor.— Para completar la descripción de la máquina de que se trata, resta dar á conocer la *distribucion del vapor*, esto es, el mecanismo que sirve para hacerle pasar alternativamente por encima y debajo del émbolo. Las figuras 468 y 469 representan una sec-



Fig. 468.

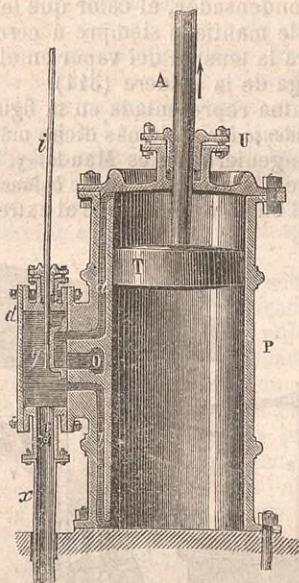


Fig. 469.

cion vertical de este mecanismo. Llegando el vapor del generador por el tubo *x*, se dirige á una caja de hierro fundido *d*, que es la *caja de distribucion*. De esta, en el grueso mismo de las paredes del cilindro, parten dos conductos *a* y *b* que dirigen el vapor, uno por encima y el otro por debajo del émbolo. Una pieza móvil *y*, llamada *corredera* ó *pasador*, cierra siempre uno de estos conductos. En la figura 469 es el superior *a* el que se encuentra cerrado, y llegando el vapor por la parte inferior del émbolo le hace subir.

La corredera está fija en un vástago *i*, que recibe de una excéntrica *e* (fig. 467) un movimiento de vaiven de abajo arriba y de arriba abajo, en virtud del cual el pasador ocupa sucesivamente las posiciones representadas en las figuras 468 y 469.

Cuando el vapor llega por debajo del émbolo (fig. 469), la parte superior del cilindro comunica por el conducto *a* con una cavidad *O*, de donde parte un tubo *L* (fig. 467), por el cual sale el vapor que acaba de actuar sobre el émbolo. Despues, cuando llega el vapor por encima

de este (fig. 468), es la parte inferior del cilindro la que comunica por el conducto *b* con la misma cavidad *O* y con el tubo *L*. Según esto, los conductos *a* y *b* sirven alternativamente para la entrada y salida del vapor.

En las máquinas de alta presión (465), el vapor que se desprende del tubo *L* va á perderse en la atmósfera; mas en las de baja ó media presión se dirige aquel á una vasija cerrada, llamada *condensador*, que está llena de agua fría, á cuyo contacto se condensa el vapor, lo que hace ganar una atmósfera, puesto que siempre tiende á producirse el vacío en la cara del émbolo opuesta á la que recibe la acción del vapor. Sin embargo, aunque una bomba especial renueva constantemente el agua del condensador, el calor que le cede el vapor por el acto de la condensación le mantiene siempre á cerca de 40°, y es sabido que á esta temperatura la tensión del vapor en el condensador es muy inferior á la del que llega de la caldera (344).

La máquina representada en la figura 467 es una *máquina de alta presión sin condensador*. Además dicha máquina es de *biela articulada*, sistema debido al ingeniero inglés Maudslay. La máquina de Watt, idéntica bajo todos los demás aspectos, es de *balancín*, es decir, que el movimiento del vástago del émbolo se trasmite al extremo de un enorme balancín de hier-

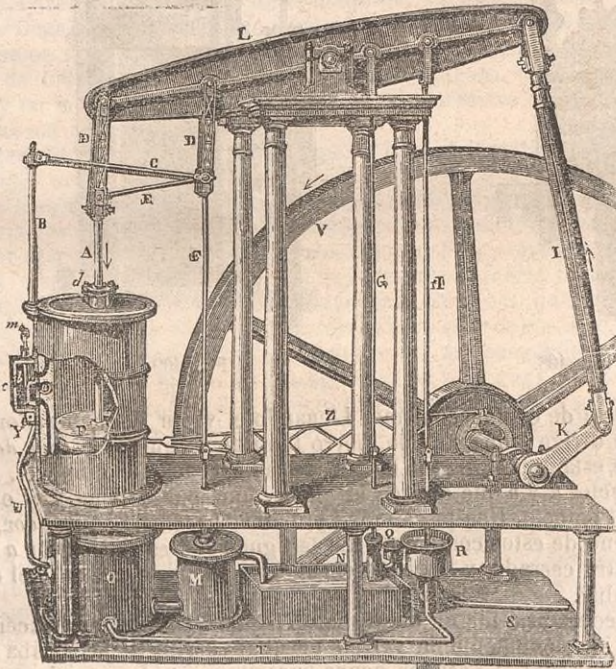


Fig. 470.

ro fundido, móvil en su centro sobre dos gorriones, siendo este balancín el que luego, por su otro extremo, comunica el movimiento á la biela, á la manivela y al árbol de sustentación. La figura 470 representa en con-

junto la máquina de balancin ó de Watt. El uso de las máquinas de biela articulada está en el día mucho mas extendido en los obradores que el de las máquinas de balancin.

463. Locomotoras.—Dáse este nombre á unas máquinas de vapor que, armadas sobre un carruaje, se mueven por sí mismas trasmitiendo el movimiento á las ruedas.

Las locomotoras son de biela articulada, pero carecen del volante de las máquinas fijas, y la forma de la caldera se halla tambien completamente modificada. Sus principales piezas son el *bastidor*, la *caja de fuego*, el *cuero cilindrico* de la caldera, la *caja de humo*, los *cilindros de vapor* con sus correderas, las *ruedas motoras* y la *alimentacion*.

El bastidor es un marco de madera de encina, sostenido por los ejes de las ruedas, el cual á su vez sirve de sustentáculo á todas las partes de la máquina. La figura 471 representa al maquinista que dirige la locomotora, subido sobre la plataforma de palastro que cubre el bastidor, en el momento de ir á abrir la *toma de vapor* I situada en la parte superior de la caja de fuego Z. Debajo de esta se encuentra el hogar, desde el cual la llama y los productos de la combustion van á la caja de humo Y, y luego al cañon de la chimenea, despues de haber atravesado 125 tubos de cobre, que están completamente sumergidos en el agua de la caldera.

Esta, que enlaza la caja de fuego con la de humo, es de cobre, cilíndrica, de un metro de diámetro próximamente, y está rodeada de due-las de caoba, que por su débil conductibilidad se oponen al enfriamiento. Al salir el vapor de la caldera pasa á los dos cilindros situados á cada lado de la caja de humo, y allí, por medio de una distribucion análoga á la antes descrita (462), actúa alternativamente sobre las dos caras de los émbolos, cuyos vástagos trasmiten el movimiento al eje de las grandes ruedas; esta distribucion no se ve en el grabado, porque está debajo del bastidor, entre los dos cilindros. Despues de haber actuado el vapor sobre los émbolos, se desprende por la chimenea y contribuye así á activar el tiro.

La trasmision del movimiento de los émbolos á las dos grandes ruedas se efectúa por dos bielas que, por medio de manivelas, enlazan los vástagos de los émbolos con el eje de dichas ruedas; el movimiento de vaiven de la corredera en la caja de distribucion de cada cilindro, se obtiene mediante excéntricas situadas sobre el eje de las dos grandes ruedas.

La alimentacion, ó sea la renovacion del agua en la caldera, se logra á beneficio de dos bombas aspirantes émpelentes situadas debajo del bastidor y movidas por excéntricas. Estas bombas, por medio de tubos de comunicacion, aspiran el agua de un depósito que hay debajo del *tender*; llámase así un carruaje que sigue inmediatamente á la locomotora y lleva el agua y el carbon necesarios para un viaje determinado.

Explicacion de la figura 471.

- A Tubo de cobre que recibe el vapor por la extremidad I, y se bifurca en la otra para conducirle á los dos cilindros que contienen los émbolos motores.
- B Mango de la palanca que sirve para cambiar el sentido del movimiento: trasmítese este al tirante C, el cual lo comunica á la distribucion de vapor.
- C Tirante para cambiar de direccion.
- D Parte inferior de la caja de fuego que contiene las rejillas del hogar.
- E Tubo de salida del vapor luego que ha actuado sobre los émbolos.
- F Cilindro de hierro que contiene un émbolo motor: hay dos, uno á cada lado de la locomotora, y para que se vea el émbolo en la figura, aparece roto el cilindro.

- G Varilla que sirve para abrir la corredera I, á fin de que pase el vapor al tubo A: en el grabado el maquinista tiene en la mano la palanca que hace girar esta varilla.
 H Llave para vaciar la caldera.
 I Corredera que se abre y se cierra á mano para la graduacion del vapor.
 K Gran biela motora ahorquillada, que une la extremidad del vástago del émbolo con la manivela M de la rueda mayor o r.

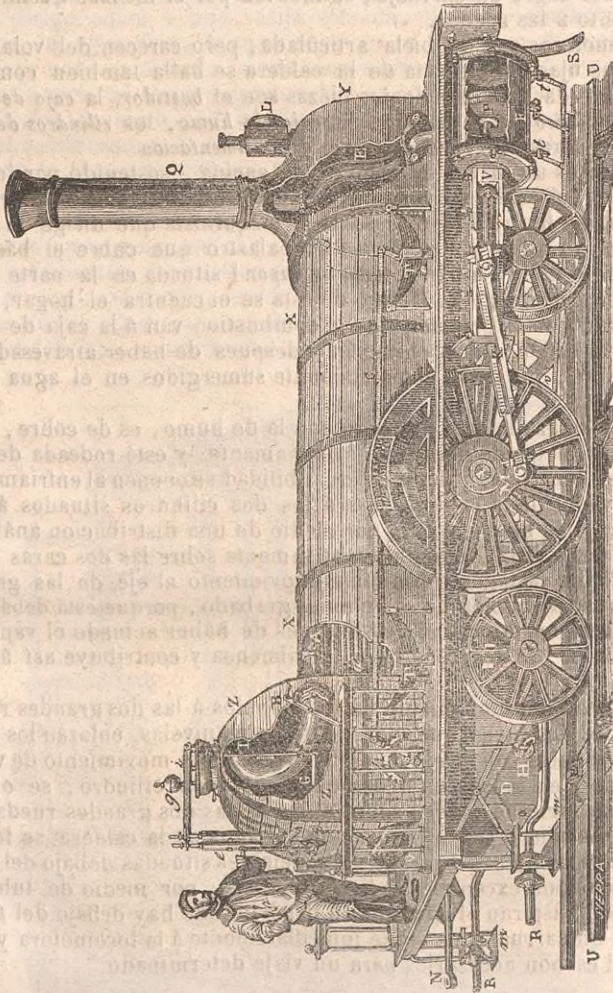


Fig. 471.

- L Lámpara y reflector que sirven para indicar de noche la aproximacion de la locomotora
 M Manivela que trasmite al eje de la rueda mayor el movimiento del émbolo.
 N Boton para enganchar el tender que sigue á la locomotora.
 O Puerta del hogar por la cual el fogonero introduce el cok.
 P Émbolo de metal cuyo vástago se articula con la biela K.
 Q Cañon de la chimenea por el cual salen el humo y el vapor de los cilindros.
 R, R Tubos que conducen el agua del tender á dos bombas impelentes que alimentan la caldera, las cuales no se ven en el dibujo.
 S Pala que barre las piedras ú otros obstáculos de la via.
 T, T Muelles que sostienen la caldera.

- U, U Rails ó carriles sentados en la vía sobre cojinetes de hierro, y estos sobre traviesas de madera.
- V Armazon de la caja de estopa de los cilindros.
- X, X Cuerpo cilindrico de la caldera, cubierto de duelas de caoba destinadas, por su débil conductibilidad á disminuir la pérdida de calor. Véase debajo del tubo A hasta donde sube el nivel del agua en la caldera. Sumergidos en el agua hay unos tubos de cobre *a*, al través de los cuales pasan los productos de la combustion para dirigirse á la caja de humo.
- Y Caja de humo donde terminan los tubos *a*.
- Z, Z Caja de fuego en forma de cúpula á la cual se dirige el vapor.
- a Tubos de cobre en número de 125, abiertos por sus dos extremidades y que terminan por un lado en la caja de fuego, y por otro en la de humo. Estos tubos transmiten el calor del hogar al agua de la caldera, y la vaporizan.
- b Sector guia situado al lado de la caja de fuego con varias muescas en que puede engranar el brazo de palanca B. La muesca extrema anterior corresponde á la marcha hácia adelante, la extrema posterior á la marcha hácia atrás, y la de en medio es un punto muerto. Las muescas intermedias entre esta y las extremas regulan la marcha en uno ú otro sentido (466).
- e Estuches con muelles en hélice que arreglan el juego de las válvulas de seguridad *i*.
- g Silbato de alarma que se oye á 2 kilómetros.
- i Válvulas de seguridad.
- m, m Estribos para subir al tablero de la locomotora.
- n Tubo de cristal situado delante del maquinista para indicar el nivel del agua en la caldera, con la cual comunica por sus dos extremos.
- r, r Guías que mantienen en línea recta el movimiento de la cabeza del émbolo.
- t, t Llaves de desagüe despues de dispuesto el tren y calentados los cilindros.
- v Tirante que trasmite el movimiento á las llaves de desagüe.

464. Máquinas de reaccion: eolípila. — Llámanse máquinas de reaccion aquellas en que obra el vapor por reaccion, á la manera del agua en el molinete hidráulico (86). La invencion de estas máquinas es ya muy antigua, pues 120 años antes de J.-C., Heron de Alejandría, inventor de la fuente que lleva su nombre, describió el siguiente aparato, conocido con el nombre de *eolípila de reaccion*.

Es una esfera hueca de metal (fig. 472), que puede girar libremente

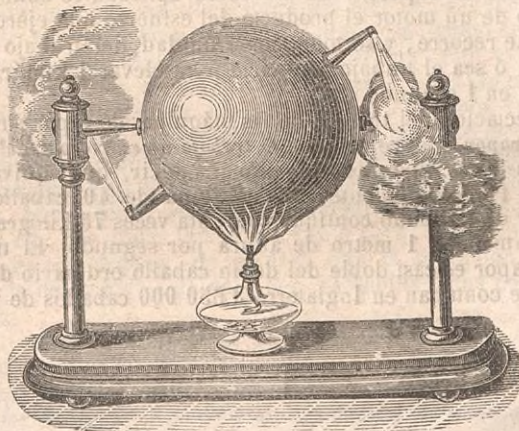


Fig. 472.

alrededor de dos gorriones, la cual tiene á los extremos de un mismo diámetro dos tubos acodados en sentido contrario y terminados en pequeños orificios por donde se desprende el vapor. Para introducir agua en esta esfera, se la calienta ante todo con el objeto de enraecer el aire, metiéndola luego en agua fria; el aire se contrae entonces y penetra el líquido en ella. Si en este estado se calienta el aparato hasta la ebullicion, el vapor que se desprende le imprime un rápido movimiento gira-

torio, que es debido á la presion del vapor sobre la pared opuesta al orificio de salida.

Diversos ensayos se han hecho para utilizar en grande escala la reaccion del vapor como fuerza motriz, habiéndose tambien intentado hacerle actuar por impulsion, dirigiendo una corriente sobre la paleta de una rueda giratoria; mas con estos diferentes procedimientos hasta ahora está muy lejos de prestar el efecto útil que se obtiene haciéndole obrar por expansion sobre un émbolo.

465. Máquinas de baja, alta y media presion. — Dícese que una máquina es de *baja presion* cuando la tension del vapor no excede en atmósferas de 1,25: de *media presion* si la tension está comprendida entre 2 y 4 atmósferas. y de *alta presion* cuando aquella es superior á 4 atmósferas.

466. Máquinas con expansion ó sin ella. — Si el vapor funciona de lleno sobre el émbolo durante toda su carrera, su fuerza elástica es casi constante, y se dice que el vapor obra *sin expansion*; pero si por una conveniente disposicion de la corredera cesa de llegar vapor sobre el émbolo, cuando solo se halla este á los dos tercios ó á los tres cuartos de su carrera, entonces obra *con expansion*, es decir, que en virtud de su fuerza expansiva, debida á su alta temperatura, sigue obrando sobre el émbolo y le obliga á terminar su carrera. De aquí la distincion de *máquinas con expansion ó sin ella*.

Finalmente, llámanse *máquinas de condensacion* las que están provistas de un condensador donde se licua el vapor despues de haber actuado sobre el émbolo, y *máquinas sin condensacion* aquellas que no tienen condensador. como son las locomotoras.

467. Caballo de vapor. — En mecánica aplicada se entiende por *trabajo mecánico* de un motor el producto del esfuerzo que ejerce por el camino que este recorre, y se toma como unidad del trabajo mecánico el *kilogrametro*, ó sea el trabajo necesario para elevar 1 kilogramo á 1 metro de altura en 1 segundo (36).

En la apreciacion del trabajo de las máquinas de vapor sirve de unidad el *caballo de vapor*, que representa el *trabajo necesario para elevar 75 kilogramos á 1 metro de altura en 1 segundo*, es decir, que equivale á 75 kilogrametros. Por consiguiente, una máquina de 40 caballos es la que puede elevar de un modo continuo cuarenta veces 75 kilogramos, ó sean 3000 kilogramos, á 1 metro de altura por segundo. El trabajo de un caballo de vapor es casi doble del de un caballo ordinario de tiro.

En 1866 se contaban en Inglaterra 3 650 000 caballos de vapor.

LIBRO VII.

LUZ.

CAPÍTULO PRIMERO.

TRASMISION, VELOCIDAD É INTENSIDAD DE LA LUZ.

468. Luz: hipótesis acerca de su naturaleza.— La luz es el agente que por su acción sobre la retina produce en nosotros el fenómeno de la vision. La parte de la Física que trata de la teoría de la luz se llama *óptica*.

A fin de explicar el origen de la luz se han adoptado las mismas hipótesis que para el calor, á saber: la de la *emision* y la de las *ondulaciones*. La última, única hoy admitida, y mantenida sucesivamente por Descartes, Grimaldi, Huyghens, Euler, Tomás Young, Malus y Fresnel, supone que las moléculas de los cuerpos luminosos están animadas de un movimiento vibratorio infinitamente veloz que se comunica al éter (267). En esta hipótesis, una conmocion en un punto cualquiera del éter se propaga en todos sentidos bajo la forma de ondas esféricas luminosas, de la propia manera que el sonido se trasmite en el aire por las ondas sonoras. Sin embargo, admítase que las vibraciones del éter se producen, no perpendicularmente á la superficie de la onda luminosa, como en la propagacion del sonido, sino segun esta misma superficie, esto es, perpendicularmente á la direccion que al propagarse sigue la luz; lo cual se expresa diciendo que las vibraciones son *transversales*. Podemos formarnos una idea de estas vibraciones agitando una cuerda por uno de sus extremos: el movimiento se trasmite serpenteando hasta el otro extremo, efectuándose la propagacion en el sentido de la cuerda, aunque al través de las vibraciones. Ahora bien, como el éter penetra los medios que llenan la cavidad del ojo, las ondas luminosas van á parar al nervio óptico abierto en el fondo de este órgano, de manera que la sensacion de la luz, lo mismo que la del sonido y la del calor, es debida á una comunicacion de movimiento.

Las ondulaciones del éter, que producen la luz, solo difieren de las que engendran el calor por el tiempo que dura el período de vibracion. Estas últimas son demasiado lentas para conmover la retina, y por lo tanto el calor es invisible, no siendo luminosas las ondulaciones del éter sino mas allá de cierta velocidad de vibracion, y aun se verá mas adelante (614) que su mayor ó menor frecuencia es la que origina en nosotros la sensacion de los diferentes colores.

469. Cuerpos luminosos, iluminados, diáfanos, traslucientes y opacos.— Dáse el nombre de *cuerpos luminosos* á los que emiten luz, como el Sol y las sustancias en ignicion, no siendo estos los únicos visibles para nosotros, pues los no luminosos lo son tambien, aunque con la condicion de estar *iluminados*, esto es, de recibir luz de un origen cualquiera, cuya luz devuelta luego en todas direcciones por estos cuerpos,

segun veremos al tratar de la *reflexion* (480), es la que los hace visibles. Así es que todos los cuerpos no luminosos aparecen situados por encima de nuestro horizonte visual; pero en la oscuridad cesan de ser visibles, al paso que los cuerpos luminosos por sí mismos lo son siempre.

Cuerpos *diáfanos* ó *transparentes* son los que dejan pasar fácilmente la luz, y al través de los cuales se distinguen los objetos, como sucede con el agua, los gases y el vidrio lustroso. *Cuerpos traslucientes* son los que tambien permiten paso á la luz, pero sin que sea posible reconocer la forma de los objetos, tales como el vidrio deslustrado y el papel impregnado de aceite. Finalmente, se llaman *cuerpos opacos* aquellos por entre los cuales no hay trasmision de luz, cuales son las maderas y los metales; con todo, no existen cuerpos completamente opacos, pues todos son mas ó menos traslucientes una vez reducidos á hojas bastante delgadas. Foucault hizo ver que plateando con una capa muy tenue la superficie exterior de los objetivos de un antejo, dicha capa de plata es tan transparente que al través de ella se observa perfectamente el Sol sin peligro para la vista, pues la capa de plata refleja la mayor parte del calor y de la luz (1).

470. **Rayo y haz luminoso.**—Las palabras *rayo*, *haz*, *haz paralelo*, *haz divergente*, se toman aquí en el mismo sentido que en el calor (408). Además se dice que un haz es *convergente* cuando concurren los rayos hácia un mismo punto; si el haz es muy divergente recibe el nombre de *pinxel*.

471. **Propagacion de la luz en un medio homogéneo.**—Un *medio* es el espacio, lleno ó vacío, en donde se produce un fenómeno. El aire, el agua y el vidrio son medios en los cuales se propaga la luz. Es *homogéneo* un medio, cuando su densidad y composicion química son idénticas en todas sus partes.

En todo medio homogéneo se propaga la luz en línea recta. En efecto, si se interpone un cuerpo opaco en la línea recta que une el ojo con un cuerpo luminoso, queda interceptada la luz. Obsérvase tambien que la luz que penetra en la cámara oscura por un pequeño orificio, traza en el aire un surco luminoso rectilíneo, que se hace visible iluminando las moléculas de polvo que flotan en la atmósfera.

Sin embargo, la luz varía de direccion cuando encuentra un obstáculo que no puede penetrar, ó cuando pasa de un medio á otro. Pronto describirémos estos fenómenos con los nombres de *reflexion* y de *refraccion* (480 y 504).

472. **Sombra, penumbra, reflejo.**—La *sombra* de un cuerpo es el lugar del espacio en el cual impide que penetre la luz. Si se desea determinar la extension y la forma de la sombra que un cuerpo proyecta, hay que distinguir dos casos: aquel en que el foco luminoso es un punto único, ó bien cuando es un cuerpo de una extension cualquiera.

(1) «Algunos cuerpos son transparentes porque el éter y sus átomos están entre sí en tal proporcion, que las ondas que originan la luz pasan entre los átomos sin cederles el movimiento de que están animadas. En los cuerpos colorados (536), algunas ondas se detienen ó son absorbidas, pero las que dan su color al cuerpo transparente le atraviesan completamente. Por ejemplo, las ondas azules pasan sin impedimento alguno al través de una disolucion de sulfato de cobre, mientras que las de color rojo se extinguen totalmente. Dedúcese de aquí que los cuerpos, por lo que toca á las ondas luminosas, poseen una especie de poder de eleccion, separando ciertas ondas para destruirlas, y dejando pasar otras. La transparencia para una onda no implica necesariamente la de las demás, pudiéndose deducir razonablemente de este hecho que la transparencia para la luz no supone la del calor radiante, como puede confirmarse experimentalmente (431).» (Tyndall, *El calor*).

En el primer caso, sean S (fig. 473) el punto luminoso, y M el cuerpo que produce la sombra, y que supondremos esférico. Si se concibe una recta indefinida SG que se mueve alrededor de la esfera M , siéndole tangente y pasando constantemente por el punto S , dicha recta engendra

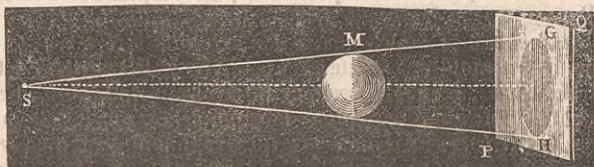


Fig. 473.

una superficie cónica, que separa, mas allá de la esfera, la porción del espacio que queda en la sombra del que está iluminado. En el caso que consideramos, si se colocara detrás y á cierta distancia del cuerpo opaco una pantalla PQ , el tránsito en ella de la sombra á la luz sería brusco, pero no es esto lo que acontece comunmente, puesto que los cuerpos luminosos poseen siempre cierta extension.

Supongamos, en efecto, para simplificar la demostracion, que los cuerpos iluminante é iluminado sean dos esferas SL y MN (fig. 474). Si

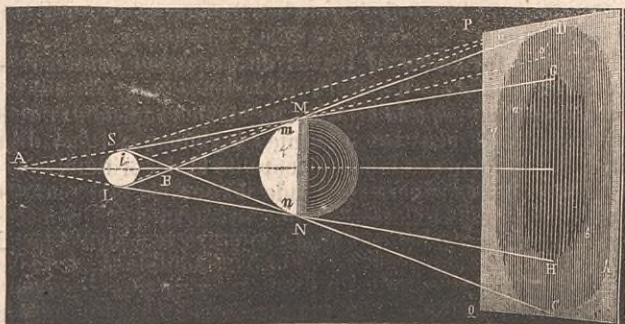


Fig. 474.

se concibe que una recta indefinida AG se mueve tangencialmente á las dos esferas, cortando siempre la línea de los centros en el punto A , dicha línea engendra una superficie cónica que tiene por vértice el citado punto, y que limita, detrás de la esfera MN , un espacio $MGHN$ completamente privado de la luz. Si en la actualidad una segunda recta LD , que corta la línea de los centros en B , gira también tangencialmente á las dos esferas, de manera que engendre una nueva superficie cónica BDC , se reconoce, por la inspección de la figura, que todo el espacio exterior, con respecto á dicha superficie, se halla completamente iluminado. En efecto, si se coloca una pantalla PQ detrás del cuerpo opaco, cualquier punto o de esta pantalla situado fuera de la superficie BDC , puede unirse, por medio de una recta, á todos los puntos de SL , sin que se interponga el cuerpo opaco; pero todo punto o' , comprendido entre las dos superficies cónicas solo puede recibir luz de los puntos de SL situados sobre la recta $o'i$; por consiguiente, el punto o' está menos iluminado

que el punto *o*. Finalmente, si se considera un punto cualquiera de la parte central *GaHb*, como aquel no puede recibir luz de ninguna parte del cuerpo *SL*, se halla completamente en la sombra. La porcion anular *DhCgGbHa*, mas iluminada que la central, y menos que el resto de la pantalla, recibe el nombre de *penumbra*; su resplandor aumenta desde *G* hácia *D*.

Si se trazan sobre la esfera opaca dos círculos *MN* y *mn* que pasen por los puntos de contacto de las tangentes *AG* y *BD*, queda determinada una zona *mnMN* á la cual corresponde tambien una penumbra.

Las sombras, tal cual acabamos de obtenerlas, son las sombras *geométricas*; pero las *físicas*, es decir, las que realmente se observan, no se hallan tan rigurosamente limitadas. Adviértese, en efecto, que cierta cantidad de luz pasa á la sombra, y que tambien se observa algo de sombra en la parte iluminada. Este fenómeno es el que mas adelante describirémos con el nombre de *difraccion* (611).

Cuando un cuerpo opaco intercepta la luz por una de sus caras, nunca está completamente oscura la cara opuesta, sino que siempre se halla mas ó menos iluminada por la luz que reflejan los cuerpos inmediatos. Este efecto de reverberacion se denomina *reflejo*. Como la luz reflejada por un cuerpo colorado participa, en general, del color propio del mismo, resulta que los reflejos adquieren á su vez el tinte de los objetos próximos. Los pintores en sus cuadros, los decoradores de habitaciones en la eleccion de cortinajes, y las mujeres en los de sus galas, utilizan artísticamente los efectos de luz que presentan los reflejos.

473. Imágenes formadas al través de pequeños orificios.— Cuando se proyectan en una pantalla los rayos luminosos que penetran en una cámara oscura *por un pequeño orificio*, se obtienen imágenes de los objetos exteriores, que ofrecen los siguientes fenómenos: 1.º el de aparecer invertidas; 2.º su forma es independiente de la del orificio.

La inversion de las imágenes depende de que los rayos luminosos que proceden de los objetos exteriores y que penetran en la cámara oscura, se cruzan al pasar por el orificio segun se ve en la figura 475. Como los

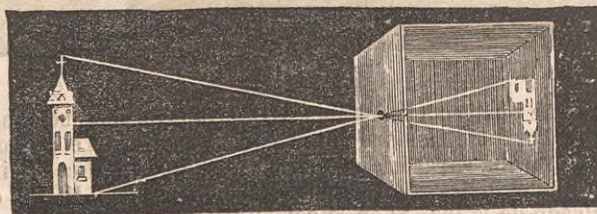


Fig. 475.

rayos continúan propagándose en línea recta, los que parten de los puntos mas altos del objeto encuentran la pantalla en los mas bajos, y recíprocamente, los que proceden de la parte inferior van á proyectarse en los puntos superiores de aquella; de aquí la inversion de la imagen. En el artículo *Cámara oscura* (568) veremos cómo se aumenta el brillo y la claridad de las imágenes por medio de vidrios convergentes, y qué medios se emplean para que aparezcan en su verdadera posicion.

Para demostrar que la forma de la imagen es independiente de la de

la abertura, cuando esta es suficientemente pequeña y se halla á una distancia conveniente de la pantalla, supóngamos un orificio triangular *O* (fig. 476) abierto en el ventanillo de una cámara oscura, y una pantalla *ab* sobre la cual se recibe la imágen de una llama *AB*, situada en la parte

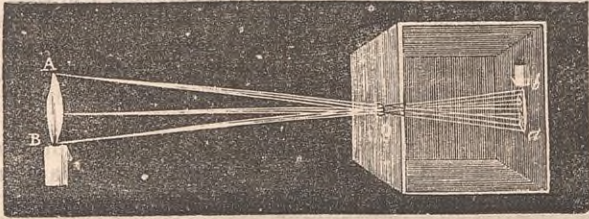


Fig. 476.

exterior. De cada punto de la llama penetra en la cámara un haz de luz divergente, que forma en la pantalla una imágen triangular, semejante á la abertura; pero la reunion de todas estas imágenes parciales produce una total de la misma forma que el objeto luminoso. En efecto, si concebimos que una recta indefinida se mueva en la abertura de la ventana, que suponemos muy pequeña, con la condicion de que permanezca siempre tangente al objeto luminoso *AB*, dicha recta describe en su movimiento dos superficies cónicas cuyo vértice está en el orificio mismo de la cámara, y las bases respectivamente, la de la una, en el cuerpo luminoso, y la de la otra, en la parte iluminada de la pantalla, ó sea la imágen. Por lo tanto, si la pantalla es perpendicular á la recta que une el centro de la abertura con el del cuerpo luminoso, la imágen es semejante á este; pero si aquella es oblicua, la imágen se presenta prolongada en el sentido de la oblicuidad. Tal es lo que se observa, por ejemplo, en la sombra que da el ramaje de los árboles, pues los haces luminosos que pasan al través de las hojas, ofrecen imágenes del Sol, que son circulares ó elípticas, según que la superficie sobre el cual se proyectan sea perpendicular ú oblicua á los rayos solares, cualquiera que sea, por otra parte, la forma de los intersticios que dejan entre sí las hojas para el paso de la luz.

474. Velocidad de la luz.—La luz se propaga con tal velocidad que es imposible, en la superficie de la tierra, hallar un intervalo apreciable para medirla, por mucha distancia que medie entre el momento en que se produce un fenómeno luminoso, y aquel en el cual lo percibe la vista; por lo tanto, ha sido preciso determinar dicha velocidad por medio de observaciones astronómicas. El astrónomo danés Rømer fué el primero que, en 1675, dedujo la velocidad de la luz, observando los eclipses del primer satélite de Júpiter.

Se sabe que Júpiter es un planeta alrededor del cual giran rápidamente cuatro satélites, de la misma manera que la Luna gira alrededor de la Tierra. Su primer satélite, ó sea el mas próximo al planeta, efectúa sus *inmersiones*, es decir, entra en la sombra proyectada por Júpiter á intervalos iguales de tiempo, cuya duracion es $42^h 28^m 36^s$; por consiguiente dicho satélite se eclipsa periódicamente en cada uno de estos intervalos. Ahora bien, antes de las observaciones de Rømer, construyó Domingo Cassini unas tablas basadas en un gran número de observaciones, las

cuales habian de servir para predecir los eclipses de los satélites de Júpiter; pero al emplear Røemer dichas tablas, se cercioró de que no eran exactas, pues los eclipses acontecian unas veces antes y otras despues de lo que resultaba del cálculo. Cuando Júpiter se hallaba en *oposición*, es decir, cuando la Tierra estaba entre aquel planeta y el Sol, el cálculo efectuado con las tablas era erróneo por predecir el eclipse para un tiempo anterior al verdadero; y al revés, en la época de las *conjunciones*, es decir, cuando el Sol está entre la Tierra y Júpiter, el error era en sentido contrario. Esta observacion fué la que condujo á Røemer al descubrimiento de la velocidad de la luz.

En efecto, en la oposicion y al acercarse á ella, hallándose el Sol en (fig. 477), la Tierra en T, y Júpiter en j, la distancia de la tierra á Júpiter

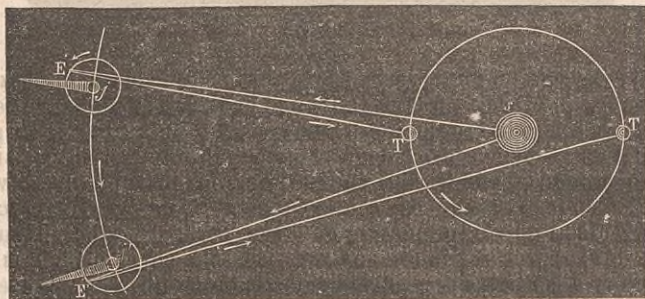


Fig. 477.

ter, y por consiguiente á su satélite E, es próximamente $sj - Ts$, es decir, la diferencia entre la distancia del Sol á Júpiter, y la de la Tierra al Sol, mientras que en la época de las conjunciones, ó sea cuando la Tierra se halla en T' y Júpiter en j', la distancia de la Tierra á Júpiter viene á ser $sj' + T's$. Como la distancia T'j' excede á la Tj en el duplo de la que media entre la Tierra y el Sol, la luz de este, reflejada hácia aquella por el satélite E, tiene que recorrer en el segundo caso un camino mayor que en el primero, pues le excede en el duplo de la distancia sT: esta es la causa del retraso observado por Røemer.

Para valuar este retraso, imaginemos que se observa un eclipse del satélite E, es decir, el momento de su inmersion en el cono de sombra proyectada por Júpiter, cuando este planeta se halla en j y la Tierra en T; y que luego se observa otro eclipse cuando los dos planetas se hallan respectivamente en j' y T', es decir, cuando la distancia que los separa ha aumentado en la totalidad del diámetro de la órbita terrestre. De estas dos observaciones resulta que el tiempo trascurrido entre ellas, no es el producto $42^h 28^m 36^s$ por el número de veces que se ha eclipsado el satélite E durante el tiempo empleado por la Tierra en trasladarse del punto T al T', sino que excede á dicho producto en $16^m 26^s$. Este es, por lo tanto, el tiempo que emplea la luz en recorrer la distancia TT', que es doble de la de la Tierra al Sol. Dedúcese de aquí que la luz emplea $8^m 13^s$ en recorrer la distancia entre el Sol y la Tierra, lo cual, atendida esta distancia, representa una velocidad por segundo de 77000 leguas de 4000 metros, ó sean 30800 miriámetros.

Esta velocidad es la determinada por Struve observando la aberración de las estrellas fijas; la que determinó Rømer era algo mayor.

Las estrellas mas próximas á la tierra se encuentran por lo menos á una distancia 206,265 veces mayor que la que nos separa del Sol, y por consiguiente, la luz que proyectan tarda mas de 3 años y 3 meses en llegar hasta nosotros. Por lo que hace á las estrellas que no son visibles sino por medio del telescopio, se encuentran á tal distancia de la tierra, que se requieren millares de años para que llegue su luz hasta nosotros, de suerte que pueden trascurrir muchos siglos desde su desaparicion, sin dejar de verlas y de estudiar sus movimientos.

475. Experimentos del Sr. Foucault para medir la velocidad de la luz.—A pesar de la prodigiosa velocidad de la luz, el Sr. Foucault consiguió determinarla experimentalmente por medio de un ingenioso aparato fundado en el uso del espejo giratorio, adoptado ya por Wheatstone para medir la velocidad de la electricidad.

Antes de describir este aparato, indicaremos que lo que vamos á exponer supone que nos son conocidas las propiedades de los espejos y las de las lentes (490 y 322). La figura 478 representa, en un plano horizontal, las principales disposiciones del aparato del Sr. Foucault. El ventanillo K de una cámara oscura posee un orificio cuadrado, detrás del cual se halla tenso verticalmente un alambre fino de platino o . Un haz de luz solar reflejado en la parte exterior sobre un espejo, penetra en la cámara por el orificio cuadrado, encuentra el alambre de platino, y de aqui se dirige á una lente acro-

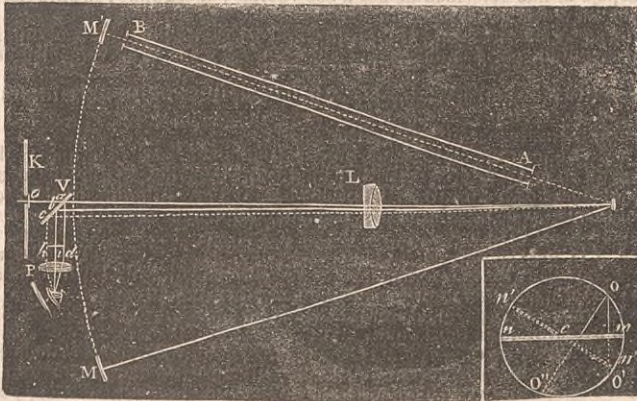


Fig. 478.

Fig. 479.

mática L, de largo foco, situada á una distancia del alambre, menor que el doble de la distancia focal principal. La imagen del alambre de platino tiende á formarse entonces sobre el eje de la lente, con dimensiones mas ó menos amplificadas; pero el haz luminoso, despues de haber atravesado la lente, encuentra un espejo plano m , que gira con gran velocidad, sobre el cual se refleja, y forma en el espacio una imagen doble de la del alambre de platino, que se va moviendo con una velocidad angular doble de la del espejo (1). Esta imagen es reflejada por un espejo M, cóncavo y fijo, cuyo centro de curvatura coincide con el eje de rotacion del espejo giratorio m y con su centro de figura. El haz reflejado en el espejo M, retrocede sobre si mismo, se refleja de nue-

(1) Para demostrarlo, sean mn (fig. 479) el espejo giratorio, O un objeto fijo, situado delante de él, cuya imagen se forma en O' . Cuando el espejo acepta la posicion $m'n'$ se forma la imagen en O'' . Los dos ángulos $O'O''$ y mcm' son iguales, por tener los lados respectivamente perpendiculares, pero el ángulo inscrito $O'O''$ tiene por medida la mitad del arco $O'O''$, mientras que la del ángulo mcm' , cuyo vértice está en el centro, es todo el arco mm' . De consiguiente, el arco $O'O''$ es doble que el mm' , lo cual nos demuestra que la velocidad angular de la imagen es doble de la del espejo.

vo en el espejo m , cruza por segunda vez la lente, y va á formar una imágen del alambre de platino que aparece sobre este mismo alambre mientras el espejo m gira con lentitud.

A fin de ver esta imágen sin interceptar el haz que entra por el orificio o , se coloca un cristal de vidrio V , de caras paralelas, entre la lente y el alambre de platino, y se le inclina de manera que los rayos reflejados vayan á caer sobre un poderoso ocular P .

Sentado esto, si el espejo m está en reposo, ó si gira con escasa velocidad, el rayo de retorno Mm encuentra al espejo m en la misma posicion que tenia en el momento de la primera reflexion; recobra, pues, la misma direccion que ya siguió, encuentra en a el espejo V , se refleja en él parcialmente, y va á formar en d , á una distancia $ad = ao$, la imágen que observa el ojo con el ocular P . A cada revolucion del espejo m reaparece dicha imágen, y si su velocidad de rotacion es uniforme, queda aquella inmóvil en el espacio. Para velocidades que no pasen de 50 vueltas por segundo, se distinguen las apariciones sucesivas de la imágen; pero pasado este límite, persisten las impresiones en el ojo, y aparece aquella completamente tranquila.

Por último, si el espejo m gira con suficiente velocidad, se percibe el cambio de posicion que efectúa mientras la luz recorre el doble trayecto de m á M y de M á m ; el rayo de retorno, después de su reflexion en m , acepta la direccion mb , y va á formar su imágen en i , es decir, que la desviacion total de esta es di . Rigorosamente hablando, apenas gira el espejo, aunque sea con lentitud, hay desviacion, pero no es apreciable hasta que adquiere cierta magnitud, lo cual exige una velocidad de rotacion bastante rápida, ó una distancia Mm suficientemente grande, porque la desviacion crece por precision, como el tiempo que tarda la luz en volver sobre sí misma.

En el experimento de Foucault, la distancia Mm solo fué de 4 metros, y dando entonces al espejo m una velocidad de 6.10 á 800 vueltas por segundo, se obtuvieron desviaciones de 2 á 3 décimos de milimetro.

Suponiendo que $Mm = l$, $Lm = l'$, $oL = r$, y representando por n el número de vueltas por segundo, por δ la desviacion absoluta di , y por V la velocidad de la luz

obtuvo Foucault la fórmula $V = \frac{8\pi^2 nr}{\delta(l+l')}$, y halló que la velocidad de la luz es 74500

leguas de 4000 metros, ó sean 29800 miriámetros.

El aparato de Foucault permite experimentar tambien sobre los líquidos. Al efecto se interpone un tubo AB de tres metros de longitud y lleno de agua destilada, entre el espejo giratorio m y otro cóncavo M' idéntico al M . Los rayos luminosos reflejados por el m en la direccion mM atraviesan dos veces la columna de agua AB antes de volver sobre el espejo V . El rayo de retorno acaba de reflejarse entonces en c , y de formar su imágen en h , y la desviacion, por lo tanto, es mayor para los rayos que han atravesado el agua, que para los que se han propagado solo por el aire, lo cual indica que la velocidad de la luz es menor en el agua que en aquel fluido.

Esta consecuencia es la parte interesante del experimento del Sr. Foucault. En efecto, habiendo patentizado la teoría que, en el sistema de las ondulaciones, la velocidad de la luz es menor en el medio mas refringente, mientras que en el de la emision se verifica lo contrario, el resultado que Foucault obtuvo, demuestra que el sistema que debe adoptarse exclusivamente, ha de ser el de las ondulaciones, pues luego veremos (518), que el agua es mas refringente que el aire.

Por lo que hace al mecanismo que le sirvió á Foucault para comunicar una gran velocidad al espejo giratorio, consiste en una pequeña turbina de vapor, algo parecida á la sirena, y que, como esta, produce un sonido, tanto mas agudo, cuanto mas rápida es la rotacion: de la altura del sonido se deduce la velocidad de rotacion.

476. Experimento de Fizeau. — El Sr. Fizeau midió directamente, en 1849, la velocidad de la luz, observando el tiempo que le era necesario para propagarse de Suresnes á Montmartre y vice-versa. El aparato que empleó consistia en una rueda dentada, que giraba con mas ó menos velocidad, y cuyos intervalos, entre cada dos dientes, eran rigorosamente iguales á la anchura de estos. Colocada esta rueda y el mecanismo que la movia en Suresnes, pasaba entre dos dientes un haz de luz paralelo é iba á reflejarse en un espejo situado en Montmartre, desde donde el haz volvía hácia la rueda dirigido por un sistema de tubos y lentes. Mientras la rueda estaba en reposo, el haz volvía á pasar precisamente por entre los mismos dientes por donde habia salido; pero girando la rueda con suficiente rapidez, uno de los dientes venia á ocupar el lugar del intervalo inmediato, interceptando el haz que el observador recibia á través de un ocular. Girando la rueda con mayor rapidez, reaparece el haz en el momento de la vuelta, cuando el espacio entre los dos dientes que seguian habia ocupado el sitio del primero.

Por la dimension de la rueda, su velocidad de rotacion y su distancia al espejo reflector, que era de 8653 metros, halló Fizeau que la velocidad de la luz es de 31200

miriámetros, número que se diferencia muy poco del que da la observacion de los fenómenos astronómicos.

477. Leyes de la intensidad de la luz.—Tomando por *intensidad* de una luz la cantidad recibida sobre la unidad de superficie de un cuerpo iluminado, dicha intensidad está sometida á las dos leyes siguientes:

1.^a *La intensidad de la luz recibida normalmente en una superficie dada, está en razon inversa del cuadrado de la distancia al foco luminoso.*

2.^a *La intensidad de la luz, recibida oblicuamente, es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos luminosos con la normal á la superficie iluminada.*

Estas dos leyes se demuestran idénticamente por el mismo razonamiento que las análogas 1.^a y 3.^a del calor (410), substituyendo un foco de luz al de calor (figs. 437 y 441). Además, la ley del coseno se aplica tambien á los rayos emitidos oblicuamente por una superficie luminosa, cuyos rayos son tanto menos intensos, cuanto mas inclinados están sobre la superficie que los emite (2.^a ley del calor).

La divergencia de los rayos luminosos emitidos desde un mismo foco hace que la intensidad de la luz esté en razon inversa del cuadrado de la distancia. Respecto de los paralelos la intensidad es constante, por lo menos en el vacío, pues en el aire y demás medios transparentes decrece por un efecto de absorcion (548), aunque con mucha mas lentitud que aumenta el cuadrado de la distancia.

Vamos á ver ahora (479) cómo se prueba experimentalmente por medio del fotómetro la primera ley de la intensidad de la luz.

478. Fotómetros.—Llámanse *fotómetros* unos aparatos que sirven para comparar las intensidades relativas de dos luces. Se han ideado muchos, pero todos ellos dejan bastante que desear respecto á exactitud.

Fotómetro de Rumford.—Consta de una pantalla de vidrio deslustrado delante de la cual se fija una varilla opaca *m* (fig. 480). A cierta distancia

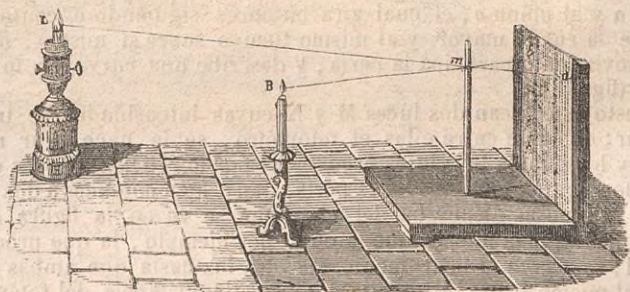


Fig. 480.

se ponen las luces que se quieren comparar, por ejemplo, un quinqué y una bujía, de suerte que cada una proyecta sobre la pantalla una sombra de la varilla. Estas sombras así proyectadas son desde luego de desigual intensidad; pero alejando ó acercando poco á poco el quinqué, se obtiene una posición en que es idéntica la intensidad de las dos sombras *a* y *b*, lo cual indica que la pantalla está igualmente iluminada por ambas luces. Entonces *las intensidades de estas dos luces son directamente pro-*

porcionales á los cuadrados de sus distancias á las sombras proyectadas; es decir, que si el quinqué está, por ejemplo, tres veces mas distante que la bujía, esto da á entender que alumbrá nueve veces más.

Efectivamente, sean i é i' las intensidades del quinqué y de la bujía á la unidad de distancia, y d y d' sus distancias respectivas á las sombras proyectadas. En virtud de la primera ley de la intensidad de la luz (477), la del quinqué á la distancia d es $\frac{i}{d^2}$,

y la de la bujía $\frac{i'}{d'^2}$ á la distancia d' . Es así que estas dos intensidades son iguales en

la pantalla; luego se tiene la igualdad $\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d'^2}$, de donde $\frac{i}{i'} = \frac{d^2}{d'^2}$, que es lo que se queria demostrar.

Fotómetro de Wheatstone.—La pieza principal de este aparato es una perla de acero P (fig. 481), dispuesta sobre el borde de un disco de corcho, sostenido á su vez por un piñon o que engrana interiormente con una rueda de mayor tamaño, la cual está fija en una cajita cilíndrica de cobre que puede tenerse en una mano, mientras que con la otra se dá



Fig. 481.



Fig. 482.

vueltas á un manubrio A, que trasmite el movimiento á un eje central, al radio a y al piñon o , el cual gira entonces siguiendo el contorno interior de la rueda mayor, y al mismo tiempo sobre sí mismo, de cuyo doble movimiento participa la perla, y describe una curva en forma de roseton (fig. 482).

Supuesto esto, sean dos luces M y N cuyas intensidades se trata de comparar: colócase entre ellas el fotómetro, se le hace girar rápidamente, y los puntos brillantes producidos por la reflexion de las dos luces en dos puntos opuestos de la perla, dan origen entonces á dos rastros ó líneas luminosas dispuestas del modo que se ve en la figura 482. Si una de ellas es mas intensa que la otra, por ejemplo, la que procede de la luz M, se acerca el instrumento á la otra luz hasta que ambas señales tengan el mismo brillo. Midiendo entonces la distancia del fotómetro á cada luz, sus intensidades son proporcionales á los cuadrados de las distancias.

479. Demostracion de la primera ley de la intensidad de la luz.—Demuéstrase con el fotómetro de Rumford que la intensidad de la luz está en razon inversa del cuadrado de la distancia, disponiendo el experimento como en la figura 483. Situada una bujía á cierta distancia Bb de la pantalla del fotómetro, se disponen otras cuatro idénticas á la primera en línea recta con la varilla m , y luego se las separa hasta que las dos sombras a y b , proyectadas en la pantalla, aparezcan igualmente oscu-

ras. Si se mide entonces la distancia media Aa de las cuatro bujías á la pantalla, se ve que es doble de Bb ; lo cual comprueba la ley, puesto que cuatro bujías á una distancia de 2 metros, por ejemplo, alumbran tanto

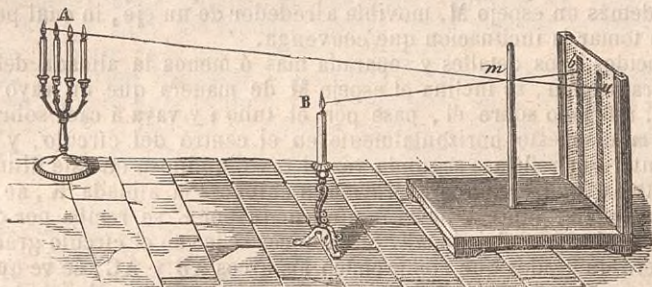


Fig. 485.

como una sola á la distancia de 1 metro. Puede verse asimismo que nueve bujías á una distancia de 3 metros alumbran lo mismo que una sola á la distancia de 1 metro.

CAPITULO II.

REFLEXION DE LA LUZ : ESPEJOS.

480. **Leyes de la reflexion de la luz.**—Cuando un rayo luminoso encuentra una superficie pulimentada, se refleja con arreglo á las dos leyes siguientes, que son las mismas que para el calor.

1.^a *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.*

2.^a *Los rayos incidente y reflejado están en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.*

Las voces *rayo incidente*, *rayo reflejado*, *ángulo de incidencia*, *ángulo de reflexion* se toman aquí en el mismo sentido que en el párrafo 414. donde pueden verse sus definiciones.

1.^a *Demostracion* — Las dos leyes precedentes se demuestran experimentalmente por medio del aparato representado en la figura 484, el cual consiste en un círculo graduado de cobre, colocado verticalmente sobre un trípode con tornillos para nivelar. En A está el cero de la graduacion, que se extiende á derecha é izquierda de dicho punto hasta 90°; forman tambien parte del aparato dos alidadas de cobre K é I que pueden girar libremente alrededor de un eje central

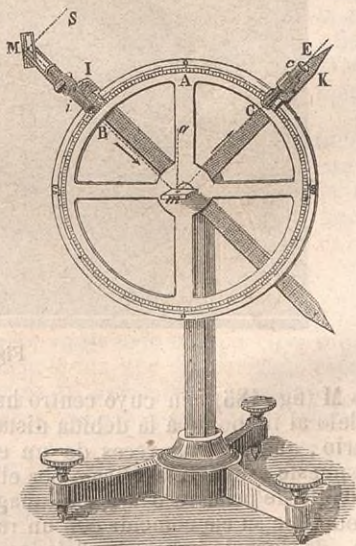


Fig. 484.

situado detrás del círculo. Estas alidadas llevan consigo dos tubitos i , c , dispuestos de manera que las prolongaciones de sus ejes se cortan precisamente en el centro del círculo; dichos tubitos están destinados respectivamente á dejar paso á los rayos incidente y reflejado. La alidada I lleva además un espejo M , movable alrededor de un eje, lo cual permite hacerle tomar la inclinacion que convenga.

Conocidos estos detalles y separada mas ó menos la alidada del cero de la graduacion, se inclina el espejo M de manera que un rayo luminoso S , reflejado sobre él, pase por el tubo i y vaya á caer sobre otro espejo m dispuesto horizontalmente en el centro del círculo, y en su parte anterior; refléjase segunda vez el rayo luminoso en este último espejo y toma la direccion mE . Moviendo entonces la alidada K , se la separa ó acerca al punto A hasta que mirando por E se reciba por dentro del tubo c el rayo reflejado mE . Si entonces se lee en el círculo graduado el número de grados que comprenden los arcos AB y AC , se ve que son iguales; por consiguiente, tambien lo son los ángulos de incidencia y de reflexion Bma y amC medidos por dichos arcos, con lo cual se demuestra la primera ley.

La segunda queda tambien demostrada por la disposicion misma del aparato, pues los ejes de los tubitos c é i están en un mismo plano paralelo al del círculo graduado, y por consiguiente, perpendicular á la superficie del espejo m .

2.^a *Demostracion.*—Pueden tambien demostrarse las leyes de la reflexion de la luz por medio del siguiente experimento, que ofrece mayor exactitud que el anterior. Colócase verticalmente un círculo gradua-

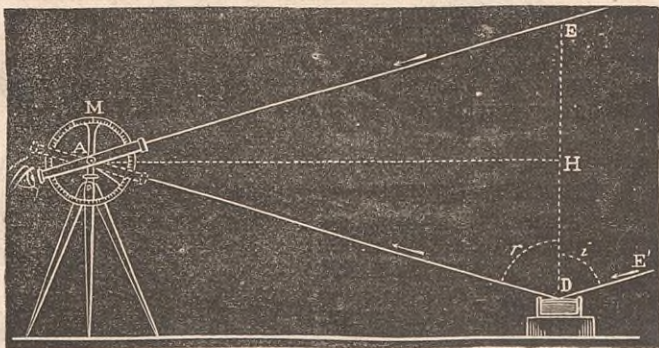


Fig. 485.

do M (fig. 485), en cuyo centro hay un anteojo móvil en un plano paralelo al limbo, y á la debida distancia se situa un vasito lleno de mercurio, que hace las veces de un espejo plano perfectamente horizontal: dispuesto esto así, se dirige por el anteojo una visual AE á una estrella notable de primera ó segunda magnitud, y en seguida se le inclina de modo que su eje coincida con un rayo AD , procedente de la misma estrella, despues de haberse reflejado en D sobre la superficie brillante del mercurio; pues bien, obsérvase de esta manera que los dos ángulos formados por los rayos EA y DA , con la horizontal AH , son iguales, de donde es fácil inferir que el ángulo de incidencia $E'DE$ es igual al de re-

flexion EDA, pues si se supone la DE normal á la superficie del mercurio, siendo esta recta perpendicular á la AH, el triángulo AED es isósceles, y los ángulos ADE y AED son iguales; pero siendo paralelos, por la gran distancia de la estrella, los dos rayos luminosos AE y DE', los ángulos AED y EDE' son tambien iguales como alternos internos; luego $EDE' = ADE$ que es lo que se queria demostrar.

481. Reflexion irregular. — La reflexion sobre la superficie de los cuerpos pulimentados conforme á las dos leyes antes enunciadas (480), se conoce con el nombre de *reflexion regular ó especular*; pero la cantidad de luz así reflejada dista mucho de representar toda la incidente. Esta, cuando el cuerpo reflejante es opaco, se divide en dos partes, á saber: una que se refleja con toda regularidad, y la otra *irregularmente*, esto es, en todas direcciones (416).

La luz reflejada irregularmente se llama *luz difusa*, y es la que nos hace ver los cuerpos, pues la que lo efectúa con regularidad no da la imágen del cuerpo que la refleja, sino la del que la emite. Así, por ejemplo, si en una cámara oscura se recibe un haz de luz solar sobre un espejo bien pulimentado, cuanto mas regularmente refleja este la luz, tanto menos visible es desde las diversas partes del recinto, pues el ojo que entonces recibe el haz reflejado no ve el espejo, sino tan solo la imágen del Sol. Para convencerse de ello no hay mas que echar encima del espejo cierta cantidad de polvo finísimo, lo cual disminuye su poder reflector, y entonces aumentará la cantidad de luz difusa, se debilitará la imágen solar y será visible el espejo desde todas las partes del recinto.

482. Intensidad de la luz reflejada. — En un mismo cuerpo, la intensidad de la luz reflejada regularmente aumenta con el grado de pulimento y con el ángulo que los rayos incidentes forman con la normal á la superficie reflejante. Por ejemplo, si se mira muy oblicuamente un pliego de papel blanco situado delante de una bujía, se ve por reflexion una imágen de la llama, lo cual no sucede cuando los rayos son menos oblicuos.

En cuerpos de naturaleza diferente, pulimentados con el mismo esmero, siendo igual el ángulo de incidencia, la intensidad varía con la sustancia, y tambien con el medio en que está sumergido el cuerpo reflejante; así, por ejemplo, el vidrio lustroso, introducido en el agua, pierde gran parte de su poder reflejante.

REFLEXION DE LA LUZ SOBRE SUPERFICIES PLANAS.

483. Espejos é imágenes. — Llámase *espejo* todo cuerpo cuya superficie, perfectamente pulimentada, refleja la luz con regularidad, reproduciendo la imágen de los objetos que se le presentan. Clasificanse los espejos por su forma, en *planos, cóncavos, convexos, esféricos, parabólicos, cónicos*, etc.

484. Formacion de las imágenes en los espejos planos. — La determinacion de la posicion y del tamaño de las imágenes se reduce siempre á la investigacion de las imágenes de una serie de puntos. Sea, por lo tanto, en primer lugar, un punto único A, luminoso ó iluminado, situado delante de un espejo plano MN (fig. 486); un rayo cualquiera AB que parta de dicho punto y encuentre al espejo, se reflejará en la direccion BO, formando el ángulo de reflexion DBO igual al de incidencia ABD. Si desde A se baja una perpendicular AN sobre el espejo, y se

prolonga el rayo OB por debajo del mismo hasta que encuentre á dicha perpendicular en un punto a , se forman dos triángulos ABN y BNa que son iguales, porque tienen un lado comun BN , adyacente á dos ángulos iguales, á saber: los ANB y BNa , que son rectos, y los ABN y NBa , iguales entre sí, pues ambos lo son al OBM . De la igualdad de estos triángulos resulta que aN es igual á AN , es decir, que un rayo cualquiera AB acepta, despues de la reflexion, una direccion tal, que prolongándole por debajo del espejo, va á cortar á la perpendicular Aa , en un punto a , situado precisamente á la misma distancia del espejo que el A . Pero esta propiedad no es peculiar del rayo AB , sino

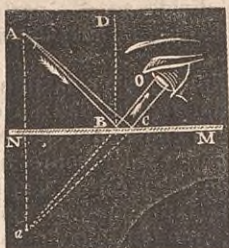


Fig. 486.

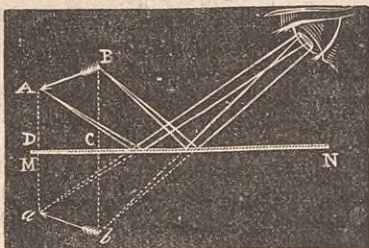


Fig. 487.

que se aplica á cualquiera otro AC que parta del punto A . Dedúcese de aquí la consecuencia importante, de que todos los rayos emitidos por el punto A y reflejados sobre el espejo, *siguen, despues de su reflexion, la misma direccion que si todos derivasen del punto a* . Como el ojo ve siempre los objetos en la direccion de los rayos luminosos que llegan á él, percibe la imágen del punto A en a , como si realmente existiese este punto. De consiguiente, en los espejos planos, *la imágen de un punto se forma detrás del espejo, á una distancia igual á la del punto dado, y sobre la perpendicular bajada de este punto al espejo*.

Es evidente que se obtendrá la imágen de un objeto cualquiera construyendo, segun la regla anterior, la imágen de cada uno de sus puntos, ó por lo menos la de los que basten para determinar su posicion y su forma. La figura 487 manifiesta la construccion que hay que hacer para obtener la imágen ab de un objeto cualquiera AB .

De esta construccion se deduce inmediatamente que, en los espejos planos, *la imágen es del mismo tamaño que el objeto*, porque si se coloca el trapecio $ABCD$ sobre el $CDab$, se ve desde luego que coinciden, y que el objeto AB se confunde con su imágen.

Dedúcese igualmente de la citada construccion que, en los espejos planos, *la imágen es simétrica con el objeto*, y no aparece invertida, dando á la palabra simétrica la misma significacion que en Geometría, en cuya ciencia se dice que dos puntos son simétricos con relacion á un plano, cuando se hallan situados en una misma perpendicular á este plano, uno á cada lado de este y á igual distancia; condiciones que satisfacen sucesivamente todos los puntos del objeto AB y de su imágen ab en la figura 487.

485. Imágenes virtuales é imágenes reales.—En la direccion de los rayos reflejados por los espejos, hay que distinguir dos casos, pues aquellos, despues de reflejarse, pueden ser divergentes ó convergentes.

En el primer caso no se encuentran los rayos reflejados; pero suponiéndolos prolongados al otro lado del espejo, sus prolongaciones concurren en un punto (figs. 486 y 487). Impresionado el ojo cual si los rayos partiesen de este punto, ve allí una imagen, que no es mas que una ilusión de la vista, pues en realidad no existe, porque los rayos luminosos no pasan al otro lado del espejo. De aquí proviene el nombre de *imagen virtual*, es decir, que tiende á producirse, pero que no se forma en realidad. Tales son siempre las imágenes que ofrecen los espejos planos.

En el segundo caso, cuando los rayos reflejados son convergentes como pronto veremos en los espejos cóncavos, dichos rayos concurren en un punto situado delante del espejo y en el lado mismo en que se encuentra el objeto. Allí forman una imagen que se denomina *imagen real*, para expresar que realmente existe, pues puede recibírsela sobre una pantalla y obrar químicamente sobre ciertas sustancias. En resumen, puede decirse que *las imágenes reales son las que están formadas por los mismos rayos reflejados, y las imágenes virtuales, las originadas por sus prolongaciones.*

486. Imágenes múltiples en los espejos de vidrio. — Los espejos metálicos solo ofrecen una superficie reflejante, y, por lo mismo, no dan mas que una imagen, pero no sucede lo mismo en los de vidrio, los cuales producen varias, que pueden observarse con facilidad mirando oblicuamente en un espejo la imagen de una bujía. Véase una primera imagen poco intensa, luego una segunda muy visible, y detrás de esta otras varias cuya intensidad decrece sucesivamente hasta que llegan á extinguirse.

Explícase este fenómeno por las dos superficies reflejantes que presentan los espejos de vidrio. Cuando los rayos luminosos que parten del punto A (fig. 488) encuentran la primera superficie, se refleja una parte de luz dando la imagen α , formada por la prolongacion de los rayos bE reflejados por esta superficie; el resto de la luz penetra en el vidrio, se refleja en c sobre la capa de estaño amalgamado que cubre la cara posterior del espejo, y vuelve al ojo en la direccion dH , dando la imagen α' . Esta, que dista de la primera el doble del espesor del espejo, es mas intensa, porque la capa metálica refleja mas que el vidrio.

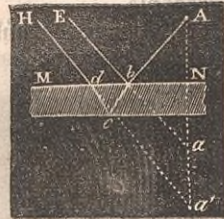


Fig. 488.

En cuanto á las otras imágenes que aparecen, provienen del hecho general de que siempre que un haz luminoso ha de pasar de un medio á otro, por ejemplo, del aire al vidrio ó vice-versa, jamás dicho haz pasa por completo, sino solo parcialmente, reflejándose la otra parte en la superficie que separa los dos medios. Por consiguiente, cuando el haz cd , reflejado por la capa de estaño, llega á d para salir del vidrio, una parte se refleja interiormente sobre la cara MN , y vuelve hácia la capa de estaño donde se refleja de nuevo hácia la cara superior. De aquí sale una porcion que da una tercera imagen, mientras que la otra porcion vuelve sobre la capa de estaño, se refleja allí, y sale en parte del vidrio por la cara MN , produciendo una cuarta imagen; y así sucesivamente hasta que debilitándose gradualmente la luz dejan de ser visibles las imágenes.

Como esta multiplicidad de imágenes perjudicaria la observacion en

algunos instrumentos de óptica, se emplean preferentemente los espejos metálicos.

487. Imágenes múltiples sobre dos espejos planos inclinados.— Cuando un objeto se halla situado entre dos espejos que forman un ángulo recto ó agudo, resultan varias imágenes cuyo número aumenta con la inclinación de los espejos.

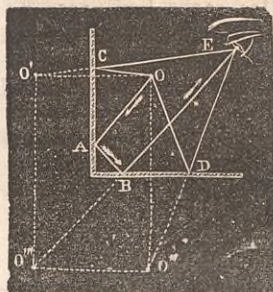


Fig. 489.

Si el uno es perpendicular al otro, se ven tres imágenes dispuestas de la manera que aparecen en la figura (489), siendo O el punto luminoso. Los rayos OC y OD , que parten del punto O , dan, después de una sola reflexión, el uno la imagen O' , y el otro la O'' , y el rayo OA , que ha sufrido dos reflexiones en A y en B , produce la tercera imagen O''' .

Cuando el ángulo que forman los espejos es de 60 grados, aparecen 5 imágenes; y si es de 45 grados, 7 imágenes. El número de estas continúa creciendo así á medida que disminuye el ángulo del espejo; lo cual proviene

de que los rayos luminosos sufren sucesivamente de un espejo á otro, un número creciente de reflexiones.

En la propiedad de los espejos inclinados se funda el *kaleidóscopo*, aparato que consiste en un tubo de cartón con dos espejos inclinados formando entre sí un ángulo de 45 grados, ó bien con tres espejos también inclinados, según un ángulo de 60 grados. Situando en su extremo objetos muy irregulares, como musgo, oropel, encaje, etc., entre dos discos de vidrio, de los cuales el exterior esté deslustrado, al mirar por el otro extremo, se ven estos objetos y sus imágenes simétricamente dispuestas, constituyendo un conjunto muy variado y casi siempre muy agradable.

488. Imágenes múltiples sobre dos espejos paralelos.— En el caso de que los espejos sean paralelos, el número de las imágenes que se pro-

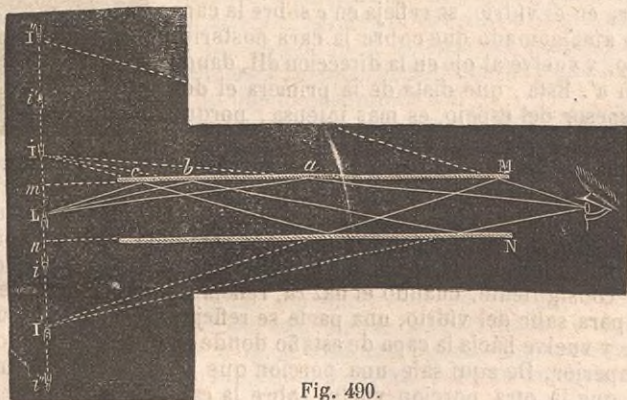


Fig. 490.

ducen de los objetos situados entre ellos es teóricamente infinito, pero limitado físicamente, porque no reflejándose jamás en su totalidad la luz

incidente, las imágenes pierden cada vez más su brillo, acabando por extinguirse completamente.

La figura 490 demuestra como el haz La , reflejado una sola vez en el espejo M , da en I la imagen del objeto L , á una distancia $ml = mL$; despues el haz Lb reflejado una vez en el espejo M y otra en N produce la imagen I' á una distancia $nI' = nI$; asimismo el haz Lc , despues de dos reflexiones en M y una en N , forma la imagen I'' á una distancia $mI'' = mI'$; y así sucesivamente hasta el infinito. En cuanto á las imágenes i , i' , i'' , están formadas del mismo modo por los rayos de luz que, partiendo del objeto L , caen primero sobre el espejo N .

REFLEXION DE LA LUZ SOBRE LAS SUPERFICIES CURVAS.

489. Espejos esféricos.—Se vió ya (483) que existen varias clases de espejos curvos; pero los de uso mas frecuente son los esféricos y los parabólicos.

Denomínanse *espejos esféricos* aquellos cuya curvatura es la de una esfera, pudiéndose suponer su superficie engendrada por la revolucion de un arco AN que gira alrededor del radio CA que une la extremidad del arco con su centro (fig. 491). Segun que la reflexion se efectue en la

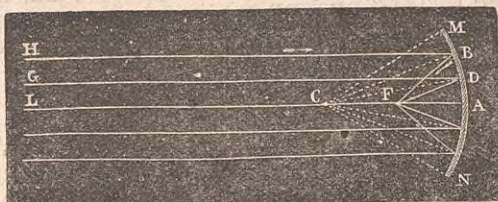


Fig. 491.

cara interna ó en la externa del espejo, así se dice que este es *cóncavo* ó *convexo*. El centro C de la esfera hueca de que forma parte el espejo, es el *centro de curvatura* ó el *centro geométrico*, y el punto A , el *centro de figura*. La recta indefinida AL , tirada por los centros A y C , es el *eje principal* del espejo; y cualquiera otra recta que pase por C , sin pasar por A , es un *eje secundario*.

Denomínase *seccion principal* de un espejo la que se obtiene cortándole por un plano que pase por el eje principal. Solo trataremos aquí de las líneas situadas en una misma seccion principal de los espejos. Por último, el ángulo MCN formado por dos líneas que unan el centro con los extremos del arco MN es la *abertura* del espejo.

La teoría de la reflexion de la luz sobre los espejos curvos se deduce muy sencillamente de las leyes de la reflexion sobre los planos, considerando la superficie de los primeros como formada por una infinidad de superficies planas infinitamente pequeñas, que son sus *elementos*. La *normal* á la superficie curva, en un punto dado, es entonces la perpendicular al elemento correspondiente, ó, lo que es igual, al plano tangente que lo contiene. Demuéstrase en Geometría que, en la esfera, todas las normales pasan por el centro de curvatura, lo cual permite trazar fácilmente la normal en un punto cualquiera de un espejo esférico, pues no hay mas que unir dicho punto con el centro de curvatura por medio de una recta.

190. Foco de los espejos esféricos cóncavos. — En los espejos curvos, reciben el nombre de *focos*, los puntos á los cuales concurren los rayos reflejados ó sus prolongaciones: de aquí el que se clasifiquen en *focos reales* y en *focos virtuales* (485). En los espejos cóncavos, que son los primeros que vamos á estudiar, se encuentran estas dos especies de focos; además los focos se subdividen en *focos principales* y *focos conjugados*.

1.º Foco principal. — El carácter distintivo de este foco es el tener una situación fija, equidistante de los centros de curvatura y de figura, siendo así que la del foco conjugado es variable. Para obtener desde luego el foco de que se trata, consideremos un haz de rayos luminosos paralelos al eje principal, lo que supone al cuerpo luminoso situado á una distancia infinita, y sea GD uno de estos rayos (fig. 491). Supuesto que los espejos curvos están compuestos, segun queda dicho, de una multitud de elementos planos infinitamente pequeños, dicho rayo se refleja sobre el elemento correspondiente al punto D, segun las leyes de reflexion sobre los espejos planos (480); es decir, que siendo CD la normal al punto de incidencia D, el ángulo de reflexion CDF es igual al de incidencia GDC y está en la misma seccion principal. Fácil es deducir de aquí que el punto F, donde el rayo reflejado encuentra el eje principal, divide en dos partes casi iguales el radio de curvatura AC. En efecto, en el triángulo DFC los lados DF y CF son iguales por ser opuestos á ángulos tambien iguales, puesto que los DCF y FDC son ambos á dos iguales al CDG, el primero como alterno interno y el segundo por las leyes de reflexion; por otra parte, FD se aproxima tanto mas á ser igual á FA, cuanto mas pequeño es el arco AD. Podemos considerar, pues, cuando este arco solo consta de un corto número de grados, las rectas AF y FC como iguales, y el punto F como el centro de AC. Mientras la abertura MCN del espejo no exceda de 8 á 10°, cualquiera otro rayo HB, paralelo al eje, pasa, despues de la reflexion, muy cerca del punto F. Segun esto, se ve que cuando un haz paralelo al eje cae sobre un espejo cóncavo, *todos los rayos, despues de la reflexion, vienen á concurrir casi en un mismo punto, situado á igual distancia del centro de curvatura y del espejo*. Este punto es el foco principal del espejo, y la distancia FA del punto al espejo es la *distancia focal principal*.

Reciproco. — Como todos los rayos paralelos al eje concurren en un mismo punto F, conviene observar que si recíprocamente se supone en F un punto luminoso, los rayos emitidos por él toman despues de la reflexion direcciones DG, BH... , paralelas al eje principal. En efecto, los ángulos de reflexion se convierten en este caso en ángulos de incidencia, y recíprocamente; pero dichos ángulos permanecen iguales. De consiguiente colocando un punto luminoso en el foco principal de un espejo cóncavo, *los rayos que partiendo de este punto vienen á caer sobre el espejo, originan despues de reflejarse, un haz casi paralelo al eje*.

2.º Foco conjugado. — Supongamos ahora el caso en que los rayos luminosos que caen sobre el espejo derivan de un punto L (fig. 492) situado en el eje, mas allá del foco principal, á tal distancia que los rayos incidentes no sean ya paralelos, sino divergentes. El rayo LK forma entonces con la normal CK un ángulo de incidencia LKC, menor que el SKC que constituye con la misma normal el rayo SK, paralelo al eje, por lo tanto, el ángulo de reflexion correspondiente al rayo LK deberá tambien ser menor que el ángulo CKF que corresponde al rayo SK. El LK

deberá, pues, encontrar al eje, despues de la reflexion, en un punto l situado mas cerca del centro C que el foco principal F . Interin la abertura del espejo no excede de un corto número de grados, todos los rayos emitidos por el punto L concurren, despues de reflejarse, casi en el mismo punto l ,

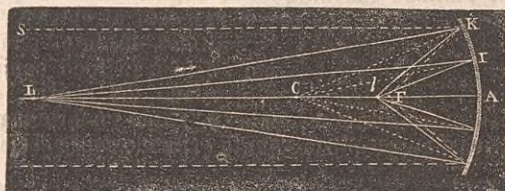


Fig. 492.

que se llama *foco conjugado* del punto L , para indicar el enlace que media entre los puntos L y l , enlace tal, que son recíprocos entre sí; es decir, que si se trasladase á l el punto luminoso, estaria en L su foco conjugado, siendo lK el rayo incidente y KL el reflejado.

Para demostrar que los rayos derivados del punto L y reflejados sobre el espejo van á concurrir muy aproximadamente en l , observemos que en el triángulo LKl , siendo la recta CK bisectriz del ángulo K , resulta, segun un conocido teorema de Geometría,

$\frac{LK}{Kl} = \frac{LC}{Cl}$ [1]. Por otra parte, si la abertura del espejo es de un corto número de grados, LK es casi igual á LA , y lK á lA . La igualdad [1] puede, pues, reemplazarse por $\frac{LA}{lA} = \frac{LC}{Cl}$, y esta última puede tomar la forma $\frac{LA}{LC} = \frac{lA}{Cl}$ [2]. Ahora bien, la

igualdad [2] subsiste para todos los rayos que parten del punto L , y la razón $\frac{LA}{LC}$ es

constante mientras la distancia LA es la misma; por consiguiente la razón $\frac{lA}{Cl}$ es tam-

bien constante para los rayos emitidos del mismo punto L , lo cual no puede realizarse sino en el caso de que todos los rayos reflejados vayan á concurrir en l . Efectivamente, para cualquier rayo que encuentre al eje mas lejos ó mas cerca del centro que el punto l , como entonces los dos términos lA y Cl varían en sentido contrario, la

razón $\frac{lA}{Cl}$ no sería constante.

Por la inspeccion de la figura 492 se reconoce fácilmente que cuando el objeto L se aproxima ó se aleja del centro C , sucede lo propio á su foco conjugado, porque los ángulos de incidencia y de reflexion crecen ó decrecen simultáneamente.

Si el objeto L coincide con el centro C , es nulo el ángulo de incidencia, y como debe ocurrir otro tanto con el de reflexion, el rayo reflejado vuelve sobre sí mismo, y el foco coincide con el objeto. Cuando el cuerpo luminoso pasa mas allá del centro C , entre este punto y el foco principal, el conjugado pasa á su vez al otro lado del centro, y se aleja de él segun se va aproximando el punto luminoso al foco principal. Por último, cuando aquel coincide con este, no se encuentran ya los rayos reflejados por ser paralelos al eje, y de consiguiente no hay foco, ó lo que es lo mismo, se forma en el infinito.

3.º *Foco virtual.* — Sea, por último, el caso en que el objeto está situado en L (fig. 493), entre el foco principal y el espejo. Un rayo cualquiera LM, emitido desde el punto L, forma entonces con la normal CM un ángulo de incidencia LMC mayor que FMC, y por lo tanto el de reflexión debe ser también mayor que el ángulo CMS. Síguese de aquí que el rayo reflejado ME es divergente respecto al eje AK, y como sucede lo propio con todos los rayos emitidos desde el punto L, estos rayos no se encuentran, y por lo tanto no forman foco conjugado; pero si se les concibe prolongados por el otro lado del espejo, se reconoce por el mismo razonamiento precedente (2.º), que sus prolongaciones vienen á concurrir casi en un mismo punto *l* situado sobre el eje, de manera

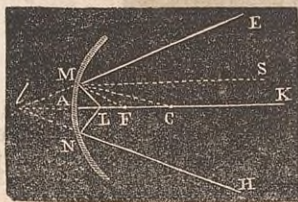


Fig. 493.

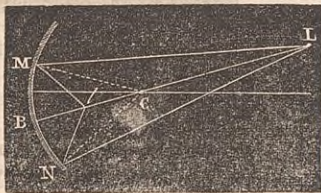


Fig. 494.

que el ojo que los recibe siente la misma sensación que si dichos rayos hubiesen sido emitidos desde el punto *l*, formándose allí, por consiguiente, un *foco virtual* enteramente análogo al que presentan los espejos planos (485).

En los diferentes casos que acabamos de considerar, se observa que los *focos principal y conjugado están siempre en el mismo lado que el objeto con relacion al espejo*, siendo así que el *foco virtual se halla al otro lado*.

4.º *Foco conjugado sobre un eje secundario.* — Hasta ahora se ha supuesto el punto luminoso precisamente en el eje principal, y entonces se forma el foco sobre este eje; pero si aquel se halla en un eje secundario LB (fig. 494), y se le aplica el mismo razonamiento que al del principal, se echa de ver que el foco del punto L se forma en el otro *l* situado sobre el eje secundario, y que según sea la distancia del punto L, así dicho foco puede ser principal, conjugado ó virtual con relacion al eje LB.

491. *Determinación experimental de los focos en los espejos cóncavos.* — Para hallar experimentalmente el foco principal de un espejo cóncavo se recibe sobre él un haz de luz solar, que sea paralelo al eje principal; después de esto se busca en una pantalla de papel ó de vidrio deslustrado el sitio en que la luz reflejada aparece más brillante, y allí es el foco principal.

El foco conjugado se determina de la misma manera colocando una bujía encendida en el punto en donde se quiera poner el foco, y buscando como antes el sitio donde más resplandece el haz reflejado.

492. *Determinación gráfica de los focos en los espejos cóncavos.* — *Foco principal.* — Conocido el centro de curvatura de un espejo cóncavo, queda inmediatamente determinado su foco principal, pues se halla en la mitad del radio de curvatura. Si se trata de un eje secundario cualquiera, el foco principal se obtiene de la misma manera.

Foco conjugado. — 1.º Consideremos primeramente el caso en que el punto luminoso L, cuyo foco se quiere determinar, está situado en el eje prin-

principal mas allá del centro de curvatura (fig. 495). Trazando un rayo incidente cualquiera LI, la normal IC, y formando el ángulo de reflexion CII igual al CIL, el punto *l*, en que el rayo reflejado corta al eje principal, es el foco conjugado de L. Recíprocamente, si el punto luminoso está en *l*, su foco conjugado L se determina mediante la misma construcción.

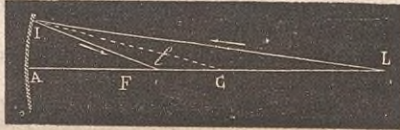


Fig. 495.

2.º Supongamos que el punto luminoso está en L, fuera del eje (fig. 496). Trazado el eje secundario LC, observemos, de una vez para siempre, que cualquier eje de esta clase, y lo mismo el principal, *representa siempre un rayo luminoso incidente*, pero un rayo tal que se confunde con la normal y por consi

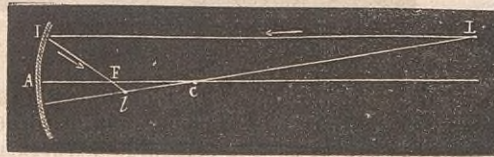


Fig. 496.

guiente con el rayo reflejado. Esto sentado, se podría hallar el foco conjugado del punto L mediante la misma construcción de la figura 495; pero generalmente se emplea la siguiente que es mas sencilla: en vez de trazar desde

el punto L un rayo incidente cualquiera, se traza un rayo LI paralelo al eje principal. En este caso, debiendo el rayo reflejado pasar por el foco principal (490, 1.º), se obtiene desde luego su dirección uniendo los dos puntos F é l por una recta, la cual, prolongada, va á cortar al eje secundario LC en un punto *l* que es el foco conjugado que se busca, puesto que es el punto donde concurren los rayos que parten del punto L.

Recíprocamente, si el punto luminoso está en *l*, se traza por este punto y por el foco F, un rayo incidente lI, y tirando desde I una paralela al eje principal, el punto L donde aquella corte al eje secundario CL es el foco conjugado de L.

Foco virtual. — Las construcciones anteriores son también aplicables al foco virtual. 1.º Si el objeto luminoso L está situado en el eje principal, se traza un rayo incidente cualquiera LI, la normal IC y el rayo reflejado

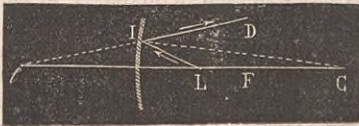


Fig. 497.

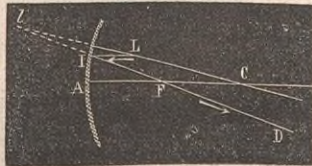


Fig. 498.

ID (fig. 497). Prolongado este último, corta al eje secundario en un punto *l* que es el foco virtual de L. 2.º Si el punto luminoso L está fuera del eje principal (fig. 498), se traza el eje secundario LC, un rayo LI paralelo al eje principal, y se unen los puntos I, F, con una recta, la cual prolongada al otro lado del espejo, da el foco virtual *l* en el punto en que corte á la prolongación del eje secundario CL (490, 3.º).

493. Formacion de las imágenes reales en los espejos cóncavos.— Cualquiera que sea el tamaño de un objeto colocado delante de un espejo cóncavo, la imagen que este da puede construirse sin dificultad alguna, apoyándose en lo que acabamos de decir acerca de la determinacion de los focos.

En efecto, sea AB el objeto colocado delante de un espejo cóncavo,

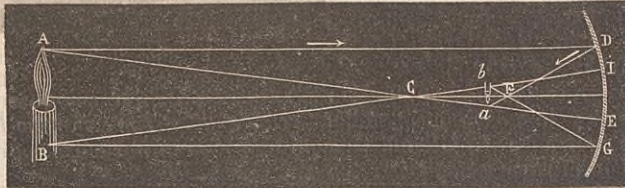


Fig. 499.

mas allá del centro (fig. 499). Limitándose á investigar los puntos extremos de la imagen, y no considerando mas que una seccion principal del espejo y las líneas en ella contenidas, trácense desde luego los ejes secundarios AE y BI , correspondientes á los puntos A y B ; trazando despues desde el punto A un rayo incidente AD paralelo al eje principal, dicho rayo pasa, despues de reflejarse, por el foco principal F (490), y forma en a , sobre el eje secundario AE , la imagen del punto A . De la misma manera el rayo BG , trazado por el punto B , paralelamente al eje, forma en b la imagen del punto B : resulta, por consiguiente, formada en ab la imagen de AB .

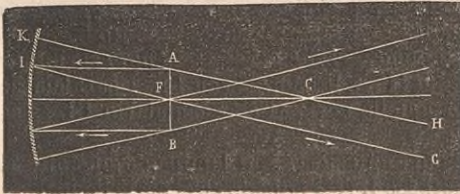


Fig. 500.

Esta imagen es real, está invertida, situada entre el centro de curvatura y el foco principal, y es tanto mas pequeña comparada con el objeto, cuanto mas apartado está este del espejo.

Recíprocamente, si el objeto luminoso ó iluminado, cuya imagen se investiga, está situado en ab (fig. 499), entre el foco principal y el centro, su imagen se forma en AB . También entonces es real y se presenta invertida, pero es mayor que el objeto, y tanto mayor, cuanto mas cerca está este del foco principal.

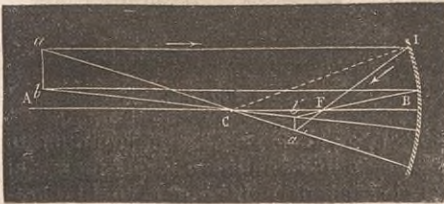


Fig. 501.

Si el objeto está situado en el mismo foco principal (figura 500) no resulta imagen alguna. En efecto, los rayos AK y AI , emitidos por el punto A originan, despues de reflejarse, un haz $KIGH$ paralelo al eje secundario CK , y los emitidos por el punto B otro haz paralelo á BC

(490, recíproco), cuyos haces no pueden formar focos ni imágenes.

Finalmente, si el objeto *ab* tiene todos sus puntos fuera del eje principal (fig. 501), resulta de la construcción anterior que la imagen se forma en *a'b'*, al otro lado del eje *AB*.

Imágenes aéreas.— Debe observarse que en todos los casos pueden verse las imágenes reales de dos maneras: ya recibíendolas sobre una pantalla, en cuyo caso la reflexión permite verlas en todas direcciones, ó bien aplicando el ojo del lado acá de la imagen de manera que lleguen á él los rayos reflejados que la producen. En este caso se ve en el espacio una imagen que se designa con el nombre de *imagen aérea*.

494. Formación de las imágenes virtuales en los espejos cóncavos.— Se ha visto ya que solo hay foco virtual en los espejos cóncavos cuando los rayos luminosos derivan de un punto situado entre el foco principal y el espejo (490, 3°); tal es, por consiguiente, la situación que ha de ocupar el objeto cuya imagen virtual se quiera determinar.

En este supuesto, sea *AB* un objeto situado delante de un espejo cóncavo, entre el foco principal y el espejo (fig. 502). Trácese desde luego los ejes secundarios de los puntos *A* y *B*, teniendo cuidado de prolongarlos hasta el otro lado del espejo. Trazando después el rayo incidente *AD*, paralelo al eje principal, y, por el foco *F*, el rayo reflejado *DF*, este último, prolongado, forma en *a* la imagen virtual del punto *A*. De la misma manera el rayo paralelo al eje trazado desde el punto *B* forma en *b* la imagen de dicho punto. Resulta, pues, en *ab* la imagen *AB*, que es *virtual*, *no está invertida*, *es mayor que el objeto y está situada detrás del espejo*.

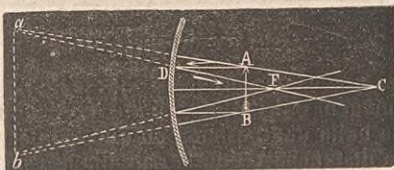


Fig. 502.

495. Espejos convexos: sus focos.— En los espejos convexos solo existen focos virtuales. Sean, en efecto, varios rayos *SI*, *TK*,... (figura 503), paralelos al eje principal de un espejo convexo. Estos rayos,

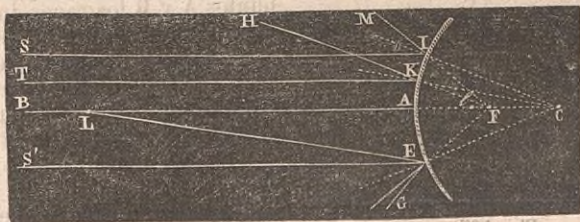


Fig. 503.

después de su reflexión, toman direcciones divergentes *IM*, *KH*,... que prolongadas, vienen á concurrir en un punto *F*, que es el *foco virtual principal del espejo*. Podría demostrarse por medio del triángulo isósceles *CKF*, de igual modo que en los espejos cóncavos, que el punto *F* se halla en la mitad del radio de curvatura *CA*.

Si los rayos luminosos incidentes, en vez de ser paralelos al eje, derivan de un punto *L* situado sobre el mismo á una distancia finita, se reco-

noce fácilmente que el foco es aun virtual, solo que se forma en *l*, entre el foco principal *F* y el espejo.

496. Determinacion del foco principal en los espejos convexos.— Para hallar experimentalmente el foco virtual principal de un espejo convexo se le cubre de papel, dejando en este, á igual distancia del centro de figura *A*, y en un mismo plano meridiano

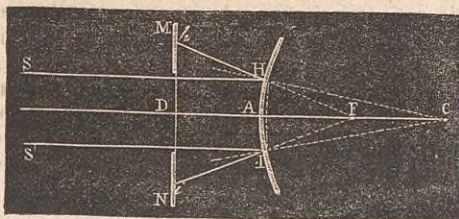


Fig. 504.

(fig. 504), dos aberturitas circulares *H* e *I*, por las cuales queda descubierto el espejo. Sitúase en seguida delante de este una pantalla *MN* con un orificio circular en su centro, cuyo diámetro sea mayor que la distancia *HI*. Si se recibe entonces sobre el espejo un haz de rayos solares *SH*, *SI*, paralelos al eje, se refleja la luz en *H* e *I* sobre

las partes descubiertas del espejo, y va á formar sobre la pantalla dos imágenes brillantes en *h* e *i*. Apartando ó aproximando la pantalla *MN*, se halla una posición en que el intervalo *hi* es el doble de *HI*, y entonces la distancia *AD* de la pantalla al espejo representa la distancia focal principal. En efecto, el arco *HAI*, que es muy pequeño, casi se confunde con su cuerda, y los triángulos semejantes *FHI* y *Fhi* dan la proporción $\frac{HI}{hi} = \frac{FA}{FD}$; pero como *HI* es la mitad de *hi*, *FA* lo es también de *FD*;

de consiguiente, *AD* es próximamente igual á *AF*; y siendo por otra parte *FA* la distancia focal principal, por ser los rayos *SH* y *SI* paralelos al eje, puede muy bien representarse por *AD* esta distancia.

497. Formación de las imágenes en los espejos convexos.— Sea *AB* un objeto colocado delante de un espejo convexo á una distancia cualquiera (fig. 505). Trazando los ejes secundarios *AC* y *BC*, y desde los puntos *A* y *B* los rayos incidentes *AK* y *BI* paralelos al eje principal, es sabido que la prolongación del rayo reflejado en *K* debe pasar por *F*; uniendo estos dos puntos por la recta *KF*, esta corta al eje secundario *AC* en un punto *a* que es el foco virtual de *A*. El de *B* se forma de la misma manera en *b*, y el ojo que recibe los rayos reflejados *ID* y *KH* ve en *ab* la imagen

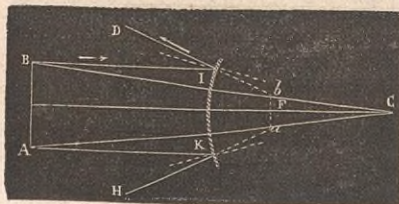


Fig. 505.

del objeto *AB*, cuya imagen es siempre virtual, mas pequeña que el objeto y no está invertida.

498. Fórmulas relativas á los espejos esféricos.— La relación que existe entre la posición relativa de un objeto y la de su imagen en los espejos esféricos, se puede representar por medio de una fórmula muy sencilla. Al efecto, consideremos primero un espejo cóncavo, y representemos por *R* su radio de curvatura, por *p* la distancia *LA* del objeto *L* al espejo (fig. 506), y por *p'* la distancia *LA* de la imagen al mismo espejo. Como en el triángulo *MLI* la normal *MC* divide el ángulo *LMI* en dos partes iguales, se puede aplicar el teorema de Geometría que dice, que en todo trián-

gulo la bisectriz de un ángulo divide al lado opuesto en dos segmentos, que son entre sí como los dos lados del ángulo, esto es, que $\frac{Cl}{CL} = \frac{LM}{LM}$, de donde

$$Cl \times LM = CL \times IM.$$

Si el arco AM no excede de 5 á 6 grados, las líneas LM y MI son casi iguales á LM y AL , es decir, á p y p' . Por otra parte, $Cl = CA - Al = R - p'$, y $CL = AL - AC = p - R$. Sustituyendo estos diversos valores en la igualdad precedente, resulta: $(R - p')p = (p - R)p'$, ó bien $Rp - pp' = pp' - Rp'$, y trasponiendo y reduciendo: $Rp + Rp' = 2pp'$ [1].

Si se dividen todos los términos de esta igualdad por $pp'R$, y se suprimen los factores comunes, acepta la siguiente forma bajo la cual se la considera comunmente:

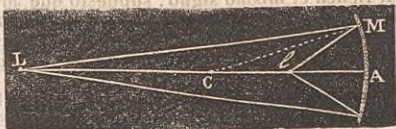


Fig. 1506.

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \quad [2].$$

Resolviendo la ecuación [1] con relación á p' , resulta $p' = \frac{pR}{2p - R}$ [3], fórmula que da á conocer la distancia de la imagen al espejo, cuando se conoce la del objeto y el radio de curvatura.

499. **Discusión de la fórmula de los espejos cóncavos.**—Investiguemos ahora los diferentes valores que adquiere p' , según los que se dan á p en la fórmula [3].

1.º Supongámos que el objeto luminoso ó iluminado se encuentra en el eje á una distancia infinita, en cuyo caso los rayos incidentes son paralelos. Para interpretar el valor que entonces adquiere p' , hay que dividir por p los dos términos de la frac-

ción $\frac{pR}{2p - R}$, lo cual da por resultado $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}}$ [4]. Introduciendo en esta fórmula

la condición de ser p infinito, la fracción $\frac{R}{p}$ se reduce á cero, y resulta $p' = \frac{R}{2}$; es decir, que la imagen se forma en el foco principal, como debe acontecer, porque los rayos incidentes constituyen entonces un haz paralelo al eje.

2.º Si el objeto se acerca al espejo, decrece p , razón por la cual aumenta el denominador de la fórmula [4], y por lo tanto el valor de p' ; de consiguiente, la imagen se aproxima al centro al mismo tiempo que el objeto, pero siempre se halla comprendida entre el foco principal y aquel punto, pues mientras $p > R$, se tiene:

$$\frac{R}{2 - \frac{R}{p}} > \frac{R}{2} \text{ y } < R.$$

3.º Si el objeto coincide con el centro, lo cual se expresa haciendo $p = R$, resulta $p' = R$, es decir, que la imagen coincide con el objeto.

4.º Si el objeto luminoso se sitúa entre el centro y el foco principal, entonces $p < R$, y de la fórmula [4] se deduce que $p' > R$; es decir que la imagen se forma en este caso al otro lado del centro. Cuando el objeto llega al foco principal, se tiene

$p = \frac{R}{2}$, lo cual da $p' = \frac{R}{0} = \infty$; es decir, que la imagen se forma en el infinito. En efecto, los rayos reflejados son entonces paralelos al eje.

5.º Por último, si el objeto se sitúa entre el foco principal y el espejo, se tiene $p < \frac{R}{2}$; y como el denominador de la fórmula [4] es entonces negativo, otro tanto le sucede á la distancia p' de la imagen al espejo, lo cual indica que aquella debe con-

tarse en el eje en sentido contrario á p . Efectivamente, en este caso la imagen es virtual, y se halla situada al otro lado del espejo (490, 3.º).

Introduciendo en la fórmula [2] la condicion de ser negativo el valor p' , se transforma aquella en $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$, bajo cuya forma están comprendidos los casos de las imágenes virtuales en los espejos cóncavos.

Espesjos convexos. — En estos espejos, como la imagen siempre es virtual (459), p' y R tienen el mismo signo, supuesto que aquella y el centro están á un mismo lado del espejo, y p es de signo contrario, pues el objeto se encuentra al otro lado.

Introduciendo esta condicion en la fórmula [2], resulta $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ [5], como fórmula relativa á los espejos convexos. Por lo demás, se la puede encontrar directamente empleando las mismas consideraciones geométricas por las cuales se deduce la fórmula [2] de los espejos cóncavos.

Obsérvese que las diferentes fórmulas que anteceden no son rigurosas, pues se apoyan en hipótesis que tampoco lo son, cual es la de ser las rectas LM y IM (fig. 506) iguales á LA y á IA , lo cual solo es cierto en el limite, esto es, cuando el ángulo MCA se reduce á cero. Estas fórmulas son tanto mas exactas, cuanto menor es la abertura del espejo.

500. Cálculo de la magnitud de las imágenes. — Por medio de las fórmulas anteriores, se puede calcular fácilmente la magnitud de una imagen, conocidas la distancia del objeto, su tamaño y el radio del espejo.

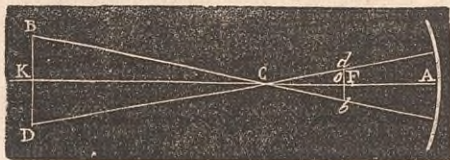


Fig. 507.

En efecto, si se representa aquel por BD (fig. 507), su imagen por bd , y si se supone conocida la distancia KA y el radio AC , se calcula Ao por medio de la fórmula [5] del párrafo 498; conocida ya Ao , se deduce de ella oC . Como los dos triángulos

BCD y dCb son semejantes, se tiene, entre sus bases y sus alturas, la proporcion $\frac{bd}{BD} = \frac{Co}{CK}$, de la cual se deduce el tamaño bd de la imagen.

501. Aberracion de esfericidad: cáusticas. — En la teoría que acabamos de dar de los focos y de las imágenes en los espejos esféricos, ha podido observarse que los rayos reflejados solo concurren con gran aproximacion en un punto único, cuando la abertura del espejo no excede de 8 á 10 grados (490). Si la abertura es mayor, los rayos reflejados próximos á los bordes encuentran al eje mas cerca del espejo que los que se han reflejado á una pequeña distancia del centro de curvatura. De aquí resulta en las imágenes una falta de limpieza, que se designa con el nombre de *aberracion de esfericidad* por reflexion, á fin de distinguirla de la aberracion de esfericidad por refraccion que se observa en las lentes (531).

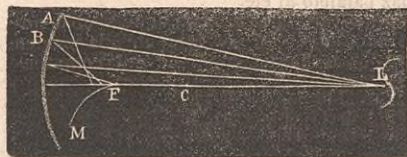


Fig. 508.

Cortándose los rayos reflejados sucesivamente dos á dos, segun se ve en la parte superior del eje FL (fig. 508), sus puntos de interseccion forman, en el espacio, una superficie brillante, que se llama *caústica por reflexion*. La curva FM representa una de las ramas de la seccion principal de esta superficie.

502. Aplicaciones de los espejos. — Todos conocen las aplicaciones de los espejos planos en la economía doméstica, los cuales son tambien de frecuente uso, en algunos aparatos de física, para dar á la luz una direccion determinada. Si es la luz solar la que quiere dirigirse, es preciso que el espejo sea móvil para que los rayos reflejados conserven una direccion constante, pues se requiere un movimiento que compense el cambio de direccion que sin cesar aceptan los rayos incidentes, por efecto del movimiento diurno aparente del Sol. Se obtiene este resultado por medio de un movimiento de relojería que hace variar la inclinacion del espejo por hallarse este fijo en un eje: dicho aparato se denomina *heliostato*. Se ha utilizado tambien la reflexion de la luz

NOMENCLATURA Y CLASIFICACIONES QUÍMICAS

Seguidas de un léxico histórico y sinonímico, que comprende los nombres antiguos, las fórmulas, los nombres nuevos, el nombre del autor y la fecha del descubrimiento de los principales productos de la química: por HOEFER. Madrid, 1853. Un tomo en 8.º, 3 pesetas en Madrid y 3 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO DE QUÍMICA INORGÁNICA

TEÓRICO Y PRÁCTICO.

Aplicada á la Medicina y especialmente á la Farmacia, por el Dr. D. Rafael SAEZ y PALACIOS, catedrático de Farmacia quimico-inorgánica de la Universidad central, socio de la Academia de Medicina de Madrid, etc.

Esta obra consta de dos magníficos tomos, de unas 700 páginas cada uno, con 274 figuras intercaladas en el texto. Precio de los dos tomos, elegantemente encuadernados en tela á la inglesa, 22 pesetas en Madrid y 24 pesetas en provincias, franco de porte.

Creemos inútil llamar la atención sobre la importancia de este **TRATADO** y sobre la extensión que su inteligente y distinguido autor ha sabido darle, para que tanto á los farmacéuticos como á los médicos les sea *indispensable en la práctica de sus profesiones.*

LA VETERINARIA DOMÉSTICA

O método, tan económico como fácil, de preservar y curar á los animales domésticos y á los vegetales cultivados de la mayor parte de sus enfermedades: por F.-V. RASPAIL; traducida al castellano de la *última edición*. Madrid. Un tomo en 12.º, 2 pesetas en Madrid y 2 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO TEORICO Y PRACTICO

DE LOS PRODUCTOS NATURALES

Y ARTÍCULOS FABRICADOS QUE SON OBJETO DE COMERCIO.

Con las nociones de física, química, historia natural y análisis indispensables á este estudio; dispuesto para uso de los alumnos de la carrera pericial de aduanas, de la Escuela profesional de Comercio de esta corte, comerciantes, comisionistas, corredores, etc., etc.—**PRIMERA PARTE.** *Nociones de Física, Química, Productos minerales y Análisis química*: por D. Constantino SAEZ DE MONTOYA, consultor quimico de la Dirección general de Aduanas, etc.—**SEGUNDA PARTE.** *Nociones de Historia natural y Productos vegetales y animales*, por D. Luis María UTOR y SUAREZ, alumno de la extinguida Escuela normal para Profesores industriales, catedrático de conocimiento de productos comerciales de la Escuela profesional de Comercio en el Real Instituto industrial. Madrid, 1862. Dos tomos en 4.º, 15 pesetas en Madrid y 16 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

DE LA

SALUD DE LOS CASADOS

O Fisiología de la generación del hombre é higiene filosófica del matrimonio: por el doctor D. Luis SERAINE, autor de los *Preceptos del matrimonio* y de la *Salud de los niños*; traducida de la última edición francesa por D. Joaquin Gassó, profesor de medicina.—*Obra aprobada por la Autoridad eclesiástica.*—*Cuarta edición.*—Madrid. Un bonito tomo en 12.º, encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 75 cént. de peseta en Madrid y 4 pesetas y 25 céntimos de peseta en provincias, franco de porte.

DE GIMNASIA DE SALA.

MÉDICA É HIGIÉNICA.

O Representacion y descripcion de los movimientos gimnásticos que, no existiendo ningun aparato para su ejecucion, pueden practicarse en todas partes y por toda clase de personas de uno y otro sexo, seguido de sus aplicaciones á diversas enfermedades: por D. G. M. SCHREBER, doctor en medicina, etc.; vertido del alemán por H. Van-Oordt; traducido al castellano y considerablemente aumentado, por D. E. S. de O. *Séptima edicion*. Madrid, 1871. Un tomo en 12.º, con 45 figuras intercaladas en el texto y encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 25 céntimos de peseta en Madrid y 3 pesetas y 75 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO PRACTICO

DE NIVELACION CON TRES APÉNDICES.

Uno sobre trazado de arcos de círculo de gran radio y los otros dos con las demostraciones del cálculo de las cotas y de la fórmula prismoidal de Sir Jhon Mac-Neill: por D. Venancio de la TEJERA.—*Segunda edicion*, acompañada de cinco láminas. Un tomo en 8.º, 3 pesetas en Madrid y 6 pesetas en provincias, franco de porte.

TRATADO TEÓRICO Y PRÁCTICO

DE ENSAYOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS

En sus aplicaciones á la *Farmacia*, á la *Medicina legal*, la *Industria*, las *Artes*, la *Agricultura* y el *Comercio*. Conteniendo la descripcion de los aparatos y utensilios de laboratorio, los cuadros analíticos mas útiles, los ensayos y análisis de los minerales, metales y sus combinaciones; aguas naturales, potables y minero-medicinales. Ensayos de las drogas y medicamentos, cuerpos grasos, alimentos y bebidas, tejidos, colores, tierras de labor, abonos, arcillas, lozas, vidrios, porcelanas, y en general todos los productos que son objeto de consumo ó de transacciones mercantiles; escrita para los Farmacéuticos, Médicos, Ingenieros, Directores de Fábricas, Ensayadores, Plateros, Industriales en general, Agricultores, Comisionistas, Agentes de Aduanas y Empleados provinciales de las mismas, etc., Redactados ante los Tratados de Berzelius, Liebig, Mohos, Mitchell, Berthier, Phillips, Hoffman, Fresenius, Whill, Henri Rose, Quevenne, Bolley, Dumas, Orfila, etc., etc.: por los señores D. Luis MARIA UTOR, ingeniero industrial, catedrático en la Escuela superior de Comercio, director del Conservatorio de Artes, miembro de la Junta de Aranceles, etc., etc.; D. Constantino SAEZ DE MONTAYA, ingeniero químico, farmacéutico, catedrático de Metalurgia del hierro en el Conservatorio de Artes, consultor químico de la Direccion de Aduanas, etc., etc., y D. José SOLER y SANCHEZ, doctor en Ciencias, farmacéutico y catedrático de Química inorgánica en la Universidad central (facultad de Ciencias), etc., etc. Madrid, 1872. Tomo primero. Precio: 10 pesetas en Madrid y 11 pesetas en provincias, franco de porte.

MR. AUBRY,

Fabricante de instrumentos de Cirugía, Física y Matemáticas.—*Proveedor de instrumentos de la Beneficencia municipal de Madrid.*—Esta Casa (rue Saint-Jacques, núm. 140, Paris), la primera en su género, establecida hace mas de cincuenta años, surte los principales despachos de Paris, así como tambien los del extranjero: En general, la fabricacion de casi todos los nuevos instrumentos le están confiados, pues su habilidad, perfeccion, precision y exactitud en todo ello la ha hecho acreedora á tener la preferencia sobre todas.

Madrid, 1872.—Imp. de Bailly-Bailliere.

33-4-600

Diol 2/72

LXV 111-2

TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA

EXPERIMENTAL Y APLICADA

Y DE

METEOROLOGÍA

SEGUIDO DE UNA COLECCION DE 100 PROBLEMAS CON SUS SOLUCIONES

Ilustrado con mas de 920 grabados intercalados en el texto

Y UNA LÁMINA ILUMINADA

Por **A. GANOT**

PROFESOR DE MATEMÁTICAS Y DE FÍSICA

Última edicion francesa, *aumentada respecto á las anteriores con varias teorías y aparatos nuevos*

Difusion, dialisis, oclusion, disociacion, termodinámica, nueva teoría de la electricidad, máquina neumática de MORREN, experimentos de HELMHOLTZ sobre la análisis y la síntesis de los sonidos, llamas manométricas de KÖNIG, máquina dieléctrica de CARRÉ, termómetro eléctrico de BECQUEREL, pirómetro eléctrico de Ed. BECQUEREL, aparato para la rotacion electro-dinámica y electro-magnética de los líquidos por BERTIN, conmutador del mismo, telégrafo autográfico de HÉLICE DE MEYER, galvanómetro receptor de WILLIAM THOMSON, máquina electro-magnética de GRAMME, etc.

TRADUCIDA, ANOTADA Y AMPLIADA EN LA PARTE DE MECÁNICA

CON LAS TEORÍAS DE LAS FUERZAS, MOVIMIENTOS, CENTRO DE GRAVEDAD Y MÁQUINAS

Por

D. EDUARDO SANCHEZ PARDO Y D. EDUARDO LEON

Auxiliares del Observatorio astronómico de Madrid

Entrega *30*

MADRID

CÁRLOS BAILLY-BAILLIERE

LIBRERO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL, DEL CONGRESO DE LOS SEÑORES DIPUTADOS Y DE LA ACADEMIA DE JURISPRUDENCIA Y LEGISLACION

LIBRERÍA EXTRANJERA Y NACIONAL, CIENTÍFICA Y LITERARIA

Plaza de Topete, núm. 10.

París, J. B. BAILLIERE É HIJO. || Londres, H. BAILLIERE.

1872.

7429

LIBRERIA DE D. CARLOS BAILLY-BAILLIERE.

Plaza de Topete, núm. 10, Madrid.

TRATADO PRACTICO
DE FOTOGRAFIA

O sea Química fotográfica, que contiene: Los elementos de Química explicados por medio de ejemplos aplicados á la fotografía.—Los procedimientos sobre crisol (colodion húmedo, seco ó albuminado), sobre papel y sobre placa.— El modo de preparar por sí mismo, ensayar y emplear todos los reactivos y de utilizar los mismos; escrito en francés por MM. BARRESWIL y DAVANNE; traducido al castellano y aumentado con los procedimientos conocidos hasta el día, por D. Berce de Cereceda. Madrid, 1864. Dos tomos en 8.º ilustrados con 93 magníficos grabados en madera intercalados en el texto y encuadernados en tela á la inglesa, pesetas en Madrid y 12 en provincias, franco de porte.

CURSO ELEMENTAL DE MECANICA

TEÓRICA Y APLICADA:

Por M. Ch. DELAUNAY; traducido al español de la última edicion francesa completado en su texto y láminas, con cálculos, tablas, estudios teóricos, aplicaciones y todos los nuevos aparatos inventados y admitidos en la práctica industrial, obra acomodada á las necesidades de las Escuelas y de los Establecimientos públicos, por D. José Canalejas y Casas, ingeniero mecánico, antiguo pensionado en el extranjero por el Ministerio de Marina, etc., etc. Madrid, 1864. Un magnífico tomo en 8.º prolongado, ilustrado con 377 magníficos grabados intercalados en el texto y encuadernado en tela á la inglesa. Precio: 11 pesetas en Madrid y 12 en provincias, franco de porte.

ELEMENTOS DE ZOOLOGÍA.

O Historia natural de los animales, escritos en francés para uso de los colegios y de las escuelas normales, por MILNE-EDWARDS y COMTE. Obra adoptada por el real Consejo de Instrucción pública para servir de texto en la enseñanza de Historia natural en los establecimientos de la Universidad de Francia; adornada con 29 láminas. Traducidos al castellano de la cuarta edicion, por D. Pedro Banaña. — Obra aprobada para texto por el Real Consejo de Instrucción pública. Segunda edicion. Madrid, 1863. Un tomo en 8.º, 7 pesetas y 50 céntimos de peseta en Madrid y 8 pesetas y 50 cént. de peseta en provincias, franco de porte.

MANUAL
DEL ARTE DE ESTUDIAR CON FRUITO

O sea Guía del que quiere instruirse y utilizar la memoria y el tiempo: obra escrita en francés por A. de GRANDSAGNE, JULLIEN y V. PARISOT; revisada y traducida al español por D. José Canalejas y Casas. Tercera edicion. Madrid, 1871. Un tomo en 12.º, encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 25 cént. de peseta en Madrid y 3 pesetas y 75 cént. en provincias, franco de porte.

CURSO COMPLETO DE MINERALOGÍA.

Acompañado de 138 grabados intercalados en el texto, por GUIBOURT; traducido de la última edicion francesa y seguido de un extracto exacto de las agencias minerales de la Peninsula y una reseña de los criaderos mineralógicos de España por D. Ramon Ruiz. Segunda edicion española, corregida y considerablemente aumentada. (Obra adoptada para texto por el Real Consejo de Instrucción pública. Madrid, 1862. Un tomo en 8.º, 10 pesetas en Madrid y 11 pesetas en provincias, franco de porte.

pura, y se continúan estas divisiones hasta la parte inferior del vástago, que ha de tener el mismo diámetro en toda su longitud.

Para conocer la densidad de un líquido, del ácido sulfúrico por ejemplo, basta introducir en él el densímetro, y si enrasa en la division 54, indica que el volúmen del líquido desalojado está representado por 54, siendo 100 el del agua V. Ahora bien, como todo cuerpo flotante desaloja un peso de líquido igual al suyo (99), resulta que el volúmen de agua V, ó 100, y el del ácido sulfúrico 54, pesan lo mismo que el instrumento; pero, en igualdad de peso, los volúmenes de dos cuerpos están en razon inversa de sus densidades. Por consiguiente, si llamamos *x* la densidad del ácido sulfúrico, siendo 1 la del agua, resultará $\frac{x}{1} = \frac{100}{54}$, de donde $x = \frac{100}{54} = 1,85$.

Quando ha de servir el densímetro para líquidos menos densos que el agua, hay que lastrarle de manera que el punto 100, que corresponde al agua destilada, se encuentre en la base del vástago. Se fija luego en su extremidad superior un peso igual á la cuarta parte del peso del instrumento, el cual, si antes pesaba 100, pesará ahora 125. Se graba, pues, este último número, en el nuevo punto de enrase, y se divide el intervalo de 100 á 125, en 25 partes iguales, que se continúan luego hacia arriba.

2.º **Densímetro del Sr. Rousseau.** — El densímetro de Gay-Lussac requiere una cantidad de líquido suficiente para llenar una probeta de alguna capacidad, lo cual es, en ciertos casos, un grave inconveniente, como cuando en Fisiología se examinan líquidos animales, de los cuales solo se han recogido unos pocos gramos. En tales casos se investiga la densidad por medio del densímetro del Sr. Rousseau, instrumento que en la forma difiere un poco del areómetro de Baumé, pues lleva en el vértice del vástago una capsulita A (fig. 180), donde se pone el líquido cuya densidad se busca. En la pared de dicha capsula se ve una señal que marca una capacidad AC de un centímetro cúbico.

Para graduar el instrumento, se le lastra de manera que en el agua destilada, y á 4º, su punto de enrase esté en B, origen del vástago: este punto es el cero del instrumento. Lléñase, en seguida, de agua destilada y á 4º la capacidad que decimos mide un centímetro cúbico, ó lo que es lo mismo, se le añade un peso de un gramo; en el nuevo punto de enrase, se marca 20, y se divide el intervalo de 0 á 20 en 20 partes iguales, continuando luego las divisiones hasta el vértice del vástago. Si tiene este igual diámetro en toda su longitud, corresponde cada division á $\frac{1}{20}$ de gramo, ó sean 0g,05.

Si se desea conocer la densidad de un líquido, la de la bilis por ejemplo, se echa dicho líquido en la capsulita, en cantidad que ocupe toda la capacidad AC, y si el instrumento enrasa á 20 divisiones y media, se deduce que el peso de la bilis de la capsula es igual á 0g,05 x 20,5, ó sea 1g,025, es decir, que, siendo iguales los volúmenes, y 1 el peso del agua, el de la bilis es 1,025. Este último número representa, pues, la densidad de la bilis con relacion al agua; porque, bajo el mismo volúmen, los pesos están en razon directa de las densidades.

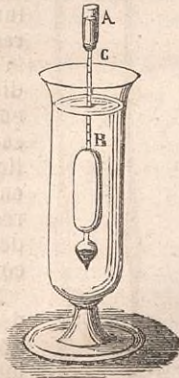


Fig. 180.

CAPÍTULO II (1).

HIDRODINÁMICA.

113*. **Objeto de la Hidrodinámica.** — Se dijo ya (78) que la *Hidrodinámica* es la parte de la *Mecánica* que trata del movimiento de los líquidos, y que la seccion de esa ciencia, que estudia especialmente la conduccion y elevacion de las aguas, se designa con el nombre de *Hidráulica*, la cual no viene á ser otra cosa que la parte práctica de la *Hidrodinámica*.

Se supone en esta, lo mismo que en *Hidrostática*, que los líquidos son completamente incompresibles, perfectamente flúidos, ó dicho de otra

(1) Este capítulo está suprimido en la última edición francesa.

manera, sin viscosidad alguna. Pero no gozando los líquidos sino de un modo imperfecto de estas propiedades, las consecuencias teóricas á que su estudio conduce se hallan mas ó menos discordes con los resultados de la experiencia.

Varios casos se presentan en el movimiento de los líquidos, el cual puede verificarse: 1.º saliendo el líquido de un depósito por un orificio practicado en pared delgada, es decir, cuyo espesor no llega á la mitad de la menor dimension del orificio; 2.º saliendo por un tubo adicional corto; 3.º por tubos largos y de gran diámetro; 4.º por tubos capilares; 5.º por un canal, como los rios. Solo nos ocuparemos de los cuatro primeros casos.

A. Salida por orificios practicados en pared delgada; vena líquida.

— Sea, en primer lugar, un vaso de paredes delgadas, lleno de agua.

Haciendo en un punto cualquiera de su pared un agujerito, sale el líquido mediante la influencia de dos fuerzas, una la gravedad que le solicita segun la vertical, y otra la presión del líquido que actúa normalmente sobre la pared, y proporcionalmente á la profundidad. El chorro líquido que mana entonces se llama *vena*. Si el orificio está abierto en el fondo del depósito, la vena es vertical y rectilínea, porque actúan en esta dirección las dos fuerzas arriba citadas; pero si se abre en una pared vertical ó inclinada, una de las dos fuerzas es vertical, y la otra horizontal ú oblicua, y como el líquido sigue la dirección de la resultante, la vena toma en tal caso la forma de una curva que, á no mediar la resistencia del aire, seria exactamente la curva que describen los proyectiles en el vacío, y que se conoce con el nombre de *parábola* (fig. 131).

B. Constitución de la vena.—Savart, estudiando detenidamente la vena, halló en ella los siguientes fenómenos. Se compone de dos partes distintas: la primera, que principia en el orificio, está completamente tranquila, trasparente, y parece un cilindro del mas limpio cristal, mientras la segunda, por el contrario, está turbia, agitada, y presenta de trecho en trecho hinchazones prolongadas dispuestas con regularidad (figura 181), las cuales se denominan *vientres*.

Esta segunda parte de la vena no es continua, puesto que aun cuando la constituya un líquido opaco, como el mercurio, se ve al través de ella. Los vientres se componen de glóbulos discontinuos, alargados en la dirección transversal de la vena, mientras las contracciones, que se llaman *nodos*, están formadas por glóbulos discontinuos, alargados en la dirección longitudinal (fig. 182). Además, observando la vena con una luz muy viva, se notan en la parte trasluciente hinchazones anulares que, á intervalos iguales, nacen cerca del orificio, y se propagan hasta la parte turbia, donde se separan. Estas hinchazones provienen de pulsaciones periódicas que tienen lugar en el orificio. Su número está en razón directa de la velocidad de salida, é inversa del diámetro del orificio.

Tales pulsaciones pueden ser bastante rápidas para dar origen á un sonido que se refuerza haciendo caer la vena sobre una membrana tensa.

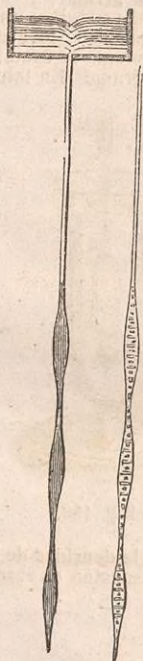


Fig. 181. Fig. 182.

Produciendo con un instrumento de música un sonido al unísono con el de la vena, se modifica esta de manera que adquieren mayor regularidad los vientres y los nodos, desapareciendo casi por completo la parte trasparente.

Por último, la resistencia del aire no influye en la forma y dimensiones de la vena, y tampoco en el número de pulsaciones. Además, la constitucion de las venas horizontales ú oblicuas, no difiere esencialmente de la de las verticales.

C. Contraccion de la vena. — En la salida por orificios circulares abiertos en pared delgada, es tambien circular la seccion de la vena líquida, pero su diámetro es variable, pues principia por ser igual al del orificio, decrece luego rápidamente, y á una distancia casi igual á la longitud del diámetro de dicho orificio, ya no tiene el de la seccion de la vena mas que unos dos tercios de ese otro diámetro. Cuando la vena se dirige de arriba abajo como en la figura 181, continúa con lentitud el decrecimiento hasta la parte turbia; cuando es horizontal, sigue el decrecimiento de un modo apenas perceptible; y cuando se dirige de abajo arriba, segun un ángulo de 25 á 45 grados, conserva la vena casi el mismo diámetro; pero pasados los 45°, la seccion crece desde la parte contraida hasta la turbia.

La parte en donde el diámetro de la vena alcanza su mñimum, se llama *seccion contraida*. La contraccion de la vena proviene de las dos direcciones convergentes que toman las moléculas líquidas en el interior del vaso, al dirigirse hácia el orificio. Es visible este fenómeno poniendo en el agua cuerpos líquidos que permanezcan en suspension y dejándola salir por un orificio abierto en un vaso trasparente cuyas paredes sean delgadas. Si el diámetro de la abertura es de un centímetro, se nota que á 2 ó 3 centímetros de distancia los cuerpos en suspension se dirigen desde todos los puntos hácia dicho orificio, describiendo líneas curvas, y precipitándose hácia él como si fuera un centro de atraccion (figura 181); y como en el exterior continúa la convergencia iniciada dentro del vaso, se adelgaza gradualmente la vena líquida hasta que las moléculas, por efecto de su accion recíproca, toman una direccion paralela, ó direcciones divergentes. Forma así la vena una especie de cono truncado, cuya base mayor es el orificio, y la menor la seccion contraida.

Hasta ahora suponiamos circular el orificio. Dado caso que sea poligonal ó de cualquier otra forma no circular, la seccion de la vena no conserva la forma de la abertura, sino que cambia sucesivamente, á medida que se aleja, pero originando siempre nodos y vientres.

D. Teorema de Torricelli sobre la velocidad de la salida de los líquidos. — Siempre que un líquido sale por un orificio abierto en pared delgada, sea cual fuere su forma, se determina la velocidad de salida por medio del siguiente teorema:

Las moléculas líquidas, al salir por el orificio, llevan la misma velocidad que adquiririan cayendo libremente en el vacío de una altura igual á la distancia desde el centro del orificio, á la superficie del liquido en el depósito.

Esta proposicion es conocida con el nombre de teorema de Torricelli, en memoria del célebre fisico que la estableció en 1643, como un corolario de las leyes de la caida de los cuerpos, que acababa de descubrir Galileo.

En efecto, probando dichas leyes que la gravedad es una fuerza continúa y constante, se deduce (38^a, E) que *cuando un cuerpo es lanzado de*

abajo arriba con una velocidad cualquiera, tiende á subir á la altura misma de que debería caer para adquirir dicha velocidad. Ahora bien; siempre que la salida de un líquido se efectúa de abajo arriba (fig. 183), se observa que la vena llega casi á la altura del líquido en el vaso, y si no la alcanza por completo, depende de que á la elevacion del líquido se oponen la resistencia del aire y el choque mútuo de las moléculas líquidas al caer. Luego es indudable que al salir el líquido del orificio n , se halla animado de una velocidad igual á la que adquiriria cayendo desde la altura mn á la cual tiende á subir.



Fig. 183.

Confirma el teorema de Torricelli el que si se miden los litros de agua que salen por un orificio, en la unidad de tiempo y con una velocidad constante, y luego, apreciando en decímetros cuadrados la seccion contraída de la vena, se la multiplica por la velocidad, valuada en decímetros, que dá el teorema de Torricelli, se obtiene en decímetros cúbicos, ó sea en litros,

un volúmen igual (113, E) al que dió la medicion, pues esto prueba que la velocidad calculada es exactamente la velocidad real.

E. Consecuenciás del teorema de Torricelli.—Dedúcese del teorema de Torricelli dos importantes consecuencias.

1.^a Que puesto que caen con igual velocidad todos los cuerpos en el vacío, *la velocidad de salida de un líquido es independiente de su densidad.* El agua y el mercurio, por ejemplo, saldrán con igual velocidad, siempre que sea igual para ambos líquidos la altura del nivel sobre el orificio. Pruébese, en efecto, experimentalmente, que para alturas iguales y orificios del mismo diámetro, salen en el mismo tiempo volúmenes iguales de ambos líquidos.

2.^a *Que la velocidad de salida, en el borde del orificio, es proporcional á la raíz cuadrada de la altura del nivel del líquido en el depósito, sobre el centro del orificio.*

Este es tambien otro corolario de las leyes de la gravedad, pues segun se vió (60), representando por v la velocidad adquirida por un móvil que cae en el vacío, y por h la altura de descenso, se tiene $v = \sqrt{2gh}$. La velocidad que se calcula con esta fórmula, es la *velocidad teórica*.

F. Gasto efectivo y gasto teórico.—Llábase *gasto efectivo* de un orificio el volúmen de líquido que sale por él en cada segundo; y *gasto teórico* el volúmen de líquido igual al de un cilindro ó de un prisma que tuviese por base el orificio, y por altura la velocidad teórica calculada por el teorema de Torricelli. Es decir, que el gasto teórico es el producto del área del orificio por la velocidad teórica.

El gasto efectivo es siempre menor que el gasto teórico. En efecto, aquel es igual al producto del área de la seccion contraída por la velocidad media de las moléculas al llegar á ella. Si el área de esta seccion fuese igual á la del orificio, y si la velocidad media equivaliese á la teórica, el gasto efectivo seria idéntico al teórico; pero sucede, ó que el área de la seccion de la vena es bastante menor que la del orificio, como en la salida por pared delgada, ó que la velocidad, en la seccion, es menor que la teórica, como sucede á causa del rozamiento, en los orificios

de las paredes gruesas. De suerte que, en ambos casos, el gasto efectivo es menor que el teórico, siendo preciso, para deducir de este el primero, multiplicar el último por una fracción llamada *coeficiente de contracción*.

De un gran número de experimentos resulta que el gasto efectivo solo llega por término medio á los dos tercios del teórico.

G. Salida constante. — En varios experimentos de hidráulica se requiere que la velocidad de salida sea constante, lo cual exige que la altura del líquido sobre el orificio sea invariable. Este resultado se logra de varios modos: 1.º por la *rebosadura ó derrame*, haciendo llegar al depósito una cantidad de agua algo mayor que la que sale por el orificio, vertiéndose el exceso, ó por los bordes, ó por un agujero á este fin destinado; 2.º por medio del *sifon ó del vaso de Mariotte*, que mas adelante describirémos (191 y 199); y 3.º mediante el *flotador de Prony*.

Este aparato (fig. 184) consta de una caja PQ llena de agua y provista de dos flotadores FF, enlazados entre sí por una varilla de hierro, los cuales por medio de otras dos

varillas sostienen un depósito móvil B, situado debajo de la caja PQ. Forma parte de una pared de esta última una placa A que tiene varios orificios de diferentes formas y tamaños, y un embudo, colocado debajo de ellos, sirve para conducir al depósito B el líquido que salga. Si, dispuesto así el aparato, abrimos uno de estos orificios, y sale, por ejemplo, un kilogramo de agua, el peso de los flotadores aumenta tambien un kilogramo, y por lo tanto, segun las condiciones de equilibrio de los cuerpos flotantes (99) se introduce en el líquido una parte más de dichos flotadores, cuyo volumen es equivalente al del agua vertida, resultando de aquí que en la vasija PQ permanece constante el nivel, y en su consecuencia la velocidad de salida.

H. Salida por tubos adicionales. — *Tubos adicionales* son los que se colocan en los orificios de los depósitos (fig. 185). Su forma puede ser cualquiera, aunque por lo comun es cilíndrica ó cónica.

En el uso de tales tubos pueden ocurrir dos casos, á saber: ó que la vena líquida pase por el tubo sin adherírsele, en cuyo caso el gasto no se modifica, ó que la vena se le adhiera por un efecto de la atracción molecular entre las paredes y el líquido, y entonces la parte contraída de la vena se ensancha, aumentando el gasto.

En los tubos cilíndricos, para que haya semejante aumento, es menester que su longitud sea de dos á tres veces mayor que su diámetro. De esta manera sale el líquido á *boca llena*, es decir, á tubo lleno, aumentando el gasto en un tercio próximamente.

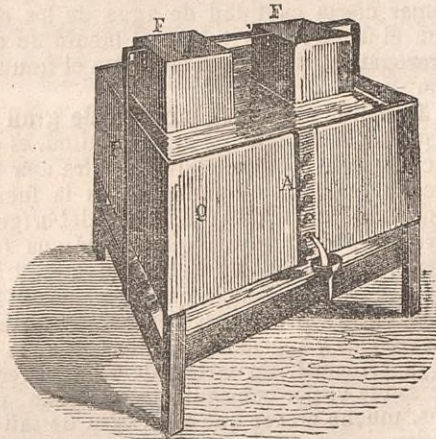


Fig. 184.

Los tubos cónicos convergentes hacia el exterior del depósito aumentan el gasto aun mas que los anteriores; sale el chorro por ellos con mucha regularidad y es lanzado á mayor distancia ó altura. El gasto y la velocidad de salida varían con el ángulo de convergencia, es decir, con el que forman las prolongaciones de dos generatrices opuestas del tronco de cono que constituye el tubo adicional.

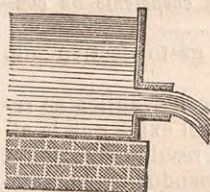


Fig. 185.

De todos los tubos adicionales, los que mas gasto producen son los cónicos divergentes hacia el exterior. Venturi dedujo de sus experimentos que estos tubos podían dar un gasto efectivo 2,4 veces mayor que el de un orificio en pared delgada, de igual diámetro que la base menor, y 1,46 veces mayor que el gasto teórico.

Ya los antiguos ciudadanos romanos conocieron esta propiedad de los referidos tubos adicionales, pues los que disfrutaban de la concesion de tomar cierta cantidad de agua de los depósitos públicos, encontraban con el uso de tales tubos, el medio de acrecentar los productos de su prerogativa, llegando á tal punto el fraude, que al fin las leyes prohibieron su uso.

I. Salida por tubos largos y de gran diámetro.—Para que salga un líquido por un tubo de gran longitud, es preciso, ó que este tenga cierta inclinacion, ó que el líquido sufra una presión en el origen del tubo. Siendo continúa en ambos casos la fuerza, debería acelerarse el movimiento; pero á corta distancia del origen se observa que aquel es uniforme, lo cual revela que existe una fuerza que destruye constantemente el aumento de velocidad que el líquido tiende á adquirir. Esta fuerza es la resistencia que proviene de la adhesion de las moléculas líquidas entre sí y con las paredes, aparte de la resistencia que ofrecen los recodos y angosturas de los tubos, si bien es verdad que la primera es la principal. En virtud de estas diversas resistencias, la velocidad de salida y, por consiguiente, el gasto, puede llegar á ser, en los tubos, mucho menor que en el caso de salida por orificios en paredes delgadas.

J. Salida por tubos capilares.—La salida por tubos capilares, es decir, de diámetro muy pequeño, merece llamar la atencion por las aplicaciones de que es susceptible en Fisiología. El doctor Poiseuille hizo numerosos experimentos sobre este punto, variando en los tubos su longitud, su diámetro y la presión que determina la salida.

Operando con tubos de vidrio, estableció las tres leyes siguientes:

- 1.^a Para un mismo tubo, el gasto es proporcional á la presión.
- 2.^a A igualdad de presión y de longitud, el gasto es proporcional á la cuarta potencia de los diámetros.
- 3.^a A igualdad de presión y de diámetro, el gasto está en razon inversa de la longitud.

Observó, además, Poiseuille, que la naturaleza del líquido modifica la velocidad de salida. El nitrato de potasa disuelto en el agua facilita la salida, y, por el contrario, el alcohol la retarda. El suero fluye con una velocidad casi dos veces menor que la del agua; el alcohol mezclado con el suero retarda aun más la salida; pero si á esta mezcla se añade nitrato de potasa, recobra el suero su velocidad primitiva.

Habiéndose hecho estos diversos experimentos con tubos de vidrio, se trató luego de averiguar si los resultados serian los mismos en los vasos capilares de los cuerpos orgánicos. A este fin se operó en animales muertos, á los cuales se les dejaba enfriar hasta la temperatura del ambiente, é inyectando suero en la arteria principal de un órgano, se halló que el nitrato de potasa facilitaba la salida en los vasos capilares de los cuerpos orgánicos sin vida, lo mismo que en los tubos de vidrio, y que el alcohol, por el contrario, la retardaba. Los experimentos del Sr. Poiseuille tienden, pues, á probar que la circulacion de la sangre, en las arterias y en las venas, está sometida á las mismas leyes que la salida de los líquidos por tubos capilares.

K. Surtidores.— Los *surtidores* son chorros de agua muy delgados que salen con fuerza por un orificio á causa de la presion que ejerce una columna de ese líquido mas ó menos alta respecto á dicho orificio. Cuando este se halla practicado en una pared horizontal, el surtidor es vertical; pero cuando lo está en una pared oblicua, el surtidor sale inclinado, y describe una curva que, sin la resistencia del aire, seria una parábola.

En virtud del principio indicado anteriormente (113*, D), el surtidor tiende á subir á una altura igual á la del nivel del agua en el depósito, sin llegar á alcanzarla nunca por las tres causas siguientes: 1.ª por el rozamiento del agua en los tubos de conduccion, que destruye en parte su velocidad; 2.ª por la resistencia del aire, y 3.ª por el choque que las moléculas líquidas que suben experimentan de parte de las otras que caen de la cúspide del surtidor.

A fin de obtener el máximum de altura de un surtidor, es preciso que el diámetro de los tubos de conduccion aumente segun su longitud; que dichos tubos no tengan angosturas ni recodos demasiado bruscos; que el orificio de salida esté practicado en una pared delgada, y por último, que salga algo inclinado el surtidor, con objeto de evitar la tercera resistencia que hemos indicado.

Los orificios en pared delgada son los que dan surtidores de mayor altura, mas regulares y mas transparentes. Los tubos adicionales cónicos dan tambien surtidores unidos y transparentes; pero su altura solo alcanza las ocho ó nueve décimas partes de la que proporcionan los orificios en pared delgada. Por último, los tubos adicionales cilíndricos producen surtidores turbios, cuya altura solo es 0,66 de la correspondiente á los orificios en pared delgada.

Por medio del cálculo se deduce, abstraccion hecha de la resistencia del aire, que para que un surtidor alcance lateralmente la mayor amplitud posible, debe formar con el horizonte un ángulo de 45°.

CAPÍTULO III.

CAPILARIDAD.

114. **Fenómenos capilares.**—Originanse, en el contacto de los sólidos con los líquidos, una série de fenómenos llamados *capilares*, porque se observan principalmente en los tubos de diámetro bastante pequeño para que pueda compararse con el de un cabello. La parte de la Física que tiene por objeto el estudio de tales fenómenos, se designa con el nombre de *capilaridad*, el cual se aplica tambien á la fuerza que los produce.

Aunque muy variados estos fenómenos siempre dependen de la mútua atraccion de

las moléculas líquidas entre sí, y de la que se ejerce entre estas moléculas y los cuerpos sólidos: de esta clase de fenómenos son los siguientes.

Cuando se introduce un cuerpo sólido en un líquido que le moja, este último, cual si no estuviese sometido ya á las leyes de la hidrostática, se eleva alrededor del cuerpo, y su superficie deja de ser horizontal, tomando una forma cóncava (fig. 186).

Si, por el contrario, el líquido no moja el cuerpo sumergido, como le sucede al vidrio en contacto con el mercurio, no sube, sino que baja la superficie del líquido

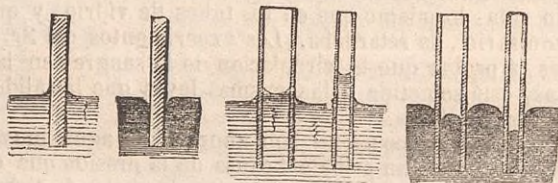


Fig. 186.

Fig. 187.

Fig. 188.

Fig. 189.

afectando una forma convexa (fig. 187). La misma concavidad ó convexidad adquiere la superficie del líquido en los bordes de la vasija que lo contiene, según moje ó no sus paredes.

Más palpables son aun estos fenómenos cuando en vez de un cuerpo macizo se introducen tubos de vidrio de pequeño diámetro, pues según que los moje ó no el líquido, así se nota una elevación ó una depresión, tanto mayor, cuanto menor es su diámetro (figs. 188 y 189).

Cuando el líquido moja los tubos, la superficie de aquel toma la forma de un segmento hemisférico cóncavo, llamado *menisco cóncavo* (fig. 188), y cuando no los moja, forma un *menisco convexo* (fig. 189).

115. **Leyes de la elevación de los líquidos en los tubos capilares.**—Gay-Lussac demostró experimentalmente que si las paredes de los tubos se mojan previamente por un líquido, se verifican las dos leyes siguientes:

1.^a *La elevación varía con la naturaleza del líquido y con la temperatura; pero es independiente de la materia de los tubos y del espesor de sus paredes.*

2.^a *Para un mismo líquido, la elevación está en razón inversa del diámetro del tubo, mientras este diámetro no exceda de 2^{mm}.*

Esta segunda ley es conocida con el nombre de *ley de Jurin*, que fué el primero que la dió á conocer.

Ambas leyes se verifican lo mismo en el vacío que en el aire; pero Wolf demostró que si aumenta la temperatura, disminuye la elevación del agua en los tubos, pudiendo llegar á ser nula y hasta trasformarse en depresión.

116. **Leyes de la depresión de los líquidos en los tubos capilares.**—Para los líquidos que no mojan los tubos, como sucede con el mercurio si son de vidrio, la depresión está también en razón inversa del diámetro de los tubos; pero si estos tienen igual diámetro, dicha depresión varía según su naturaleza. Así, por ejemplo, mientras en un tubo de hierro de un milímetro de diámetro, la depresión es de 1^{mm},226, en un tubo de platino de igual diámetro no es más que de 0^{mm},655. Depende también la depresión de la altura del menisco convexo del mercurio, altura que varía mucho, á igualdad de diámetro, con la pureza del metal y según que el movimiento de la columna mercurial que ha originado el menisco haya sido ascendente ó descendente en el tubo. En el primer caso el menisco es más alto que en el segundo.

117. **Leyes de la elevación y depresión entre dos láminas paralelas ó inclinadas.**—Fenómenos análogos á los que ofrecen los tubos capilares, se originan entre dos cuerpos de forma cualquiera introducidos en un líquido, si se encuentran bastante próximos uno al otro. Por ejemplo, si se introducen en el agua dos láminas de vidrio paralelas, tan poco distantes que lleguen á unirse las dos curvaturas formadas en su contacto por el líquido, se observa: 1.^o que el agua se eleva con regularidad entre las dos láminas, en razón inversa del intervalo que las separa; 2.^o que para un intervalo dado la elevación es mitad de la que se observaría en un tubo cuyo diámetro fuese igual á este intervalo.

Si las láminas paralelas se introducen en el mercurio, se observa una depresión, pero en conformidad con las mismas leyes.

Si se introducen en un líquido que las moje dos láminas de vidrio AB y AC (fig. 190), formando un ángulo diedro, de manera que la arista sea vertical, el líquido se eleva hácia el vértice del ángulo, y la sección vertical de la superficie, desde el punto más alto al más bajo, afecta la forma de una *hipérbola equilátera*.

Si el ángulo fuese muy pequeño y la arista horizontal, según representan las figuras 191 y 192, supuestos prolongados los lados, una gota de agua colocada entre ellos se abuecaría por los dos extremos, formando así en cada uno un menisco cóncavo (fig. 191), y además se precipitaría hácia el vértice del ángulo.

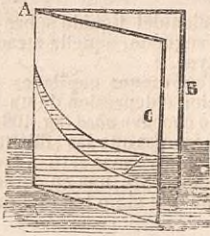


Fig. 190.

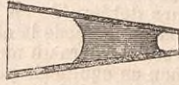


Fig. 191.



Fig. 192.

Si la gota en vez de agua fuese de un líquido que no mojase las láminas, como el mercurio, se redondearía en los dos extremos, formando así en cada uno un menisco convexo (fig. 192), y se alejaría del vértice del ángulo.

118. **Atracciones y repulsiones que resultan de la capilaridad.**—La capilaridad origina las atracciones y repulsiones que se observan entre los cuerpos que flotan en los líquidos, las cuales se hallan sujetas á las siguientes leyes.

Cuando un líquido moja dos cuerpos flotantes, como sucede con dos esferitas de corcho introducidas en el agua, se desarrolla una gran atracción apenas se encuentran suficientemente próximos uno á otro para que ya no haya superficie plana entre ellos.

Si ninguno de los dos cuerpos es mojado, como acontece con dos bolitas de cera en el agua, se nota también una viva atracción luego que se hallan en iguales condiciones que los anteriores.

Y por último, si un cuerpo se moja y el otro no, v. gr., una bolita de corcho y otra de cera puestas en el agua, se rechazan cuando están bastante inmediatos para que se verifique el contacto de las dos curvaturas contrarias del líquido.

Dependiendo todos los fenómenos capilares, que acabamos de describir, de la curvatura cóncava ó convexa que afecta la superficie del líquido que se halla en contacto con los cuerpos, réstanos dar á conocer la causa que determina la forma de esta curvatura.

119. **Causa de la curvatura de las superficies líquidas en su contacto con los sólidos.**—La forma de la superficie de un líquido en contacto con un cuerpo sólido, proviene de la relación que existe entre la atracción del sólido con el líquido (77° , C) y la de este consigo mismo (77° , A).

En efecto, sea m (fig. 195) una molécula líquida en contacto con un cuerpo sólido. Dicha molécula se halla sometida á tres fuerzas, á saber: la gravedad que la solicita

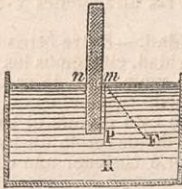


Fig. 195.

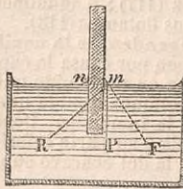


Fig. 194.

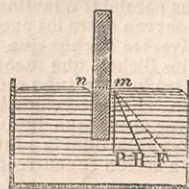


Fig. 193.

en la dirección de la vertical mP ; la atracción del líquido que actúa según la línea mF , y la atracción de la lámina que se ejerce en la dirección mn . Según sean las respectivas intensidades de estas fuerzas, su resultante puede afectar las tres posiciones siguientes:

1.^a Si la dirección de la resultante es la vertical mR (fig. 195), la superficie en m es plana y horizontal, porque en virtud de las condiciones de equilibrio de los líquidos (88), su superficie ha de ser normal á la dirección de la fuerza que solicite sus moléculas.

2.^a Si aumenta la intensidad de la fuerza n ó disminuye la de F , la resultante R va por dentro del ángulo nmP (fig. 194), y habiendo de ser también la superficie del líquido normal á mR , dicha superficie resulta cóncava.

3.^a Si, por el contrario, aumenta en intensidad la fuerza F ó disminuye la n , la resultante R (fig. 195) va por dentro del ángulo PmF , y la superficie del líquido, normal siempre á la dirección mR , resulta convexa.

El cálculo demuestra que, en el primer caso, la atracción del líquido sobre sí mismo es doble de la del sólido sobre el líquido; que, en el segundo, aquella atracción es menor que el doble de esta, y que, en el tercero, es mayor.

120. **Influencia de la curvatura del líquido en los fenómenos capilares.**—De la forma cóncava ó convexa del menisco depende la elevación ó depresión de un líquido en un tubo capilar. En efecto, si se considera un menisco cóncavo $abcd$ (fig. 196), como sus moléculas líquidas se sostienen en equilibrio por las fuerzas que las solicitan (119) no ejercen presión alguna sobre las capas inferiores, y como además actúan por cohesión sobre las más inmediatas de estas capas, resulta que sobre una cualquiera mn , considerada en el interior del tubo, es menor la presión que si no hubiese menisco.

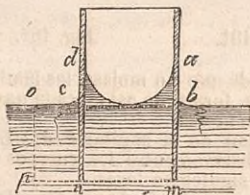


Fig. 196.

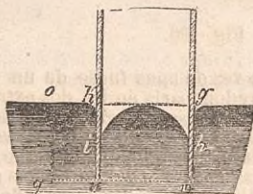


Fig. 197.

De consiguiente, según las condiciones de equilibrio de los líquidos (89), debe subir el líquido en el tubo hasta que la presión interna sobre la capa mn sea igual á la presión externa op que se ejerce sobre un punto cualquiera p de la misma capa.

En el caso de ser convexo el menisco (fig. 197), hay también equilibrio en virtud de las fuerzas moleculares que solicitan al líquido; pero como faltan las moléculas que ocuparían el espacio $ghik$, si no hubiera acción capilar, ya no obran por cohesión sobre las moléculas inferiores. De aquí resulta que la presión, en una capa cualquiera mn , es mayor dentro del tubo que si estuviese lleno el espacio $ghik$, porque las fuerzas moleculares que dicha cohesión determina, son mucho más intensas que la gravedad. El líquido debe bajar pues, en el tubo, hasta que la presión interna, en la capa mn , sea la misma que la externa ejercida en un punto cualquiera q de dicha capa.

Es la teoría de la capilaridad una de las más difíciles de la Física, y no puede abarcarse en toda su extensión sino por medio de la análisis matemática; por eso la han estudiado en particular los matemáticos, y en Francia especialmente Cléraud, Laplace, Poisson y el Sr. Quet. Tal cual acabamos de darla á conocer, esta teoría explica la elevación y depresión de los líquidos, no solo en los tubos, sino también entre las láminas paralelas ó inclinadas (117); é igualmente las atracciones y repulsiones que se observan entre los cuerpos flotantes (118).

121. **Diversos hechos que dependen de la capilaridad.**—Entre otros fenómenos, á más de los dichos, que reconocen por causa la capilaridad, citaremos los siguientes:

Si se introduce un tubo capilar en un líquido que lo moja, y se le saca luego con precaución, se advierte que la columna líquida que queda suspendida en el tubo, alcanza mayor altura que durante la inmersión. Depende esto de que el tubo arrastra consigo una gota líquida adherida á su parte inferior, donde forma un menisco convexo, cuya acción concurre con la del cóncavo superior á sostener una columna más alta (120).

Por igual razón un tubo capilar introducido en un líquido no determina la salida de este, aunque sea más corto que la columna líquida que tiende á subir por él. Proviene esto de que en el momento en que llega el líquido á la parte superior del tubo, la superficie que á ella corresponde, de cóncava que era, se vuelve convexa, y por lo tanto, siendo mayor la presión que si fuera plana dicha superficie, cesa el movimiento ascendente.

Véase á menudo insectos que se pasean, sin hundirse, por la superficie del agua. Esto es también un fenómeno capilar debido á que las patas de dichos insectos están recubiertas de una materia grasa que impide que se mojen, formándose alrededor de ellas una depresión que los sostiene á pesar de su peso, como el agua se sostiene en los tubos. Mediante una depresión análoga, una aguja fina de coser colocada cuidado-

samente sobre el agua, permanece en la superficie, si antes se dió á la aguja una capa de materia grasa, porque entonces no se moja; pero lavándola con alcohol ó con potasa, se va al fondo.

Tambien por un efecto capilar sube el aceite por las mechas de las lámparas y se empapan de líquidos las maderas, las esponjas, y en general, todos los cuerpos que poseen poros sensibles (15). Por último, con los nombres de endósmosis, de absorcion y de imbibicion, vamos á dar á conocer nuevos fenómenos que guardan estrecha analogía con la capilaridad, confundiendo frecuentemente con ella.

CAPÍTULO IV.

DIFUSION, ÓSMOSIS, ABSORCION Y DIÁLISIS DE LOS LÍQUIDOS.

122. **Difusion de los líquidos.**—Llábase *difusion* la mezcla espontánea de dos líquidos de diferente naturaleza ó distinto grado de concentracion, y sin accion química el uno sobre el otro.

La difusion de los líquidos fué observada ya en el siglo último por Priestley y otros físicos; pero esta clase de fenómenos no se estudiaron detenidamente hasta 1854, en Londres, por Graham.

El aparato de que se sirvió este sabio consiste en un pequeño frasco de boca ancha (fig. 198) y de 11 centilitros de capacidad. Lleno este frasco de la disolucion en que



Fig. 198.

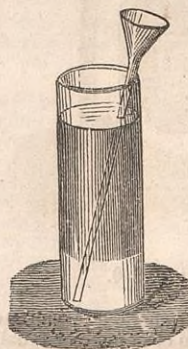


Fig. 199.

se quiera estudiar la difusion, una disolucion salina, por ejemplo, se le tapa con un obturador de vidrio y se le introduce en un depósito B de un litro de capacidad, donde se echa agua destilada hasta unos 2 ó 3 centímetros por encima del frasco A. Quitase en seguida con cuidado el obturador y se deja todo en reposo, á una temperatura constante, durante algunos días. Pasados estos, se vuelve á poner el obturador y se retira el frasco A del depósito, y dejando evaporar el agua en él contenida, se ve que deja por residuo una gran parte de la sal que contenia la disolucion del frasco; lo cual revela que aquella se difundió por el agua del depósito B.

Se hace tambien visible el fenómeno de la difusion por medio del experimento siguiente: llénanse las tres cuartas partes de una probeta alta de vidrio con tintura de tornasol poco concentrada (fig. 199); despues se echa lentamente ácido sulfúrico, haciéndole llegar á la parte inferior de la probeta por medio de un embudo largo. Obsérvase entonces cómo la tintura de tornasol se va enrojeciendo gradualmente de abajo arriba, y que al cabo de cuarenta y ocho horas todo el líquido está ya rojo. Ha habido, pues, difusion del ácido por el líquido sobre él situado.

123. **Leyes de la difusibilidad de los líquidos.**—Graham demostró experimentalmente las siguientes leyes acerca de la difusibilidad de los líquidos.

1.^a En igualdad de tiempo, la difusibilidad varia de un líquido á otro. El líquido mas difusible es el ácido clorhídrico; la albúmina, que es uno de los menos difusibles, se difunde cuarenta y nueve veces mas lentamente que aquel. Esta débil difusibilidad de la albúmina juega necesariamente un papel muy importante en la economia animal.

2.^a En disoluciones de una misma sal en distinto grado de concentracion, la difu-

sibilidad es proporcional á la cantidad de sal en disolucion; además aumenta con la temperatura.

3.^a Si á dos líquidos sin accion química el uno sobre el otro, y desigualmente difusibles, se los mezcla en un frasco de difusión (fig. 198), se separan en parte, siendo el mas difusible el primero en aparecer suelto.

124. Osmosis, endósmosis y exósmosis.—Dáse el nombre de *ósmosis* (impulsion) á la difusión entre dos líquidos separados por una membrana orgánica ó por un diafragma inorgánico poroso. Dutrochet fué el primero que en 1826, en Francia, dió á conocer detalladamente este fenómeno, poco estudiado hasta entonces.

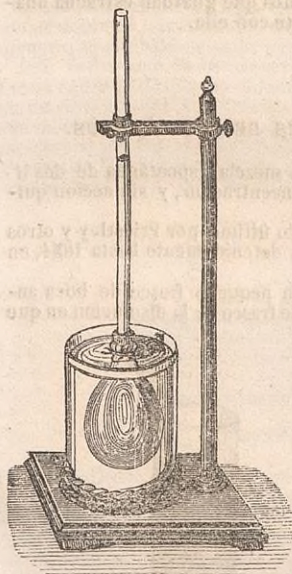


Fig. 200.

Al aparato de que se sirvió para sus investigaciones le denominó *endosmómetro*: consiste en una bolsa membranosa que comunica con un tubo de vidrio bastante largo, á cuya extremidad inferior se halla sujeta por una fuerte ligadura que la cierra herméticamente (fig. 200). Llena esta bolsa de una disolucion muy gomosa ó de otro líquido mas denso que el agua, como la leche, la albúmina, una disolucion de azúcar, etc., se la introduce en una vasija llena de agua. Nótase muy pronto que el nivel sube poco á poco en el tubo á una altura que suele ser de algunos decímetros, y que desciende en la vasija que contiene al endosmómetro, deduciéndose de aqui que parte del agua pura pasa al través de la membrana para ir á mezclarse con el líquido del interior. Pero además se observa que al cabo de cierto tiempo el agua de la vasija, donde está sumergido el endosmómetro, contiene goma; claro está, pues, que se produce una corriente en ambos sentidos, lo cual se expresa diciendo que hay *endósmosis* (corriente entrante) para el líquido cuyo volumen aumenta, y *exósmosis* (corriente saliente) para el que disminuye de volumen. Si se pone agua pura en la bolsa membranosa, introduciéndola en agua gomosa, se produce tambien endósmosis del agua pura á la gomosa, es decir, que sube el nivel en el exterior ó sea en la vasija.

La altura á que se eleva el nivel en el endosmómetro varía segun los diferentes líquidos. De todas las sustancias vegetales, el azúcar disuelto es el que, en igualdad de densidades, presenta mayor poder endosmótico, y de las animales la albúmina. La gelatina, por el contrario, le posee muy débil. En general, la corriente de endósmosis se dirige hácia el líquido mas denso. Sin embargo, el alcohol y el éter constituyen una excepcion, pues con el agua obran como si fueran líquidos mas densos. Con los ácidos, segun estén mas ó menos diluidos, hay endósmosis del agua hácia ellos, ó vice-versa.

Dutrochet observó que, para que se produzcan los fenómenos de endósmosis, es preciso: 1.^o que los líquidos sean heterogéneos y susceptibles de mezclarse, como por ejemplo el agua y el alcohol, pues entre el aceite y el agua no se verifican; 2.^o que los dos líquidos tengan diferente densidad; 3.^o que el tabique intermedio sea permeable por lo menos respecto á uno de ellos.

Todas las sustancias vegetales y animales son permeables, y en cuanto á las inorgánicas, como las pizarras, los gres, la porcelana sin barnizar, la tierra de pipa poco cocida, etc., son tanto menos permeables, cuanto mas sílice contienen. La tierra de pipa, mas aluminosa que la porcelana, es tambien mas permeable, por cuya razon se pega á la lengua.

Aunque débil la corriente al través de delgadas láminas inorgánicas, puede continuarse indefinidamente. Lo contrario les sucede á las membranas orgánicas, que se desorganizan muy pronto, cesando la endósmosis.

Varias teorías se han propuesto para explicar la endósmosis. Unos la han atribuido á una corriente eléctrica que tiene igual direccion que la endósmosis; otros han admitido que la causa del fenómeno era una accion capilar, unida con la afinidad de ambos líquidos; algunos han creído que la originaba una desigual viscosidad de estos; y varios han fijado su causa en la mayor ó menor permeabilidad de las membranas para tal ó cual líquido. Ninguna de estas hipótesis explica de un modo satisfactorio la endósmosis; pero como quiera que sea, el fenómeno se enlaza al parecer íntimamente con las mismas causas que determinan la capilaridad. Obsérvase, sin

embargo, que la elevacion de temperatura que activa la endósmosis, entorpece, por el contrario, las acciones capilares.

Graham explicaba los fenómenos de endósmosis y exósmosis por el diferente grado de adhesion de dos líquidos con la membrana que los separa; el que mas fácilmente la moja penetra primero en sus poros, la traspasa, y se difunde en seguida mas ó menos rápidamente al otro lado (122).

125. Absorcion é imbibicion.—Casi sinónimas son en Física las palabras *absorcion* é *imbibicion*, pues ambas indican penetracion de una sustancia extraña en un cuerpo poroso. Sin embargo, la absorcion se aplica indistintamente á los líquidos y á los gases, mientras que la imbibicion no se extiende mas que á los primeros.

En Fisiología se distingue la absorcion de la imbibicion; pues con el primer nombre se designa el fenómeno de penetrar una sustancia extraña en los tejidos de un ser viviente, mientras que con el segundo solo se expresa la penetracion en cuerpos porosos sin vida, sean ó no orgánicos. De modo que, en la absorcion entran en juego las fuerzas vitales, y en la imbibicion no.

126. Fenómenos de absorcion en las plantas.—En el reino vegetal se verifica la absorcion por todas las partes de las plantas, pero sobre todo por las esponjuelas ó pelos en que terminan las raices, y por las hojas. Merced á estos órganos se absorben, en el estado de agua, de ácido carbónico y de amoniaco, el oxigeno, el hidrógeno, el carbono y el nitrógeno, necesarios para la nutricion de los vegetales.

Los líquidos, y las sales en ellos disueltas, son primeramente absorbidos por las raicillas, mediante un doble fenómeno de endósmosis y de capilaridad, y luego la sávia elaborada por el vegetal, al aumentar en densidad en las partes superiores, da lugar tambien á una endósmosis que es causa de su direccion ascendente. Además, la elevacion de la sávia se halla favorecida por el vacío que tiende á producirse en las partes altas de la planta, por efecto de la exhalacion que se opera por las hojas. En cuanto á la accion capilar, no puede hacer subir los líquidos mas que á las celdillas inferiores, sin producir corriente.

Al doctor Boucherie, de Burdeos, debemos una feliz aplicacion de la propiedad absorbente de los vegetales para la introduccion, en el tejido de las maderas, de sales que les comunican colores mas ó menos vivos, que aumentan su flexibilidad y su tenacidad, ó que las hacen menos combustibles.

127. Fenómenos de absorcion en los animales.—En los animales inferiores, cuyos tejidos no constan mas que de celdillas, se verifican dichos fenómenos lo mismo que en los vegetales, por imbibicion y por endósmosis. La imbibicion, que es el sistema alimenticio de algunos de ellos, es una verdadera endósmosis.

En los animales superiores hay absorcion. Por ejemplo, la rubia, tomada interiormente por estos animales, penetra hasta los huesos, colorándolos de rojo, y si un líquido se halla en contacto con una superficie cutánea sin epidermis, ó con una membrana mucosa, como tales superficies son muy vasculares, pasa el líquido á los vasos por un efecto de endósmosis, constituyendo así la absorcion.

Cuanto mas líquida es una sustancia, con mayor facilidad es absorbida: si bien es necesario para la absorcion, que los líquidos mojen las membranas, pues las grasas, que no las mojan, no son absorbidas; sin embargo, el Sr. Cl. Bernard reconoció que lo son fácilmente estando emulsionadas con el jugo pancreático. El doctor Loze ha observado recientemente que, emulsionando de igual manera el aceite de hígado de bacalao, medicamento que tanta boga ha adquirido en estos últimos años, goza de mas energia porque es absorbido con mayor prontitud.

Favorecen la absorcion y la endósmosis, el calor, la deplecion, una traspiracion abundante ó una sangria.

128. Diálisis.—La *diálisis* (separacion á través) es una aplicacion hecha á la análisis química de la desigual difusion de los líquidos al través de las membranas. Graham, que dió á conocer la diálisis en 1861, dividió á este propósito las diferentes sustancias en dos grandes grupos: los *crystalóides*, cuerpos dotados de la propiedad de cristalizar (las sales), y los *colóides*, cuerpos no cristalizables (la goma, el almidon, la dextrina, la gelatina, la albúmina, etc.). Las disoluciones de los crystalóides carecen de viscosidad, tienen sabor, y se difunden fácilmente al través de las membranas y de los tabiques porosos; los colóides, por el contrario, son viscosos, insípidos y de no fácil difusion.

El aparato de Graham para la diálisis es un endosmómetro modificado que denominó *diálisis r.* Se compone de una lámina de gutta-percha, arrollada en un cilindro hueco de 20 á 25 centímetros de diámetro y 5 de altura, tapado por la base con una membrana, de manera que forma una especie de tamiz.

La sustancia preferida por Graham para membrana dialitica es el *papel pergamino*; llámase así el papel sin cola despues de sumergido por breve rato en ácido sulfurico. Este papel se hidrata, se estira y se vuelve trasluciente; pero como aun es muy poroso conviene barnizarle con una ligera capa de albúmina que se deja coagular al ca-

lor. Mojado este papel se aplica á la base del cilindro de gutta-percha citado anteriormente sujetándole con una ligadura (fig. 201).

Así preparado el dializador se echa en él, hasta una altura de unos 12 milímetros á lo más, el líquido que se quiere analizar y se deja flotar el aparato en un vaso mayor que contenga agua destilada en cantidad suficiente para que la difusión pueda efectuarse completamente al través del papel pergamino; dicha cantidad es próximamente de 4 á 10 veces el volúmen de la mezcla que hay en el dializador (fig. 202). El cristalóide contenido en este se separa entonces casi por completo, en el término de veinte

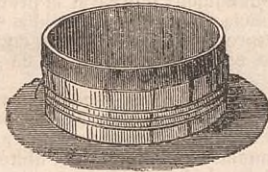


Fig. 201.

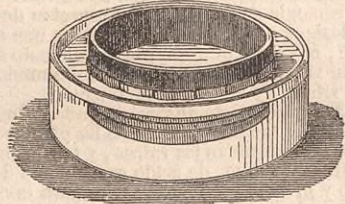


Fig. 202.

y cuatro á cuarenta y ocho horas, de las materias con que está mezclado. Por ejemplo, mezclado con materias orgánicas el ácido arsenioso, que es muy difusible, se separa con suma facilidad, y dejando evaporar el líquido exterior, se obtiene ácido arsenioso casi puro y bastante concentrado para dar un precipitado amarillo con el ácido sulfhídrico. Puede establecerse como regla general que los cristalóides se separan muy fácilmente de los colóides.

La diálisis ha recibido importantes aplicaciones en Farmacia y en Química industrial; el Sr. Dubrunfaut la utilizó, para purificar las melazas, un año antes que se publicasen los trabajos de Graham.

LIBRO IV.

DE LOS GASES.

CAPÍTULO PRIMERO.

PROPIEDADES DE LOS GASES, ATMÓSFERA, BARÓMETROS.

129. Carácter físico de los gases.—Los gases ó flúidos aeriformes son cuerpos de moléculas perfectamente movibles y que se encuentran en un estado continuo de repulsion que se designa con los nombres de *expansibilidad*, *tension ó fuerza elástica*, por lo cual se les da tambien el nombre de *flúidos elásticos*.

Dividense los flúidos elásticos en dos clases, que son: los *gases permanentes*, ó gases propiamente dichos, y los *gases no permanentes ó vapores*. Pertenecen á la primera los que hasta hoy persisten en el estado aeriforme, sea cual fuere la presion y el descenso de temperatura á que se les someta, como sucede con el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, el bióxido de nitrógeno y el óxido de carbono. Los gases no permanentes, por el contrario, pasan con mas ó menos facilidad al estado líquido, ya sea por una presion excesiva, ó ya tambien por un gran enfriamiento. Con todo, no es rigurosa esta clasificacion, porque muchos gases, tenidos por permanentes, han dejado de serlo en manos de Faraday y de otros físicos, debiéndose admitir que los que no se han liquidado hasta ahora, ha sido por no haberlos sometido á una presion ó descenso de temperatura suficientes. Por esto se llaman, en general, *gases* los cuerpos que siempre se presentan aeriformes á la temperatura y presion ordinarias; mientras que se designa con el nombre de *vapor* el estado aeriforme que toman, por efecto del calor, los cuerpos que, como el agua, el alcohol y el éter, son líquidos á las presiones y temperaturas ordinarias.

Treinta y cuatro gases conoce hasta hoy la Química. Cuatro de ellos son simples, á saber: el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el cloro; solamente siete se presentan libres en la naturaleza, que son: el oxígeno, el nitrógeno, el ácido carbónico, el proto y el bicarburo de hidrógeno, el amoníaco y el ácido sulfuroso; los demás no se obtienen sino por medio de reacciones químicas.

130. Teoría dinámica de los gases.—En la moderna teoría dinámica del calor (8) se admite que las moléculas de los gases son perfectamente elásticas y que están dotadas de un movimiento primordial sumamente rápido, en virtud del cual si no encuentran obstáculo alguno se dispersan indefinidamente en el espacio. Si los gases están en vasijas tapadas, sus moléculas chocan sin cesar las unas con las otras y con las paredes de las mismas, á causa de su perfecta elasticidad. De aquí proviene que un volúmen dado de gas tiene una elasticidad proporcional á la fuerza viva, es decir, al producto de la masa total de sus moléculas por el cuadrado de su velocidad (36).

131. Fuerza expansiva de los gases.—La fuerza expansiva de los gases, es decir, su tendencia á ocupar siempre un volúmen mayor, se

demuestra del modo siguiente: colócase debajo de la campana de la máquina neumática una vejiga con llave, cuidando de comprimirla algo antes de cerrarla, y mojarla, á fin de que tenga una pequeña cantidad de aire y sea mas flexible. Al comenzar la operacion hay equilibrio entr

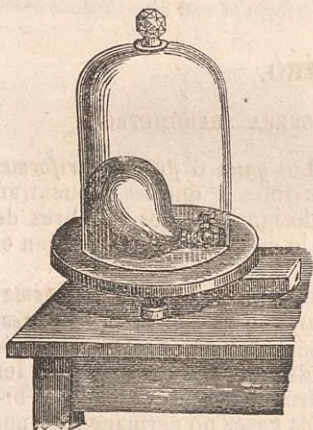


Fig. 203.

la fuerza elástica del aire de la campana y la del que está dentro de la vejiga; pero luego que se principia á hacer el vacío, se va debilitando la presión que esta sufre, inflándose cada vez más cual si en ella se introdujese mas aire (figura 203), quedando así demostrada la fuerza elástica del gas que contiene. Si se deja penetrar luego en la campana el aire exterior por medio de una llave que al efecto tiene el aparato, se comprime de nuevo la vejiga y vuelve á adquirir su volumen primitivo. De igual manera se prueba la fuerza expansiva de todos los gases.

Parece natural que estos se salgan instantáneamente de las vasijas abiertas que los contienen en virtud de su fuerza expansiva; y en verdad, tal es lo que sucedería en el vacío, pero no en las circunstancias ordinarias, pues á ello se opone la presión del aire exterior. Con todo, apresurémonos á decir que esto solo es exacto

para el aire mismo, pues la experiencia demuestra que no es posible equilibrar la fuerza expansiva de un gas, sino mediante la presión de una masa gaseosa de su misma naturaleza. Por ejemplo, la presión del aire no puede equilibrar la fuerza expansiva del hidrógeno ó del ácido carbónico; porque si bien es verdad que no escapan estos fluidos cual lo harían en el vacío, sin embargo, se mezclan rápidamente el interior con el exterior.

Mas adelante demostraremos que la fuerza elástica de los gases es siempre igual y de sentido opuesto á la presión que sufren, y que en igualdad de volúmenes aumenta con la temperatura.

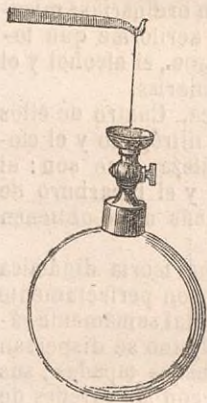


Fig. 204.

132. Peso de los gases.— Por su extremada fluidez y sobre todo por su expansibilidad, parece que los gases no se hallan sujetos á las leyes de la gravedad; mas á pesar de ser tan sutiles estos fluidos, obedecen á dicha fuerza, lo mismo que los sólidos y los líquidos. Para probarlo, se suspende, de uno de los brazos de una balanza muy sensible, un globo de cristal de 3 á 4 litros de capacidad, cuyo cuello tiene una llave que le cierra herméticamente (fig. 204). Pésase primero el globo lleno de aire, y despues de hecho el vacío por medio de la máquina neumática, se repite la operacion y sucede que esta vez el peso del globo es algunos gramos menor, lo que da á conocer el peso del aire que se ha extraido.

Conociendo de antemano el volumen del globo, en litros, se averigua por este procedimiento que un litro de aire puro, á la temperatura de cero

Pero vimos (138) que para una misma masa de gas, si es igual la temperatura, el producto del volúmen por la presion es constante. Resulta, pues,

$$\left\{ v \frac{(1 + \delta T)}{1 + \alpha T} + \frac{v}{1 + \alpha' t} \right\} (A' + a) = \left(v + \frac{v}{1 + \alpha t} \right) A.$$

Esta ecuacion se ha resuelto por el método de las *aproximaciones sucesivas*. Es decir, que sustituyendo primero en las dos fracciones $\frac{v}{1 + \alpha t}$ y $\frac{v}{1 + \alpha' t}$ en vez de α el valor aproximado, ya conocido, del coeficiente de dilatacion del aire, y resolviendo con relacion al binomio $1 + \alpha T$, se deduciria un segundo valor de α mas aproximado que el primero; despues sustituyendo tambien este valor en las fracciones anteriores, y resolviendo la ecuacion, resulta otro tercer valor de α mas aproximado que el segundo, y así se continúa hasta que sea constante el valor de α .

El Sr. Regnault empleó tambien, como ya queda dicho, el método de *presion constante y volúmen variable*, y vió que la dilatacion de los gases siendo el volúmen variable es mayor que cuando es constante. Además ha probado que á una misma temperatura, la dilatacion de los gases, excepto la del hidrógeno, es tanto mayor cuanto mas fuerte es la presion, lo cual revela que no es exacta la ley de Davy de que *el coeficiente de la dilatacion de los gases es el mismo á todas las presiones*. Por último, el mismo sabio ha observado que los coeficientes de dilatacion de los gases se diferencian tanto menos entre sí cuanto mas débil es la presion; de donde se sigue que la ley de Gay-Lussac se aproxima tanto mas á la verdad cuanto mas enrarecidos están los gases.

Hé aquí los coeficientes obtenidos por Regnault, entre cero y 100°, para presiones constantes comprendidas entre 0^m,30 y 0^m,50 en una variacion de temperatura de 1 grado.

Hidrógeno.	0,005661
Oxido de carbono.	0,005669
Aire.	0,005670
Acido carbónico.	0,005710
Protóxido de ázoe.	0,005719
Cianógeno.	0,005877
Acido sulfuroso.	0,005905

519. **Termómetro de aire.**—Este termómetro está fundado, segun indica su nombre, en la dilatacion del aire. El mas sencillo seria el tubo capilar con una esfera que empleaba Gay-Lussac para medir el coeficiente de dilatacion de los gases (figura 581). En efecto, así como conocida la temperatura se ha deducido, del movimiento del indice en el tubo, el coeficiente de dilatacion del aire, así tambien recíprocamente, una vez conocido este, es fácil calcular la temperatura que corresponde á cada movimiento del indice. Pero la marcha de este indice siempre se hallaria sujeta á la misma causa de error que condujo á Gay-Lussac á hallar un coeficiente de dilatacion demasiado grande, y se obtendrian temperaturas demasiado altas. Por esta razon se adopta con preferencia para termómetro de aire un tubo semejante al que sirvió para medir el coeficiente de dilatacion de los gases en el aparato de Regnault (figs. 582 y 585). Operando con este tubo, como en el experimento del párrafo 517, se determinan las cantidades P, P', A, A' y a, que entran en la ecuacion 517, y como α y δ son conocidas, de ella se deduce la temperatura t á la cual ha estado sometido el termómetro.

Pero el uso de este instrumento requiere mucho tiempo y esmero, por lo que generalmente es preferible el ordinario de mercurio ó el de peso. Sin embargo, no debe perderse de vista que los termómetros de aire presentan sobre los de mercurio dos importantes ventajas: 1.^a son mucho mas sensibles, por ser el aire veinte veces mas dilatable que el mercurio; y 2.^a mientras que dos termómetros de mercurio rara vez están acordes, á no ser entre -56 y 100° (280), dos de aire siempre son comparables entre sí, lo cual es debido tambien á la gran dilatacion de los gases, ante la cual no

ejerce influencia alguna la pequeña diferencia de dilatacion de las diversas especies de vidrios con que se fabrican los termómetros.

Segun las investigaciones de Regnault el termómetro de aire y el de mercurio van casi acordes hasta 240° cuando el vidrio del segundo es verde y ordinario, pues si es de cristal, la discordancia es mayor, y cuando el termómetro de aire marca 350°, el de mercurio señala 360°,5.

520. **Pirómetro de aire.** — Los cuerpos preferibles para medir altas temperaturas son los gases por la regularidad que presenta su dilatacion; pero para aplicarlos á la construccion de pirómetros (289) es necesario que los vasos que los contengan sean infusibles á las temperaturas para cuya observacion se les destine. Pouillet habia adoptado desde 1836, para pirómetro un termómetro de aire cuyo depósito era de platino; pero como posteriormente el Sr. H. Sainte-Claire Deville ha probado (168) que este metal es permeable á los gases sometiéndole á altas temperaturas, no puede ya emplearse en la construccion de los pirómetros de aire. Por esta razon dicho sabio adoptó la porcelana vidriada de Bayeux despues de haber determinado su coeficiente de dilatacion cúbica, el cual encontró que era 0,0000163 entre 1000 y 1400°, y que llegaba á 0,0000200 al aproximarse á los 1500°.

Modificado así el aparato del Sr. Regnault anteriormente descrito (fig. 384), viene á ser un pirómetro de aire con el cual se observa de la misma manera que se hizo (318) para determinar el valor α en funcion de T; solo que aquí el valor que se determina es el último en funcion del primero, admitiendo que el coeficiente α permanece constante á cualquier temperatura.

321. **Cero absoluto.** — Se vió ya (275) que el *cero absoluto* es el que corresponde á la carencia total de calor en los cuerpos, es decir, á la paralización completa del movimiento vibratorio de las moléculas. Para determinar cuál sea el número de grados centesimales correspondiente al cero absoluto, conviene observar que el coeficiente de dilatacion del aire, cuyo valor es 0,00366, es casi igual á la fraccion ordinaria $\frac{1}{273}$. Ahora bien, representemos por 1 un cierto volúmen de aire á la temperatura cero de la escala centesimal, y por F su fuerza elástica; este volúmen á t° será $1 + \alpha t$, y su fuerza elástica $F(1 + \alpha t)$, por ser la razon de estas fuerzas, en igualdad de volúmenes, como 1 es á $(1 + \alpha t)$.

Admitiendo que á la temperatura cero absoluto, sea todavía el aire atmosférico un gas perfecto, es decir, que no se liquide y que continúe aun sujeto á la ley de Mariotte (156), la fórmula $F(1 + \alpha t)$ representa tambien su fuerza elástica. Pero esta debe ser nula en este caso, puesto que el movimiento vibratorio de las moléculas ha cesado completamente; es preciso, pues, que se verifique la igualdad $F(1 + \alpha t) = 0$; de donde $t = -\frac{1}{\alpha}$,

y sustituyendo en vez de α su valor $\frac{1}{273}$ resulta $t = -273$. Este es, pues, el número de grados bajo el cero de la escala centesimal que correspondería al cero absoluto, en el caso de ser aun aplicable á dicha temperatura la ley de Mariotte. Las temperaturas contadas á partir de este punto son *temperaturas absolutas*.

322. **Pesos específicos de los gases con relacion al aire.** — *El peso específico ó la densidad de un gas respecto al aire* es la razon del peso de cierto volúmen de este gas al de otro igual de aire, estando ambos flúidos á cero y á la presion de 0^m,76.

Por consiguiente, para conocer la densidad de un gas debe inquirirse el peso de cierto volúmen del mismo á cero y á la presion de 0^m,76, y despues el de otro volúmen igual de aire á la misma temperatura y presion, y dividir el primer peso por el segundo. A este fin sirve un globo de vidrio, cuya capacidad sea de 8 á 10 litros, con una llave en su cuello (figura 204), para poderlo atornillar en la máquina neumática. Pésase sucesivamente este globo vacío, lleno de aire y lleno del gas cuya densidad se busca, procurando desecar bien ambos flúidos por el mismo pro-

cedimiento descrito mas arriba y con el aparato representado por la figura 382. Restando el peso del globo vacío del que se obtiene en las dos últimas pesadas, resultan el peso del aire y el del gas bajo el mismo volumen. Si durante estas pesadas estuviere constantemente á cero la temperatura y á 0^m,76 la presión, solo habria que dividir el peso del gas por el del aire, y el cociente seria la densidad buscada. Pero este procedimiento requiere generalmente muchas correcciones para reducir los pesos de los dos gases á cero y á la presión de 0^m,76, y tambien para referir á cero el volumen del globo.

Para hacer estas correcciones es menester ante todo operar en gases secos, lo cual se consigue pasándolos por materias desecantes antes de introducirlos en el globo; y el aire además debe pasar por potasa cáustica para perder el ácido carbónico que contiene. Además, como las mejores máquinas neumáticas nunca hacen el vacío perfecto, á fin de poder prescindir en las pesadas del gas que queda en el globo, se efectuará cada vez el vacío, hasta que la probeta señale la misma tensión e .

En este supuesto, se hace el vacío en el globo, y se deja entrar aire seco, repitiendo varias veces la misma operacion hasta que aquel esté perfectamente desecado. Haciendo entonces por última vez el vacío, hasta que la probeta marque la tensión e , se pesa, y se tiene el peso p' del globo que solo contiene aire á dicha tensión. Déjase entonces entrar aire lentamente por varios tubos que contienen, unos cloruro de calcio y otros potasa: se pesa de nuevo y se halla que el peso del globo, cuando está lleno, es P' . Por consiguiente, llamando A' la altura barométrica y t' la temperatura en el momento de la pesada, $P' - p'$ es el peso del aire contenido en el globo á la temperatura t' y á la presión $A' - e$.

Para reducir este peso á la presión de 760^{mm} y á la temperatura de cero, representemos por α' el coeficiente de dilatacion del aire y por δ el de dilatacion cúbica del vidrio. En virtud de la ley de Mariotte, el peso, que es $P' - p'$ á la presión $A' - e$, á la de

760^{mm} será $(P' - p') \frac{760}{A' - e}$, siendo constante la temperatura t' . Pero como si esta

se reduce á cero, disminuye la capacidad del globo en la relacion $1 + \delta t'$ á 1, mientras que el peso del gas aumenta en la de 1 á $1 + \alpha' t'$, segun se deduce de los problemas vi (501) y v (516), resulta que el peso del aire contenido en el globo á cero y á la presión de 760^{mm} es

$$(P' - p') \frac{760}{A - e} \times \frac{1 + \alpha' t'}{1 + \delta t'} \quad [1].$$

Sea igualmente α el coeficiente de dilatacion del gas cuya densidad se quiere determinar, P el peso del globo lleno de este gas á la temperatura t y á la presión barométrica A , y finalmente p el peso del globo cuando el gas que en él queda se halla á la tensión e : el peso del mismo, á la presión de 760^{mm} y á la temperatura de cero, estará representado por la expresion

$$(P - p) \frac{760}{A - e} \times \frac{1 + \alpha t}{1 + \delta t} \quad [2].$$

Dividiendo la fórmula [2] por la [1], resulta para la densidad que se busca

$$D = \frac{(P - p)(A' - e)(1 + \alpha t)(1 + \delta t')}{(P' - p')(A - e)(1 + \alpha' t')(1 + \delta t)},$$

cuya fórmula es independiente del volumen del globo.

Si durante el experimento no varian la temperatura y la presión, se tiene $A = A'$, y

$t = t'$, por lo tanto $D = \frac{(P - p)(1 + \alpha t)}{(P' - p')(1 + \alpha' t)}$; y si por fin suponemos $\alpha = \alpha'$, resulta

$$D = \frac{P - p}{P' - p'}$$

323. Método del Sr. Regnault para hallar la densidad de los gases.

— Acabamos de ver el gran número de correcciones que hay que aplicar

para hallar la densidad de los gases segun el método precedente. El Sr. Regnault le ha modificado ventajosamente pudiendo prescindirse de algunas de ellas. Al efecto se toman dos globos con cuello, de idéntico vidrio, y casi igual volúmen exterior, cerrando luego el mayor con un tubo de llave, y el menor con otro simplemente de gancho. Para conseguir que los dos globos sean de igual volúmen, se les llena de agua y se les cuelga de los platillos de una balanza, cuidando de establecer el equilibrio por medio de una tara; luego se les sumerge en una vasija llena del mismo líquido y desaparece el equilibrio: el número de gramos p que hay que agregar para restablecerle representa, en centímetros cúbicos, la diferencia de los volúmenes de los globos (98). Construyendo

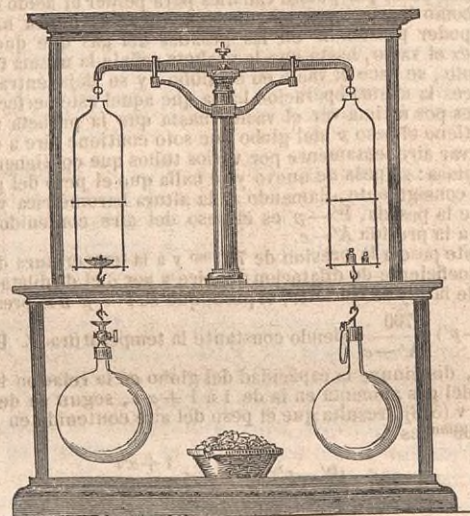


Fig. 383.

entonces un tubo cerrado de vidrio, cuyo volúmen total sea de p centímetros, se le suspende del gancho del menor. Una vez conseguido de esta manera un volúmen equivalente al del globo que va á emplearse, se experimenta en él, como se ha dicho mas arriba (322), pesándole sucesivamente vacio, lleno de aire y lleno del gas cuya densidad se busca, pero teniendo cuidado en cada pesada de equilibrarle con el segundo globo, segun se ve en la figura 385. Además se encierran ambos globos en una caja de vidrio en la cual se deseca el aire con cal viva. De este modo, siendo igual por ambas partes la pérdida de peso en el aire, es evidente que no se necesita hacer ninguna correccion para las pesadas que en él se efectuan.

A fin de evitar las correcciones de dilatacion del vidrio y de los gases en que se experimenta, se llena sucesivamente de aire y gas, á la temperatura de cero, el globo de llave. Al efecto, se le coloca en una vasija llena de hielo (fig. 386), y allí se atorquilla en la llave B del mismo otra A de tres vías, que permite ponerle en comunicacion con una máquina neumática por un tubo de caucho D, ó con los tubos M, N, á los

cuales llega el gas por otro C. Los tubos M,N contienen diferentes sustancias que sirven, unas para desecar el gas y otras para purificarle, es decir, para retener los gases que con él están mezclados.

Hecho todo esto y dispuesta la llave A de modo que el globo solo tenga comunicacion con la máquina neumática, se hace en él el vacío, y luego por medio de la misma llave, se interrumpe la comunicacion con la máquina, se establece con los tubos M, N, y llega el gas al globo hasta llenarle. Sin embargo, como en este no se puede hacer el vacío absoluto, y queda siempre algun aire, se vuelve á hacer el vacío y á dejar entrar

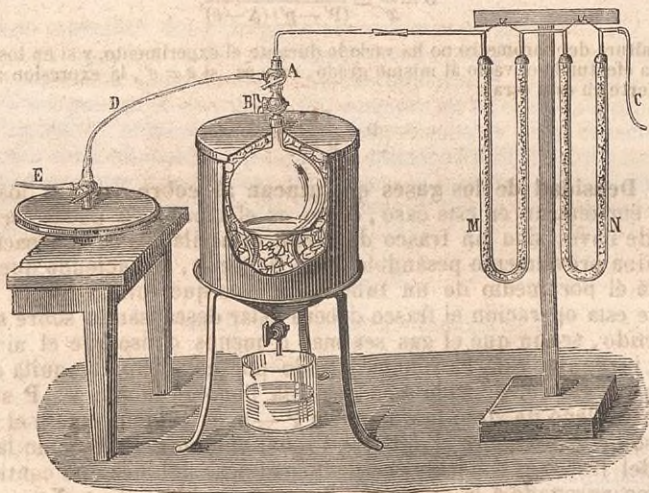


Fig. 386.

el gas de nuevo ; repitiendo varias veces esta operacion hasta que se juzgue expulsado todo el aire. Finalmente, haciendo el vacío por última vez, un barómetro diferencial (fig. 233) que comunica con el aparato por el tubo E, da á conocer la fuerza elástica e del gas enrarecido que todavía queda en el globo. Cerrando entonces la llave B y destornillando la A, se saca el globo del hielo, se le enjuga bien y se pesa en la balanza descrita mas arriba (fig. 385).

Obtenido en esta primera pesada un peso p , se vuelve á colocar el globo en el hielo, y poniendo en su lugar la llave A se deja entrar el gas, cuidando que estén abiertas las llaves el tiempo suficiente para que aquel tome en el globo la presion exterior A marcada por el barómetro. Si entonces se cierra la llave B, se quita la A, se saca el globo del hielo con las mismas precauciones que antes y se pesa de nuevo, se halla un peso P ; de manera que la diferencia $P - p$ de las dos pesadas es el peso del gas contenido en el globo á cero y á la presion $A - e$. Decimos á la presion $A - e$ y no á la presion A, porque en la primera pesada contenia ya el globo el mismo gas á la presion e , segun se ha visto anteriormente.

Para determinar el peso x del mismo volumen de gas á la presion de 760mm, como los pesos son proporcionales á las presiones, resulta

$$\frac{x}{P-p} = \frac{760}{A-e}, \text{ de donde } x = \frac{760(P-p)}{A-e}.$$

Por último, repitiendo la misma serie de operaciones con el aire, es decir, pesando primero el globo vacío y despues lleno de aire seco á cero, y representando por p' el

peso del globo cuando se ha hecho en él el vacío á la presión e' , por P' su peso después de haber dejado entrar el aire, y por A' la altura del barómetro en el instante en que se cierra el globo, se ve que el peso del aire allí contenido á cero y á la presión de 760^{mm} está representado por la fórmula

$$x = \frac{760(P' - p')}{A' - e'}$$

Si se divide el peso del gas por el del aire, se obtiene el peso específico que se busca:

$$D = \frac{x}{x'} = \frac{(P - p)(A' - e')}{(P' - p')(A - e)}$$

Si la altura del barómetro no ha variado durante el experimento, y si en los dos casos se ha efectuado el vacío al mismo grado, esto es, si $e = e'$, la expresión anterior se convierte en esta otra:

$$D = \frac{P - p}{P' - p'}$$

324. Densidad de los gases que atacan al cobre. — Para los gases que se encuentran en este caso, como es el cloro, no puede servir un globo de llave, sino un frasco de tapon esmerilado, cuya capacidad se determina previamente pesándole lleno de agua, y haciendo que el gas llegue á él por medio de un tubo encorvado que entra hasta el fondo; durante esta operación el frasco deberá estar descansando sobre su base ó invertido, según que el gas sea mas ó menos denso que el aire. Así que se juzga que este ha sido expulsado por completo, se quita el tubo y se tapa el frasco. Pesándole en seguida lleno de cloro, sea P su peso y p si está lleno de aire: la diferencia $P - p$ es evidentemente el exceso del peso del cloro sobre el del aire á igual volúmen. Pero como la capacidad del frasco es conocida, se deduce el peso del aire que contiene, y este peso agregado á la diferencia $P - p$ será el del cloro. Ya no queda mas que dividir este peso por el del aire, si bien cuidando de hacer las correcciones de temperatura y de presión necesarias para reducir los dos pesos al mismo volúmen, á la temperatura de cero y á la presión de 760^{mm}.

Densidades de los gases á cero y á la presión de 0^{mm}, 760, sirviendo de unidad la del aire.

Aire.	1.0000	Acido sulfídrico.	4.1912
Hidrógeno.	0.0693	Acido clorhídrico.	4.2472
Hidrógeno protocarbonado.	0.559	Protóxido de nitrógeno.	1.5269
Gas amoníaco.	0.5967	Acido carbónico.	1.5290
Oxido de carbono.	0.9569	Cianógeno.	4.8064
Nitrógeno.	0.9714	Acido sulfuroso.	2.2474
Bióxido de nitrógeno.	1.0388	Cloro.	3.4216
Oxígeno.	1.1056	Acido yodhídrico.	4.443

325. Pesos específicos de los gases con relación al agua. — Se vió ya (133) que el peso específico del aire respecto al agua es el cociente que resulta de dividir el peso de un litro de aire á cero por el de la misma cantidad de agua á 4°, ó sea $\frac{1^{\text{gr}}, 293}{1000} = 0,001293$. En cuanto á los pesos específicos de los demás gases relativamente al agua, se determinan multiplicando las densidades antes obtenidas por el número 0,001293. En efecto, si representamos por a el peso de un litro de aire á cero y á la presión de 760^{mm}, y por a' el de un litro de gas cualquiera, de hidró-

geno, por ejemplo, en las mismas condiciones de temperatura y presion, el peso específico del aire con relacion al agua es $\frac{a}{1000}$, y el del hidrógeno respecto del aire $\frac{a'}{a}$, es decir, el número 0,0693 contenido en la tabla anterior. Por lo tanto, el producto de las fracciones

$$\frac{a}{1000} \times \frac{a'}{a} = \frac{a'}{1000},$$

es el peso específico del hidrógeno con relacion al agua.

El uso en los cálculos del peso específico de los gases con relacion al agua, presenta la ventaja de dar inmediatamente en kilogramos el peso del litro del gas que se considera. Por ejemplo, si en el cálculo precedente se multiplica el número 0,0693, que representa el peso específico del hidrógeno relativamente al aire, por el número 0,001293, que es el peso específico del aire con relacion al agua, el producto $0^{\text{m}}0,0000896 = 0^{\text{g}}0,0896$ es el peso de un litro de hidrógeno á cero y á la presion de 760 milímetros.

CAPÍTULO V.

CAMBIOS DE ESTADO: VAPORES.

326. Fusion: sus leyes.—Entre los varios fenómenos que presentan los cuerpos que se hallan bajo la influencia del calor solo nos hemos ocupado hasta ahora de su dilatacion. Pero aun cuando no fijemos la atencion mas que en los sólidos, es fácil reconocer que esta tiene un límite. En efecto, la experiencia enseña que si un cuerpo se va calentando gradualmente, llega un momento en que la fuerza viva del calor supera á la cohesion (77*, A), originándose entonces un nuevo fenómeno, la *fusion*: es decir, el tránsito del cuerpo del estado sólido al líquido.

Sin embargo, hay muchas sustancias, como el papel, la madera, la lana y ciertas sales, que no se funden por la accion de una alta temperatura, sino que se descomponen. Entre todos los cuerpos simples, solo se conoce uno, que es el carbono, que no se haya fundido hasta ahora, á pesar de haberle sometido á los mas intensos focos de calor. Con todo, el Sr. Despretz consiguió, sometiéndolo á la accion de una corriente eléctrica muy poderosa, reblandecer este cuerpo hasta ponerlo flexible, lo cual indica ya un estado próximo á la fusion.

La experiencia demuestra que la fusion de los cuerpos se halla constantemente sujeta á las dos leyes siguientes:

- 1.° *Todo cuerpo entra en fusion á una determinada temperatura, invariable para cada sustancia, si la presion es constante.*
- 2.° *Sea cual fuere la intensidad de un mantial de calor, desde el momento en que empieza la fusion, cesa de subir la temperatura, permaneciendo estacionaria hasta que termina por completo.*

Temperaturas de fusión de diversas sustancias.

Protóxido de nitrógeno.	- 400°	Azufre.	+ 111°
Acido carbónico.	58	Estaño.	228
Mercurio.	39	Bismuto.	264
Bromo.	- 20	Plomo.	326
Hielo.	0	Tálio.	290
Cloruro de calcio hidratado.	+ 29	Zinc.	360
Sebo.	33	Antimonio.	432
Fósforo.	44	Bronce.	900
Acido márgárico.	57	Plata.	1000
Potasio.	58	Fundicion blanca.	1400
Estearina.	60	gris.	1200
Cera amarilla.	61	Paladio.	1200
Cera blanca.	69	Oro.	1250
Acido esteárico.	70	Aceró.	1350
Sodio.	90	Hierro dulce.	1500
Aleacion de Darcel (1 de plomo, 1 de estaño y 4 de bismuto).	94	Platino.	1910 á 2000
		Iridio.	2500

El Sr. Hopkins, en Inglaterra, ha probado que la temperatura de fusión es mayor á medida que aumenta la presión. Los cuerpos sobre los cuales ha experimentado son el azufre, la cera, la estearina y la esperma de ballena. El Sr. W. Thomson ha observado lo contrario respecto al hielo; es decir, que su temperatura de fusión decrece cuando aumenta la presión. Vemos, pues, que la temperatura de fusión, para un mismo cuerpo, no es fija, sino que varía con la presión.

327. Calor latente.—Acabamos de ver (326, 2.ª) que al pasar un cuerpo del estado sólido al líquido, su temperatura permanece constante é igual á la de fusión mientras se verifica el fenómeno, cualquiera que sea la intensidad del origen calorífico. Dedúcese de aquí que el calor comunicado al cuerpo se consume todo en dar á las moléculas la orientación y el movimiento vibratorio necesarios á la fluidez, ó lo que es lo mismo, en comunicar al cuerpo una nueva fuerza viva (37). Este calor, que así se resuelve en trabajo interior, se pierde entre tanto como *calor sensible*, pues no actúa sobre el termómetro: por esta razón recibe el nombre de *calor de fusión ó calor latente*.

El siguiente experimento es muy adecuado para dar una idea exacta de lo que debe entenderse por calor latente. Si mezclamos primero 1 kilogramo de agua á cero con el mismo peso de agua á 79°, se obtienen inmediatamente 2 kilogramos de agua á 39°,5, es decir, á una temperatura media entre la de los dos líquidos mezclados, conforme podia preverse fácilmente, supuesto que ambos eran de igual naturaleza, é igual también su cantidad. Pero si mezclamos 1 kilogramo de hielo machacado con un peso idéntico de agua á 79°, al instante se funde el hielo obteniéndose 2 kilogramos de agua á cero. Vemos, pues, que sin cambiar de temperatura, y únicamente para fundirse, absorbe 1 kilogramo de hielo la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 79° 1 kilogramo de agua. Esta cantidad de calor representa, pues, el calor de fusión del hielo ó el calor latente del agua.

Cada líquido posee distinto calor latente, el cual se determina experimentalmente, según luego veremos (394).

328. Disolución.—Se dice que un cuerpo se *disuelve* cuando se lícua por efecto de la afinidad que se ejerce entre sus moléculas y las de un líquido. La goma arábiga, el azúcar y la mayor parte de las sales se disuelven en el agua.

Durante la disolución, lo mismo que mientras se efectúa la fusión,

desaparece una cantidad mas ó menos considerable de calor latente, circunstancia que explica por qué las disoluciones de las sales determinan, en general, un descenso de temperatura. Con todo, se observa en ciertas disoluciones que, en vez de bajar, sube la temperatura, dependiendo esto de que se producen dos efectos simultáneos y contrarios. Es el primero el tránsito de sólido á líquido que ocasiona un descenso de temperatura; y el segundo, la combinacion del cuerpo disuelto con el líquido, que, como toda combinacion química, determina un desprendimiento de calor. Por lo tanto, segun que domine alguno de estos dos efectos, ó que se compensen, así se dejará sentir frio ó calor, ó bien permanecerá constante la temperatura.

329. Solidificacion: sus leyes. — La *solidificacion* ó *congelacion* es el tránsito de un cuerpo del estado líquido al sólido. Este fenómeno se halla sometido siempre á las dos leyes siguientes, que son recíprocas de las de la fusion, y se patentizan experimentalmente:

1.^a *La solidificacion se efectúa en cada cuerpo á una temperatura fija, que es precisamente la de su fusion.*

2.^a *Desde el momento en que principia la solidificacion, hasta que termina por completo, la temperatura del líquido permanece estacionaria.*

Depende esta segunda ley de que el calor latente durante la fusion reaparece al efectuarse la solidificacion; en cuanto á la primera puede ser modificada por varias causas (333).

Hay algunos líquidos, como el alcohol y el éter, que no se solidifican, aunque se les someta á los frios mas intensos. Sin embargo, merced al enfriamiento producido por una mezcla de protóxido de nitrógeno líquido, ácido carbónico sólido y éter, consiguió Despretz dar al alcohol tal consistencia, que pudo volver la vasija que lo contenia sin que el líquido se vertiese.

330. Cristalización. — Por punto general, los cuerpos que pasan lentamente del estado líquido al sólido, afectan determinadas formas geométricas, llamadas *cristales*, como tetraedros, cubos, prismas, romboedros, etc. Si un cuerpo en estado de fusion, tal como el azufre ó el bismuto, se solidifica, se dice que la cristalización se efectúa por la *via seca*; mas si aquel se halla disuelto en un líquido, se dice que tiene lugar por la *via húmeda*. Dejando que se evaporen lentamente los líquidos que tienen sales en disolucion, se consigne que estas cristalicen. La nieve, el hielo naciente y las sales, nos ofrecen ejemplos de cristalización.

331. Formacion del hielo. — El agua destilada se solidifica á cero, tomando entonces el nombre de *hielo*; pero este fenómeno se verifica con lentitud y luego veremos (333) las varias causas que pueden retardar la congelacion del agua.

El hielo presenta el singular fenómeno de ser menos denso que el agua; pues, en efecto, vimos ya que este líquido no se contrae por el enfriamiento sino hasta 4° (313), aumentando despues de volúmen á partir desde dicho punto hasta cero. Este aumento de volúmen persiste y crece aun en el acto de la congelacion, de manera que el volúmen del hielo á cero es 1,075 veces el del agua á 4°. Por efecto de esta dilatacion, la densidad del hielo es solo 0,930 de la del agua; así es que flota en la superficie de este líquido.

El aumento de volúmen que adquiere el hielo al formarse, va acompañado de una gran fuerza expansiva, que hace estallar las vasijas que lo contienen. Las piedras que se resquebrajan ó parten despues de una

helada, lo efectúan á causa del agua que despues de penetrar en sus poros se congela en ellos.

Para demostrar el fisico inglés Williams la fuerza expansiva del hielo, colocó, en una atmósfera á muchos grados bajo cero, una bomba llena de agua, despues de haber cerrado sólidamente su orificio con un tapon de madera. En el momento de la congelacion fué lanzado el tapon con fuerza á una gran distancia, formándose un reborde de hielo alrededor del orificio.

No es el agua la única sustancia que aumentando de volúmen al solidificarse sea mas densa en el estado líquido que en el estado sólido; el hierro fundido, el bismuto y el antimonio presentan el mismo fenómeno.

Otras sustancias, por el contrario, tales como el mercurio, el fósforo, el azufre, la estearina y la cera, se contraen al solidificarse.

332. Regelacion del hielo. — Es el fenómeno que presentan dos trozos de hielo de soldarse uno á otro al ponerse en contacto, aun cuando floten en agua bastante caliente para no poder aguantar en ella la mano. Faraday fué el primero que en 1860 señaló la regelacion del hielo, cuyo fenómeno le estudiaron despues Thomson, Forbes y Tyndall, habiéndose propuesto diferentes hipótesis para explicarle.

El Sr. Tyndall observa que durante la fusion de un pedazo de hielo, las moléculas de su superficie están libres por la parte exterior y fuera de la accion coercitiva de las inmediatas interiores del mismo cuerpo; mas cuando se ponen en contacto dos superficies fundentes, dejan de ser tales superficies por hallarse entonces trasportadas virtualmente al centro del hielo, y como sus moléculas pierden la libertad de pasar al estado líquido, se ponen en equilibrio de movimiento con las que están alrededor, resultando de esto la regelacion.

La facilidad y prontitud con que dos fragmentos de hielo se sueldan mutuamente, permite amoldar una masa dada de hielo en la forma que se quiera, mediante una presion mas ó menos fuerte. Por ejemplo, si se la comprime entre dos moldes hemisféricos, hay primero ruptura en fragmentos mas pequeños, que en breve se sueldan unos á otros; esforzando la presion, hay de nuevo fractura en partes aun menores, y despues regelacion, y así sucesivamente, hasta que se llega, si la presion es suficiente, á una bola de hielo compacta y trasluciente.

El Sr. Tyndall ha hecho una feliz aplicacion de la moldeadura del hielo por presion á la teoría de los ventisqueros en los Alpes.

333. Causas que retrasan la congelacion de los líquidos: sobrefusion. — Varias son las causas que pueden influir en los líquidos y disminuir la temperatura de su congelacion, á saber: las sustancias disueltas, la falta de aire ó de cualquier otro gas en disolucion, una completa inmovilidad, una gran agitacion y un exceso de presion.

Se da el nombre de *sobrefusion* á este fenómeno del descenso de la temperatura de solidificacion de los líquidos por una de las citadas causas. Se observó primero en el agua, en la cual es muy notable, y tambien se encuentra en otros líquidos.

La influencia de las sales en disolucion se manifiesta en el agua del mar, que no se congela hasta $-2^{\circ},5$. Asimismo, si se hierve una disolucion saturada de sulfato de sosa en un tubo de vidrio largo y estrecho para expulsar de él el aire, se le cierra despues á la lámpara para impedir su entrada, y se enfria la disolucion, no cristaliza la sal, á pesar

de haber saturacion; pero si se rompe la punta del tubo, entra el aire y al instante cristaliza la sal.

En este último experimento influyen simultáneamente la sustancia disuelta y la privacion de aire, bastando que el agua no contenga aire y esté completamente inmóvil para que baje muchos grados su punto de congelacion. En efecto, habiendo puesto Gay-Lussac una probeta llena de agua destilada en una mezcla frigorifica, y colocado todo ello bajo la campana de la máquina neumática para que se desprendiese el aire, vió descender el agua hasta -12° y aun más, sin solidificarse; pero si entonces se mueve ligeramente la masa líquida, parte de ella se congela al instante, y se observa el extraordinario fenómeno de que la parte que queda líquida se pone en seguida á cero. Esta elevacion de temperatura manifiesta que la fuerza viva comunicada á las moléculas al pasar un cuerpo del estado sólido al estado líquido (327) se trasforma en calor en el fenómeno inverso de pasar del estado líquido al sólido.

El azufre, que se funde y congela á 111° , queda líquido hasta la temperatura ordinaria, cuando su enfriamiento se opera lentamente y en reposo. Lo mismo sucede con el fósforo, que se solidifica á 44° , y en el agua perfectamente tranquila puede permanecer líquido hasta los 22° . Si en este estado se toca el fósforo fundido con un pedazo de fósforo sólido, comienza en seguida la solidificacion por el punto de contacto y recorre rápidamente toda la masa líquida. El Sr. Gernez ha observado que se determina tambien la solidificacion de todas las sustancias que se hallan á la temperatura de sobrefusion frotando mutuamente dos cuerpos sólidos en la masa fundida, ó bien un cuerpo sólido contra las paredes de los tubos donde se hallen los cuerpos en fusion.

Tambien puede oponerse á la congelacion de los líquidos una agitacion muy rápida, así como cualquiera otra accion que, estorbando á las moléculas en su movimiento, no las permita agruparse con las condiciones necesarias al estado sólido. De este modo ha podido Despretz enfriar el agua en tubos muy capilares hasta -20° sin congelarse. Este experimento puede servir para explicar cómo es que las plantas en ciertos límites resisten las heladas, lo cual consiste en que los vasos que contienen la sávia son muy capilares.

Finalmente, el Sr. Boussingault ha probado durante el invierno de 1870 y 1871, que una gran compresion impide la congelacion del agua, sirviéndose al efecto de un cañon de acero cuyas paredes tenian 8^{mm} de espesor y podian resistir la presion de algunos centenares de atmósferas. Colocada en su interior una bala de acero, y lleno completamente de agua el cañon, le tapó herméticamente por medio de un tornillo de presion. Abandonado todo durante tres dias y otras tantas noches á una temperatura entre -12° y -20° , aun persistia el agua en el estado líquido, lo cual se conocia por el sonido de la bala cuando se agitaba el cañon. Explícase este fenómeno por la resistencia que el agua allí encerrada encuentra á la dilatacion que precede siempre á su congelacion.

334. Mezclas frigorificas. — El estado latente del calor en los cuerpos al pasar de sólidos á líquidos (327), se ha utilizado para producir frios artificiales mas ó menos intensos. Obiténesese este resultado mezclando sustancias que tengan entre sí afinidad, siendo sólida por lo menos una de ellas, como son el agua, el hielo ó un ácido cualquiera mezclados cada uno con una sal. En tal caso la afinidad química acelera la fusion, y la parte fundida quita al resto de la mezcla gran cantidad de calor que se

hace latente, resultando de aquí un descenso de temperatura á veces muy considerable.

La siguiente tabla indica las proporciones y la naturaleza de las sustancias que pueden emplearse para obtener un determinado descenso de temperatura.

SUSTANCIAS,	PARTES EN PESO.	ENFRIAMIENTO.
Sulfato de sosa.	8	+ 10° á - 17°
Acido clorhidrico.	5	
Hielo machacado ó nieve.	2	+ 10° á - 19°
Sal marina.	1	
Sulfato de sosa.	5	+ 10° á - 19°
Acido nitrico diluido.	2	
Sulfato de sosa.	6	+ 10° á - 26°
Nitrato de amoniac.	5	
Acido nitrico diluido.	4	
Fosfato de sosa.	9	+ 10° á - 29°
Acido nitrico diluido.	4	
Cloruro de calcio en polvo.	4	+ 10° á - 31°
Hielo machacado ó nieve.	5	

Las mezclas frigoríficas se utilizan frecuentemente en Química, en Física, en los procedimientos industriales y en la economía doméstica. Hace ya algun tiempo que con el nombre de *garapiñera de familia* se fabrica un aparatito para obtener hielo en todas las estaciones del año por medio de una disolucion de sulfato de sosa en ácido clorhidrico, bastando 6 kilogramos de esta sal y 5 de ácido para obtener en una hora 5 ó 6 kilogramos de hielo. Consiste el aparato en un cilindro de metal que contiene otros tres concéntricos; en el del centro se pone el agua que debe congelarse; sigue luego la mezcla frigorífica; á continuacion otra cantidad de agua, y finalmente en el departamento exterior se pone un cuerpo poco conductor, v. g., algodón, para evitar el paso del calor que viene del exterior. El mejor modo de utilizar una mezcla frigorífica es irla formando sucesivamente.

VAPORES: MEDIDA DE SU TENSION.

335. **Vapores.** — Se dijo ya (129) que se da el nombre de *vapores* á los flúidos aeriformes en que, por la accion del calor, se trasforman muchos líquidos, tales como el éter, el alcohol, el agua y el mercurio. Llámense líquidos *volátiles* los que poseen la propiedad de poder pasar al estado aeriforme, y *fijos* los que no dan vapores á ninguna temperatura, como los aceites grasos. Hay cuerpos sólidos, como el hielo, el arsénico, el alcanfor y las materias odoríferas, que los producen inmediatamente sin pasar por el estado líquido.

Algunos líquidos, como el éter y el alcohol, dan vapores á todas las temperaturas; el agua se vaporiza tambien á muchos grados bajo cero, y el mercurio á la temperatura ordinaria y aunque sea mas baja. Para probarlo, se cierra un frasco, en que se ha echado un poco de este metal, con un tapon cuya cara inferior está cubierta de una hoja de oro, la cual

al cabo de algunos dias se pone blanca por efecto de los vapores mercuriales. El ácido sulfúrico no se vaporiza á la temperatura ordinaria aun en el vacío, pues si se ponen debajo de la campana de la máquina neumática dos vasijas, una con ácido sulfúrico y con agua de barita la otra, y se hace el vacío, mientras la temperatura es inferior á 30°, no se enturbia el agua, señal de que no se produce vapor ácido; pues de no suceder así se disolveria al instante, habria formacion de sulfato de barita, y como esta sal es eminentemente insoluble, se enturbiaria el líquido.

Los vapores son transparentes como los gases, y por lo comun incoloros; solo hay un corto número de líquidos coloreados cuyos vapores lo sean tambien.

336. Vaporizacion. — El paso de un cuerpo de líquido á vapor se designa con el nombre general de *vaporizacion*; pero se entiende especialmente por *evaporacion*, cualquiera produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido, y por *ebullicion*, la formacion rápida de vapor en su misma masa. Pronto veremos (348) que bajo la presion ordinaria de la atmósfera la ebullicion, y lo mismo la fusion, solo se producen á una temperatura determinada. No sucede así en la evaporacion, que se verifica en un mismo líquido á temperaturas muy diversas, si bien cesa al parecer toda vaporizacion mas allá de cierto enfriamiento. El mercurio, por ejemplo, no da ya vapor á -10° , y el ácido sulfúrico á los 30° .

Mas adelante (357) se verá cómo durante la vaporizacion, lo mismo que durante la fusion (327), desaparece en estado latente una gran cantidad de calor, la cual es equivalente á la de trabajo consumida en el acto de la vaporizacion para aumentar la fuerza viva de las moléculas (267).

337. Fuerza elástica de los vapores. — Los vapores, lo mismo que los gases, poseen una fuerza elástica, en virtud de la cual ejercen en las paredes de las vasijas que los contienen una presion mas ó menos considerable. Para demostrar la tension de los vapores, se llena de mercurio hasta su mitad un tubo de vidrio encorvado en forma de sifon (figura 387); y haciendo pasar luego una gota de éter á la rama corta, que está cerrada, se introduce el tubo en un baño de agua cuya temperatura sea 45° próximamente. Entonces baja lentamente el mercurio en la rama menor, y el espacio AB se llena de un gas en un todo parecido al aire, y con una fuerza elástica que equilibra evidentemente la columna de mercurio CD, mas la presion atmosférica que se ejerce en D; este gas es seguramente el vapor de éter. Si se enfria el agua de la vasija, ó lo que es igual, si se saca el tubo del baño, se observa que va desapareciendo rápidamente el vapor que llena el espacio AB, volviéndose á formar la gota de éter. Si, por el contrario, se calienta mas el agua del baño, el nivel del mercurio desciende aun mas del punto B, lo cual indica un aumento de tension.



Fig. 587.

338. Formacion de los vapores en el vacío. — En el experimento anterior el paso al estado de vapor se efectúa con lentitud, sucediendo tambien otro tanto cuando se expone al aire libre un líquido volátil, porque en ambas circunstancias la presion atmosférica es un obstáculo para la

vaporización; pero no sucede así cuando los líquidos se exponen en el vacío, pues entonces, no encontrando ya resistencia alguna la fuerza elástica de los vapores, es instantánea su formación; demuéstrese esto introduciendo varios tubos barométricos en una misma cubeta (figura 388). Llenos todos previamente de mercurio, se deja uno, el A por ejemplo, para que sirva de barómetro, y luego se introducen algunas gotas de agua, de alcohol y de éter, en los tubos B, D, E respectivamente. En el momento mismo en que estos líquidos penetran en la cámara barométrica de cada uno de los tubos, desciende el nivel del mercurio, conforme se ve en la figura. La causa de la depresión no puede ser el peso del líquido, porque este no representa más que una pequeñísima fracción del peso del mercurio desalojado; de suerte que debe admitirse para cada líquido una producción instantánea de vapor, cuya fuerza elástica ha repelido la columna mercurial.

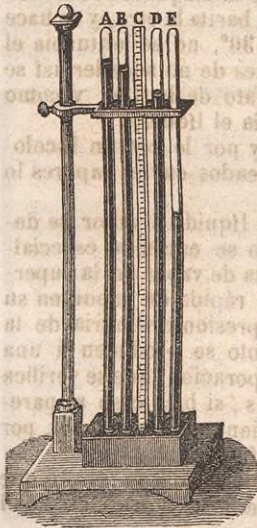


Fig. 388.

Este experimento prueba además que no es igual la depresión en los tres tubos, sino que es mayor en el tubo en que se puso el alcohol que en el del agua, y mayor aun que en ambos en el tubo donde se introdujo el éter. Desde luego, pues, podemos sentar las dos leyes siguientes sobre la formación de los vapores:

- 1.ª Los líquidos se vaporizan instantáneamente en el vacío.
- 2.ª Los vapores de líquidos diferentes no poseen la misma fuerza elástica á igual temperatura.

Por ejemplo, á 20°, la tensión del vapor de éter es casi 25 veces mayor que la del agua.

339. Vapores saturados: máximo de tensión.—Siempre que en el tubo de un barómetro se introduce en pequeña cantidad un líquido volátil, tal como el éter, se vaporiza instantáneamente por completo, pero no de manera que la columna de mercurio se deprima todo lo que es susceptible; porque si se hace entrar en la cámara barométrica una nueva cantidad de éter, aunque sea muy pequeña, se observa que aumenta la depresión. Pero si se continúa de esta manera, llega un momento en que el éter que entra en el tubo deja de vaporizarse, permaneciendo en el estado líquido. Esto nos indica que, para una temperatura determinada, hay un límite respecto á la cantidad de vapor que puede formarse en un espacio dado, circunstancia que se expresa diciendo que dicho espacio se halla entonces *saturado*.

Obsérvese además, que desde el momento en que cesa la vaporización del éter, sucede lo mismo á la depresión del mercurio; de suerte que existe también un límite para la tensión del vapor, límite que, según demostraremos en breve (342), varía con la temperatura, pero que, dada esta, es independiente de la presión.

Para evidenciar que en un espacio cerrado, saturado de vapor y que contiene líquido en exceso, cuya temperatura es constante, hay un *máximo de tensión*, del cual no puede pasar el vapor, sea cual fuere la pre-

sion, se emplea un tubo barométrico introducido en una cubeta bastante honda (fig. 389). Haciendo pasar á dicho tubo, lleno ya de mercurio, una cantidad de éter suficiente, no solo para que se sature la cámara barométrica, sino para que aun quede líquido en exceso, se observa en él la altura del mercurio por medio de una escala fija en el mismo. Ora se introduzca mas el tubo, lo cual tiende á comprimir el vapor, ora se eleve, propendiendo así á enrarecer este último, siempre permanece constante la altura de la columna mercurial; la tension del vapor es, por lo tanto, igual en ambos casos, supuesto que ni aumenta ni disminuye la depresion. Dedúcese de este hecho que, cuando el vapor contenido en un espacio saturado está comprimido, vuelve en parte al estado líquido; y que si, por el contrario, disminuye la presion, se vaporiza parte del líquido que quedó en exceso, saturándose de nuevo el espacio ocupado por el vapor; pero en ambos casos permanecen invariables la tension y la densidad de este último.

340. Vapores no saturados.—De lo expuesto se deduce que los vapores se presentan en dos estados enteramente distintos, segun se hallen ó no saturados. En el primer estado, es decir, en el de su saturacion, que es cuando se encuentran en contacto con el líquido que los origina, difieren completamente de los gases, puesto que respecto á una temperatura dada, no pueden ni comprimirse, ni dilatarse, permaneciendo constante su fuerza elástica y su densidad.

En el segundo estado, por el contrario, los vapores no saturados, que no se encuentran en contacto con el líquido que los origina, pueden compararse completamente con los gases, cuyas propiedades todas poseen. En efecto, si repetimos el experimento anteriormente descrito (fig. 389), introduciendo tan solo en el tubo una pequeña cantidad de éter de suerte que el vapor que origine no alcance el estado de saturacion, y hecho esto se levanta un poco el tubo, se observa que asciende el nivel del mercurio, lo cual indica que la fuerza elástica del vapor ha disminuido; pero si por el contrario, se le hunde más, descende en el mismo el nivel del líquido. Vemos, pues, que el vapor en este caso actúa enteramente como un gas, disminuyendo su tension cuando aumenta el volúmen, y creciendo aquella cuando este disminuye; y como en los dos casos que hemos considerado, se observa que el volúmen que adquiere el vapor se halla en razon inversa de la presion, dedúcese inmediatamente que *los vapores no saturados se hallan sujetos á la ley de Mariotte.*

Finalmente, si se calienta un vapor no saturado, se observa en el aumento de su volúmen el mismo orden que en el de los gases, y que el número 0,00367, que representa el coeficiente de dilatacion del aire, casi puede tomarse como tal para los vapores.

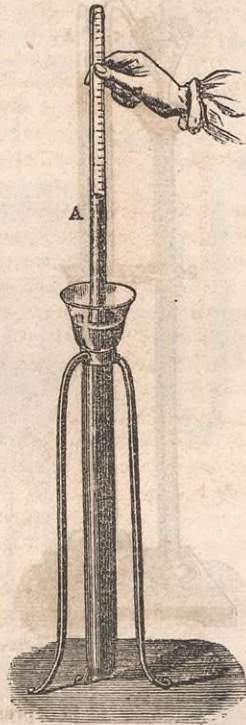


Fig. 389.

Resumiendo diremos que, en vista de lo que antecede, los vapores no saturados son completamente semejantes á los gases, y que pueden aplicarse todas las fórmulas relativas á la compresibilidad y dilatación de estos últimos (159 y 316). Pero no debe olvidarse que existe siempre un límite de presión ó de enfriamiento, respecto á los cuales los vapores no saturados pasan al estado de saturación, y que entonces alcanzan un máximo de tensión y de densidad, el cual no puede excederse sino cuando hallándose los vapores en contacto con los líquidos que los originan, aumenta su temperatura.

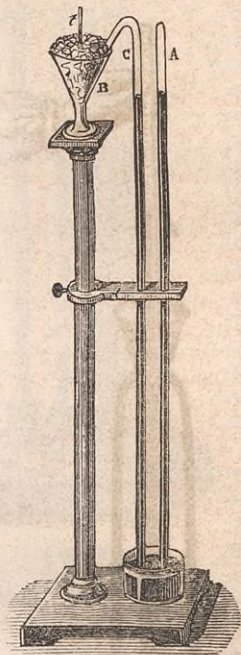


Fig. 390.

A	0° la depresión es.	4mm,60
»	— 10.	1,96
»	— 20.	0,84
»	— 30.	0,56

Estas depresiones dependen necesariamente de la tensión del vapor en la cámara barométrica BC y demuestran que, á temperaturas muy bajas, hay todavía vapor de agua en el aire.

En este experimento las partes B y C de la cámara barométrica donde está el vapor, no participan ambas de la temperatura de la mezcla frigorífica; pero pronto veremos (346) que la tensión de aquel es igual en ambas, y correponde siempre á la temperatura mas baja de las dos que se consideran.

342. Tensión del vapor de agua entre cero y 100 grados.—1.° *Procedimiento de Dalton.*—El físico inglés Dalton midió la fuerza elástica del vapor de cero á 100° por medio del siguiente aparato. Consiste este en dos tubos barométricos A y B (fig. 391) sumergidos en una vasija de hierro fundido, llena de mercurio y colocada en un hornillo: el barómetro B está completamente purgado de aire y de humedad; en el A existe una corta cantidad de agua, y ambos se encuentran dentro de un gran cilindro de vidrio lleno de este líquido; en el centro del mismo se ve un termómetro T, que mide la temperatura del agua. Calentando gra-

dualmente la vasija, y por consiguiente, el agua del cilindro, se vaporiza la que se halla en el tubo A, y á medida que aumenta la tension del vapor descende el mercurio. Anótase entonces de grado en grado, en una escala E, la depresion que se observa en el tubo A por bajo del nivel B, cuidando de reducir á cero en cada observacion la altura del mercurio en este tubo (312). Las diferencias de nivel observadas dan á co-

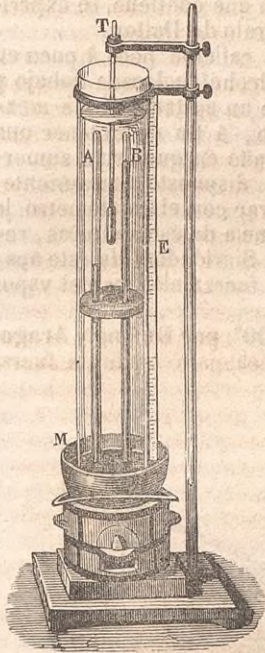


Fig. 391.

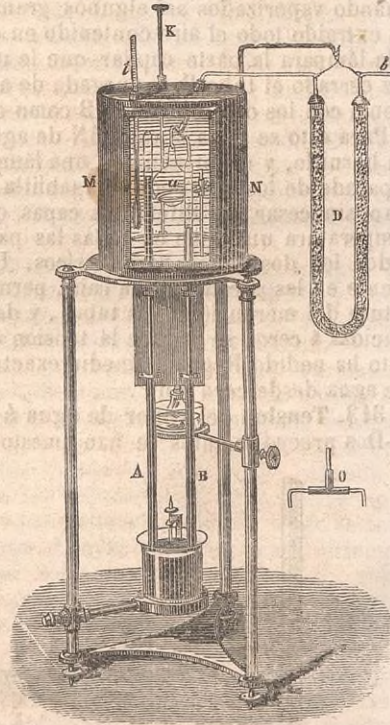


Fig. 392.

nocer las tensiones; de esta manera construyó Dalton por vez primera una tabla de las fuerzas elásticas del vapor de agua desde cero hasta 100 grados.

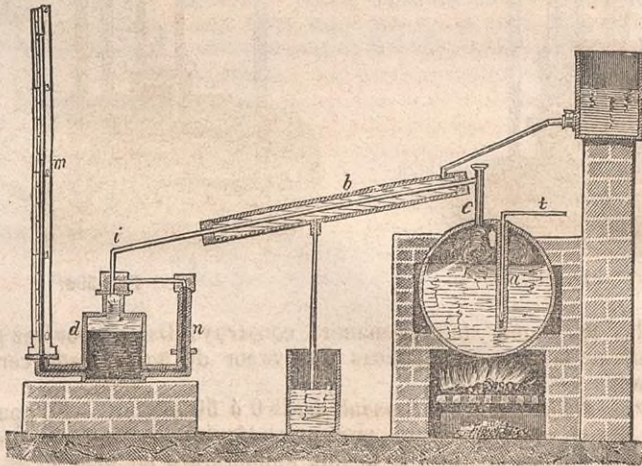
2. *Procedimiento del Sr. Regnault desde 0 á 50 grados.* — El aparato de Dalton ofrece poca exactitud, porque el líquido del cilindro no puede mantenerse precisamente á la misma temperatura en toda su altura; de suerte que ya no es exacta la temperatura del vapor. El Sr. Regnault modificó dicho aparato, reemplazando el cilindro por una caja de palastro MN (fig. 392) con dos orificios cilindricos en el fondo por donde entran las extremidades superiores de los tubos A y B, quedando allí sujetos por medio de unos ceñidores de goma elástica. El tubo de vapor B está unido á un globo *a*, por medio de otro de cobre de tres ramas, representado en O á la derecha del grabado; su tercera rama está pegada con mástic á un tubo de vidrio que enchufa en otro D, lleno de pomez

sulfúrico, el cual á su vez comunica con la máquina neumática por medio de un postrer tubo *b*.

Antes de asegurar los tubos en la caja, se introduce en el globo *a* una corta cantidad de agua, parte de la cual, calentando ligeramente el globo, pasa por destilacion al tubo *B*. Haciendo entonces el vacío con la máquina neumática, el agua va destilando continuamente del globo y tubo barométrico hácia el tubo *D*, donde se condensan los vapores. Cuando vaporizados así algunos gramos de agua, se conceptúa que se ha extraído todo el aire contenido en el tubo *B* y en el globo, se suelda á la lámpara la parte capilar que le une á la pieza de tres ramas. Una vez cerrado el tubo *B*, y purgada de aire el agua que contiene, se experimenta con los dos tubos *A* y *B* como con el aparato de Dalton.

Para esto se llena la caja *MN* de agua que se calienta poco á poco en un hornillo, y mejor aun con una lámpara de alcohol colocada debajo y separada de los tubos con una tablilla. Mediante un agitador *K* se mezclan sin cesar las diferentes capas del líquido, á fin de obtener una temperatura uniforme en todas las partes del baño en que están sumergidos los dos tubos barométricos. Un cristal dispuesto convenientemente en las paredes de la caja, permite observar con el catetómetro la altura del mercurio en los tubos, y de la diferencia de estas alturas, reducidas á cero, se deduce la tension del vapor. Sirviéndose de este aparato ha podido Regnault medir exactamente la fuerza elástica del vapor de agua desde cero á 50° .

343. Tension del vapor de agua á más de 100° , por Dulong y Arago.
—Dos procedimientos se han puesto en práctica para medir la fuerza



[Fig. 393.]

elástica del vapor de agua á temperaturas superiores á 100° , el uno por Dulong y Arago en 1830, y el otro por Regnault en 1844.

La figura 393 representa una seccion vertical del aparato de que se sirvieron los dos primeros con tal objeto, el cual consiste en una caldera *k* de cobre, de 80 litros de capacidad y de paredes muy resistentes. Dos cañones de fusil *a*, visible uno solo en nuestro dibujo, se sumergian

en el agua de la caldera, en cuyas paredes estaban sólidamente afianzados; estos cañones, cerrados por su parte inferior, estaban llenos de mercurio, en el cual se colocaban unos termómetros *t*, que daban á conocer la temperatura del agua y del vapor en la caldera. Medíase la tension del vapor por medio de un manómetro de aire comprimido *m*, igual al que describimos cuando tratamos de la ley de Mariotte (157, figura 229), graduado experimentalmente de antemano y adaptado á una cubeta de hierro fundido *d*, que contenia mercurio. Para conocer la altura de este líquido en la cubeta, se hallaba esta en comunicacion, por su boca y por su base, con un tubo de cristal *n*, en el cual el nivel era siempre igual al de la cubeta. Por último, un tubo de cobre *i* ponía en comunicacion la parte superior de la cubeta *d* con un tubo vertical *c*, que partía directamente de la caldera, y daba salida al vapor. El tubo *i* y la parte superior de la cubeta *d* estaban llenos de agua, que se conservaba constantemente á una baja temperatura, haciendo circular alrededor del tubo una corriente de agua fria, que fluía de un depósito representado á la derecha del dibujo.

Al desprenderse el vapor del tubo *c*, ejercía presión sobre el agua del tubo *i*; trasmitíase luego al agua y al mercurio de la cubeta *d*, y subía este último en el manómetro. Observando de grado en grado los termómetros y al mismo tiempo el manómetro, midieron así directamente Dulong y Arago hasta 24 atmósferas la tension del vapor de agua correspondiente á una temperatura dada, valuándola luego por el cálculo hasta 50.

344. Tension del vapor de agua segun una temperatura superior é inferior á 100°, por el Sr. Regnault.—El siguiente procedimiento debido al Sr. Regnault permite medir la tension del vapor, cuando su temperatura es superior ó inferior á 100°. Consiste en hacer hervir agua en una vasija cerrada, bajo una presión conocida, y medir luego la temperatura á la cual entra en ebullicion. Apoyándose luego en el principio de que, en el momento de efectuarse esta, la fuerza elástica del vapor que se desprende es precisamente igual á la presión que sufre el líquido (352), se conoce la tension del vapor y la temperatura correspondiente, lo cual resuelve el problema.

Consta el aparato de una vasija de cobre *C* (fig. (394), herméticamente cerrada y llena de agua hasta una tercera parte de su capacidad. Cuatro termómetros atraviesan la tapadera, quedando dos de ellos á la altura de las primeras capas de líquido y los otros dos en las inferiores. De la vasija *C* parte un tubo *AB*, que va á adaptarse á la boca de un globo de vidrio *M*, de 24 litros de capacidad y lleno de aire. Rodea al tubo *AB* un cilindro *D*, por el cual circula una corriente de agua fria que sale del depósito *E*. De la parte superior del globo *M* parten dos tubos que comunican, el uno con un manómetro de aire libre *O*, próximo al aparato, y el otro *HH'*, que es de plomo, con una máquina neumática ó con una bomba impelente, segun se quiera enrarecer ó comprimir el aire del globo. Por último, la vasija *K*, donde se halla el globo, está llena de agua á la temperatura ambiente.

Supongamos que se trata primero de medir la fuerza elástica del vapor de agua á una temperatura inferior á 100°. Para esto se fija el extremo *H'* del tubo de plomo en la platina de una máquina neumática, á fin de enrarecer el aire del globo *M*, y por consiguiente el de la vasija *C*. En seguida se calienta esta poco á poco, y entra en ebullicion el agua que contiene á una temperatura, tanto mas inferior á 100°, cuanto más se

ha enrarecido el aire, es decir, cuanto mas débil es la presión que se ejerce sobre el líquido. Por otra parte, al condensarse los vapores en el tubo AB, que según hemos dicho se mantiene constantemente frío, no aumenta la presión que primitivamente indicó el manómetro, y por

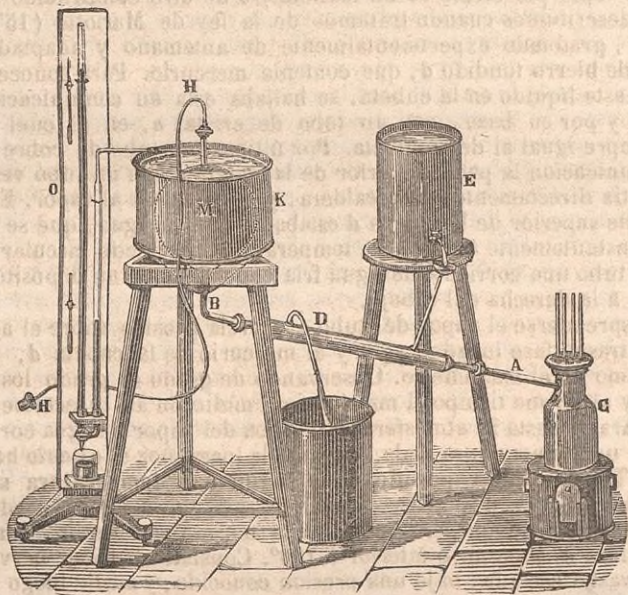


Fig. 394.

consiguiente la tensión del vapor durante la ebullición es igual á la presión que se ejerce sobre el líquido.

Consultando entonces por un lado el manómetro, y por otro los termómetros, se determina la tensión del vapor á una temperatura conocida. Dejando luego que entre un poco de aire en los tubos y en la vasija C, á fin de aumentar la presión, se efectúa una nueva observación, y así se prosigue hasta 100°.

Si se trata de medir la fuerza elástica del vapor á una temperatura superior á 100°, se pone el orificio H' en comunicación con una bomba impelente, por medio de la cual se somete el aire del globo y de la vasija C á presiones sucesivamente superiores á la de la atmósfera. Retárdase entonces la ebullición (352), bastando observar simultáneamente el manómetro y los termómetros para conocer la tensión del vapor á una temperatura superior á 100°.

Las siguientes tablas dan á conocer la tensión del vapor de agua, una desde -10 á 100°, y la otra desde 100 á 230°. Los números de la primera tabla se han obtenido por medio del aparato que acabamos de describir.

La segunda se ha calculado por la fórmula de interpolación,

$$\log. F = a + b\alpha^t + c\beta^t,$$

en la cual F representa la fuerza elástica del vapor, t su temperatura, y a , b , c , α , β , valores constantes que se calculan principiando por determinar cinco fuerzas elásti-

cas, es decir, cinco valores de F, correspondientes á temperaturas conocidas, lo cual da origen á tantas ecuaciones como incógnitas.

Tensiones del vapor de agua entre — 10 y 100°, segun el Sr. Regnault.

TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.
— 10°	2,095	20°	17,591	50°	91,982	80	554,645
— 5	3,151	25	23,550	55	117,478	85	453,041
0	4,600	30	31,548	60	148,791	90	525,450
+ 5	6,534	35	41,827	65	186,945	95	635,778
10	9,165	40	54,906	70	255,095	100	760,000
15	12,699	45	71,591	75	288,517		

Tensiones, en atmósferas, entre 100° á 250°,9, segun el Sr. Regnault.

TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,5	25
133,9	3	180,5	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	215,6	20	228,9	27
165,5	7	195,5	14	215,5	21	250,9	28

Estas tablas manifiestan que la fuerza elástica del vapor de agua crece siguiendo una ley mucho mas rápida que la temperatura; pero hasta ahora se ignora cuál sea esta ley.

La experiencia enseña, además, que las sustancias en disolucion, como las sales y los ácidos, disminuyen, en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de los vapores, y tanto más, cuanto mas concentrada es la disolucion.

345. Tension de los vapores de diversos líquidos. — El vapor de agua es el único que fijó al principio la atencion de los físicos por la importancia de sus muchas aplicaciones; pero Regnault, por los mismos procedimientos que le sirvieron para medir la fuerza elástica del vapor de agua, ha determinado tambien la de los vapores de cierto número de líquidos. La siguiente tabla, donde se hallan algunos de los resultados obtenidos por este sábio, manifiesta la diferencia de tension que á igual temperatura presentan los vapores de algunos de ellos.

LÍQUIDOS.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros	LÍQUIDOS.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros.
Mercurio.	0	0,02	Eter.	-20	9
	50	0,11		0	182
	100	0,74		60	1728
		100		4920	
Alcohol.	0	13	Acido sulfuroso.	-20	479
	50	220		0	1165
	100	1685		60	8124
Sulfuro de carbono.	-20	45	Amoniaco.	-50	441
	0	152		-20	4275
	60	1164		0	7709
	100	5529			

346. Tension en dos vasijas comunicantes á distinta temperatura.
—Cuando se ponen en comunicacion dos vasijas cerradas que contienen un mismo líquido á distintas temperaturas, la tension simultánea de vapor que se establece entre ambas no es, como pudiera creerse, la ten-

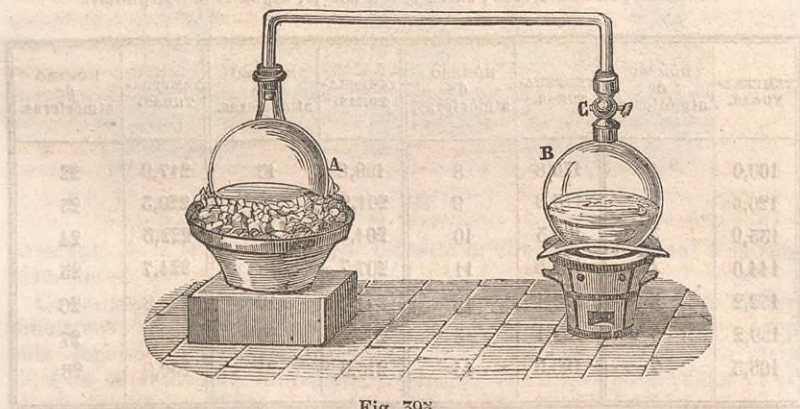


Fig. 395.

sion media entre las correspondientes á cada una de ellas. Sean, por ejemplo, dos globos, el uno A (fig. 395) que contiene agua á cero grados, por hallarse rodeado de hielo fundente, y el otro B, contiene el mismo líquido á 100°. Mientras estos dos globos no se comunican, la tension, en milímetros, es 4,6 en el primero, y 760 en el segundo, segun las tablas anteriores; pero luego que se establece la comunicacion, abriendo la llave C, el vapor del globo B se precipita en A, en virtud de su exceso de tension; pero como se va condensando inmediatamente, porque el último globo no pasa de cero, resulta que no puede adquirir el vapor, en el globo B, una tension superior á la del globo A, es decir, á la que corresponde á cero, surgiendo tan solo, por consiguiente, una destilacion de B hácia A sin aumentar nada la tension.

Podemos sentar, pues, el siguiente principio general: *Cuando dos vasijas que contienen el mismo líquido en exceso y á diferentes temperaturas, co-*

munican entre sí, la tensión del vapor es la misma en los dos, é igual á la tensión que corresponde á la temperatura mas baja.

347. Evaporacion: causas que la aceleran. — Se vió ya (336) que por *evaporacion* se entiende una produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido. Por efecto de una evaporacion espontánea se secan al aire libre las telas mojadas, y se vacía por completo, al cabo de cierto tiempo, una vasija destapada y llena de agua. A la evaporacion que se efectúa en la superficie de los mares, de los lagos, de los rios y del suelo, deben su origen los vapores que se encuentran en la atmósfera, condensándose en ella para constituir las nubes y resolverse luego en lluvia.

Cuatro son las causas que influyen en la rapidez de la evaporacion de un líquido, á saber: 1.^a la temperatura; 2.^a la cantidad de vapor del mismo líquido esparcido ya en la atmósfera ambiente; 3.^a la renovacion de esta atmósfera, y 4.^a la extension de la superficie de evaporacion.

El aumento de temperatura acelera la evaporacion por el exceso de fuerza elástica que determina en los vapores.

Para comprender la influencia de la segunda causa, obsérvese que la evaporacion de un líquido seria nula en un espacio saturado de vapor del mismo líquido, y que llegaria á su máximum en un aire completamente purgado de dicho vapor. Claro está que entre estos dos casos extremos varia la rapidez de la evaporacion, segun que la atmósfera ambiente se halle ya mas ó menos cargada de los mismos vapores.

En cuanto á la renovacion de esta atmósfera, se explica del mismo modo su efecto, porque si no se renueva el aire ó el gas que rodea al líquido, se satura muy pronto, cesando la evaporacion.

La influencia de la cuarta y última causa, es evidente por sí misma.

348. Ebullicion: sus leyes. — Llámase *ebullicion* una produccion rápida de vapor, bajo la forma de burbujas mas ó menos voluminosas, en la masa misma de un líquido.

Cuando se calienta un líquido, el agua por ejemplo, las primeras burbujas que aparecen por la parte inferior, no son mas que el aire que se hallaba disuelto y que se desprende; en seguida suben varias burbujitas de vapor de todos los puntos de las paredes ya calientes; mas, al cruzar las capas superiores, se condensan sin llegar á la superficie, por ser mas baja su temperatura: la formacion y condensacion sucesivas de estas primeras burbujas de vapor ocasionan el ruido que ordinariamente precede á la ebullicion. Elévanse, por último, gruesas burbujas que estallan en la superficie constituyendo el fenómeno de la ebullicion (fig. 396).



Fig. 396.

Todos los líquidos susceptibles de entrar en ebullicion están sujetos á las tres leyes siguientes, que pueden probarse experimentalmente:

- 1.^a La temperatura de ebullicion aumenta con la presion.
 2.^a Para una presion dada no principia la ebullicion hasta cierta temperatura, que varia segun los líquidos, pero que es siempre la misma para cada uno, supuesto en iguales condiciones de presion, fuerza y contacto con otros cuerpos.
 3.^a Sea cual fuere la intensidad del foco calorífico, la temperatura permanece estacionaria desde el momento en que principia la ebullicion.

Temperatura de ebullicion á la presion de 0^m.760.

Acido sulfuroso.	- 40°	Agua destilada.	100°
Eter clorhídrico.	+ 44	Esencia de trementina.. . . .	157
Acido sulfúrico anhidro.	25	Fósforo.	290
Eter sulfúrico puro.	35.5	Acido sulfúrico concentrado.	325
Sulfuro de carbono.	48	Mercurio (al termómetro de aire).	350
Cloroformo.	63.5	Azufre.	440
Alcohol.	79	Cadmio (Sainte-Claire Deville y Troost).	860
Bencina.	80	Zinc. (id.).	1040
Acido nítrico monohidratado.	86		

Varias son las causas que pueden influir en la temperatura de ebullicion de un líquido, á saber: las sustancias en disolucion, la naturaleza de las vasijas, la falta de aire ó de cualquier otro gas disuelto en el líquido, y la presion. Daremos á conocer sucesivamente los efectos de estas diferentes causas, en particular sobre el agua.

349. **Influencia de las sustancias en disolucion sobre la temperatura de ebullicion.**—Una sustancia disuelta en un líquido cuando aquella no es volátil, ó lo es menos que este último, retarda la ebullicion tanto mas, cuanto mayor es la cantidad de sustancia disuelta. El agua, que hierve á 100° cuando es pura, lo verifica á las temperaturas siguientes cuando se halla saturada de diversas sales:

El agua saturada de sal marina hierve á.	109°
— — de nitrato de potasa á.	116
— — de carbonato de potasa á.	153
— — de cloruro de calcio á.	179

Resultados análogos presentan las disoluciones ácidas; pero las sustancias que se hallan puramente en suspension, como las materias térreas, el serrin, etc., no aumentan la temperatura de ebullicion.

Conviene recordar aquí los experimentos del Sr. Rudberg, pág. 299, segun los cuales probó este sabio que, aun cuando la temperatura de ebullicion del agua sea superior á 100° por efecto de las sustancias que lleve disueltas, el vapor que se desprende está, sin embargo, á dicha temperatura, como con el agua pura, si la presion es de 0^m.76.

350. **Influencia de la naturaleza de las vasijas sobre la temperatura de ebullicion.**—Observó Gay-Lussac que en una vasija de vidrio hierve el agua á una temperatura mas alta que en una de metal, y atribuyó el fenómeno á la adhesion entre el agua y el vidrio. Suponiendo que el agua destilada hierva á 100°, en una vasija de cobre y á la presion de 0^m.76, resulta que, en igualdad de presion, dicho líquido no entra en ebullicion hasta 101° en un globo de vidrio; y si préviamente se le ha limpiado bien con ácido sulfúrico concentrado, ó con potasa, dicha temperatura puede llegar hasta 105° ó 106°. Sin embargo, basta poner un simple pedazo de metal en el fondo del globo para que se presente de nuevo la ebullicion á 100°, y desaparezcan al mismo tiempo los violentos

saltos que acompañan á la ebullicion de las disoluciones salinas ó ácidas en las vasijas de vidrio.

La temperatura del vapor, en conformidad con lo que se observa en las sustancias en disolucion, no experimenta variacion alguna por la que adquiere la del agua en las vasijas de vidrio, pues á la presion de $0^m,76$ dicha temperatura es aun de 100° , lo mismo que en los vasos de cobre.

351. Influencia de la carencia del aire sobre la temperatura de ebullicion. — Se vió ya (333) que cuando el agua está purgada de aire, su punto de congelacion puede retrasarse algunos grados; pues bien, la carencia de aire en dicho líquido influye tambien en su temperatura de ebullicion. Deluc fué el primero que observó que el agua falta de aire por la ebullicion, y encerrada en un matraz de cuello largo, podia sufrir la temperatura de 112° sin volver á hervir. En 1846 estudió el Sr. Donny, en Gand, el mismo fenómeno por medio de un tubo de vidrio AB (figura 397) encorvado en un extremo y terminado por el otro en una bola gruesa de igual materia y otra mas pequeña que se prolonga en punta

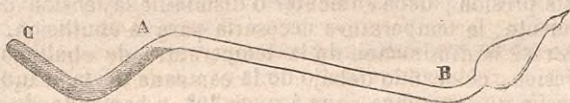


Fig. 397.

afilada. Antes de cerrar esta última se introduce agua en el tubo por el mismo procedimiento que se emplea para llenar el termómetro de alcohol (282), y despues se la hace hervir cierto tiempo para expulsar todo el aire del tubo y de las bolas. Soldando entonces á la lámpara la punta afilada, queda agua en la rama encorvada y solamente vapor á una tension muy débil en el tubo AB y en los globos. Si se introduce entonces la parte AC, que está llena de agua, en un baño concentrado de cloruro de calcio y se le calienta gradualmente, llega el baño á 130° , sin que se manifieste señal ninguna de ebullicion en el tubo, la cual solo se verifica de pronto, á los 138° próximamente, lanzando el agua á las esferas, que se rompen si no son muy resistentes.

Galy-Cazalat reprodujo el mismo fenómeno, para lo cual cubrió con una capa de aceite cierta cantidad de agua purgada de aire por la ebullicion, y la calentó hasta 132° sin que el líquido empezase á hervir; pero no tardó en verificarse una violenta explosion del vapor, la cual arrojó parcialmente el agua fuera de la vasija en que estaba contenida.

El Sr. Dufour, en Lausanne, ha estudiado el retraso de la ebullicion de los líquidos colocándolos libres del contacto con el aire y en suspension en otros líquidos de su misma densidad, pero cuya temperatura de ebullicion sea mas elevada. De esta manera halló que el agua puesta en suspension en una mezcla convenientemente preparada de esencia de clavo y aceite de linaza, que calentaba en el baño de maría, se trasforma de pronto en vapor á los 120° próximamente. El ácido sulfuroso líquido que hierve á -10° , puesto en suspension en una mezcla de agua y ácido sulfúrico, permanece líquido hasta $+18^\circ$.

El mismo físico observó además que tocando con un cuerpo sólido cualquiera, los líquidos puestos en suspension en otros, segun hemos dicho, si están á una temperatura superior á la de su ebullicion, se vaporizan instantáneamente de un modo violento; sin embargo, los cuerpos

empleados como excitadores pierden poco á poco su propiedad activa. El Sr. Dufour explica este fenómeno por la influencia de la capa de aire adherida á estos cuerpos (74), puesto que desprendiéndose el aire condensado en su superficie, cuando la inmersión se prolonga, quedan completamente inactivos.

Estos diferentes experimentos patentizan la influencia de la presencia de los gases sobre la temperatura de la ebullición. Por último, el Sr. Dufour ha probado que cuanto mas pequeña es la cantidad de gas disuelto en un líquido, mas baja es la temperatura de ebullición.

352. Influencia de la presión en la temperatura de ebullición.— Véase por las tablas de las fuerzas elásticas (344), que á 100° , que es la temperatura á que entra en ebullición el agua destilada, á la presión de $0^m,76$, tiene el vapor de este líquido una tensión precisamente igual á dicha presión. Este principio es general y puede enunciarse así: *Ningun líquido entra en ebullición hasta el momento en que la tensión de su vapor es igual á la presión que experimenta.* Claro está que cuando aumente ó disminuya esta presión, debe aumentar ó disminuir la tensión del vapor, y de consiguiente, la temperatura necesaria para la ebullición.

Demuéstrase la disminución de la temperatura de ebullición al disminuir la presión, colocando debajo de la campana de la máquina neumática una vasija que contenga agua á unos 30° , y haciendo despues el vacío. Desde luego se observa que el líquido entra en ebullición con gran rapidez, aunque la vasija esté tapada, lo cual es debido á que el vapor es aspirado por la máquina neumática á medida que se va formando.



Fig. 398.

Puede hacerse el mismo experimento sin recurrir á la máquina neumática. Para esto se toma un globo de vidrio en el cual se hace hervir agua durante algunos instantes. Cuando los vapores que se desprenden durante la ebullición hayan arrastrado consigo todo el aire del globo se tapa este herméticamente y se le invierte (fig. 398). Si en este estado se enfria la parte superior del globo, con una esponja empapada en agua fría, se condensan los vapores, haciéndose el vacío y produciéndose una ebullición intensa. En el vacío absoluto herviría el agua á cero y aun á una temperatura mas baja, puesto que la tensión del vapor á cero es todavía $4^m,6$ (352).

Por efecto de la disminución de la presión atmosférica hierve el agua en las altas montañas á menos de 100° . En el Monte Blanco, por ejemplo,

entra dicho líquido en ebullición á 84° .

Si, por el contrario, aumenta la presión, se retarda la ebullición; de manera que en el agua, por ejemplo, no se efectúa hasta $120^{\circ},6$, cuando aquella llega á dos atmósferas.

353. Hervidero de Franklin.— Demuéstrase tambien la influencia de

la presión en la temperatura de ebullicion, por medio del hervidero de Franklin.

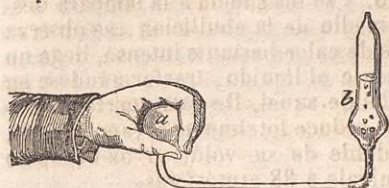


Fig. 399.

Compónese este aparato, que es todo de vidrio, de una esfera *a* y de un tubo *b*, reunidos por otro de menor diámetro (fig. 399). El tubo *b* está aguzado en su extremo superior, por el cual se introduce agua que se hace pasar á la esfera *a* y hervir en ella, calentándola con una lámpara de alcohol. Cuando se juzga que ya los vapores, al des-

prenderse, han arrastrado todo el aire del aparato, se cierra el extremo del tubo *b*, fundiéndole á la lámpara. Hecho así el vacío, ó cuando menos expulsado todo el aire, no sufre el agua mas presión que la tensión de su vapor, la cual es muy débil á la temperatura ordinaria. De aquí resulta que, cogiendo con la mano la esfera *a*, basta el calor de aquella para dar al vapor una tensión que hace refluir el agua al tubo *b*, determinando en él una fuerte ebullicion.

354. Medicion de la altura de las montañas por medio de la temperatura de ebullicion. — La relacion que existe entre la temperatura de ebullicion y la presión, nos suministra un medio de medir la altura de las montañas, en vez de efectuarlo con el barómetro, que puede reemplazarse á este fin por el termómetro. En efecto, si observamos, por ejemplo, que el agua hierve en la cima de una montaña á 95° siendo así que lo efectúa á 98° en la falda de la misma, y si buscamos en las tablas de las fuerzas elásticas las tensiones correspondientes, encontraremos en ellas, números que representan, en milímetros de mercurio, la fuerza elástica del vapor en el momento en el cual se desprende en la cima y falda de la montaña, y por consecuencia, la presión atmosférica experimentada por el agua al entrar en ebullicion en los dos sitios que se consideran. Conociendo de esta suerte la altura del barómetro en dichos puntos, se aplican sin dificultad las fórmulas dadas (155) para medir la altura de las montañas por medio del barómetro.

Para la aplicacion de este método se emplean únicamente termómetros muy sensibles, cuya graduacion solo se extiende de 80 á 100° próximamente, de suerte que cada grado ocupa una gran extension en la escala, pudiendo apreciarse las décimas y hasta las vigésimas de grado. Fundado en este principio construyó el Sr. Regnault el *termómetro hipsométrico*, cuyo tubo solo está graduado desde 85° á 100° , estando dividido cada uno de estos en 10 partes iguales. Para servirse de este termómetro calculó el Sr. Regnault unas tablas que dan la tensión del vapor de agua para cada décima de grado entre los límites referidos.

355. Produccion del vapor en vasijas cerradas. — Hemos supuesto hasta ahora que los vapores se formaban en un espacio indefinido, por el cual podian difundirse libremente, sin cuya condicion no es posible la ebullicion; pues en las vasijas cerradas como los vapores no encuentran salida alguna, su tensión y densidad crecen cada vez más con la temperatura, pero es imposible el desprendimiento rápido de los mismos, que es lo que constituye la ebullicion. Por lo tanto, mientras que en una vasija abierta, la temperatura de un líquido no puede pasar de la de su ebullicion, en una cerrada puede, por el contrario, subir mucho más. Sin embargo, tambien en este caso reconoce un límite el estado líquido, pues

segun los experimentos del Sr. Cagniard-Latour, si se introduce agua, alcohol ó éter en gruesos tubos de vidrio, y se les suelda á la lámpara despues de haber expulsado el aire por medio de la ebullicion, se observa que, sometiendo dichos tubos á un foco de calor bastante intenso, llega un momento en el cual desaparece de repente el líquido, trasformándose en vapores, cuyo volúmen difiere poco del de aquel. De esta suerte encontró dicho físico que el éter sulfúrico se reduce totalmente á vapor á 200° , en un espacio que sea menor que el doble de su volúmen en el estado líquido, y que entonces la tension equivale á 38 atmósferas.

356. Marmita de Papin. — El médico francés Papin, muerto en 1710, fué el primer físico que estudió los efectos de la produccion del vapor en vasos cerrados. El aparato que conserva su nombre, es una vasija cilindrica de bronce D (fig. 400), con una tapadera que puede fijarse muy sólidamente por medio de un tornillo de presión B, el cual la mantiene opresa contra la marmita, á pesar de la fuerza elástica del vapor que tiende á levantarla. A fin de cerrar herméticamente el aparato, se procura, antes de apretar la tapadera, interponer algunas hojas de plomo entre sus bordes y los de la marmita. En la base de una cavidad cilindrica de la cual forma parte el cilindro S y el tubo o, tiene la tapadera un pequeño orificio cerrado por una válvula cónica, sobre la cual se apoya un vástago n, que penetra por el cilindro y el tubo, y se halla sujeto contra el disco obturador por medio de una palanca A, movable por su extremo a. Un peso p, que puede correr á lo largo de la palanca Aa, ejerce sobre la varilla n una presión tanto mayor, cuanto mas cerca se encuentra

dicho peso de la extremidad A, por efecto de una propiedad bien conocida de las palancas (48). Pudiendo así variar la carga sobre la válvula, se arregla aquella de manera que cuando el vapor adquiere en el interior de la marmita una tension determinada, 6 atmósferas por ejemplo, se levante la válvula y dé salida al vapor. Con este mecanismo puede evitarse que estalle el aparato, por cuyo motivo se denomina *válvula de seguridad*.

Calentando la marmita de Papin, llena hasta los dos tercios de agua y tapada, puede sufrir el líquido mucho mas de 100° , y llegar la tension del vapor á cinco ó seis atmósferas, segun sea la carga que se haya dado á la válvula de seguridad. Si se abre esta entonces, se escapa silbando á grande altura una columna de vapor, y el agua de la vasija, que aun no habia hervido, entra desde luego en

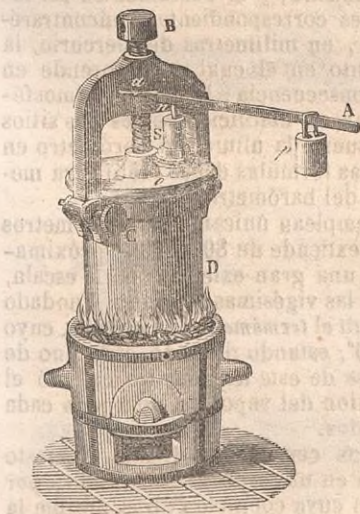


Fig. 400.

ebullicion, bajando á 100° su temperatura.

Puede utilizarse la marmita de Papin para aumentar la accion disolvente de los líquidos, facilitando los medios de darles una temperatura superior á su punto de ebullicion, por lo cual se la conoce tambien con el nombre de *digestor*.

357. Calor latente de los vapores. — Como, según la tercera ley de la ebullicion (348), la temperatura de los líquidos permanece estacionaria mientras dura el fenómeno, se deduce de este hecho que en la vaporizacion, lo mismo que en la fusion, se absorbe una cantidad considerable de calor, cuyo único efecto es hacer pasar los cuerpos del estado líquido al estado aeriforme, sin actuar sobre el termómetro, supuesto que el vapor que se desprende está siempre á una temperatura igual, ó bien algo inferior á la del líquido que le origina. Este calor que desaparece y que se designa con los nombres de *calor latente*, *calor de elasticidad*, *calor de vaporizacion*, se transforma por una parte en trabajo interior para aumentar la velocidad de las vibraciones de los átomos, y por otra en trabajo exterior, que comunica á los vapores su fuerza expansiva en el momento de pasar del estado líquido al gaseoso (267).

Sea cual fuere la temperatura á que se produzca un vapor, siempre hay desaparicion de calor. Si se vierte en la mano un líquido volátil, éter, por ejemplo, se experimenta un frio muy vivo que proviene del calor que se pierde durante la vaporizacion (1), la cual puede originar un enfriamiento tan intenso, que sea capaz de solidificar el mercurio (358) y hasta los gases, según se verá luego experimentalmente (304).

Pronto veremos (396) cómo se determina la cantidad de calor absorbida por los diferentes líquidos, durante la vaporizacion.

358. Frio originado por la evaporacion: crióforo: congelacion del mercurio. — Acabamos de ver que, cuando se vaporiza un líquido, desaparece una cantidad considerable de calor. Resulta de aquí que, si un líquido que se evapora no recibe una cantidad de calor equivalente á la que absorbe el vapor, baja su temperatura, siendo el enfriamiento tanto mayor, cuanto mas rápida es la evaporacion.

Leslie consiguió congelar el agua por el simple efecto de una rápida vaporizacion. Colócase al efecto debajo de la campana de la máquina neumática una vasija de vidrio que contenga ácido sulfúrico concentrado, y encima una capsulita A (fig. 401) de corcho ó de caúchu, con algunos gramos de agua. Al hacer el vacío, entra en ebullicion el agua (352); pero como los vapores son absorbidos por el ácido sulfúrico á medida que se van formando, se produce una rápida vaporizacion que determina muy en breve la congelacion del agua de la cápsula.

Légase al mismo resultado con el *crióforo*, debido á Wollaston, que es un tubo de vidrio encorvado y terminado por sus extremos en dos esferas (fig. 402). Despues de haber introducido en él un poco de agua y expulsado el aire por el mismo procedimiento seguido con el tubo de Donny (351), se pasa el agua á la esfera A y se sumerge la otra en una mezcla frigorífica. Condensados por el frio los vapores del tubo y de la esfera infe-

(1) Watt habia establecido la ley de que *para calentar desde cero y vaporizar un peso dado de agua, la cantidad de calor es siempre la misma, cualquiera que sea la temperatura á que se produce el vapor, y por tanto la tension máxima*: ley que supone que el calor latente decrece á medida que la vaporizacion se efectúa á una temperatura mas elevada. En efecto, si se toma como calor de vaporizacion del agua el número 540 (396), como el agua se vaporiza á 400°, ha absorbido desde cero hasta su cambio de estado 400 + 540 ó 640 unidades de calor. Por consiguiente, si el agua que se vaporiza á 150°, por ejemplo, absorbe además, según la ley de Watt, una cantidad total de calor igual á 640, su calor de vaporizacion no seria mas que 640 - 150, ó 490. Southern, al contrario, dió en 1803 esta otra ley de que *el calor latente absorbido en el momento de la vaporizacion es constante, sea cual fuere la temperatura á que se produce el calor, y por consiguiente la presion*. Pero, según los trabajos de Regnault, no son exactas ninguna de estas dos leyes, creciendo con la temperatura la cantidad total de calor, al paso que decrece el calor latente.

rior, el agua de la esfera A entra en ebullicion y se originan otros nuevos; y como esta rápida produccion de vapor solo se hace á expensas de una gran cantidad de calor, resulta que el agua de esta esfera se enfria con rapidez, convirtiéndose en breve en una masa de hielo.

Si se opera con líquidos mas volátiles que el agua, particularmente con el ácido sulfuroso, que hierve á -10° , se produce un frio bastante intenso

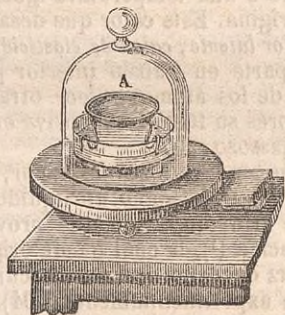


Fig. 401.

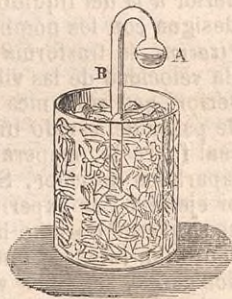


Fig. 402.

para congelar el mercurio. Se efectúa este experimento, envolviendo con algodón una esfera de vidrio llena de mercurio, y luego, despues de haberla mojado con ácido sulfuroso, se coloca debajo de la campana de la máquina neumática, se hace el vacío, y en seguida se solidifica el mercurio.

Thilorier dirigió un chorro de ácido carbónico líquido sobre el depósito de un termómetro de alcohol, y le vió descender hasta 100° bajo cero sin que dicho líquido se congelase; pero ya se ha visto que con una mezcla de protóxido de nitrógeno líquido, ácido carbónico sólido y éter, consiguió el Sr. Despretz producir un frio bastante intenso para reducir el alcohol al estado de un jarabe espeso (329).

El frio que produce la evaporacion se utiliza en los países cálidos para refrescar el agua por medio de *alcarrazas*, denominándose así unas vasijas de tierra bastante porosa para que el agua se filtre lentamente y vaya á evaporarse en su superficie, sobre todo si se colocan en una corriente de aire.

LICUEFACCION DE LOS VAPORES Y DE LOS GASES.

359. Licuefaccion de los vapores.—La *licuefaccion* ó *condensacion* de los vapores es su paso del estado aeriforme al estado líquido. Tres son las causas que pueden determinar la condensacion, á saber: el enfriamiento, la compresion y la afinidad química. Las dos primeras exigen que los vapores se hallen en el estado de saturacion (339); pero la última produce la licuefaccion por enrarecidos que estén. Esta es la razon por qué muchas sales absorben, condensándole, el vapor de agua de la atmósfera, aunque se encuentre en ella en proporcion muy exígua.

En el momento en que se condensan los vapores, la fuerza viva, comunicada á las moléculas durante la vaporizacion (336) se trasforma para reaparecer en cantidad equivalente como calor sensible. Pruébase, en efecto, experimentalmente, que al licuarse un peso dado de vapor,

reproduce una cantidad de calor exactamente igual á la que desapareció durante la vaporizacion. A este fin se hace entrar una corriente de vapor á 100° en un vaso de agua fria, la cual adquiere rápidamente dicha temperatura sin que se observe en el vapor pérdida alguna de calor sensible, probándose así que el que ha cedido al agua es la exacta representation del que se habia gastado durante la vaporizacion (396). En una palabra, en la vaporizacion hay pérdida de calor y produccion de fuerza viva: y recíprocamente, en la licuefaccion hay pérdida de fuerza viva y produccion de calor.

360. Destilacion: alambiques. — La *destilacion* tiene por objeto separar un líquido volátil de las sustancias fijas que tiene en disolucion, ó bien dos líquidos desigualmente volátiles.

Los aparatos que sirven para la destilacion se denominan *alambiques*. Su forma puede ser muy variada, pero siempre constan de tres piezas principales, que son: 1.^a la *cucúrbita A* (fig. 403), ó sea una caldera de

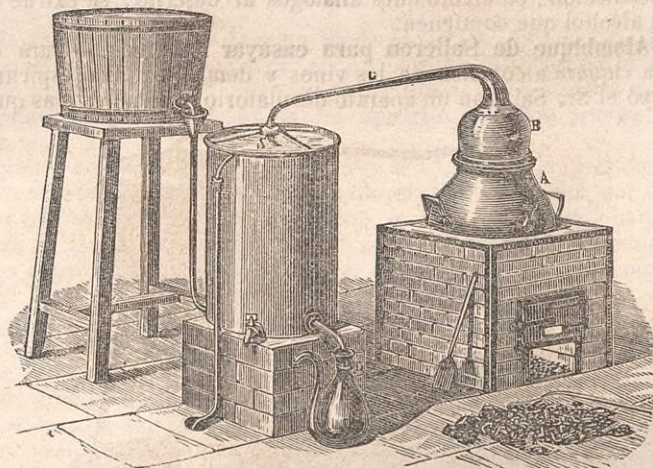


Fig. 403.

cobre estañado que contiene el líquido que se ha de destilar, y cuya base está empotrada en un hornillo; 2.^a el *capitel B*, que se coloca sobre la cucúrbita y da salida al vapor por un cuello lateral *C*; 3.^a el *serpentin S*, que consiste en un largo tubo de estaño ó de cobre, arrollado en hélice, colocado en una cuba llena de agua fria, y cuyo objeto es condensar el vapor enfriándole.

Si queremos destilar agua de pozo ó de rio para purgarla de las sales que contiene en disolucion, y que son principalmente el sulfato de cal, el carbonato de la misma base y algunos cloruros, se vierte aquella en la cucúrbita de manera que llene sus dos tercios, y se calienta hasta que entre en ebullicion. Los vapores que se desprenden van á condensarse en el serpentin, desde el cual el agua que origina la condensacion pasa en seguida al depósito *D*, quedando en la cucúrbita las materias fijas que contenia en disolucion.

Como los vapores que se condensan calientan rápidamente el agua de la cuba (359), conviene renovarla constantemente, pues de lo contrario,

no se efectuaría la condensación. Al efecto hay un embudo que, alimentado sin cesar por una corriente de agua fría, conduce esta á la parte inferior de la cuba, mientras que el agua caliente, que es menos densa, asciende siempre á la superior, vertiéndose por un tubo situado cerca del borde de la misma.

Es necesario no apurar mucho la destilación, porque pudiera suceder que el agua contuviese materias orgánicas, las cuales se descompondrían en las paredes calientes de la cucúrbita, dando origen á productos volátiles.

El agua destilada es perfectamente clara, y no deja residuo alguno después de su evaporación, pero siempre contiene algo de ácido carbónico, porque este gas se encuentra en todas las aguas naturales, y la destilación le separa de ellas solo de un modo incompleto; pero se puede evitar la presencia de aquel gas poniendo en la cucúrbita cierta cantidad de cal que se combina con él y le retiene.

Por destilación, en alambiques análogos al descrito, se extrae de los vinos el alcohol que contienen.

361. Alambique de Salleron para ensayar los vinos. — Para determinar la riqueza alcohólica de los vinos y demás líquidos espirituosos, construyó el Sr. Salleron un aparato destilatorio, que no es mas que una

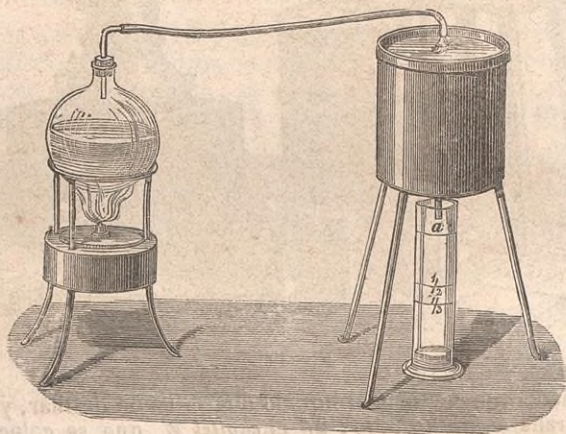


Fig. 404.

modificación de otro de la misma clase debido á Gay-Lussac. Este alambique consta de un globo de vidrio que, sostenido en unas trévedes, se calienta con una lamparilla de alcohol (fig. 404). Un tubo le pone en comunicación con el serpentín situado en una vasija de cobre llena de agua fría, debajo de la cual se encuentra una probeta que recibe el producto de la destilación, y en la que están trazadas tres divisiones: una *a* tiene por objeto marcar el volumen de vino que ha de destilarse, y las otras dos, señaladas $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{5}$, sirven para valuar el del líquido que resulta de la destilación.

Se empieza la operación por llenar la probeta hasta la señal *a* del vino que se quiere ensayar, viértese luego en el globo y se pone este en comunicación con el serpentín. Calentándole entonces con la lámpara entra

el vino en ebullicion, y se opera la destilacion, la cual se prolonga para los vinos comunes hasta que el líquido destilado llegue en la probeta á la division $\frac{1}{2}$, y á la $\frac{1}{4}$ para los muy alcohólicos, pues cuando esto sucede puede suponerse que ya ha pasado á aquella todo el alcohol del vino. Entonces se acaba de llenar la probeta hasta la señal *a* de agua destilada, lo que da un volúmen de líquido igual al del vino en que se ha experimentado y de la misma riqueza alcohólica, pero privado de toda sustancia extraña. Ya no queda mas que medir la fuerza de este líquido con el alcohómetro de Gay-Lussac (111), á cuyo efecto el aparato de Salleron va acompañado de dicho instrumento, de un termómetro y de una tabla de correccion.

Constrúyense tambien *termómetros alcohométricos*, empleados para dar á conocer la riqueza alcohólica de los vinos segun su temperatura de ebullicion. En el vértice del tubo de este termómetro está el número 100, que señala la temperatura de ebullicion del agua, y los grados inscritos mas abajo marcan las centésimas de alcohol puro contenido en el líquido sometido al experimento.

362. Absorción: tubos de seguridad.—Llámanse *absorción*, en Química, un accidente que suele acontecer en los aparatos destinados á la preparacion de los gases, cuando al recogerlos sobre el agua ó sobre el mercurio, penetran estos líquidos en los aparatos, lo cual frustra la operacion.

La causa de este accidente es siempre el exceso de la presion atmosférica sobre la tension del gas contenido en el aparato. Sea, por ejemplo, un gas que se desprende de un matraz *m* (fig. 405) y va á parar á una probeta *A* llena de agua: ínterin el gas se desprende activamente, su tension supera á la presion atmosférica más el peso de la columna líquida *on*; por lo tanto, el agua de la probeta no puede subir al tubo, y es imposible la absorcion; pero si decrece la tension del gas, ora por amenjarse el desprendimiento, ora por enfriarse el matraz, predomina la presion exterior, y cuando el exceso de esta sobre la interior es mayor que el peso de la columna de agua *co*, penetra el líquido en el matrás y se inutiliza la operacion; evítase este accidente por medio de los *tubos de seguridad*.



Fig. 405.

Este es el nombre que se da á unos tubos que impiden la absorcion, permitiendo la entrada del aire en los aparatos segun va decreciendo la tension interior. El tubo de seguridad mas sencillo es el *Co* (fig. 406), que atraviesa el tapon del matraz *M*, en el cual se prepara el gas, introduciéndose algunos centímetros en el líquido allí contenido. Cuando disminuye la tension del gas en el matraz *M*, la presion atmosférica que se ejerce en el agua de la cuba *E*, la hace subir á cierta altura en el tubo *DA*; pero dicha presion, que actúa tambien en el tubo *Co*, tiende á deprimir igualmente el líquido contenido en este tubo, suponiendo que dicho líquido tenga casi la misma densidad que el agua de la cuba *E*. Como la distancia *or* es menor que la altura *DA*, entra el aire por el orificio *o* antes que el agua de la cuba llegue al punto *A*, y de consiguiente, no hay absorcion.

El tubo *Co* sirve tambien para precaver las explosiones. Cuando es

muy rápida la producción del gas, y no basta el tubo AD para su desprendimiento, el líquido del matraz M es repelido hacia el exterior, escapándose por el tubo C, el cual se convierte á su vez en una salida para el gas apenas descende el nivel del orificio o.

La figura 407 representa otra especie de tubo de seguridad, conocido con el nombre de *tubo en S*, en el cual hay una esfera *a* que contiene cierta cantidad de líquido, é igualmente la rama *i d*. Si la tensión del gas en la retorta M es superior á la presión atmosférica, sube el nivel en la rama *i d* á mayor altura que en la esfera *a*; si equivale á una atmósfera,

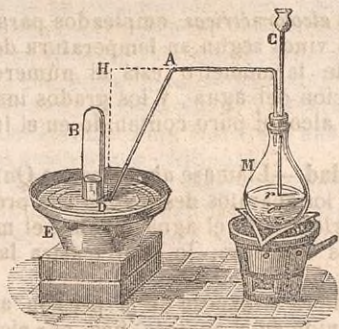


Fig. 406.

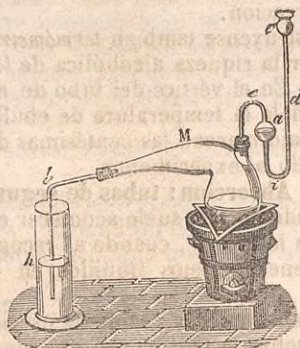


Fig. 407.

es idéntico el nivel en el tubo y en la esfera; y por último, si es menor que la presión atmosférica, baja el nivel en la rama *i d*; y como se procura que la altura *ia* sea menor que *bh*, apenas el aire que entra por la boca *c* llega á la parte curva *i*, levanta la columna líquida *ia* y penetra en la retorta antes que el agua de la probeta haya subido hasta *b*, de suerte que así se equilibra la presión interior con la presión exterior, siendo imposible la absorción.

363. Licuefacción de los gases. — Los gases no son otra cosa que vapores muy dilatados, y por lo tanto, susceptibles como estos de licuarse; pero distando mucho de su punto de licuefacción, solo se consigue esta mediante una presión ó un enfriamiento mas ó menos considerable. Respecto á algunos basta la compresión por sí sola ó bien el enfriamiento; pero la mayoría de ellos exige la acción simultánea de estos dos medios. Pocos son los gases que resisten estas dos acciones combinadas, y debe suponerse que los que hasta ahora no han podido licuarse (129), se conseguiría seguramente si se les sometiera á una presión y enfriamiento suficientes.

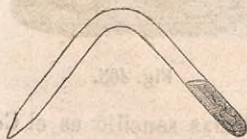


Fig. 408.

Davy y Faraday licuaron muchos gases tenidos hasta entonces por permanentes. Consiste su procedimiento en encerrar dentro de un tubo de vidrio, encorvado á manera de sifon (fig. 408), varias sustancias que, por su reacción química, dan origen al gas que se trata de comprimir; de suerte que, ocupando dichas sustancias una de las ramas del sifon, el gas, á medida que va desprendiéndose, se comprime por sí propio

y se licua en la otra rama, la cual está sumergida en una mezcla frigorífica. Los dos citados físicos consiguieron de esta manera licuar el cloro, el ácido sulfhídrico, el amoníaco y el ácido carbónico.

364. Licuefacción y solidificación del ácido carbónico. — El ácido carbónico requiere una gran presión para pasar al estado líquido, y por

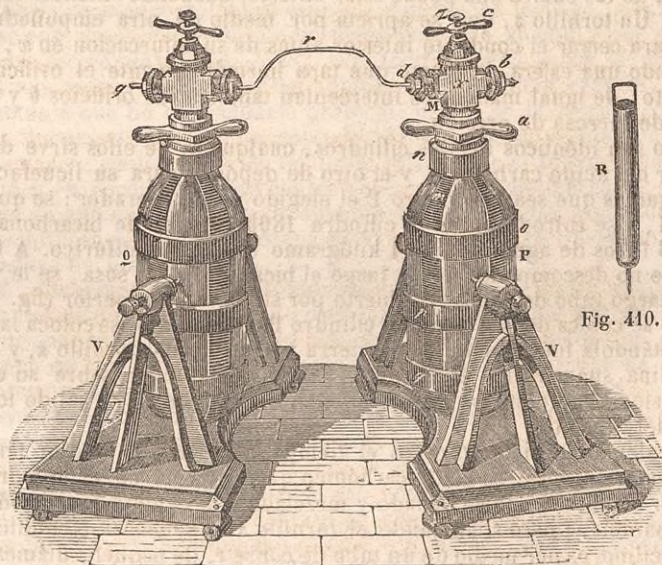


Fig. 409.

Fig. 410.

lo tanto se necesitan al efecto aparatos especiales sumamente sólidos. Thilorier construyó el primer aparato de este género; la figura 409 representa uno construido por el Sr. Deleuil para licuar el ácido carbónico, el cual no es más que una modificación del de Thilorier, pero muy importante respecto á su solidez.

Consiste este aparato en dos cilindros P y Q, enteramente iguales, ambos movibles en un plano vertical, alrededor de dos ejes sostenidos sobre dos estribos de hierro fundido VV. Dichos cilindros, que son también de fundición, tienen unos seis litros de capacidad, tres centímetros de espesor, y poseen en el sentido de su longitud cuatro nervios ó tiras que sobresalen un centímetro del resto de la pared, siendo su anchura de ocho centímetros. Con objeto de dar al aparato toda la resistencia necesaria, tiene además varias fajas de hierro dulce *m*, que principian en la parte superior de los cilindros, se encajan en el hueco formado por dos nervios consecutivos, se arrollan en la base inferior de los cilindros, que es hemisférica, y luego pasan á la otra cara de los mismos para rematar en la extremidad de donde partieron. Por último, estas tiras se hallan sólidamente afianzadas por cuatro aros *n*, *o*, *p*, *q*, también de hierro dulce. Antes de colocar estos aros, se les da la temperatura que corresponde al calor rojo, de manera que, al enfriarse, ejercen por su contracción una inmensa presión, así sobre las fajas longitudinales, como sobre los cilindros.

Vése en la cabeza de cada cilindro una llave *M*, compuesta de varias piezas; la doble empuñadura *a* sirve para apretarla fuertemente en una tuerca abierta en la masa de fundición. En la llave existe un conducto vertical que se bifurca en *x* hacia *b* y *d*, poniendo de esta suerte en comunicación el interior del cilindro con dos orificios existentes en dichos puntos, de los cuales uno puede estar abierto, quedando entonces cerrado el otro. Un tornillo *z*, que se aprieta por medio de otra empuñadura *c*, sirve para cerrar el conducto interior antes de su bifurcación en *x*, comprimiendo una esfera de plomo que tapa herméticamente el orificio del conducto: de igual manera se interceptan también los orificios *b* y *d* por medio de tuercas de presión.

Como son idénticos los dos cilindros, cualquiera de ellos sirve de generador del ácido carbónico, y el otro de depósito para su licuefacción. Supongamos que sea el cilindro *P* el elegido para generador: se quita la llave *M*, y se introducen en el cilindro 1800 gramos de bicarbonato de sosa, 3 litros de agua á 39° y 1 kilogramo de ácido sulfúrico. A fin de que este no descomponga desde luego el bicarbonato de sosa, se le vierte en un largo tubo de cobre *R*, abierto por su extremo superior (fig. 410), el cual se coloca dentro de dicho cilindro *P*. Hecho esto, se coloca la llave *M* apretándola fuertemente, se la cierra por medio del tornillo *z*, y luego se inclina suavemente el cilindro, haciéndole oscilar sobre su eje de suspensión, repitiéndose esta operación hasta que haya salido todo el ácido del tubo *R*.

Se calcula en siete minutos el tiempo necesario para que termine la reacción química. El ácido carbónico que se formó en el cilindro generador se halla en parte licuado y mezclado con el agua *q* e sirvió para su preparación; pero si aflojando el tornillo *z* se ponen en comunicación ambos cilindros por medio de un tubo de cobre *r*, de pequeño diámetro, el ácido carbónico va destilándose en el cilindro *Q*, donde se licua de nuevo

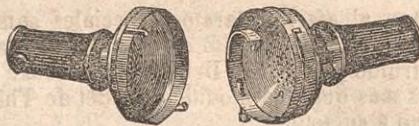


Fig. 411.

por efecto de su propia presión. Thilorier valuó en 50 atmósferas la presión que actúa sobre el depósito, siendo 15° la temperatura. Repitiendo cinco ó seis veces la misma operación, se condensan en el cilindro *Q* hasta dos litros de ácido carbónico líquido.

Para obtener el mismo ácido en el estado sólido, tiene la llave del depósito *Q*, en su parte inferior, un tubo que se introduce en el ácido líquido, y por lo tanto, al abrir un orificio *g* situado á un lado de la llave brota ó salta con fuerza el ácido carbónico líquido por efecto de la presión que sufre, pasando al estado aeriforme. Pero solo se gasifica parte del líquido, porque la cantidad de calor que desaparece al efectuarse este cambio de estado es tan considerable (396), que el resto del líquido se solidifica en copos blancos, cristalizados bajo una forma filamentososa, los cuales se recogen en una caja esférica de latón, de paredes delgadas, teniendo cada hemisferio un tubo forrado de fieltro grueso, que sirven de asa (fig. 411). El ácido carbónico líquido llega á la caja por un tubo que

penetra en ella rozando en la pared. Al salir el chorro de este tubo choca con una hojilla *a* que le deforma, esparciendo el líquido y acelerando así la vaporización. La parte gasificada se desprende por pequeños orificios *m*, *n* y por los tubos que sirven de asas, mientras que la que se solidifica, se aglomera en lo interior de la caja. Un termómetro de alcohol colocado en el chorro descende hasta -93° .

El ácido carbónico sólido se evapora con mucha lentitud, pudiéndose probar entonces, por medio de un termómetro de alcohol, que su temperatura es próximamente -78° . Con todo, puesto sobre la mano, no causa una sensación de frío tan intensa como pudiera creerse, lo cual es debido á que no hay contacto perfecto; mas si se le mezcla con éter, es tan intenso el frío, que un copo de ácido carbónico sólido, puesto sobre la carne, desorganiza los tejidos lo mismo que el fuego. Esta mezcla solidifica en pocos segundos cuatro veces su peso de mercurio. Sumergiendo en ella un tubo lleno de ácido carbónico líquido, consiguió Faraday solidificar este, formando una masa compacta, tan trasparente como un pedazo de hielo.

365. Licuefacción del protóxido de nitrógeno. — En el aparato que acabamos de describir, el ácido carbónico se comprime por sí mismo, produciéndose en cantidad muy abundante. Pero no todos los gases se obtienen en condiciones convenientes para licuarse en virtud de su propia presión. Entonces es preciso recurrir á una presión artificial, y así es como Natterer licuó varios gases comprimiéndolos en un cañon de fusil por medio de una bomba impelente.

El Sr. Bianchi modificó el aparato de Natterer y le dió la forma que representa en perspectiva la figura 413, y según una sección vertical, en mayor escala, la 412. Este aparato se compone de un receptáculo *A* de hierro forjado, cuya capacidad es de 7 á 8 litros, y su resistencia tal, que puede sufrir presiones de 600 atmósferas. En la parte inferior de dicho receptáculo está atornillada una pequeña bomba impelente, recibiendo el vástago *t* de su émbolo un movimiento de vaiven por medio de un excéntrico articulado *E*, movido por dos ruedas dentadas y un manubrio *M*. Como la compresión del gas y el rozamiento del émbolo dan lugar á un gran desprendimiento de calor, se rodea el receptáculo *A* de una vasija *B*, en la cual se pone hielo; además, el agua procedente de la fusión de este va por un tubo *m* á una capacidad cilíndrica de cobre *C*, que envuelve la bomba impelente, y de aquí sale al exterior por otro tubo *n*, y una llave *o*. Finalmente, todo el aparato se encuentra montado sobre un armazon *PQ* de hierro fundido.

Supuesto esto, se recoge de antemano el gas que trata de licuarse en unas bolsas impermeables *R*, desde las cuales se le dirige á un vaso *V*, lleno de cloruro de calcio, pasando luego á la bomba impelente por un tubo de caucho *H*. Cuando el aparato ha funcionado cierto tiempo, se destornilla el receptáculo *A* situado encima de la bomba, lo cual se consigue sin que el gas ya licuado pueda verterse, supuesto que dicho receptáculo se encuentra herméticamente cerrado, en su parte inferior, por una válvula *S* (fig. 412). Para recoger luego el líquido contenido en el receptáculo, se invierte este y se afloja un tap *n* de tornillo *r*, que da salida al líquido por un tubito *x*.

La licuefacción mas notable obtenida con este aparato, es la del protóxido de nitrógeno. Una vez licuado este gas, no se evapora sino muy lentamente, aunque se halle contenido en una vasija abierta, conser-

vando una temperatura fija de 88° bajo cero. Si en la vasija donde se halla se echa mercurio en pequeña cantidad, se congela este al momento, y lo mismo sucede con el agua; pero es menester echarla gota á gota, pues de lo contrario, siendo el calor latente de este líquido mucho mayor que el del mercurio (395), el calor cedido por el agua al congelarse, puede producir la detonacion del protóxido de nitrógeno.

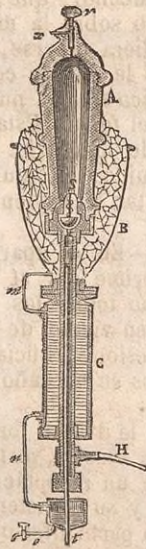


Fig. 412.

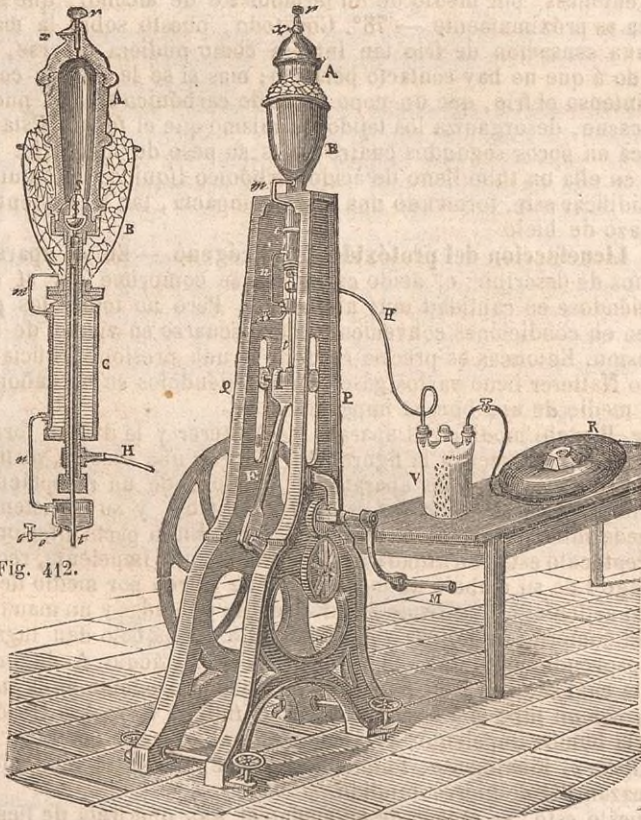


Fig. 415.

Pudiendo el calor descomponer fácilmente el protóxido de nitrógeno, posee este la propiedad de mantener la combustion casi con tanta energía como el oxígeno, cuya propiedad conserva igualmente en el estado líquido, á pesar de su baja temperatura. En efecto, si se arroja en dicho líquido un pedacito de carbon incandescente arde al momento con un resplandor muy vivo.

MEZCLAS DE LOS GASES CON LOS VAPORES.

366. **Leyes de las mezclas de los gases con los vapores.** — Las mezclas de los gases con los vapores están sujetas á las dos leyes siguientes;

1.^a La *tension*, y por consiguiente la cantidad de vapor que satura un espacio dado, son las mismas cuando dicho espacio contiene un gas, que cuando se encuentra vacío, si la temperatura es igual en ambos casos.

2.^a La fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas del gas y del vapor mezclados, reducido el gas á su volúmen primitivo.

Estas leyes, conocidas con el nombre de *leyes de Dalton*, que fué el primero que las publicó, se demuestran por medio de un aparato muy sencillo (fig. 414), debido á Gay-Lussac. Consiste dicho aparato en un tubo de vidrio A, á cuyos extremos están pegadas con mástic dos llaves de hierro b y d. Encima de la llave d hay un tubito lateral que pone en comunicacion el tubo A con otro B de menor diámetro. Una escala, situada entre los dos tubos, mide la altura de la columna de mercurio contenida en cada uno de ellos.

Lleno el tubo A de mercurio bien seco, y cerradas las llaves b y d, se atornilla en la primera, en vez del embudo C, un globo de vidrio M, cerrado tambien con otra llave, y lleno de aire seco ó de cualquier otro gas. Abriendo luego las tres llaves, se deja salir del tubo A una parte del mercurio, que es reemplazado por el aire seco del globo. Ciérranse otra vez las llaves, y como el aire existente en el espacio A se enrareció al salir del globo, se encuentra entonces á una presión menor que la de la atmósfera; pero se restablece esta echando mercurio en el tubo B, hasta que el nivel sea igual en ambos. Por fin, se quita el globo y su llave, colocando en su lugar un embudo C, el cual tiene otra llave a, que difiere de las ordinarias, pues no está horadada de parte á parte, poseyendo tan solo una pequeña cavidad, conforme se ve en n, á la izquierda de la figura. Despues de echar en el embudo C el líquido que se quiere vaporizar, de anotar el nivel k del mercurio, y de abrir la llave b, se da vuelta á la a de manera que su cavidad n se llene de líquido, invirtiéndola luego á fin de que este penetre en el espacio A y se vaporice. De esta suerte se va introduciendo el líquido gota á gota, hasta que el aire del tubo se halle saturado de vapor, lo cual se conoce, en que el nivel k del mercurio queda estacionario (339).

Como la tension del vapor que se origina en el espacio A, se agrega á la del aire que allí existia, aumenta el volúmen del gas, pero se le reduce fácilmente el volúmen primitivo, vertiendo de nuevo mercurio en el tubo B. Cuando dicho líquido recobra en el tubo mayor A, al nivel k que antes tenia, se observa en ambos tubos una diferencia de nivel B o, que representa evidentemente la tension del vapor que se ha formado, puesto que habiendo recobrado el aire su volúmen primitivo, no ha variado su tension. Si se hacen pasar al vacío de un tubo baromé-

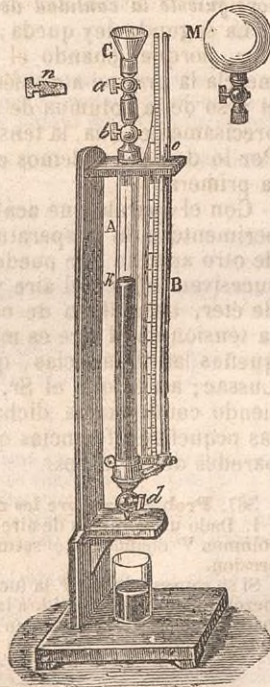


Fig. 414.

trico algunas gotas del mismo líquido introducido en el espacio A, se observa una depresión exactamente igual á B o, lo cual demuestra de una manera evidente que, á igualdad de temperatura, la tensión de un vapor en estado de saturación es la misma en los gases que en el vacío, de donde se deduce que, *permaneciendo constante la temperatura, la densidad y por consiguiente la cantidad de vapor en igual volumen son también las mismas.*

La segunda ley queda, pues, demostrada con el experimento anterior, porque, cuando el mercurio ha recobrado su nivel k , resiste la mezcla la presión atmosférica que se ejerce en el extremo del tubo B, más el peso de la columna de mercurio B o; estas dos presiones representan precisamente, una, la tensión del aire seco, y la otra, la tensión del vapor. Por lo demás, podemos considerar la segunda ley como un corolario de la primera.

Con el aparato que acabamos de describir solo pueden hacerse los experimentos á la temperatura ordinaria; pero el Sr. Regnault, por medio de otro aparato que puede someterse á diferentes temperaturas, comparó sucesivamente en el aire y en el vacío las tensiones de vapor de agua, de éter, de sulfuro de carbono y de bencina, y siempre observó que la tensión en el aire es más débil que en el vacío. Con todo, son tan pequeñas las diferencias, que no invalidan la ley de Dalton y de Gay-Lussac; así es que el Sr. Regnault cree que puede continuarse admitiendo como exacta dicha ley, teóricamente considerada, atribuyendo las pequeñas diferencias que encontró á la afinidad higroscópica de las paredes de los tubos.

367. Problemas sobre las mezclas de los gases con los vapores.

I. Dado un volumen de aire seco V, á la presión A, se desea averiguar cuál será su volumen V' cuando esté saturado, permaneciendo constantes la temperatura y la presión.

Si se representa por F la fuerza elástica del vapor que satura el aire, este, en la mezcla, solo está sometido á la presión $A - F$ (566, 2.º). Pero según la ley de Mariotte, los volúmenes V y V' están en razón inversa de las presiones que sufren, por lo tanto se tiene:

$$\frac{V'}{V} = \frac{A}{A - F}, \quad \text{de donde} \quad V' = \frac{VA}{A - F}.$$

II. Dado un volumen de aire saturado V, á la presión A y á la temperatura t , ¿cuál será su volumen V' también saturado, á la presión A', y á la temperatura t' ?

Si se representa por f la tensión máxima del vapor á t grados, y por f' su tensión máxima á t' grados, el aire por sí solo, en cada una de las mezclas V y V', estará sometido respectivamente á las presiones $A - f$ y $A' - f'$. Suponiendo primeramente invariable la temperatura, se tendrá á la de t grados, según la ley de Mariotte,

$$V' = \frac{V(A - f)}{A' - f'};$$

á la de cero (316) dicha expresión se convertirá en:

$$V' = \frac{V(A - f)}{(A' - f')(1 + \alpha t)}; \quad \text{y por último á la de } t' \text{ grados será } V' = \frac{V(A - f)(1 + \alpha t')}{(A' - f')(1 + \alpha t)}.$$

III. Se quiere saber el peso P de un volumen de aire V, saturado de vapor de agua, á la temperatura t y á la presión A, siendo $\frac{1}{2}$ la densidad del vapor.

Para resolver este problema, fijémonos en que el volumen V de aire saturado, es en realidad una mezcla de V litros de aire seco á t grados, á la presión A menos la del vapor, y de V litros de vapor saturado á la misma temperatura.

Por lo tanto, si representamos por F la tensión del vapor, la presión del aire considerada por sí sola será $A - F$, y el problema está reducido á investigar: 1.º el peso

de V á litros de aire seco á t grados y á la presión $A - F$; 2.º el peso de V litros de aire saturado á t grados y á la presión F.

Para resolver la primera parte del problema, sabemos que 1 litro de aire seco á cero grados y á la presión 76^{cm} pesa 1g,293, y que á t grados y á la presión $A - F$ pesa $\frac{1g,293(A - F)}{(1 + \alpha t)76}$, 316, probl. vi); por lo tanto V litros de aire seco pesan

$$\frac{1g,293 \times V(A - F)}{(1 + \alpha t)76} \quad [1].$$

Finalmente, para obtener el peso del vapor, es preciso determinar previamente el de un volumen igual de aire seco, á la misma temperatura y presión, y despues multiplicarle por la densidad del vapor (316, probl. vii). Y puesto que V litros de aire seco á t grados y á la presión F pesan $\frac{1g,293 \times V \times F}{(1 + \alpha t)76}$, V litros de vapor, cuya densidad es $\frac{8}{8}$, pesarán

$$\frac{1g,293 \times V \times F \times 5}{(1 + \alpha t)76 \times 8} \quad [2].$$

Por lo tanto el peso P que se busca será igual á la suma de los pesos [1] y [2], y puede representarse por la siguiente expresion:

$$P = \frac{1g,293 \times V(A - F)}{(1 + \alpha t)76} + \frac{1g,293 \times V \times F \times 5}{(1 + \alpha t)76 \times 8} = \frac{1g,293 \times V}{(1 + \alpha t)76} \left(A - \frac{5}{8} F \right).$$

ESTADO ESFEROIDAL.

368. **Experimentos del Sr. Boutigny.**—Si se derrama un liquido sobre una superficie metálica incandescente se originan notabilísimos fenómenos, observados la vez primera, hace ya un siglo, por el Sr. Leidenfrost; posteriormente han sido estudiados por varios físicos, particularmente por el Sr. Boutigny, quien de algunos años á esta parte ha dado á conocer curiosos experimentos, de los cuales vamos á exponer los de mayor interés.

Si despues de haber calentado hasta el rojo una cápsula de plata ó de platino, de paredes gruesas, se vierten en ella algunos gramos de agua por medio de una pipeta, se observa que no se extiende el liquido mojando la cápsula, conforme sucede á la temperatura ordinaria, sino que acepta la forma de un globo aplanado, que es lo que Boutigny expresa diciendo que el liquido pasa al estado *esferoidal*. En tal estado, el agua está animada de un rápido movimiento giratorio sobre el fondo de la cápsula, y no solo no entra en ebullicion, sino que tarda 50 veces mas en vaporizarse que si aquella se verificase. Además, si se enfria la cápsula, llega un momento en que no está bastante caliente para mantener el agua en estado *esferoidal*, y entonces al mojar el liquido sus paredes, surge repentinamente una violenta ebullicion.

Todos los líquidos pueden aceptar el estado *esferoidal*; y la temperatura necesaria para que se produzca el fenómeno es tanto mas alta, cuanto mayor sea el punto de ebullicion del liquido. Para el agua hay que calentar la cápsula por lo menos hasta 200º, y hasta 154 para el alcohol.

El Sr. Boutigny ha observado que la temperatura de los líquidos en el estado *esferoidal* es constantemente inferior á la de su ebullicion. El agua, por ejemplo, no pasa de 93º,5; el alcohol, de 75º,5, el éter, de 54º, y el ácido sulfuroso, de —10º,5. Pero la temperatura del vapor que se desprende es igual á la de la cápsula, de lo cual debemos deducir, que no se forma en la masa del liquido.

La propiedad que presentan los líquidos en el estado *esferoidal*, de mantenerse á una temperatura inferior á la de su punto de ebullicion, sugirió á Boutigny el notable experimento de la congelacion del agua en una cápsula incandescente. Calienta dicho físico hasta el rojo-blanco una cápsula de platino y vierte en ella algunos gramos de ácido sulfuroso anhidro. Este liquido, que hierve á —10º, puesto en la cápsula sigue la ley general de los demás líquidos, es decir, que adquiere una temperatura inferior á la de su ebullicion. Añadiendo en seguida al ácido sulfuroso una corta cantidad de agua, se congela esta inmediatamente, enfiada por el ácido, y estando aun enrojecida la cápsula, se saca de ella, no sin grande asombro, un pedazo de hielo.

En el estado *esferoidal*, no hay contacto entre el liquido y el cuerpo caliente, de lo cual se convenció el Sr. Boutigny, haciendo enrojecer una plancha de plata perfectamente horizontal, y vertiendo encima un gramo de agua teñida de negro. Este liqui-

do pasa al estado esferoidal, y colocando entonces la llama de una bujía á cierta distancia en la prolongacion del plano de la plancha, se distingue con claridad y de un modo continuo dicha llama entre aquella y el esferoide de agua. De aquí se deduce que el líquido se sostiene á corta distancia de la plancha, ó que sus vibraciones son bastante rápidas para que la vista no las perciba.

Explicanse los fenómenos que presentan los líquidos en el estado esferoidal, admitiendo que el glóbulo líquido se halla sostenido á cierta distancia de la vasija por la tension del vapor que se produce en su superficie; de suerte que como el líquido no se calienta por contacto, sino solo por radiacion, se vaporiza muy lentamente, sobre todo si se tiene en cuenta que, siendo el agua diatermana para los rayos caloríficos emitidos por un foco intenso, la mayor parte del calor radiante la atraviesa sin calentarla. Cree Boutigny que la causa que se opone á que el líquido moje el metal es una fuerza repulsiva, que será tanto mas intensa, cuanto mas alta sea la temperatura. Está acorde dicha hipótesis con el siguiente experimento efectuado en Inglaterra por el Sr. Perkins. Puesta una llave en un generador de vapor, debajo del nivel del agua, no manaba el líquido mientras las paredes tenian una temperatura muy alta, por considerable que fuese la presión interior; pero brotaba con fuerza apenas bajaba la temperatura.

DENSIDAD DE LOS VAPORES.

569. **Método de Gay-Lussac.**—Denomínase *densidad de un vapor* la razón entre el peso de cierto volumen de este vapor y el de otro volumen equivalente de aire, siendo iguales en ambos la temperatura y la tension.

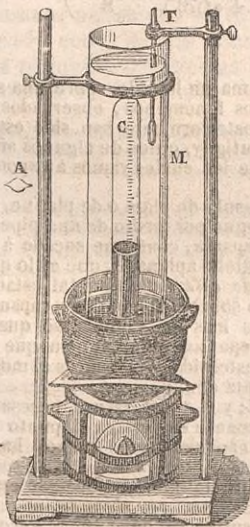


Fig. 415.

Dos métodos se han seguido para determinar la densidad de los vapores: el primero debido á Gay-Lussac, es aplicable á los líquidos que entran en ebullicion á una temperatura inferior ó muy poco superior á 100°; y el segundo, inventado por el Sr. Dumas, permite operar á temperaturas que pueden llegar hasta unos 360°.

La figura 415 representa el aparato de Gay-Lussac. Consta de una vasija de hierro fundido llena de mercurio, en la cual se introduce un cilindro de vidrio M que se halla lleno de agua ó de aceite, cuya temperatura indica un termómetro T. En el interior del cilindro existe una campana C, graduada en litros y fracciones de litro.

Para operar con este aparato, se introduce el líquido que se trata de vaporizar, en una ampollita de vidrio como la que se representa en A, á la izquierda de la figura; cerrando en seguida á la lámpara dicha ampollita, se la pesa, y restando del peso obtenido el de la ampollita vacía, se obtiene el del líquido que se introdujo. Llenando luego de mercurio la campana C, se introduce en ella la ampolla y se calienta gradualmente hasta que el agua del cilindro llegue á tener una temperatura superior en algunos grados á la que necesita para entrar en ebullicion el líquido de la ampollita. Rómese esta por la vaporizacion del líquido que contiene, y la tension de aquel deprime el mercurio de la campana, conforme se ve en el grabado. La ampollita debe ser suficientemente pequeña para que todo el líquido que contiene se reduzca á vapor, lo cual se verifica cuando, llegado el baño á la temperatura de ebullicion del líquido de la ampollita, el nivel del mercurio permanece, sin embargo, un poco mas alto en el interior de la campana que en el exterior. Esto prueba que no queda nada de líquido sin vaporizar, porque en tal caso el nivel interior seria casi el mismo que el exterior (552). No cabe duda, pues, de que el peso del líquido de la ampollita representa con exactitud el del vapor que se formó en la campana C. Respecto al volumen de este vapor, se averigua por medio de la escala graduada que existe en la campana; expresando su temperatura el termómetro T, y hallándose entonces á una presión igual á la altura del barómetro, menos la del mercurio que queda en la campana. Solo falta, por lo tanto, calcular el peso de un volumen de aire que sea igual al del vapor, en las mismas condiciones de temperatura y de presión; y dividién-

duzca á vapor, lo cual se verifica cuando, llegado el baño á la temperatura de ebullicion del líquido de la ampollita, el nivel del mercurio permanece, sin embargo, un poco mas alto en el interior de la campana que en el exterior. Esto prueba que no queda nada de líquido sin vaporizar, porque en tal caso el nivel interior seria casi el mismo que el exterior (552). No cabe duda, pues, de que el peso del líquido de la ampollita representa con exactitud el del vapor que se formó en la campana C. Respecto al volumen de este vapor, se averigua por medio de la escala graduada que existe en la campana; expresando su temperatura el termómetro T, y hallándose entonces á una presión igual á la altura del barómetro, menos la del mercurio que queda en la campana. Solo falta, por lo tanto, calcular el peso de un volumen de aire que sea igual al del vapor, en las mismas condiciones de temperatura y de presión; y dividién-

do, por último, el peso del vapor por el del aire, el cociente será la densidad ó el peso específico que se buscaba.

Hé aquí, por lo demás, la marcha que en estos cálculos debe seguirse. Si representamos por p el peso del vapor en gramos, por v su volúmen en litros, por t su temperatura, por A la altura del barómetro, y por a la del mercurio en la campana, resultará que la presión del vapor es $A - a$; ya solo falta calcular el peso p' de un volúmen equivalente de aire v , á la temperatura t y á la presión $A - a$.

Como un litro de aire á cero y á la presión de $0^m,76$ pesa $1^r,295$, el peso del volúmen v , á la misma presión y á cero, es $1^r,295 \times v$. Pero vimos (316, prob. vi), que para convertir un peso á cero en el equivalente á la temperatura t , no hay mas que dividirlo por $1 + \alpha t$, siendo α el coeficiente de dilatación del aire; por lo tanto, el peso del volúmen de aire v , á t grados y á la presión de $0^m,76$, es $\frac{1^r,295 \times v}{1 + \alpha t}$.

Por último, según la ley de Mariotte el peso del aire á la presión $A - a$, se deduce del peso del mismo á la presión $0^m,76$, multiplicando la fórmula de este por $\frac{A - a}{0,76}$; de consiguiente, el peso p' de un volúmen de aire v equivalente al del vapor, y á la misma temperatura y presión, es $\frac{1^r,295 \times v(A - a)}{(1 + \alpha t) \times 0^m,76}$. De aquí resulta para la densidad

$$D = \frac{p}{p'} = \frac{p(1 + \alpha t)0^m,76}{1^r,295v(A - a)}$$

570. **Método del Sr. Dumas.**—El procedimiento que acabamos de describir no puede aplicarse á los líquidos cuya temperatura de ebullición excede de 150 á 160° . En efecto, para dar esta temperatura al aceite del cilindro, hay que calentar el mercurio de la vasija á un grado tal, que la tensión de los vapores que se desprenderían mercuriales debajo de la campana graduada se agrega á la del vapor en que se experimenta, lo cual es una causa de error; desaparece esta con el siguiente procedimiento, debido al Sr. Dumas. Consta el aparato de un globo de vidrio B (fig. 416), como de medio litro de capacidad. Después de haber secado bien el globo interior y exteriormente, se le pesa lleno de aire seco á la presión A y á la temperatura ambiente t , y después se introducen en él la sustancia ya sea líquida ó sólida, cuya densidad del vapor se trata de averiguar, se sumerge el globo en un baño de agua saturada de sal, ó en uno de aceite de manos de buey, ó de la aleación de Darcet, según la temperatura de ebullición de la sustancia contenida en el globo. A fin de sostener este en el baño, se fija en una de las asas del perol que contiene el líquido, una barra de hierro, á lo largo de la cual puede correr otra del mismo metal que lleva dos aros, entre los cuales se coloca el globo, conforme se ve en el grabado. En la otra asa, una barra, semejante á la primera, sostiene un termómetro de peso D.

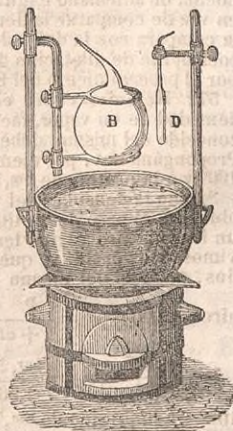


Fig. 416.

Introducidos el globo y el termómetro en el baño, se calientan á una temperatura algo mayor que la de ebullición del cuerpo en el que se experimenta, y el vapor, al salir por la punta afilada, expulsa el aire del aparato. En el momento en que cesa el tiro del vapor, lo cual sucede cuando la sustancia está toda vaporizada, se cierra á la lámpara con un soplete el orificio del globo, procurando anotar al mismo tiempo la temperatura t' del baño y la altura A' del barómetro. En fin, frío ya el globo y enjugado con el mayor esmero, se le pesa de nuevo, y suponiendo que esta segunda pesada excede á la primera en una cantidad Q, esta cantidad representa el exceso de peso del vapor contenido en el globo, á la temperatura t' y la presión A' sobre el peso del aire que antes contenía á la temperatura t y presión A.

Para obtener este último peso es preciso conocer primeramente el volúmen del globo á cero, á cuyo fin se introduce el cuello en una vasija que contenga mercurio y allí se rompe la punta con unas pinzas. Como el vapor está condensado, existe vacío en el globo; resultando de aquí que por efecto de la presión atmosférica se precipita en él el mercurio, llenándole completamente siempre y cuando que haya sido expulsado todo el aire. Vertiendo en seguida en una campana graduada el mercurio que

ha entrado en el globo, se determina el volúmen de este á la temperatura ambiente, con cuyo dato se calcula el volúmen V á cero y en seguida el peso P del aire contenido en el globo á la temperatura t y á la presión A (516). El peso P' del vapor que contiene el globo á t' grados y á la presión A', es pues, P + Q.

Calentado, por último, el peso P' del aire que contendría el globo en las condiciones de temperatura y presión t' y A', resulta: $D = \frac{P'}{P''} = \frac{P + Q}{P''}$.

Si cuando se introduce el mercurio en el globo, existe aun en este alguna cantidad de aire, no se llenará por completo, pero de todas maneras el volúmen del mercurio introducido representará el del vapor.

Densidades de algunos vapores con relacion al aire.

Aire.	1,0000	Vapor de sulfuro de carbono. . .	2,6447
Vapor de agua.	0,6235	— de fósforo.	4,420
— de alcohol.	1,6138	— de esencia de trementina. . .	5,0130
— de azufre.	2,206	— de mercurio.	6,976
— de éter sulfurico.	2,5860	— de yodo.	8,716

371. **Procedimiento de los Sres. Sainte-Claire Deville y Troost.**—Estos físicos han modificado el método del Sr. Dumas, haciéndole aplicable á los cuerpos que no entran en ebullicion sino á temperaturas superiores á la de fusion del vidrio, reemplazando el globo de dicha sustancia por otro de porcelana vidriada de Bayeux, de cuello largo y estrecho, cerrado con un tapon cónico de la misma materia que permite el desprendimiento de los vapores y que en el momento en que cesa la salida de estos puede fundirse con el soplete de gas oxi-hidrogenado. Dicho globo está colocado en una estufa de vapor de mercurio, de azufre, de cadmio ó de zinc, y por consiguiente sometido á la temperatura de ebullicion de estas sustancias, la cual es conocida de antemano é igual respectivamente á 550, 450, 860 y 1080 grados. Finalmente, en vez de comparar la densidad que buscamos con la del aire tomada por unidad, se la compara con la del yodo que es cerca de nueve veces mayor. Una vez conocido el coeficiente de dilatacion del globo, se termina la operacion de la misma manera que por el procedimiento del Sr. Dumas.

372. **Relacion entre el volúmen de un liquido y el de su vapor.**—Conocida la densidad de un vapor, facilmente se deduce de ella el volúmen que, un peso tambien conocido del mismo, debe ocupar en el estado de saturacion, á una temperatura dada. Propongámonos, por ejemplo, calcular el volúmen de un gramo de vapor de agua á 100° y á la presión de 0^m,76.

Siendo la densidad del vapor de agua, á 100°, con relacion á la del aire, 0^m,6255, se obtendrá el peso de un litro de aquel á 100° y á la presión de 0^m,76, buscando el de un litro de aire á igual temperatura y presión, y multiplicándole por 0^m,6255. Pero vimos (516, probl. vi) que, representando por P' el peso de un litro de aire á t grados, por P el del mismo volúmen á cero, y por α el coeficiente de dilatacion del

aire, resulta $P' = \frac{P}{1 + \alpha t}$; por consiguiente, el peso de un litro de aire seco á 100° es

$$\frac{1\text{gr},295}{1 + 0,00567 \times 100} = \frac{1\text{gr},295}{1,567} = 0\text{gr},946; \text{ de manera que un litro de vapor, saturado á } 100^\circ \text{ y á la presión de } 0^m,76, \text{ pesa } 0\text{gr},946 \times 0,6255 = 0\text{gr},5898.$$

Para obtener á la misma temperatura y á igual presión el volúmen V que ocupa un gramo de vapor, no hay mas que dividir 1 gr. por 0^{gr},5898 y resulta $V = 1^m,695 = 1695$ centímetros cúbicos. Al trasformarse el agua en vapor á 100° y á la presión de 0^m,76, adquiere, pues, un volúmen cerca de 1700 veces mayor que en el estado liquido.

CAPITULO VI.

HIGROMETRÍA.

373. **Objeto de la higrometría.**—La *higrometría* tiene por objeto determinar la cantidad de vapor de agua existente en un volúmen dado de aire. Aunque es muy variable esta cantidad, jamás se halla el aire saturado de vapor de agua, por lo menos en nuestros climas. Tampoco se

observa nunca que se halle completamente seco, porque si se exponen á su acción sustancias *higrométricas*, es decir, de gran afinidad respecto al agua, como son el cloruro de calcio ó el ácido sulfúrico, siempre se observa que dichas sustancias absorben vapor de agua.

374. Estado higrométrico. — Como en general nunca está saturado el aire, se llama *estado higrométrico ó fracción de saturación* del aire, la razón de la cantidad actual de vapor de agua que contiene á la que contendría si estuviese saturado, supuesta en ambos casos la misma temperatura. El grado de humedad del aire no depende de la cantidad absoluta de vapor acuoso existente en la atmósfera, sino de la mayor ó menor distancia á que aquel se encuentra del estado de saturación; así, por consiguiente, cuando es frío, puede ser muy húmedo con poco vapor, y muy seco, por el contrario, con una cantidad mayor de vapor, si está caliente. Por ejemplo, el aire contiene, en general, mas agua en el verano que en el invierno, y sin embargo, está menos húmedo, porque siendo la temperatura mas elevada, el vapor dista mas de su punto de saturación. Del mismo modo cuando se calienta una habitación, no disminuye la cantidad de vapor que existe en el aire, pero si la humedad de este, porque se retarda su punto de saturación; y aun puede quedar en este caso bastante seco para perjudicar á la economía animal: por esta razón conviene poner sobre las estufas una vasija que contenga agua.

Como la ley de Mariotte es aplicable lo mismo á los vapores no saturados que á los gases (340), resulta que á igualdad de temperatura y de volumen, el peso del vapor, en un espacio sin saturar, crece como la presión, y por consiguiente, como la tensión del mismo vapor. Podemos sustituir, pues, en vez de la razón de las cantidades de vapor, la de las fuerzas elásticas correspondientes, y decir que el estado higrométrico del aire es *la razón entre la fuerza elástica del vapor de agua que contiene y la del que contendría á igual temperatura, si estuviese saturado.*

Es decir, que representando por f la tensión del vapor contenido en el aire, por F la del vapor saturado á la misma temperatura, y por E el estado higrométrico, se tiene

$$E = \frac{f}{F}, \text{ de cuya igualdad se deduce: } f = F \times E.$$

Como consecuencia de esta segunda definición, debe observarse que si la temperatura varía, puede contener el aire la misma cantidad de vapor, y no presentar, sin embargo, el mismo estado higrométrico. En efecto, aumentando la temperatura, la fuerza elástica del vapor que contendría el aire, en el estado de saturación, crece con mayor rapidez que la misma fuerza correspondiente al que en la actualidad contiene, y por consiguiente disminuye el valor de la fracción que representa el estado higrométrico.

Pronto veremos (383) cómo de su estado higrométrico se deduce el peso del vapor contenido en un volumen dado de aire.

375. Diferentes especies de higrómetros. — Denominanse *higrómetros* los instrumentos que sirven para determinar el estado higrométrico del aire. Muchos son los aparatos que con dicho objeto se han ideado, pero pueden clasificarse todos en cuatro sistemas principales, que son: los *higrómetros químicos*, los *de absorción*, los *de condensación* y los *psicrómetros*.

376. Higrómetro químico. — Su procedimiento consiste en hacer pasar un volumen conocido de aire por una sustancia ávida de agua, por ejem-

plo, el cloruro de calcio. Pesando la sustancia antes y despues del paso del aire, se halla un exceso de peso, que es el del vapor que aquel contenia. Para hacer pasar un volúmen de aire mas ó menos considerable, segun convenga, se dispone el experimento como se ve en la figura 417. Dos receptáculos de laton A y B, de construccion y capacidad idénticas, sirven sucesivamente de aspiradores, fijándolos al efecto en un mismo eje á cuyo alrededor se les hace oscilar alternativamente. Dichos

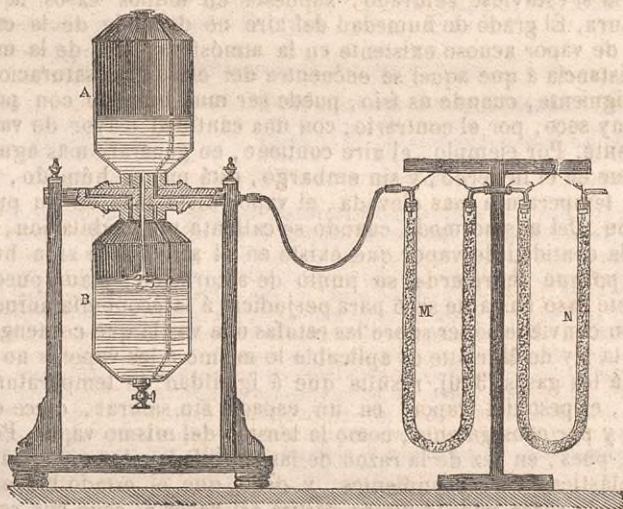


Fig. 417.

receptáculos comunican entre sí por un tubo central, y por otros dos conductos que hay en el eje están siempre en comunicacion, el inferior con la atmósfera, y el superior, mediante un tubo de cautchu, con una série de tubos M, N llenos de cloruro de calcio ó de piedra pómez sulfúrica. El primero N, está destinado á absorber el vapor de agua contenido en el aire aspirado, y el segundo, M, detiene el vapor que tiende á pasar de los receptáculos al tubo N.

Lleno de agua el receptáculo inferior y el superior de aire, se hace oscilar el aparato de modo que el líquido corra lentamente de A á B. Haciéndose entonces el vacío en A, entra el aire por los tubos N, M, siendo absorbido en el primero todo el vapor de agua que contenga. Cuando ha pasado toda el agua á B, se vuelve á invertir el aparato, empezando otra vez la misma corriente y aspirándose el mismo volúmen de aire al través del tubo N, y así sucesivamente hasta que haya pasado por el aparato la cantidad de aire que se desee; por consiguiente, si la capacidad de cada receptáculo es, por ejemplo, 10 litros, y si se ha invertido cinco veces el aparato, resulta que han pasado por el tubo N y secándose allí 50 litros de aire. Por tanto, si antes del experimento se ha pesado el tubo N con las materias que contiene, y despues se le vuelve á pesar, el exceso de peso será el del vapor de agua contenido en 50 litros de aire al efectuarse el experimento, deduciéndose luego de este peso, por medio del cálculo, el estado higrométrico de dicho fluido. Este procedimiento es

el mas exacto de todos , pero no presenta el grado de sencillez necesario para las observaciones meteorológicas.

377. Higrómetros de absorción. — Estos aparatos están fundados en la propiedad que poseen las sustancias orgánicas de alargarse con la humedad y de acortarse con la sequía. Se conocen varios, pero el mas usado es el *higrómetro de cabello* ó *higrómetro de Saussure*, así llamado por el apellido de su inventor. Este instrumento se compone de un bastidor de cobre (fig. 418) en el cual se halla tenso un cabello *c*, previamente desengrasado en agua que lleve en disolucion una centésima parte de su peso de subcarbonato de sosa; tambien se le puede desengrasar sumergiéndole por veinte y cuatro horas en éter sulfúrico, que es lo que hace Regnault. Si no estuviese limpio el cabello, absorberia poco vapor, y por consiguiente se alargaria muy poco, siendo así que libre de toda materia grasienta, se alarga rápidamente al pasar del estado seco al húmedo.

Se halla sostenido el cabello *c*, por su extremo superior, por unas pinzas *a* apretadas por un tornillo de presion *d*, cuyas pinzas pueden subir ó bajar para tender el cabello, mediante otro tornillo *b* de tuerca fija. Si estuviese anudado el cabello, la torsion indispensable al efecto ocasionaria un alargamiento irregular. Se arrolla y fija el cabello por el extremo inferior en una polea *o* de dos gargantas, efectuándolo en la segunda garganta, pero en sentido contrario del cabello, un hilo de seda, del cual pende un pequeño peso *p*; finalmente, en el eje de la polea hay una aguja que se mueve sobre un cuadrante ó muestra graduada. Cuando se encoge el cabello, la traccion que ejerce levanta la aguja, y cuando se alarga, el peso *p* la hace descender.

Para graduar la muestra, se marca cero en el punto donde, en el aire completamente seco y á la temperatura ordinaria, se detiene la aguja; 100, allí donde se para cuando el aire está saturado de vapor de agua; y despues se divide el intervalo entre estos dos puntos en 100 partes iguales, que son los grados del higrómetro.

El cero, ó el punto de sequía extrema, se determina colocando el higrómetro debajo de una campana de vidrio, cuyo aire se seca por medio de sustancias muy ávidas de agua, como son el cloruro de calcio ó el carbonato de potasa calcinado. El aire de la campana va perdiendo su humedad, y de consiguiente, se acorta el cabello, haciendo girar la polea y su aguja, pero con mucha lentitud; pues hasta pasados quince ó veinte dias, no queda aquella estacionaria, lo cual indica, que el aire de la campana está completamente seco. Señálase entonces cero en el punto de la muestra donde se detiene la aguja.

Se obtiene la situacion del punto de extrema humedad, quitando de la campana las materias desecantes, y mojado sus paredes con agua destilada. Al evaporarse esta, satura muy pronto el aire, alargándose con rapidez el cabello; entonces el pequeño peso *p*, cuyo hilo se arrolla en sentido contrario que aquel, mueve la aguja tambien en sentido opuesto al cero. En menos de dos horas vuelve á quedar estacionaria, marcándose entonces 100, en el punto en que se para.



Fig. 418.

Segun Saussure, un cabello tenso por un peso de 3 decigramos, se alarga de cero á 100, $\frac{1}{16}$ de su longitud, que es de unos 20 centímetros. Los cabellos rubios son los que, al parecer, se alargan con mayor regularidad.

Se desprecia la dilatacion del cabello debida á las variaciones de temperatura, porque se ha observado que, por una diferencia de 33° en la temperatura del aire, el alargamiento del cabello solo hace recorrer á la aguja 0,75 de grado del higrómetro. Haciendo abstraccion de esta exígua dilatacion, se observa que, sea cual fuere la temperatura, la aguja del higrómetro vuelve siempre exactamente al cero en el aire perfectamente seco, y á 100 grados en el que se halla saturado. La fijeza de este último punto demuestra que, en el aire saturado, absorbe siempre el cabello la misma cantidad de agua, sean cuales fueren la temperatura y densidad del vapor.

Muchos son los inconvenientes que ofrecen los higrómetros de que tratamos, pues contruidos con cabellos de diferentes especies, pueden variar en algunos grados sus indicaciones, por mas que estén acordes en sus puntos fijos. Además, un mismo higrómetro no es siempre comparable consigo mismo, pues con el tiempo se alarga el cabello por la continuada tension del peso que sostiene. Por eso el mejor sistema de graduacion es una muestra enteramente circular, de cero arbitrario, en la cual se determina de cuando en cuando la posicion de los puntos de extrema humedad y sequía. El higrómetro de cabello presenta tambien el inconveniente de que sus indicaciones no dan inmediatamente el estado higrométrico del aire, el cual se deduce de ellas por medio de una tabla construida al efecto por Gay Lussac.

378. **Tabla de correccion de Gay-Lussac.** — La experiencia demuestra que las indicaciones del higrómetro de cabello no son proporcionales al estado higrométrico del aire. Por ejemplo, cuando marca la aguja 50 grados, que es el número que corresponde á la mitad de la graduacion, dista mucho de ofrecer el aire una semi-saturacion; ha sido, pues, preciso determinar experimentalmente el estado higrométrico que corresponde á cada grado del instrumento. Gay-Lussac resolvió este problema fundándose en que los vapores resultantes de una disolucion salina ó ácida tienen una tension máxima, tanto mas débil para una misma temperatura, cuanto mayor es la cantidad de sal ó de ácido disueltos (344).

Colocaba Gay-Lussac el higrómetro de cabello debajo de una campana donde habia una mezcla de agua y ácido sulfúrico, y anotaba el grado del higrómetro, despues de saturado el aire. Para obtener la tension correspondiente del vapor, hacia pasar á la cámara barométrica algunas gotas de la misma disolucion salina que habia puesto debajo de la campana, y la depresion del mercurio en el barómetro le daba entonces la tension del vapor, puesto que, en el estado de saturacion y en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de un vapor es la misma en el vacío que en el aire (366, 1.^o). Buscando, por fin, en las tablas de las fuerzās elásticas la tension del vapor saturado á la temperatura del aire de la campana, tenia los dos términos de la razon que representaba el estado higrométrico correspondiente al grado marcado por el higrómetro (374). Repitiendo este experimento con disoluciones ácidas, mas ó menos concentradas y á la temperatura de 10° , encontró diez términos de la tabla siguiente, completándola luego Biot por medio de fórmulas de interpolacion.

Estados higrométricos correspondientes á los grados del higrómetro de cabello á la temperatura de 10°.

GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.	GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.
0	0,000	55	0,518
5	0,022	60	0,565
10	0,046	65	0,414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,500
25	0,120	75	0,558
50	0,148	80	0,612
55	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0,791
45	0,241	95	0,891
50	0,278	100	1,000

La tabla anterior manifiesta que á 72 grados está semi-saturado el aire; y como á este punto corresponde las mas de las veces la aguja del higrómetro en la superficie de la tierra, se deduce de aquí que el aire contiene por término medio la mitad del vapor que contendría si estuviese saturado. En nuestros climas nunca baja el higrómetro hasta 100 grados, aun cuando reinen las mas copiosas lluvias; y en las mayores sequías, raras veces sube mas allá de los 30 grados. Cuanto mas alta es la region de la atmósfera en que se observa, mas se aproxima á cero el estado higrométrico.

Segun Gay-Lussac, su tabla de correccion podia aplicarse á todos los higrómetros de cabello; pero el Sr. Regnault ha visto que las indicaciones de estos instrumentos varian con la naturaleza de los cabellos, con su color, con su finura y con el sistema adoptado para desengrasarlos; de suerte que, para obtener indicaciones exactas, es preciso una tabla particular para cada higrómetro, lo cual prueba cuán poco exactos son estos instrumentos y cuántas dificultades ofrece su empleo.

379. Higrómetro de condensacion de Daniell — Los higrómetros de condensacion tienen por objeto dar á conocer, por medio del enfriamiento del aire, á qué temperatura el vapor que contiene sería suficiente para saturarle; tales son los higrómetros de Daniell y el de Regnault.

El *higrómetro de Daniell* consta de dos esferas de vidrio, reunidas por un tubo doblemente acodillado (fig. 419). La esfera A está llena hasta los dos tercios de éter, en el cual está sumérgido el depósito de un pequeño termómetro encerrado en el tubo. Las dos esferas y el tubo se hallan completamente purgadas de aire, lo cual se consigue haciendo hervir el éter de la esfera A, mientras que la B está aun abierta, y cerrando esta á la lámpara cuando se juzga que los vapores de éter han arrastrado todo el aire, de suerte que el tubo y la esfera B no contienen mas que vapor de éter.

Envuelta en muselina la esfera B, se vierte sobre ella éter, gota á gota, con objeto de que, al evaporarse, enfrie la esfera (358) y condense los vapores que contiene. Disminuye entonces la tension interior; el éter de la esfera A emite acto continuo nuevos vapores, que van á condensarse

de igual modo en la otra esfera, y así sucesivamente. A medida que el líquido se va así destilando de la esfera inferior A á la superior B, llega un momento en que el aire, que está en contacto con la primera y que se enfria al mismo tiempo que ella, llega á la temperatura á que el vapor de agua que aquel contiene es suficiente para saturarle. Condensase entonces dicho vapor, depositándose en la esfera A una capa de rocío que la rodea á manera de un anillo situado á la altura de la superficie del líquido, porque allí es efectivamente donde, sobre todo, se produce el enfriamiento originado por la evaporacion. El termómetro interior indica en aquel instante la temperatura del *punto de rocío*, es decir, la temperatura de saturacion del aire ambiente.

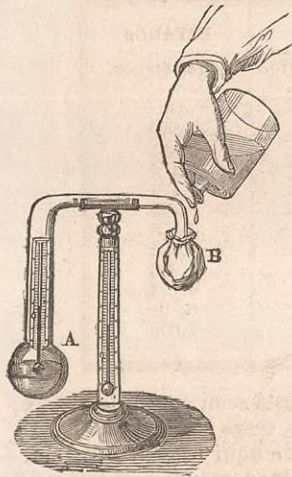


Fig. 419.

Para obtener este punto con mas aproximacion, se observa la temperatura á que desaparece el vapor precipitado, por haberse vuelto á calentar el instrumento, y se toma el promedio entre esta y la de precipitacion. El higrómetro debe estar expuesto durante el experimento á una corriente de aire, en una ventana abierta por ejemplo, á fin de que la evaporacion del éter sobre la

muselina sea mas rápida; la temperatura del aire se observa en un termómetro situado en el pie mismo del aparato. Conociendo ya por el higrómetro de Daniell la temperatura á que estaria saturado el aire, se trata ahora de deducir de ella el estado higrométrico. Obsérvese, al efecto, que en un espacio libre que contiene una mezcla de aire y de vapor, á la presion atmosférica, la fuerza elástica del vapor permanece constante hasta el punto de saturacion cuando baja la temperatura. En efecto, la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas de cada flúido (366, 2.^o), y mientras se enfria el aire, permanece invariable su tension, pues aumenta tanto por la disminucion de volúmen, cuanto disminuye por el descenso de temperatura. La tension del vapor debe, por consiguiente, permanecer invariable, supuesto que la fuerza elástica de la mezcla es necesariamente igual á la presion atmosférica, lo mismo antes que despues del enfriamiento. Por lo tanto, *cuando se enfria el aire, la tension del vapor que contiene permanece invariable hasta el punto de saturacion, en el cual dicha tension es la misma que antes del enfriamiento.*

En virtud de este principio, si se busca en las tablas de las fuerzas elásticas la tension f , correspondiente á la temperatura del punto de rocío, esta será precisamente la que posea el vapor de agua existente en el aire en el momento del experimento. Si se busca luego en las mismas tablas la tension F del vapor saturado á la temperatura del aire, el cociente

$\frac{f}{F}$ representará su estado higrométrico (374). Supongamos, por ejemplo, que siendo 15° la temperatura del aire ambiente, el termómetro de la esfera A marca 5° al precipitarse el rocío. Buscando en las tablas de las

fuerzas elásticas las tensiones que corresponden á 5° y 15° respectivamente, se encuentra $f=6^{\text{mm}},514$ y $F=12^{\text{mm}},699$; sustituyendo estos valores en la razón $\frac{f}{F}$ y efectuando la division, resulta que el estado higrométrico es 0,514.

El higrómetro de Daniell presenta varias causas de error, siendo las principales las dos siguientes: 1.^a como la evaporacion en la esfera A solo enfria la superficie del líquido, el termómetro que en él se introduce no puede dar con precision la temperatura del punto de rocío; y 2.^a el observador, colocado junto al aparato, modifica la temperatura y el estado higrométrico del aire ambiente.

380. **Higrómetro del Sr. Regnault.**— Este físico construyó un higrómetro de condensacion que no presenta las causas de error que el de

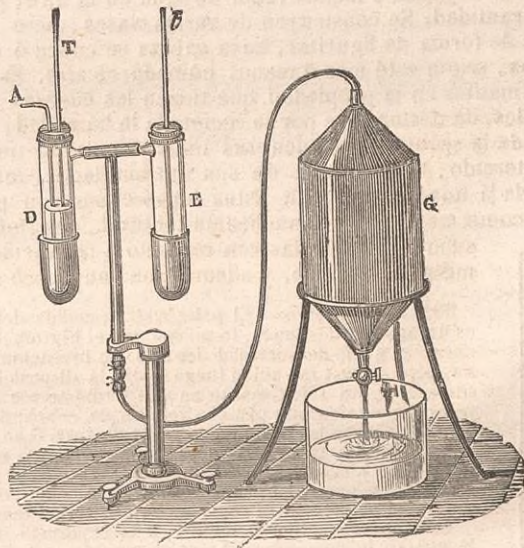


Fig. 420.

Daniell. Consiste el aparato en dos dedales de plata, de paredes delgadas y bruñidas, de 45 milímetros de altura y 20 de diámetro (figura 420), en los cuales se ajustan dos tubos de vidrio D y E; cada uno de ellos contiene un termómetro muy sensible, sujeto con un tapon. El tapon del tubo D está también atravesado por otro tubo A, abierto por sus dos extremos, uno de los cuales llega hasta el fondo del dedal. El tubo D comunica además por el mismo pie del sosten y por un tubo de plomo, con un aspirador G lleno de agua. El tubo E no comunica con el aspirador, y solo contiene el termómetro en el cual se observa la temperatura del aire.

Para hacer funcionar el higrómetro se pone éter en el tubo D hasta la mitad de su capacidad, y luego se abre la llave del aspirador, á fin de que salga el agua y se enrarezca el aire del citado tubo. Por efecto de la

presión atmosférica, entra entonces aire por el tubo A; pero como no puede penetrar en el D ni en el aspirador, sin pasar al través del éter, vaporiza una parte de este líquido, enfriándole tanto mas pronto, cuanto mas rápida sea la corriente del aspirador. Llega un instante en que el enfriamiento determina sobre el dedal un depósito de rocío, lo mismo que en el higrómetro de Daniell, y observando en el termómetro T la temperatura correspondiente, se poseen ya los elementos necesarios para calcular el estado higrométrico.

En este instrumento se halla toda la masa del éter á la misma temperatura, á causa de la agitacion que le imprime la corriente de aire; y las observaciones se efectúan á cierta distancia por medio de un anteojo, consiguándose de esta manera evitar las causas de error que antes mencionamos en el higrómetro de Daniell.

381. Higróscopos.—Dáse el nombre de *higróscopos* á unos aparatos que indican si hay mas ó menos vapor de agua en el aire, pero sin dar á conocer su cantidad. Se construyen de varias clases, pero los mas usados son los de forma de figuritas, cuya cabeza se cubre ó descubre con una capucha, segun esté mas ó menos húmedo el aire. Están fundados estos instrumentos en la propiedad que tienen las cuerdas y los intestinos retorcidos, de desdorsarse por la accion de la humedad, y de torcerse mas por la de la sequía. Dependen sus indicaciones de un pedacito de intestino retorcido, fijo por una de sus extremidades, mientras que la otra va unida á una pieza móvil. Estos higróscopos son perezosos, es decir, que como marchan con muchísima lentitud, sus indicaciones van siempre retrasadas con respecto á las variaciones higrométricas del aire, y además son muy poco sensibles.

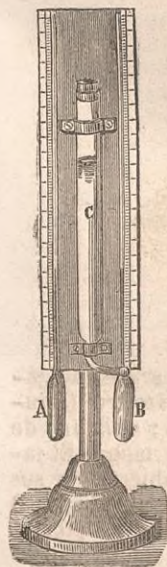


Fig. 421.

382. Psicrómetro.—El *psicrómetro* (medida del enfriamiento) es un aparato destinado, lo mismo que el higrómetro, á dar á conocer el grado de humedad del aire. Su invencion se debe á Leslie, pero August fué quien luego le dió la disposicion que representa la figura 421. Consiste en dos termómetros A y B, situados paralelamente en una plancha vertical de cobre; fijo en la misma plancha y entre los termómetros hay un tubo C en el cual se pone agua destilada. El depósito del termómetro B está envuelto en una muselina constantemente humedecida merced á una torcida de algodón que parte del pequeño orificio inferior del tubo C, siempre abierto, estando el superior tapado herméticamente.

La evaporacion que se origina en la superficie del termómetro le enfria y le hace marcar constantemente una temperatura tanto mas baja respecto á la del termómetro A, cuanto mas rápida es la evaporacion, es decir, cuanto menos humedad hay en el aire. De aqui se deduce la tension x del vapor de agua en el aire ambiente por medio de la siguiente fórmula:

$$M(t-t') = \frac{F' - x}{A} \quad [1],$$

en la cual t representa la temperatura del termómetro seco, t' la del termómetro húmedo, F' la tension del vapor saturado á t' grados, A la presión atmosférica, y M un coeficiente indeterminado.

El primer miembro de la fórmula [1] representa el calor que recibe el termómetro húmedo, el cual, segun la ley de Newton (412), es proporcional á la diferencia $t - t'$, y el segundo miembro representa el calor absorbido por la evaporacion, que, segun Dalton, es directamente proporcional á la diferencia $F' - x$, é inversamente á la presión A . Pero cuando el termómetro húmedo adquiere una temperatura fija t' , las cantidades de calor que pierde y recibe son necesariamente iguales; por lo tanto igualando dichas expresiones resulta la fórmula [1].

Para aplicar esta fórmula hay que comenzar por calcular el coeficiente M , con cuyo objeto se determina x por medio del higrómetro de Regnault, y sustituyendo el valor que se obtenga, en vez de x , en la ecuación 4, esta dará el de M para otros particulares de $t - t'$, de F' y de A . Considerando como constante dicho valor de M é introduciéndole en la citada ecuación, ya es posible calcular con ella los valores de x correspondientes á los diferentes valores de t y t' observados en el psicrómetro. El señor Regnault ha probado que el valor del coeficiente M varia entre 0,00075 y 0,00150, segun que el aire esté muy seco ó muy húmedo, y además, que tambien influye en dicho valor la rapidez con que se renueva el aire y la situacion del psicrómetro, segun se halle expuesto al aire libre ó resguardado de este: de todo lo cual resulta que las indicaciones de este instrumento ofrecen siempre poca exactitud.

585. **Problemas sobre la higrómetros.**—I. Calcular el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire V , á la temperatura t , marcando m grados el higrómetro de cabello, y siendo $\frac{5}{8}$ la densidad del vapor con relacion á la del aire.

En la tabla de Gay-Lussac (578) se encuentra el estado higrométrico E que corresponde á m grados del higrómetro, y en las de las fuerzas elásticas se halla la tension F del vapor saturado á t grados; por consiguiente, la igualdad $f = F \times E$ (574), nos da á conocer la fuerza elástica f del vapor cuyo peso buscamos.

Conocida esta y sabiendo que 1 litro de aire á cero y á la presion de 76^{cm}, pesa 1^{gr},295, su peso á t° y á la presion f será $\frac{1^{\text{gr}},295 \times f}{(1 + \alpha t)76}$ (516, probl. vi); por consiguiente,

1 litro de vapor cuya densidad sea $\frac{5}{8}$, pesa á la misma temperatura é igual presion,

$$\frac{1^{\text{gr}},295 \times f \times \frac{5}{8}}{(1 + \alpha t)76 \times 8};$$

por lo tanto, el peso del vapor contenido en V litros de aire á t grados, siendo E el estado higrométrico, es $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V \times f \times \frac{5}{8}}{(1 + \alpha t)76 \times 8}$, cuyo valor es independiente de la presion atmosférica.

II. Calcular el peso P de un volumen V de aire húmedo, cuyo estado higrométrico es E , á la temperatura t y á la presion A , siendo la densidad del vapor con relacion á la del aire $\frac{5}{8}$.

Para resolver este problema, conviene recordar la segunda ley de las mezclas de los gases con los vapores, segun la cual el volumen de aire propuesto no es otra cosa que una mezcla de V litros de aire seco á t grados y á la presion A , menos la tension del vapor, y de V litros de vapor á t grados y á la presion dada por el estado higrométrico; por lo tanto, debemos determinar aisladamente el peso del aire y el del vapor.

La fórmula $f = F \times E$ sirve para calcular la tension f del vapor que existe en el aire, puesto que conocemos el valor E y el de F se encuentra en las tablas de las fuerzas elásticas. Conocida la tension f , si representamos por f' la tension del aire, tendremos $f + f' = A$, de la cual se deduce $f' = A - f = A - FE$.

Queda por lo tanto reducida la cuestion á calcular el peso de V litros de aire seco á t grados y á la presion $A - FE$, y despues el de V litros de vapor tambien á t grados, pero á la presion FE . Pero como sabemos que V litros de aire seco á t grados y á la presion $A - FE$ pesan $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V(A - FE)}{(1 + \alpha t)76}$, y que, segun hemos visto en el problema anterior,

V litros de vapor á t grados y á la presion FE , pesan $\frac{1^{\text{gr}},295 \times V \times FE \times \frac{5}{8}}{(1 + \alpha t)76 \times 8}$; si se efectúa la suma de los dos pesos obtenidos y se hacen las reducciones necesarias resulta:

$$P = \frac{1^{\text{gr}},295 \times V \left(A - \frac{5}{8} FE \right)}{(1 + \alpha t)76} \quad [A].$$

Si el aire se encontrase saturado, tendríamos $E = 1$, y entonces esta fórmula se trasformaría en la que ya hemos deducido para las mezclas de los gases con los vapores saturados (567, probl. iii).

Si $V = 1$ litro, P representa el peso de dicha unidad de aire á la temperatura t , á la presión A y al estado higrométrico E ; es decir, la cantidad A que entra en las fórmulas dadas anteriormente para la corrección de los pesos específicos de los sólidos y de los líquidos (314).

Como la fórmula [A] contiene además del peso P , otras cantidades variables V , E , A , t , podemos, tomando sucesivamente cada una de estas cantidades como incógnita, proponer la solución de tantos problemas cuantas son aquellas, lo cual se conseguiría resolviendo la ecuación [A] con relación á V , á E , á A , ó á t ; sirva como ejemplo el problema siguiente.

III. Calcúlese á t grados y á la presión A , el volúmen de un peso de aire P , cuyo estado higrométrico sea E , la densidad del vapor $\frac{5}{8}$, y conocida su tensión máxima F á t grados, en las tablas de las fuerzas elásticas.

Resolviendo con relación á V la ecuación [A] del problema anterior, resulta:

$$V = \frac{P(1 + \alpha t)76}{1\text{gr},295 \left(A - \frac{5}{8}FE \right)} [B].$$

También podemos resolver directamente este problema. Para efectuarlo, siendo el peso P una mezcla de aire seco á t grados y á la presión $A - FE$, y de vapor á t grados y á la presión FE , representemos por x el peso del aire y por y el del vapor; además, según el enunciado, se tiene $x + y = P$ [1]. Siendo la densidad del vapor los $\frac{5}{8}$ de

la del aire, y debe ser igual á los $\frac{5}{8}$ de x á una presión igual; pero como el volúmen de aire que se busca pesa x á la presión $A - FE$, su peso á la presión FE , que es la del vapor, solo será $\frac{x \times FE}{A - FE}$; por consiguiente,

$$y = \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{A - FE}.$$

Sustituyendo este valor en la ecuación [1], se transformará en

$$x + \frac{x \times FE \times \frac{5}{8}}{A - FE} = P, \text{ de donde } x = \frac{P(A - FE)}{A - \frac{5}{8}FE}.$$

Conocido ya el peso del aire, se obtendrá su volúmen en litros, averiguando las veces que dicho peso contiene el de un litro de aire á t grados y á la presión $A - FE$; y como un litro de aire á cero grados y á la presión de 76cm , pesa $1\text{gr},295$, su peso á t grados y á la presión $A - FE$, será $\frac{1\text{gr},295(A - FE)}{(1 + \alpha t)76}$. Así, pues, obtendremos por último

$$V = \frac{P(A - FE)}{A - \frac{5}{8}FE} : \frac{1\text{gr},295(A - FE)}{(1 + \alpha t)76} = \frac{P(1 + \alpha t)76}{1\text{gr},295 \left(A - \frac{5}{8}FE \right)},$$

que es la misma fórmula [B], que hemos obtenido anteriormente.

CAPITULO VII.

CALORIMETRÍA Y EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR.

584. **Objeto de la calorimetría: caloría.** — El objeto de la *calorimetría* es medir la cantidad de calor que ceden ó absorben los cuerpos cuando su temperatura aumenta ó disminuye un número de grados conocido, ó cuando cambian de estado.

No es posible medir la cantidad absoluta de calor que pierde ó gana un cuerpo, sino solamente la relativa, esto es, la relacion entre la cantidad absoluta perdida ó ganada por el cuerpo y la que pierde ó gana otro que se halle en iguales condiciones. El cuerpo elegido como término de comparacion es el agua, y se ha convenido en tomar como *unidad de calor, ó caloría*, la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 1 grado la temperatura de un kilogramo de agua.

585. **Calores específicos.** — Llámase *calor específico* ó *capacidad calorífica* de un cuerpo, la cantidad de calor que absorbe al subir su temperatura de cero á 1 grado, comparada con la que absorbería en el mismo caso un peso igual de agua; es decir, que así como se ha elegido por unidad de las densidades la del agua, se toma tambien

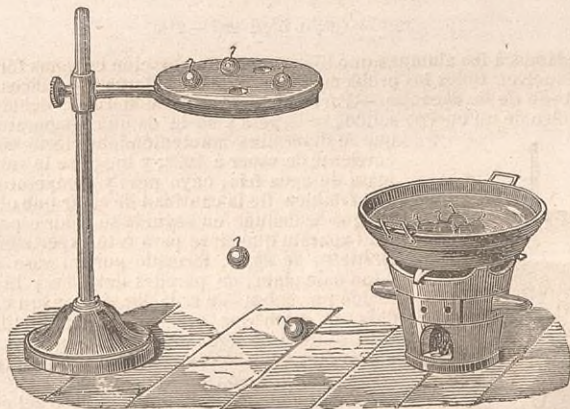


Fig. 422.

por unidad de los calores específicos el del mismo líquido, resultando de aquí que los números que representan los calores específicos, como tambien los que representan las densidades, no son otra cosa que relaciones.

Fácil es probar que no todos los cuerpos poseen el mismo calor específico, pues si se mezcla, por ejemplo, un kilogramo de mercurio á 100° con otro de agua á cero, la temperatura de la mezcla solo llega á unos 5°; es decir, los 97° de calor que ha perdido el mercurio hacen subir solamente 5° á la misma cantidad, en peso, de agua. Este líquido absorbe, pues, en igualdad de peso, unas 32 veces mas calor que el mercurio, supuesta una misma temperatura.

Demuéstrase asimismo que las diversas sustancias, bajo el mismo peso y á igual temperatura, contienen cantidades diferentes de calor, por medio del siguiente experimento de Tyndall. Se echa en un molde cera amarilla en cantidad suficiente para hacer una torta de 15 á 20 centímetros de diámetro y de unos 12 milímetros de espesor, y ya fría, se la coloca en un sosten anular (fig. 422). Caliéntanse entonces en un baño de aceite á 180°, unas balitas de hierro, cobre, estaño, plomo, bismuto, etc., todas del mismo peso, y cuando han tomado la temperatura del baño, se sacan y posan sobre la torta de cera, viéndose que todas la funden, aunque con velocidades desiguales: el hierro se implanta en ella al momento y la atraviesa: despues sigue el cobre; el estaño se implanta tambien, pero sin atravesarla; y en fin, el plomo y el bismuto no llegan á fundir siquiera la mitad de su grueso. De donde se deduce que, aunque de igual peso y á la misma temperatura, la bala de hierro contiene mas calor que la de cobre, esta mas que la de estaño, y así sucesivamente.

Tres métodos se han empleado para determinar el calor específico, á saber: el de la fusion del hielo, el de las mezclas y el del enfriamiento: el último consiste en calcu-

lar el calor específico de un cuerpo por el tiempo que este tarda en enfriarse un cierto número de grados. Solo vamos á exponer los dos primeros métodos; pero antes importa dar á conocer el modo de medir la cantidad de calor absorbido por un cuerpo, cuya masa y calor específico conozcamos, cuando su temperatura aumenta cierto número de grados.

386. Medicion del calor sensible absorbido por los cuerpos.—Sea m el peso de un cuerpo en kilogramos, c su calor específico y t su temperatura. Tomando por unidad la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 1 grado un kilogramo de agua, es claro que se necesitarán m unidades de estas para elevar de cero á 1 grado un peso de m kilogramos del mismo liquido; y para hacer subir este último peso de cero á t grados, se requerirán t veces más, esto es, mt . Supuesto que tal es la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á t grados m kilogramos de agua, cuyo calor específico es c , serán menester c veces mt , ó mtc . De donde se deduce que cuando se calienta un cuerpo de cero á t grados, la cantidad de calor que absorbe puede representarse por el producto que resulta de multiplicar su peso por el número de grados á que se calienta, y por su calor específico.

Si el cuerpo se calienta ó se enfria de t á t' grados, el calor absorbido ó perdido es tará respectivamente representado por la fórmula

$$m(t' - t)c, \text{ ó bien } m(t - t')c.$$

Recomendamos á los alumnos que fijen mucho su atencion en estas fórmulas, porque ellas resuelven todos los problemas acerca de los calores específicos.

587. Método de las mezclas.—Para calcular por este método, debido á Black, el calor específico de un cuerpo sólido, se le pesa y se le da una temperatura conocida, que se determina manteniéndole cierto tiempo en una corriente de vapor á 100°; y luego se le sumerge en una masa de agua fría, cuyo peso y temperatura se conocen tambien. De la cantidad de calor que el cuerpo cede al agua se deduce en seguida su calor específico.

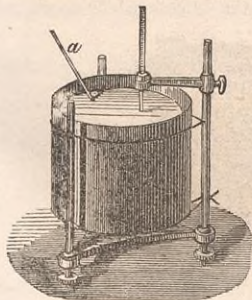


Fig. 425.

El aparato que sirve para este experimento es un *calorímetro de agua*, formado por un vaso cilindrico de latón ó de plata, de paredes delgadas y bruñidas, sostenido por hebras de seda (fig. 425), para evitar la pérdida de calor que ocasiona la conductibilidad. Este vaso se llena de agua en la que se sumerge un termómetro muy sensible, debiéndose agitar el liquido mientras se calienta con una varilla de vidrio.

Representemos, pues, por M el peso del cuerpo, por T su temperatura en el momento de introducirle en el liquido, y por c su calor específico; sean de igual manera m el peso del agua fría y t su temperatura; y por último m' el peso del vaso que contiene el agua, c' su calor específico y t' su temperatura, que es evidentemente la del agua.

Apenas se introduce el cuerpo caliente en el liquido, aumenta la temperatura de este; y si representamos por θ la mas alta á que llegue, se ve que se ha enfriado el cuerpo un número de grados igual á $(T - \theta)$, y perdido de consiguiente una cantidad de calor que tiene por medida $Mc(T - \theta)$. El agua y el vaso se han calentado, por el contrario, un número de grados igual á $(\theta - t)$, y absorbido respectivamente cantidades de calor iguales á $m(\theta - t)$ y á $m'c'(\theta - t)$, puesto que el calor específico del agua es la unidad. Pero la cantidad de calor que cede el cuerpo caliente, equivale evidentemente á la suma de las cantidades absorbidas por el agua y el vaso; de manera que tenemos la ecuacion

$$Mc(T - \theta) = m(\theta - t) + m'c'(\theta - t), \quad [1],$$

de la cual es fácil deducir el valor de c , una vez conocido el calor específico c' del vaso; si no le conociéramos habria que principiar por determinarle introduciendo en el agua un cuerpo caliente de la misma materia que el vaso, y por lo tanto, del mismo calor específico. Entonces la ecuacion anterior toma la forma

$$Mc'(T - \theta) = m(\theta - t) + m'c'(\theta - t), \quad [2],$$

y resolviéndola con relacion á c' , que es ahora la única incógnita, se halla

$$c' = \frac{m(\theta - t)}{M(T - \theta) - m'(\theta - t)}$$

Conocido ya el calor específico del vaso, se puede resolver la ecuación [1], para lo cual, poniendo en el segundo miembro $(\theta - t)$ como factor común, se obtiene $M c (T - \theta) = (m + m' c') (\theta - t)$ [3]; y dividiendo ambos miembros por $M(T - \theta)$ tendremos

$$c = \frac{(m + m' c') (\theta - t)}{M (T - \theta)} \quad [4].$$

El valor de c suele también expresarse bajo esta otra forma: $c = \frac{(m + \mu) (\theta - t)}{M (T - \theta)}$ [5],

para lo cual no hay más que hacer $m' c' = \mu$; es decir, que μ es el peso de agua que absorbería la misma cantidad de calor que el vaso, lo cual se expresa diciendo que el vaso está *reducido* á agua.

En el procedimiento que acabamos de describir, á fin de precaver la pérdida de calor debida á la radiación, se hace un experimento preliminar con el cuerpo mismo cuyo calor específico se busca á fin de conocer de un modo aproximado el número de grados que debe subir la temperatura del agua y del vaso sobre la del ambiente. Si este número es, por ejemplo, 10° , se enfrían el agua y el vaso á la mitad, es decir, se les da una temperatura 5° inferior á la del aire ambiente, procediéndose luego al experimento definitivo. Como la temperatura del agua aumenta entonces casi 10° , resulta que la temperatura de la vasija, que era en un principio 5° inferior á la del recinto, es al fin del experimento 5° superior á la de este. Hay, pues, una compensación entre la pérdida y la absorción de calor producidas por la radiación durante el experimento.

Finalmente, para que el método de las mezclas ofrezca toda la exactitud conveniente, debe tenerse en cuenta el calor absorbido por el termómetro.

388. **Aparato del Sr. Regnault para el método de las mezclas.**—La figura 425

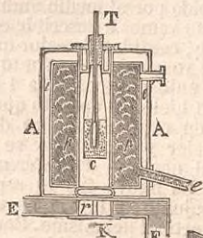


Fig. 424.

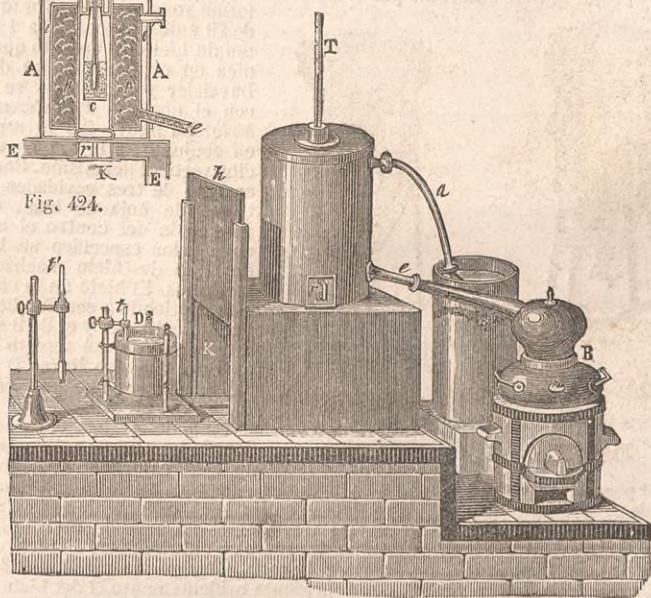


Fig. 425.

representa el aparato adoptado por este físico para la investigación de los calores específicos por el método de las mezclas.

La pieza principal de este aparato es una estufa AA, cuya sección vertical está representada por la figura 424. Se compone de tres cavidades concéntricas: en la cen-

tral está suspendido por medio de hebras de seda un cestito *c* de alambre de latón, donde se coloca, hecha trozos, la sustancia que se somete al experimento. Un termómetro *T*, cuyo depósito se halla situado entre estos fragmentos, marca la temperatura. Por la segunda cavidad *pp* circula una corriente de vapor que llega por un tubo *e*, procedente de una caldera *B*, y se marcha luego por otro tubo *a* a un serpentín, donde se condensa; y finalmente, la tercera *ii* está llena de aire á fin de impedir la pérdida de calor. Debajo de la estufa hay un recinto *K* de dobles paredes *EE*, que forman un depósito constantemente lleno de agua fría, á fin de evitar la trasmisión del calor que proviene de la estufa ó de la caldera. Finalmente, la cavidad central de la estufa está cerrada por un registro *r* que se abre á voluntad, pudiéndose entonces pasar el cestito *c* de la estufa á la cámara *K*.

A la izquierda de la estufa se ve un vasito de latón *D* (fig. 425) de paredes muy delgadas, el cual está suspendido por hebras de seda sobre un carretecillo que puede entrar y salir en el recinto *K*. Este vaso, destinado á servir de calorímetro, está lleno de agua, y sumergido en ella un termómetro *t* que marca su temperatura. Por último, otro termómetro *t'*, situado cerca de los aparatos, marca la del aire ambiente.

Dispuesto así el aparato, cuando el termómetro *T* indica que la sustancia del cestito *c* ha tomado una temperatura estacionaria, lo cual tiene lugar pasadas dos horas y media ó tres, se levanta la trampilla *h*, y se mete dentro de la cámara el vaso *D* de manera que corresponda exactamente debajo de la cavidad central de la estufa. Tirando entonces del registro *r*, se dejan caer de golpe en el agua del vaso *D* el cestito *c* y las sustancias que contiene, menos el termómetro *T*, que queda fijo al tapon que le sujeta. Sacando al momento el carretecillo y el vaso *D*, se remueve el agua de este hasta que el termómetro *t* quede estacionario. La temperatura que entonces indica este es la que se ha representado por θ en la fórmula del párrafo anterior. Conocida esta temperatura, lo restante del cálculo se efectúa como ya queda dicho; pero debe también tenerse en cuenta el calor cedido al calorímetro por el cestillo de latón. Regnault tomó además en consideración el que es absorbido por el medio ambiente.

589. Método de la fusión del hielo.—El método que vamos á describir está fundado en el calor latente absorbido por el hielo al fundirse, cantidad de calor que,

conforme veremos muy pronto (595) es de 79 unidades por cada 1 kilogramo de hielo. El aparato que se emplea en este método es debido á Lavoisier y Laplace, y se designa con el nombre de *calorímetro de hielo*. La figura 426 le representa en conjunto, y la 427 es una sección vertical del mismo. Consta este aparato de tres cavidades concéntricas de hoja de lata, colocándose en la del centro el cuerpo *M* cuyo calor específico se busca, y llenando de hielo machacado las otras dos. El hielo de la cavidad *A* está destinado á ser fundido por el cuerpo caliente, y el de *B* se opone á la radiación del recinto sobre el aparato. Las dos llaves *D* y *E* dan salida al agua que proviene de la fusión del hielo.

Para determinar el calor específico de un cuerpo sólido por medio de este calorímetro, se halla primero el peso *m* de dicho cuerpo, en kilogramos, después se le da una temperatura conocida *t*, sumergiéndole por algún tiempo en un baño caliente de agua ó aceite, ó exponiéndole á una corriente de vapor; trasládasele en seguida rápidamente á la cavidad central, colocando de nuevo las tapaderas y cubriéndolas de hielo (fig. 427).

Recógese entonces el agua que sale por la llave *D*, y luego que cesa la salida, se determina en kilogramos su peso *P*, que representa evidentemente el del hielo fundido. Supuesto que un kilogramo de hielo absorbe al fundirse 79 unidades de calor, *P* kilogramos han absorbido *P* veces 79 unidades. Por otra parte, esa cantidad de calor es necesariamente igual á la que perdió el cuerpo *M* mientras se estuvo enfriando desde *t* á cero grados, es decir, á *mtc* (586). Se tiene, pues, la igualdad

$$mtc = 79P; \text{ de donde } c = \frac{79P}{mt}.$$

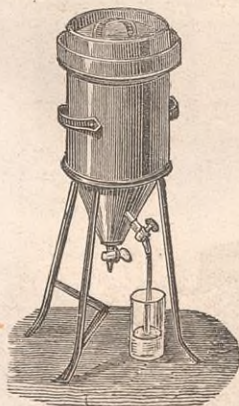


Fig. 426.

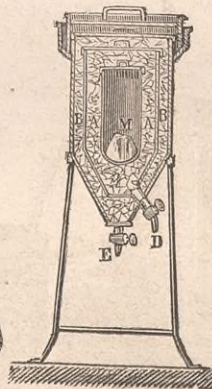


Fig. 427.

El método del calorímetro de hielo presenta muchas causas de error, consistiendo la principal en que parte del agua de fusión queda adherida al hielo no fundido; de suerte que el peso P no puede valuarse con exactitud. Además, el aire exterior que entra en el calorímetro por las llaves, aumenta la cantidad de hielo fundido. Obviase en parte estos inconvenientes, substituyendo al calorímetro, como hacia Black, el *pozo de hielo*. Dáse este nombre á una cavidad abierta con un hierro candente en un trozo de hielo compacto, y en la cual se coloca el cuerpo cuyo calor específico se busca, despues de haberle dado una temperatura conocida (fig. 428). Al abrir el agujero, con el mismo hierro candente, se deja perfectamente plana la superficie donde está el orificio, y lo propio se hace con otro pedazo de hielo, á fin de que, colocándole encima, quede aquel completamente cerrado. Cuando se juzga que el cuerpo se ha enfriado hasta cero, se saca juntamente con el agua de fusión, y despues de determinado el peso de esta, no hay mas que substituirlo en la fórmula anterior.

590. **Calor específico de los líquidos.**— Puede determinarse igualmente por el método del enfriamiento, por el de las mezclas ó por el del calorímetro de Lavoisier y Laplace. Solo que en este último método es menester encerrarlos en un vasito ó en tubos de cristal que se colocan en la cavidad M (fig. 427).

Comparando entre sí los números de la siguiente tabla, se observa que el agua y la esencia de trementina tienen un calor específico mucho mayor que el de las otras sustancias, y sobre todo que el de los metales. Esta propiedad es general para los líquidos, y á ella se debe, tratándose del agua, el que se necesita tanto tiempo para calentarla ó enfriarla, y que absorba ó ceda entonces mucha mayor cantidad de calor que cualquiera otra sustancia, en igualdad de masa y temperatura. Esta doble propiedad se utiliza en el temple del acero y en la calefacción por circulación de agua caliente (454).

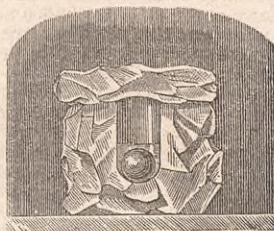


Fig. 428.

591. **Calor específico medio de los sólidos y líquidos entre cero y 100 grados.**— Regnault calculó por el método de las mezclas y por el del enfriamiento los calores específicos de muchos cuerpos. A continuación damos los que ha obtenido por el primer método para los cuerpos de uso mas frecuente en las artes.

SUSTANCIAS.	CALORES específicos.	SUSTANCIAS.	CALORES específicos.
Agua.	1,0080.	Cobalto.	0,10694
Esencia de trementina.	0,42590	Zinc.	0,09535
Negro animal calcinado.	0,26085	Cobre.	0,09345
Carbon de leña calcinado.	0,24111	Latón.	0,09591
Azufre.	0,20259	Plata.	0,05704
Grafito.	0,21187	Estaño.	0,05625
Vidrio de los termómetros.	0,19768	Iodo.	0,05412
Fósforo.	0,18870	Antimonio.	0,05177
Diamante.	0,14687	Mercurio.	0,05352
Fundición blanca.	0,12985	Oro.	0,05244
Acero dulce.	0,1175.	Platino laminado.	0,05245
Hierro.	0,11579	Plomo.	0,05140
Niquel.	0,10865	Bismuto.	0,05084

Los números comprendidos en esta tabla representan los calores específicos medios entre cero y 100°; pues segun resulta de los trabajos de Dulong y Petit acerca del calor, los calores específicos aumentan con la temperatura. Los de los metales, por ejemplo, son mayores entre 100° y 200° que entre cero y 100°, y mayores aun de 200 á 500°. Es decir, que para elevar la temperatura de un cuerpo de 200° á 500°, se requiere mas calor que para efectuarlo de 100 á 200, y en este último caso, mas que para hacerlo de cero á 100°.

En una palabra, el aumento del calor específico con la temperatura es tanto mas perceptible, cuanto mas próximos están los cuerpos á su punto de fusión. Por el con-

trario, toda accion que aumenta la densidad de un cuerpo y su cohesion, disminuye su calor específico.

En cuanto á los líquidos, sus calores específicos aumentan con la temperatura mucho mas rápidamente que los de los sólidos. Exceptúase el agua, sin embargo, pues su calor específico aumenta mucho menos por dicha causa que el de los otros líquidos.

Finalmente, una misma sustancia presenta mayor calor específico en el estado líquido que en el sólido: por ejemplo, el calor específico del hielo es la mitad de el del agua. En el estado gaseoso, el calor específico es menor que en el estado líquido.

392. Ley de Dulong y Petit sobre los calores específicos de los átomos.—En 1819 dieron á conocer estos físicos la importantísima ley de que el producto del calor específico de los cuerpos simples por su peso atómico es el mismo para todos ellos é igual á 37; cuya ley puede enunciarse diciendo que *para los cuerpos simples los calores específicos están en razon inversa de los pesos atómicos.*

El Sr. Regnault, despues de haber determinado con mucho esmero los calores específicos de un ercedido número de cuerpos, encontró que el producto del peso atómico por el calor específico no es constante, como habian creído Dulong y Petit; sino que este producto varia entre 38 y 42, cuya variacion puede provenir de no haber sido determinados los calores específicos de los distintos cuerpos á igual distancia térmica de su punto de fusion.

El mismo físico dedujo además las dos leyes siguientes sobre los calores específicos de los cuerpos compuestos y de las aleaciones.

1.^a *En los cuerpos compuestos que tienen igual fórmula atómica, el calor específico está en razon inversa de su peso atómico.*

2.^a *Para temperaturas algo distantes del punto de fusion, el calor específico de las aleaciones es exactamente el promedio de los calores específicos de los metales componentes.*

393. Calor específico de los gases.—Refiérese este al del agua ó al del aire; en el primer caso representa la cantidad de calor necesaria para que aumente 1^o la temperatura de un peso dado de gas comparativamente con el que necesitaría el mismo peso de agua; y en el segundo, representa la cantidad de calor necesaria para hacer subir 1^o un volumen dado de gas en comparacion con el que seria necesario para el mismo volumen de aire.

Cuando los calores específicos de los gases se consideran bajo este último punto de vista, se les puede suponer además á *presion constante* y volumen variable, ó bien á *volumen constante* bajo una presion variable.

Los calores específicos de los gases, con relacion al agua, fueron determinados en 1812 por Delaroche y Berard. Mediase al efecto la cantidad de calor que cedía á un peso conocido de agua otro tambien conocido de gas, que circulaba por un serpentín sumergido en el líquido, y en seguida se deducia de ella el calor específico del gas por medio de un cálculo análogo al que se emplea en el método de las mezclas.

Los mismos físicos determinaron los calores específicos de los gases á presion constante, con relacion al aire, comparando entre sí las cantidades de calor cedidas á un mismo peso de agua por volúmenes iguales de gas y de aire á la misma temperatura é igual presion durante todo el experimento. Posteriormente, en 1833, los Sres. de la Rive y Marcet aplicaron tambien el método del enfriamiento á la misma determinacion.

Por último, los calores específicos de los gases á volumen constante, siempre con relacion al aire, han sido calculados por Dulong, apoyándose en la fórmula que da á conocer la velocidad de propagacion del sonido en los diferentes gases (209).

Segun los cálculos de Laplace y de Poisson y los experimentos de Clément y Désormes, de Delaroche y Berard, de Gay-Lussac y de Dulong, se habia admitido hasta hace poco que el calor específico de los gases á presion constante, es siempre mayor que á volumen constante. Pero en un reciente trabajo del Sr. Regnault, por un método enteramente nuevo, ha descubierto que la diferencia entre estas dos especies de calor específico es nula ó súmamente pequeña.

Delaroche y Berard han dado sobre los calores específicos de los gases la primera de las dos siguientes leyes, y Dulong la segunda.

1.^a *En igualdad de volúmenes, todos los gases simples tienen calores específicos iguales.*

2.^a *Cuando dos gases simples se combinan sin condensarse, el gas resultante posee el mismo calor específico que los gases simples componentes.*

Los experimentos de Regnault han demostrado que la primera ley no es rigorosa sino para los gases que obedecen á la de Mariotte, es decir, que distan mucho de su punto de licuefaccion. Los mismos experimentos no han podido confirmar la segunda ley.

Calores específicos de los gases simples con relacion al agua.

GASES.	Á VOLÚMEN IGUAL.	Á PESO IGUAL.
Oxígeno.	0,24049	0,21751
Hidrógeno.	0,25390	0,40900
Nitrógeno.	0,25680	0,24580
Cloro.	0,29643	0,12099

594. **Determinacion del calor latente de fusion.** — Es sabido (527) que al pasar los cuerpos de sólidos á líquidos desaparece una cantidad de calor mas ó menos considerable; de aquí el que se llame *calor de fusion de un cuerpo sólido el número de calorías* (584) que necesita 1 kilogramo del mismo para pasar, sin elevacion de temperatura, del estado sólido al líquido. El calor de fusion de los cuerpos se determina por el método de las mezclas, apoyándose en el principio de que al solidificarse un cuerpo que se halla en el estado líquido cede una cantidad de calor exactamente igual á la que habia absorbido durante la fusion.

Propongámonos, por ejemplo, determinar el calor de fusion del plomo: fúndese un peso M de este cuerpo, y despues de averiguada su temperatura T, se le vierte en una masa de agua cuyo peso m y temperatura t conocemos; llamemos c al calor específico del plomo, x al calor de fusion, es decir, á la cantidad de calor latente absorbida por la unidad de peso al fundirse, ó lo que es lo mismo, el que restituye en el momento de la solidificacion; y por fin, sea θ la temperatura final que adquiere el agua calentada por el plomo.

Habiéndose calentado la masa de agua de t á θ grados, ha absorbido una cantidad de calor representada por $m(\theta - t)$ (586); además, al enfriarse la masa de plomo de T á θ , cedió por un concepto una cantidad de calor expresada por $Mc(T - \theta)$, y por otro, en el momento de la solidificacion, se desprende la expresada por Mx . Se tiene, pues, la ecuacion

$$Mc(T - \theta) + Mx = m(\theta - t),$$

de donde

$$x = \frac{m(\theta - t) - Mc(T - \theta)}{M}$$

595. **Calor de fusion del hielo.** — El conocimiento del calor de fusion del hielo es el mas importante por las aplicaciones que ofrece, y se le determina tambien por el método de las mezclas. Sean al efecto M un peso de hielo á cero, y m otro de agua caliente á t grados, suficiente para fundir todo el hielo. Echase aquel en el agua, y una vez fundido, se mide la temperatura final θ de la mezcla. Al enfriarse el agua de t grados á θ cedió una cantidad de calor igual á $m(t - \theta)$; y en cuanto al hielo, si se representa por x su calor de fusion, absorbe, para fundirse, una cantidad de calor Mx ; pero además el agua procedente de la fusion se calienta tambien, pasando su temperatura de cero á θ grados, y absorbiendo por lo tanto una cantidad de calor $M\theta$. Puede, pues, formularse la ecuacion $Mx + M\theta = m(t - \theta)$, de la cual se deduce el valor de x

Por medio de este procedimiento, y evitando con el mayor cuidado todas las causas de error, encontraron los Sres. Desains y de la Provostaye que el calor de fusion del hielo es 79; es decir, que al fundirse 1 kilogramo de hielo, absorbe en el estado latente la cantidad de calor necesaria para elevar 79 kilogramos de agua de cero á 1 grado, ó lo que es igual 1 kilogramo de agua de cero á 79 grados.

El Sr. Person, que ha hecho numerosas investigaciones sobre los calores de fusion, ha encontrado experimentalmente los siguientes valores para los de algunos cuerpos simples y compuestos.

Hielo.	79,25	Bismuto.	12,64
Nitrato de sosa.	62,97	Azufre.	9,37
Zinc.	28,43	Plomo.	5,37
Plata.	21,07	Fósforo.	5,03
Estaño.	14,25	Aleacion de Dar.et.	4,50
Cadmio.	13,66	Mercurio.	2,83

596. **Determinacion del calor de vaporizacion.** — Vimos ya (537) que al evaporarse los líquidos hacen desaparecer una cantidad muy considerable de calor, que se

designa con el nombre de *calor de elasticidad ó de vaporización*. Para determinar el *calor de vaporización* de un líquido ó sea el número de calorías que absorbe 1 kilogramo de este líquido para vaporizarse sin que aumente su temperatura, se admite como evidente que al licuarse un vapor, deja en libertad una cantidad de calor precisamente igual á la que habia absorbido al formarse.

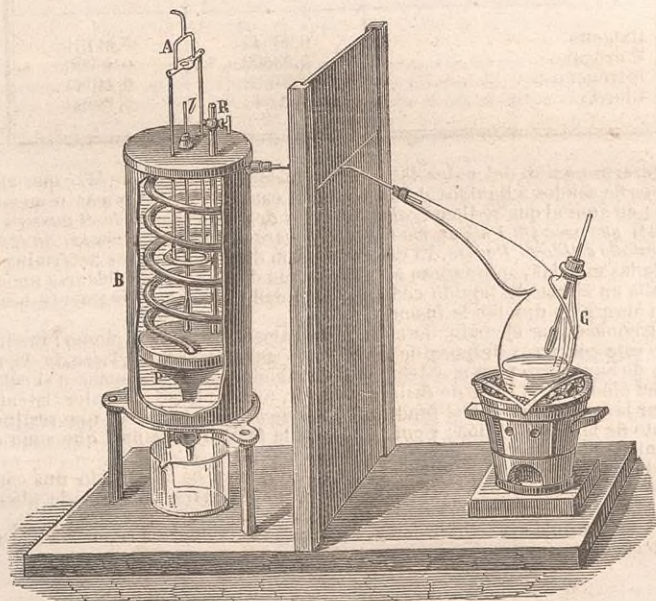


Fig. 429.

Ahora bien, el método que se emplea es el mismo que para la determinación de los calores específicos de los gases con relacion al del agua. La figura 429 representa el aparato empleado por Despretz en esta clase de investigaciones. Producersse el vapor en una retorta C, cuya temperatura indica un termómetro, y se dirige á un serpentín sumergido en agua fria, donde se condensa, cediendo al serpentín y al agua de la vasija B su calor latente. El agua que resulta de la condensacion va á parar á un depósito P donde desemboca el serpentín, y luego al concluir el experimento se recoge y se pesa; el peso del agua da á conocer el del vapor que ha circulado por el aparato. El agitador A, movable á mano, tiene por objeto mezclar las diferentes capas de agua del vaso B, á fin de que toda la masa líquida esté á la misma temperatura, la cual se observa en el termómetro T situado en el eje del serpentín. Finalmente, del depósito P parte un tubo terminado por una llave R; cuando se quiere que varíe la presión, y por consiguiente la temperatura del vapor, se pone en comunicacion dicha llave, por medio de un tubo de caucho, con una máquina neumática ó con una bomba de compresion.

Conocidos estos detalles, para determinar el calor de vaporización del líquido que hay en la retorta, se le calienta primero hasta hacerle hervir, y entonces se pone aquella en comunicacion con el serpentín; despues se recoge el agua y se pesa, pero cuidando antes de interrumpir dicha comunicacion.

Supongamos que sea M el peso del vapor condensado, T su temperatura al entrar en el serpentín, y x el calor de vaporización; sean tambien m el peso del agua donde está sumergido el serpentín, comprendiendo en este peso el del vaso B, el del termómetro y el del agitador reducidos todos á agua (587), t la temperatura inicial del agua, y θ la temperatura final al terminar el experimento.

Siendo x la cantidad de calor que 1 kilogramo de vapor cede al condensarse, la correspondiente á M kilogramos por la misma causa es Mx . Además, enfriándose el peso M de T á θ , independientemente de la condensacion, pierde una cantidad de calor repre-

sentada por $M(T-\theta)$; por consiguiente, la cantidad total de calor cedida por el vapor es $Mx + (T-\theta)$. Por otra parte el calor absorbido por el agua, el vaso y los accesorios es $m(\theta-t)$; resulta, pues, $Mx + M(T-\theta) = m(\theta-t)$, de donde

$$x = \frac{m(\theta-t) - M(T-\theta)}{M}.$$

Por este medio encontró Despretz que el calor de elasticidad del vapor de agua a 100° está representado por el número 540, es decir, que un gramo de agua a 10° absorbe al vaporizarse la cantidad de calor necesaria para elevar 540 gramos de agua de cero a 1 grado. Regnault encontró 557, y los Sres. Fabre y Silbermann 535,8.

597. **Calorímetro de mercurio de Fabre y Silbermann.**—Estos físicos idearon un calorímetro muy sensible para medir las capacidades caloríficas de los líquidos, el calor de vaporización y el que se desprende en las reacciones químicas.

La figura 450 representa este aparato, cuya pieza principal es un depósito esférico de fundición A, que está lleno de mercurio y contiene 24 kilogramos, lo cual equivale a una capacidad de $1^{\text{m}},76$. A este depósito están adaptados varios tubos: primeramente a la izquierda de la figura se ven dos de ellos B, donde están fijas dos mullas

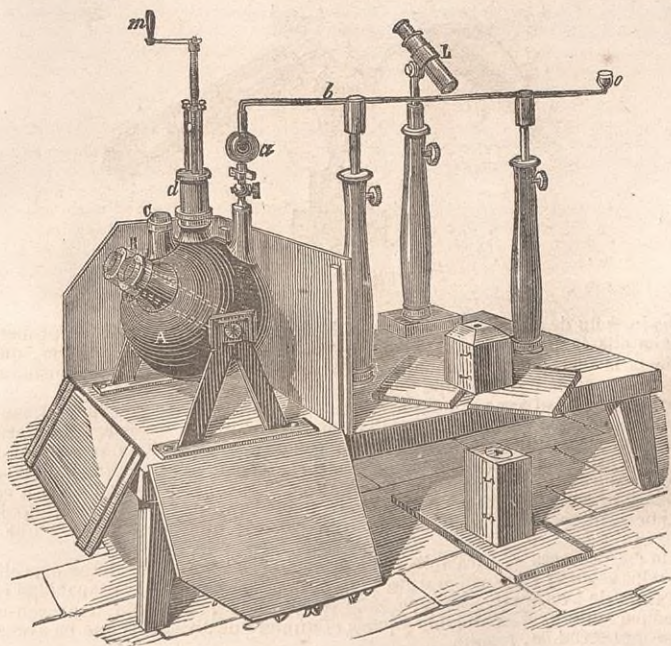


Fig. 450.

de hierro fundido que penetran en la esfera; en cada una de ellas hay una probeta de vidrio donde se pone la sustancia en que se experimenta, bastando una sola mulla y una sola probeta en la mayoría de los experimentos, pues solo se utilizan las dos mullas cuando se quieren comparar las cantidades de calor desprendidas ó absorbidas en dos reacciones diferentes. El tubo C está también provisto de una mulla con su probeta correspondiente; este tubo, que es vertical, sirve para determinar las capacidades caloríficas por el método de Regnault (588), á cuyo fin se coloca debajo del registro r de la figura 428.

Respecto al tubo d, encierra un émbolo vertical de acero, cuyo uso veremos luego y consiste en un vástago, con paso de rosca, que gira por medio de un manubrio m, transmitiendo su movimiento al émbolo solo en el sentido de la vertical; pues merced á un mecanismo particular no le comunica el de rotacion. En fin, el último tubo de

la derecha tiene una esfera de vidrio *a*, á la cual está soldado un largo tubo capilar *ob* tambien de vidrio, dividido en partes de igual capacidad.

Por esta descripcion se ve que el calorimetro de mercurio no es otra cosa que un termómetro cuyo depósito es muy grande y el tubo muy capilar, y por lo tanto muy sensible. Sin embargo, el tubo *bo* no marca las temperaturas del mercurio que está en el depósito *A*, sino las calorías (584) que le ceden las sustancias que están en las muflas.

Para efectuar esta graduacion se experimenta del modo siguiente: se principia moviendo el émbolo *d* en un sentido ó en otro, á fin de impeler ó aspirar el mercurio hasta que este llega en el tubo *bo* al punto de donde debe partir la graduacion; despues se pone en la mufla que se ha elegido una cantidad de mercurio, que ya no variará, y se introduce tambien una pequeña probeta de vidrio *e* de paredes muy delgadas (fig. 451), la cual se asegura con un pequeño tope exterior que no va representado

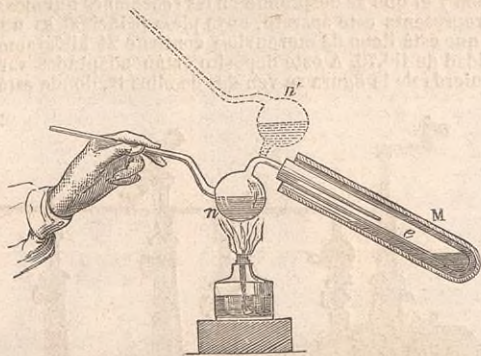


Fig. 451.

en el grabado, á fin de que resista el empuje del mercurio. Dispuesta así la probeta, se introduce en ella la punta de una pipeta de bola, llena de agua destilada, que se calienta hasta la temperatura de ebullicion; invirtiéndola entonces de la posición *n* á la *n'* deja salir una parte del líquido que cae á la probeta.

El calor cedido por el agua al mercurio del depósito *A*, dilata la columna mercurial y avanza en el tubo *bo* (fig. 450) cierto número de divisiones, que representaremos por *n*. Si ahora se pesa el agua vertida en la probeta, y se observa su temperatura final al quedar estacionaria la columna de mercurio en el tubo *bo*, el producto del peso del agua en kilogramos, por el número de grados que esta se ha enfriado, da á conocer el número de calorías cedidas por el agua á todo el aparato 584. Dividiendo dicho producto por *n*, el cociente da el número *a* de calorías que corresponde á una sola division del tubo *bo*.

Conocido este número *a*, para aplicarle á la investigacion de los calores especificos de los líquidos se eleva á la temperatura *T* un peso *M* del líquido cuya capacidad calorífica *c* se trata de averiguar, y despues se le vierte en la probeta *C*. Representando por *θ* la temperatura final del líquido y por *n* el número de divisiones que ha avanzado la columna mercurial *bo*, resulta

$$Mc(T - \theta) = na, \text{ de donde } c = \frac{na}{M(T - \theta)}.$$

Lo mismo se experimentaria para determinar el calor de vaporizacion.

Las tablillas que van representadas alrededor del depósito *A* están fijas con visagras, y pueden alzarse formando entonces una caja que se llena de plumon de cisne ó de algodón en rama para evitar toda pérdida de calor. Se acaba de cerrar la caja con las tablillas figuradas á la derecha y dos estuchitos de madera que se colocan en los tubos *d* y *a*. Finalmente, un antejo *L*, cuyo pié puede correr por la mesa, sirve para leer los movimientos del mercurio en el tubo *bo*.

598. **Problemas sobre los calores especificos y los latentes.**—I. Si se pone en una vasija de vidrio que pesa 12 gramos y contiene $0^{\text{m}},15$ de agua á 10° , un trozo de hierro de 20 gramos de peso y á la temperatura de 98° , se observa que el agua sube

á $11^{\circ},29$: con estos datos se desea averiguar el calor específico del hierro, sabiendo que el del vidrio es 0,19768.

Resuélvese este problema por medio de la fórmula [4] del párrafo 587, reemplazando en ella las letras M, m, m', c', t y θ por los números que les corresponden según el anterior enunciado, y por lo que hace al peso del agua, se obtiene sin más que observar que pesando 1 litro de agua 1 kilogramo, 0^{lit},15, ó lo que es igual, 0^{lit},150 pesa 150 gramos, prescindiendo de la dilatación del agua de 4 á 10 grados.

Pues bien, haciendo las sustituciones indicadas en dicha fórmula, resulta

$$20,98 - 11,29)c = (150 + 12 \times 0,19768) (11,29 - 10),$$

de donde $c = 0,1155$.

II. Una masa de platino, que pesa 40 gramos, permanece en un horno el tiempo necesario para tomar su temperatura, conseguido lo cual, se la introduce en una cantidad de agua que pesa 84 gramos á la temperatura de 12° , elevándose entonces esta última á 22° : se desea conocer la temperatura del horno, sabiendo que el calor específico del platino es 0,05245.

Si se representa por t la temperatura que se busca, el número de unidades de calor cedidas por el platino al enfriarse de t grados á 22° es $40 \times (t - 22) \times 0,05245$, en virtud de la fórmula $m(t - t')c$ (586). De igual manera el número de unidades absorbidas por el agua, cuyo calor específico es 1, para calentarse de 12 á 22° es $84(22 - 12)$, ó sean 840. Ahora bien, como la cantidad de calor absorbida por el agua es necesariamente la misma que la que perdió el platino, se tiene

$$40 \times (t - 22) \times 0,05245 = 840, \text{ de donde } t = 669^{\circ},5.$$

Obsérvese que este valor de t no es más que aproximado, porque el número 0,05245 es el calor específico del platino entre cero y 100° ; pero se vió ya que dicho valor es mayor á una temperatura más alta (591), y por consiguiente, el número 669,5 es mayor que el verdadero.

III. Haciendo un hoyo en un trozo de hielo, y encerrando en él una masa de estaño que pesa 55 gramos y cuya temperatura es de 100° , se desea saber cuál será el peso del hielo que puede fundirse, teniendo presente que el calor específico del estaño es 0,0565, y el de fusión del hielo 79.

Al enfriarse el estaño desde 100 á cero, pierde un número de unidades de calor representado por $55 \times 100 \times 0,05625$, siempre según la fórmula mtc (567). Pero como 1 kilogramo de hielo á cero absorbe para fundirse 79 unidades de calor, claro está que x kilogramos de hielo absorberán un número de unidades representado por $79 \times x$. Tenemos, pues,

$$79x = 55 \times 100 \times 0,05625, \text{ de donde } x = 5^{\text{gr}},9.$$

IV. ¿Cuánto hielo, en peso, se necesitará para que 9 litros de agua, á la temperatura de 20° , se pongan á la de 5° ?

Sea M en kilogramos el peso que se busca, el cual absorberá para fundirse un número de unidades de calor igual á $79M$ (595); pero como el peso resultante de agua M se encuentra á cero en el momento de la fusión, y debe subir á 5° , absorbe una cantidad de calor representada por $5M$; de consiguiente, el calor total absorbido es $79M + 5M = 84M$. Los 9 litros de agua ceden al enfriarse de 20° á 5 la cantidad $9(20 - 5) = 135$. De manera que resulta

$$84M = 135, \text{ de donde } M = 1^{\text{kg}},607.$$

V. ¿Cuánto pesa el vapor de agua á 100° , necesario para calentar, al condensarse, 208 litros de agua desde 14 hasta 52 grados?

Sea p este peso en kilogramos: valiendo 540 el calor latente del vapor de agua (596), resulta que los p kilogramos de vapor ceden al condensarse una cantidad de calor representada por $540 \times p$, y dan p kilogramos de agua á 100° . Como esta agua se enfria luego hasta 52° , cede á su vez una cantidad de calor igual á $p(100 - 52) = 68p$. Por otra parte, como los 208 litros que se calientan de 14 á 52° pesan 218 kilogramos, prescindiendo siempre de la dilatación, absorben una cantidad de calor igual á 208 $(59 - 14) = 5744$ unidades: se tiene, pues, $540p + 68p = 5744$, de donde $p = 6^{\text{kg}},158$.

VI. En una vasija hay agua á 11° , y en otra á 91° : ¿cuántos litros habrá que tomar de cada vasija para formar un baño de 250 kilogramos á 51 grados?

Sean x é y los números en kilogramos que deben tomarse respectivamente de cada vasija y tendremos en primer lugar la ecuación $x + y = 250$. Se obtiene una segunda ecuación en x y en y , observando que x kióg. á 11° contienen $11x$ unidades de

calor, y que y kilóg. á 91° contienen $91y$. Por otra parte, los 250 kilóg. de mezcla á 51° componen 250×51 , ó 7750 unidades, de manera que resulta la ecuación

$$41x + 91y = 7750 \quad (2).$$

Resueltas las ecuaciones [1] y [2] se encuentra $x = 187 \text{ kg. } \bar{5}$, é $y = 62 \text{ kg. } \bar{5}$.

EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR.

399. **Experimentos del Sr. Joule.**—Ahora que ya conocemos las cantidades de calor necesarias para la calefacción de los cuerpos y para su cambio de estado, podemos ocuparnos de la manera de medir la cantidad de calor necesaria para producir un cierto trabajo mecánico (267). Sábese, en efecto, que el calor puede producir un trabajo mecánico, pues tal es lo que sucede en la expansión de los vapores y en la dilatación de los gases; y que recíprocamente puede también desarrollarse calor por efecto de un trabajo mecánico, como, por ejemplo, la percusión, la presión y el rozamiento. Pero los sabios á quienes se debe la teoría dinámica del calor (268) no se han limitado á demostrar que el calor puede transformarse en trabajo, sino que también han probado que á toda cantidad de calor que desaparece corresponde otra cantidad determinada de trabajo efectuado, y, recíprocamente, que al efectuarse un trabajo cualquiera, aparece ó se desarrolla una cierta cantidad de calor; en una palabra, que entre el calor y el trabajo hay una relación constante ó *equivalencia*. De aquí el que se haya denominado *equivalente mecánico* del calor el trabajo que puede producir la unidad de calor (584); ó lo que es lo mismo, el trabajo necesario para calentar 1 kilogramo de agua desde cero á 1 grado.

El doctor Mayer fué el primero que en 1842 calculó, por consideraciones puramente teóricas, el equivalente mecánico del calor; y el Sr. Joule, en 1845, le determinó ya experimentalmente. Sirvióse al efecto este físico de un calorímetro de agua en el cual giraba un árbol vertical, provisto de paletas. Consegúase la rotación por medio de un cordón arrollado en el árbol, el cual pasaba luego por medio de una polea para unirse á un peso que se dejaba caer de una altura conocida. Representando este peso por P kilogramos y por a metros la altura de donde caía, el trabajo desarrollado durante el descenso era Pa kilogrametros (76). Transformándose entonces en calor el trabajo consumido por la resistencia que el agua oponía al movimiento de las paletas se calentaba dicho líquido una cantidad que se observaba en un termómetro sumergido en el calorímetro. Conociendo el peso de este, el del agua y el número de grados que se había calentado, se calculaba la cantidad total de calor desarrollado

por medio de la fórmula mtc (586), y el cociente $\frac{Pa}{mtc}$ daba el trabajo correspondiente

á una sola unidad, es decir, el equivalente mecánico del calor.

Sin embargo, en este experimento no todo el trabajo se trasmite al agua, pues una parte se gasta en vencer los rozamientos y otra se pierde en el choque del cuerpo con el suelo al finalizar su descenso, debiéndose tener en cuenta estas causas de error. Experimentando, como queda dicho, y tomando el promedio de un gran número de observaciones, encontró el Sr. Joule que el equivalente mecánico del calor era 424 kilogrametros. Es decir, que la cantidad de calor necesaria para calentar 1° un kilogramo de agua, desarrolla una fuerza motriz capaz de elevar un peso de 424 kilogramos á la altura de 1 metro en 1 segundo; y recíprocamente, que un peso de 424 kilogramos al caer de la altura de 1 metro, puede suministrar la cantidad de calor necesaria para calentar de cero á 1° un kilogramo de agua.

El Sr. Joule determinó también el equivalente del calor por la compresión del aire en un calorímetro de agua, y además por la cantidad de calor que desarrolla el frotamiento de dos cuerpos sólidos el uno contra el otro en un calorímetro de mercurio. Los Sres. Hirn y Fabre, en Francia, determinaron también experimentalmente el equivalente del calor. El promedio de estos diversos experimentos es 425 kilogrametros, cuyo valor es el generalmente adoptado para equivalente mecánico del calor.

400. **Aplicaciones de la termodinámica.**—El principio de la transformación del calor en trabajo y recíprocamente, ofrece numerosas aplicaciones. Cuando aun era desconocida la teoría dinámica del calor, se admitía, por ejemplo, que en las máquinas de vapor la cantidad de calor que al licuarse cede aquel al agua del condensador, era exactamente igual á la que para formarse había recibido del hogar; pero los experimentos del Sr. Hirn han hecho ver que no sucede así: el calor cedido al condensador es mucho menor que el suministrado por la caldera, siendo tanto mayor la diferencia entre ambas cantidades, cuanto mas considerable es el trabajo total efectuado por la máquina. Es decir, que el calor que posee el vapor al salir de la caldera se divide en

dos partes: una que desaparece como calor y se transforma en trabajo, y otra que se apropia el condensador; la experiencia enseña que la segunda es quintupla de la primera.

Las máquinas de aire caliente de Ericsson y otras conducen al mismo resultado acerca de la transformación del calor en trabajo, si bien producen mucho más, pues la teoría hace ver que pueden convertir en trabajo la mitad del calor que consumen.

Respecto al calor animal procedente de la combustión del carbono de la sangre en los pulmones, el doctor Mayer fué el primero que anunció que todo animal es una máquina de fuego que transforma su calor en trabajo, lo cual confirmó luego experimentalmente el Sr. Hirn. A este fin encerró dicho físico á un hombre en una garita sin ventilación ninguna, y observó los efectos caloríficos y químicos de su respiración, primero cuando el hombre estaba en reposo durante un cierto tiempo, y luego cuando trabajaba por levantar su propio peso sobre la circunferencia de una rueda móvil. A la boca del hombre iban á parar dos tubos, de los cuales uno le suministraba el aire necesario para la respiración, procedente de un gasómetro, y el otro conducía el aire espirado á un segundo gasómetro; lo cual permitía apreciar el oxígeno consumido y el ácido carbónico que se había producido.

La temperatura del aire en la garita iba aumentando progresivamente y quedaba estacionaria cuando el calor perdido por la radiación era igual al producido por el organismo. Reemplazábase en seguida al hombre por la llama de un mechero de gas, la cual se arreglaba de manera que el aire de la garita conservase la misma temperatura constante que cuando aquel estaba en ella. Teniendo en cuenta el volumen de gas que se quemaba se llegaba á saber la cantidad de calor producida por el mechero de gas, y de consiguiente por el hombre, en un tiempo dado.

Cuando aquel estaba quieto gastaba en una hora 50 gramos de oxígeno por cada 150 calorías producidas; y cuando se subía sobre la rueda consumía 150 gramos de oxígeno; pero en este caso el número correspondiente de calorías, que debería ser 750, solo era 250. Se gastaban, pues, 500 calorías: 1.º en el trabajo muscular interior; 2.º en el trabajo exterior para levantar el peso del hombre.

Obsérvese el efecto inverso cuando sobre un hombre actúa un trabajo independiente del que puede producir, como cuando en vez de subir descende. A 5 gramos de oxígeno absorbido corresponden entonces mas de 150 calorías, viniendo el exceso de calor en este caso del trabajo exterior efectuado por la gravedad durante el descenso.

Finalmente, el Sr. Béclard ha probado que cuando se levanta un peso cualquiera, los músculos se calientan mucho menos que cuando se contraen sin carga alguna.

DESCOMPOSICION DEBIDA ÚNICAMENTE AL CALOR.

401. Disociación.—Se vió mas atrás (269) que el calor origina en los cuerpos, además de su calefacción, otros tres efectos, á saber: dilatación, cambio de estado y descomposición. Despues de haber descrito los dos primeros, solo nos resta dar á conocer el tercero, aunque muy sucintamente, pues su estudio corresponde mas bien á la química que á la física.

El calor por sí solo basta para descomponer parcial ó totalmente un gran número de cuerpos compuestos: los nitratos, la mayor parte de los carbonatos, algunos óxidos y las materias orgánicas. Pero así como cada sólido tiene su temperatura propia de fusión y cada líquido la suya de ebullición, así tambien, segun confirma la experiencia, cada sustancia posee una temperatura fija de descomposición total. Tratándose del agua, por ejemplo, esta temperatura es de 2 01º, aunque tambien dicho líquido, colocado en condiciones convenientes, se descompone parcialmente á una temperatura mucho mas baja, como es entre 1000 y 1 00º. Tal es lo que acontece haciendo pasar una corriente de vapor de agua por un tubo de porcelana dentro del cual haya una cápsula llena de plata fundida; el agua se descompone parcialmente, siendo absorbido su oxígeno por la plata y desprendiéndose el hidrógeno con el exceso de vapor.

El Sr. H. Sainte-Claire Deville dió el nombre de *disociación* al fenómeno, debido al calor, de la descomposición parcial de un cuerpo á una temperatura inferior á la que ocasiona la total. Este sabio, que ha estudiado detenidamente el fenómeno de la disociación, la explica comparándole al de la evaporación de los líquidos, la cual se verifica tambien á temperaturas muy inferiores á las de su ebullición. Es decir, que así como cada líquido tiene una temperatura fija de ebullición, lo propio debe suceder á cada sustancia respecto á la de su completa descomposición; y tambien, así como la evaporación comienza á una temperatura inferior á la ebullición, analogamente la descomposición parcial de los cuerpos empieza á una temperatura mas baja que la que correponde á la descomposición total.

Para que haya disociación, es preciso que una vez libres los gases se hallen en con-

diciones tales que no les sea posible volver á combinarse ; tal es lo que acontece en la descomposicion del agua por la plata fundida, pues absorbido por ella todo el oxígeno, el hidrógeno se encuentra necesariamente libre y se desprende como queda dicho.

Sucedc tambien que el vapor de agua no presenta señal alguna de descomposicion al pasar por un tubo de platino cuya temperatura está próxima á la de fusion de dicho metal ; pero á una temperatura mucho menor, si el tubo es de porcelana sin vidriar, se descompone el vapor, lo cual es debido á que su hidrógeno puede filtrarse y se filtra á través de las paredes del tubo (163). De aqui debe deducirse que en el tubo de platino antes citado, lo probable es que haya tambien disociacion, pero como los dos gases quedan en presencia uno de otro, y á una temperatura muy elevada, se vuelven á combinar en seguida.

Nos falta espacio para dar á conocer aqui los bellos experimentos del Sr. H. Sainte-Claire Deville acerca de la disociacion del óxido de carbono, del amoniaco y de los ácidos carbónico, clorhídrico y sulfuroso.

CAPITULO VIII.

CONDUCTIBILIDAD DE LOS SÓLIDOS, DE LOS LÍQUIDOS Y DE LOS GASES.

402. Conductibilidad de los sólidos. — La *conductibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de transmitir el calor con mas ó menos facilidad á lo interior de su masa. Efectúase esta propagacion merced á un movimiento interior de molécula á molécula. Como no todos los cuerpos conducen igualmente el calor, llámanse *buenos conductores* aquellos que le transmiten fácilmente, como son en particular los metales ; y se da el nombre de malos conductores á los que oponen mayor ó menor resistencia á la propagacion del calor, cuales son el vídrio, las resinas, las maderas, y sobre todo los líquidos y los gases.

Para comparar el poder conductor de los sólidos, construyó el médico holandés Ingenhousz, que murió á fines del siglo pasado, un aparato que conserva su apellido (fig. 432). Consiste en una caja de hoja de lata ó de laton, con varios orificios cilíndricos donde se fijan con taponcs otras tantas barritas de diversas sustancias, como por ejemplo, de hierro, de cobre, de madera y de vídrio. Estas barritas penetran algunos milímetros en el interior de la caja, y se hallan cubiertas de cera amarilla, que se funde á 61°. Llena de agua hirviendo la caja, se observa que en las barritas metálicas empieza muy pronto á fundirse la cera, efectuándose la fusion hasta una distancia de las paredes de la caja variable para cada una de ellas, mientras que en las otras no se presenta indicio alguno de fusion. El poder conductor es, pues, evidentemente, tanto mas intenso, cuanto mayor es la distancia á la cual se ha fundido la cera.

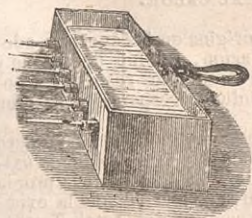


Fig. 432.

Despretz comparó los poderes conductores de los sólidos con el aparato representado en la figura 433. Consiste en una barra prismática que posee de decímetro en decímetro pequeñas cavidades llenas de mercurio, en cada una de las cuales se sitúa un termómetro. Expuesta dicha barra por uno de sus extremos á un foco constante de calor, se ve que los termómetros suben sucesivamente á partir del foco, y que despues marcan temperaturas fijas, pero decrecientes de un termómetro á otro. Merced á este procedimiento, comprobó Despretz la siguiente ley formulada la vez primera por Lambert: Si las distancias al foco crecen en progresion

aritmética, las diferencias de temperatura sobre la del aire ambiente decrecen en progresion geométrica.

Con todo, esta ley solo es exacta en los metales muy buenos conductores, como el oro, el platino, la plata y el cobre; no es mas que aproxima-

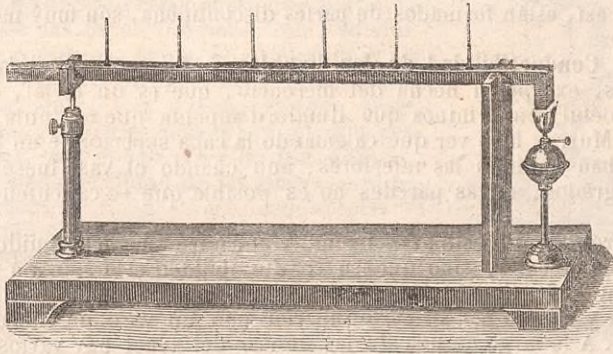


Fig. 455.

mada respecto al hierro, al zinc, al plomo y al estaño, y de ninguna manera aplicable á los cuerpos no metálicos, como el mármol, la porcelana, etc.

Representando por 1000 el poder conductor del oro, encontró Despretz que el de las sustancias siguientes es:

Platino..	981	Estaño..	304
Plata.	973	Plomo.	179
Cobre.	897	Mármol.	23
Hierro..	374	Porcelana.	42
Zinc..	363	Tierra de ladrillos..	11

A fin de no alterar la forma de las barras metálicas abriendo huecos en ellas, conforme lo habia hecho Despretz, lo cual destruia parcialmente la continuidad de los metales, los Sres. Wiedmann y Franz adoptaron en 1853 un procedimiento que evitaba tal causa de error, y consistia en medir la temperatura de las barras en sus diferentes partes por medio de corrientes termo-eléctricas que obtenian aplicando sobre aquellas el punto de soldadura de un elemento de la pila termo eléctrica (292).

Las barras metálicas eran lo mas regulares posible, y estaban dispuestas en un espacio cuya temperatura era constante. Uno de sus extremos se hallaba en comunicacion con un foco de calor, y el elemento termo-eléctrico que se ponía en contacto con ellas era de cortisimas dimensiones, á fin de que gastase muy poco calor.

Operando así, obtuvieron dichos físicos resultados que diferian notablemente de los de Despretz. Representando por 100 la conductibilidad de la plata, encontraron para los demás metales los siguientes valores.

Plata.	400	Acero.	11,6
Cobre.	77,6	Plomo.	8,5
Oro.	53,2	Platino.	8,4
Estaño..	44,5	Aleacion de Rosc.	2,8
Hierro..	44,5	Bismuto.	4,8

Las sustancias orgánicas conducen mal el calor, y en cuanto á las maderas, el Sr. de la Rive demostró, en Ginebra, que su conductibilidad es mucho mayor en el sentido de las fibras que trasversalmente, y que las maderas mas densas son los mejores conductores. El salvado, la paja, la lana y el algodón, que son cuerpos poco densos, y que, por decirlo así, están formados de partes discontinuas, son muy malos conductores.

403. Conductibilidad de los líquidos. — La conductibilidad de los líquidos, excepcion hecha del mercurio, que es un metal, es sumamente débil, en términos que Rumford suponía que era nula. Sin embargo, Murray hizo ver que calentando la capa superior de un líquido se calentaban tambien las inferiores, aun cuando el vaso fuese de hielo á cero grados, cuyas paredes no es posible que se calienten sin fundirse.

Despretz repitió este experimento y encontró que los líquidos no solo conducen el calor, sino que su conductibilidad está sujeta á la ley de Lambert (432). Consistia su aparato en un tonel de 4^m,50 de altura, lleno de agua y tapado por su parte superior con un vaso de cobre A (figura 434). A lo largo de una de las duelas del tonel hay varios agujeros

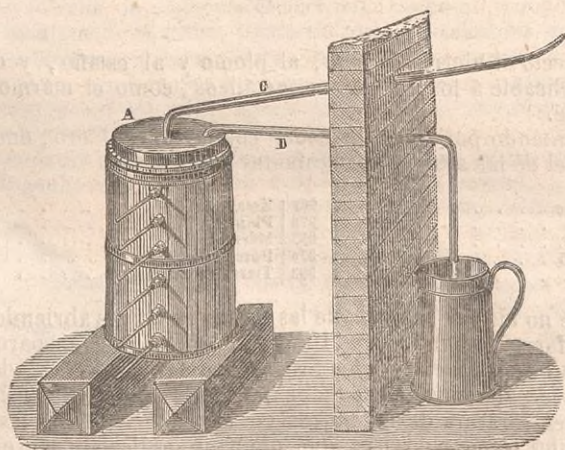


Fig. 434.

por los cuales penetran, quedando allí fijos, otros tantos termómetros. El vaso A se mantiene á una temperatura constante por medio de una corriente de agua caliente á 100° que llega lentamente por el tubo C y sale en seguida por otro D. Calentándose de esta manera el vaso se calienta tambien la capa de agua que está en contacto con él, despues la inmediata inferior, y así sucesivamente las capas siguientes, segun se observa en los termómetros. Pero quedando luego estacionaria la temperatura á pesar de haber prolongado el experimento durante treinta y seis horas, encontró Despretz que la propagacion del calor en los líquidos sigue la misma ley que en las barras metálicas, solo que la conductibilidad es mucho mas débil.

404. Manera de calentarse los líquidos. — Cuando se calientan los líquidos por su parte inferior, resulta de su débil conductibilidad, que el calor se propaga principalmente por medio de las corrientes ascendentes y descendentes que se establecen en su masa. Explicanse estas corrientes por la dilatación de las capas inferiores que, volviéndose menos densas, suben en el líquido y son reemplazadas por las superiores, más frías, y de consiguiente, más densas. Pueden observarse estas corrientes echando en el agua serrín, el cual sube y baja con ellas (fig. 435).

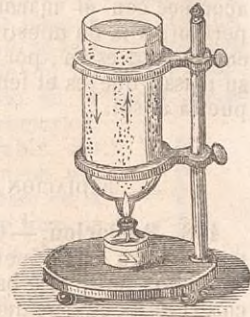


Fig. 435.

405. Conductibilidad de los gases. — El poder conductor de los gases no puede apreciarse de un modo directo a causa de su gran diatermancia (429) y de la suma movilidad de sus moléculas; pero, cuando se ponen algunas trabas a sus movimientos, aparece su conductibilidad, que es casi nula. Obsérvase, en efecto, que todas las sustancias entre cuyos filamentos queda aire interpuesto, presentan una gran resistencia a la propagación del calor, como sucede con la paja, el algodón, la plumazón y las pieles. Cuando se calienta una masa gaseosa, lo efectúa principalmente por su contacto con un cuerpo caliente, y por las corrientes ascendentes originadas por la dilatación, de igual manera que en los líquidos.

406. Conductibilidad del hidrógeno. — Magnus determinó la conductibilidad propia de cada gas valiéndose de un tubo de vidrio cerrado con una llave, dispuesto verticalmente, y dentro del cual, en su parte inferior, había un termómetro que se observaba al través del vidrio, mientras se mantenía a 100° el extremo superior. Experimentando sucesivamente con este tubo primero vacío y después lleno de diferentes gases, más ó menos condensados, obtuvo Magnus los resultados siguientes:

- 1.° La temperatura del termómetro es más alta en el hidrógeno que en todos los demás gases.
- 2.° Dicha temperatura es mayor en el hidrógeno que en el vacío, y tanto más, cuanto más condensado se halla este gas.
- 3.° En los demás gases la temperatura es menor que en el vacío, y tanto menos, cuanto más condensados se hallan los gases.

La conductibilidad del hidrógeno es una confirmación de la opinión emitida por algunos químicos de que este gas es un metal.

407 Aplicaciones de la conductibilidad. — La mayor ó menor conductibilidad de los cuerpos se presta a muchas aplicaciones. Si se trata, por ejemplo, de conservar caliente un líquido por largo tiempo, se pone en una vasija de doble cubierta, cuyo intervalo esté lleno de materias no conductoras, como serrín, vidrio, carbon pulverizado ó paja. El mismo procedimiento se emplea para impedir que un cuerpo absorba el calor; así es que para conservar el hielo en el verano, se le rodea de paja ó de lana.

Si nuestras habitaciones nos parecen más frías cuando están embaldosadas que entarimadas, es porque aquellos pavimentos conducen mejor el calor. La sensación de calor ó frío que experimentamos al contacto de ciertos cuerpos, consiste en la conductibilidad, pues si su

temperatura es menor que la nuestra, nos parecen mas frios de lo que son, por causa del calor que nos roban en virtud de la misma, segun acontece con el mármol; y si, por el contrario, es superior su temperatura á la de nuestro cuerpo, se nos figuran mas calientes de lo que en realidad están, por el calor que nos ceden de los diversos puntos de su masa, que es el fenómeno que nos presenta una barra de hierro expuesta al sol.

CAPITULO IX.

RADIACION, REFLEXION Y ABSORCION DEL CALOR.

408. Radiacion.—Cuando un cuerpo está situado en un recinto de temperatura mas ó menos elevada que la suya, siempre se observa que la del cuerpo sube ó baja progresivamente hasta igualarse con la del recinto; de lo cual se deduce que el cuerpo ha ganado ó perdido cierta cantidad de calor que recibió de los que le rodean, ó que cedió á los mismos; trasmítese, pues, el calor de un cuerpo á otro á través del espacio de la misma manera que la luz. Esta propagacion del calor, que se produce á todas las distancias y en todos sentidos, se designa con el nombre de *radiacion*, y se llama *absorcion* la inversa de esta, es decir, la penetracion del calor radiante en los cuerpos. Finalmente, se denomina *rayo de calor* ó *rayo calorífico* la línea recta que al propagarse sigue el calor, y *haz* un conjunto de rayos: si estos se separan unos de otros, el haz es *divergente*; y si son paralelos, se dice que tambien lo es el haz.

No se crea por esto que solo emiten calor los cuerpos que designamos vulgarmente con el nombre de *cuerpos calientes*, y que únicamente los *frios* le absorben, pues todos ellos, calientes ó frios, emiten y absorben constantemente calor, pero en cantidades desiguales.

En la teoría dinámica del calor, la radiacion es la comunicacion al éter del movimiento vibratorio de las moléculas de la materia, y cuando se enfria un cuerpo es porque sus moléculas pierden una parte de su movimiento cediéndole al éter. Una vez producidas las ondas etéreas van á chocar con las moléculas de los cuerpos que encuentran, los cuales se calientan á su vez, de modo que por un cambio continuo de movimiento se producen todos los fenómenos de calefaccion y enfriamiento de los cuerpos; y á la misma causa se debe el que nos demos cuenta ó percibamos la sensacion de calor ó frio.

En el estudio del calor radiante hay que distinguir el calor *oscuro* y el *luminoso*: el primero es el que emite un cuerpo no luminoso, como un vaso lleno de agua á 100°, siendo el segundo el emitido por un cuerpo luminoso, como el sol, ó una bomba calentada al rojo. En efecto, mas adelante veremos que el calor oscuro y el luminoso se diferencian por algunas de sus propiedades (427 y 433).

409. Leyes de la radiacion —La radiacion del calor está sujeta á las tres leyes siguientes:

1.^a *La radiacion se verifica en todas direcciones alrededor de los cuerpos.*

En efecto, si se coloca un termómetro en diferentes sitios alrededor de un cuerpo caliente, en todos ellos indica una elevacion de temperatura.

2.^a *En un medio homogéneo, la radiacion se efectúa en línea recta.* Porque si se interpone una pantalla en la recta que une un foco calorífico con un termómetro, deja este de sentir la influencia del foco.

Mas al pasar de un medio á otro, por ejemplo, del aire al vidrio, los rayos caloríficos, lo mismo que los luminosos, cambian de direccion, constituyendo el fenómeno conocido con el nombre de *refraccion*, cuyas leyes daremos en óptica, pues son las mismas para la luz que para el calor.

3.^a *El calor se propaga en el vacío.*—Primeramente se admitió que para la radiacion del calor era necesaria la presencia de un medio ponderable. Demuéstrase la propagacion del calor luminoso en el vacío por el que nos envía el sol al través de los espacios planetarios, los cuales no contienen ninguna materia ponderable. En cuanto á la del calor oscuro en el mismo, se prueba por el siguiente experimento debido á Rumford. Suéldase en la pared de un globo de vidrio, que tenga casi medio litro de capacidad, un termómetro cuyo depósito ocupe su centro (fig. 436), y además se une de la misma manera al cuello del globo un largo tubo barométrico; despues se llenan ambos de mercurio seco, é invirtiendo luego el aparato, se introduce el extremo abierto del tubo en una cubeta llena de mercurio; lo mismo exactamente que se hizo en el experimento de Torricelli (fig. 209). Desciende así el mercurio á la altura media de 76 centímetros, y queda vacío el globo y una parte del tubo. Calentando entonces este á la lámpara hasta la fusion del vidrio, por mas arriba del nivel del mercurio, la presion exterior deprime las paredes del tubo, que se sueldan y cierran herméticamente el globo. Purgado así completamente de aire y expuesto á un foco de calor, como por ejemplo metiéndole en agua caliente, se ve subir el termómetro casi de pronto, lo que prueba la propagacion del calor oscuro en el vacío, porque el vidrio es demasiado mal conductor del calor para que pueda efectuarse esta propagacion tan rápidamente por las paredes del globo y el tubo del termómetro.



Fig. 436.

En cuanto á la velocidad de propagacion del calor, aun no ha sido determinada: solo se sabe que debe diferenciarse poco de la de la luz, si no le es exactamente igual, porque la luz solar y las más de las luces artificiales van constantemente acompañadas de rayos caloríficos.

410. Intensidad del calor radiante y causas que le hacen variar.—

Entiéndese por *intensidad* del calor radiante la cantidad de calor que recibe la unidad de superficie en la de tiempo. Tres son las causas que modifican esta intensidad conforme á las leyes que vamos á exponer; la distancia del foco de calor y la oblicuidad de los rayos caloríficos, ya respecto á la superficie que los emite, ya tambien á la que los recibe.

Primera ley.—La intensidad del calor radiante está en razon inversa del cuadrado de la distancia. Esta ley puede demostrarse teórica y experimentalmente. En efecto, supongamos primeramente una esfera hueca *ab* (fig. 437), de un radio cualquiera, y en su centro un foco constante de calor *C*; cada unidad de superficie de la pared interior recibe una cantidad determinada de calor. Pero si se considera una esfera *Cf*, cuyo radio es doble, su superficie, en virtud de un teorema conocido de geometría; será cuatro veces mayor, y por lo tanto, la pared interior contendrá cuatro veces mas unidades de superficie, y como la cantidad de calor emitida desde

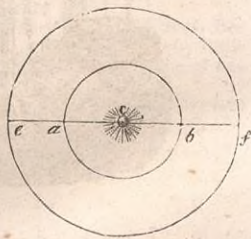


Fig. 437.

el centro no varía, es claro que cada unidad recibirá necesariamente cuatro veces menos.

Para demostrar la misma ley experimentalmente se toma una caja de hoja de lata *M*, llena de agua caliente, con una de sus caras recubierta de negro de humo (fig. 438), la cual se expone á la acción del aparato ter-

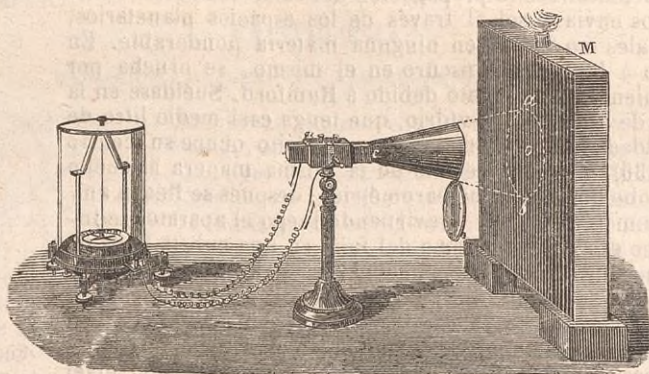


Fig. 458.

mo-eléctrico de Melloni (295). La pila está provista de su reflector cónico, y la pared interna de este se halla también cubierta de negro de humo para impedir toda radiación oblicua. Colocando primero la cara de la pila á una distancia *co* de 20 centímetros, la aguja del galvanómetro se desvía y detiene, por ejemplo, á 80 grados.

Si luego se aparta la pila, como se ve en la figura 439, á una distan-

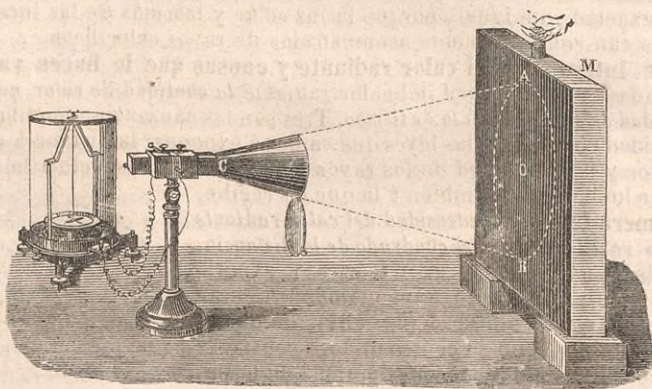


Fig. 459.

cia *CO* doble de *co*, el galvanómetro conserva la misma desviación 80°, lo cual prueba que la pila sigue recibiendo la misma cantidad de calor, sucediendo lo propio si se la lleva á una distancia triple ó cuádruple de la primitiva. Este resultado parece á primera vista contradictorio de la

ley que se trata de demostrar, pero por el contrario la confirma. Efectivamente, en su primera posición no recibe la pila calor sino de la parte circular ab de la pared de la caja, siendo así que en la segunda radia hacia ella la AB . Siendo, pues, semejantes los dos conos ACB y acb , y la altura del primero doble de la del segundo, el diámetro AB es también doble del ab , y por lo tanto, la superficie AB cuádruple de la ab , pues es sabido que la superficie del círculo es proporcional al cuadrado de su radio. Por consiguiente, supuesto que creciendo la superficie radiante de la caja como el cuadrado de la distancia queda estacionario el galvanómetro, es preciso que la intensidad del calor recibida por la pila esté en razón inversa del mismo cuadrado.

Conviene observar que esta ley solo es aplicable á los rayos caloríficos divergentes, pues para los paralelos, la intensidad del calor es igual á todas las distancias, salvo la absorción por los medios que atraviesa el calor.

Segunda ley. — *La intensidad de los rayos caloríficos emitidos oblicuamente por una su superficie radiante es proporcional al coseno del ángulo que forman e los rayos con la normal á la misma superficie.* Para demostrar esta ley representemos, en proyección horizontal, por P la pila de Melloni en comunicacion con su galvanómetro mediante dos alambres conductores, y por A un cubo de hoja de lata lleno de agua caliente (fig. 440).

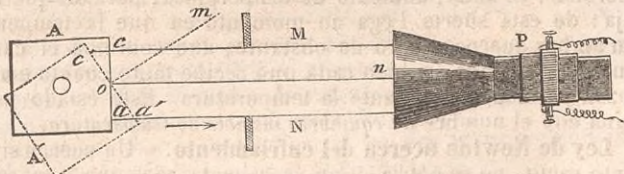


Fig. 440.

Estando primero el cubo en la posición A , de modo que su cara anterior sea perpendicular al haz paralelo MN que cae sobre la pila, el galvanómetro marca cierta desviación, 45 grados, por ejemplo, radiando entonces solo la parte ac de la pared anterior del cubo; y aun cuando este tome otra posición A' , tal que dicha pared sea oblicua al haz MN , se observa que el galvanómetro continúa aun señalando 45°. La superficie $a'c'$, ahora radiante, es mayor que ac ; por consiguiente, si representamos por i la intensidad de los rayos perpendiculares a ac , y por i' la de los oblicuos a $a'c'$, puesto que el efecto es igual en ambos casos, estas intensidades están necesariamente en razón inversa de las superficies ac y $a'c'$; resulta, pues, $i' \times \text{superf. } a'c' = i \times \text{superf. } ac$ [1]. Siendo la superficie ac proyección de la $a'c'$ se tiene, según un teorema conocido de trigonometría, $\text{superf. } ac = \text{superf. } a'c' \cos \alpha\alpha'$; ó bien, $\text{superf. } ac = \text{superf. } a'c' \cos \alpha\alpha'$, puesto que los ángulos $\alpha\alpha'$ y $\alpha\alpha'$ son iguales por tener sus lados perpendiculares. Sustituyendo en vez de $\text{superf. } ac$ su valor en la igualdad [1] y suprimiendo el factor común, resulta $i' = i \cos \alpha\alpha'$, igualdad que demuestra la ley.

Esta ley, conocida con el nombre de *ley de coseno*, no es general, pues los Sres. Desains y de la Provostaye han comprobado que solo se verifica en un caso muy limitado, esto es, cuando los cuerpos carecen de poder reflector, como sucede con el negro de humo (422).

Tercera ley. — *La intensidad de los rayos caloríficos que caen oblicuamente sobre una*

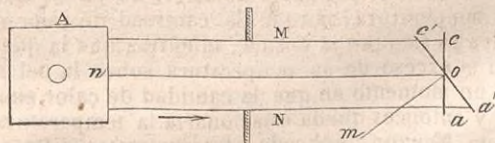


Fig. 441.

superficie es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos incidentes con la

normal á dicha superficie. Esta ley se demuestra del mismo modo que la anterior. En efecto, consideremos un foco de calor constante A, y un haz paralelo MN que cae normalmente sobre una superficie plana, y sea *ac* la parte de la superficie que recibe el haz (fig. 441). Si esta superficie toma la posición *a'c'*, la parte *a'c'* es mayor que *ac*, y recibe la misma cantidad de calor del haz MN; pero estando repartido este calor en una superficie mas extensa, disminuye su intensidad y resulta igualmente $i \times \text{superf. } a'c' = i \times \text{superf. } ac$; de donde se deduce por el mismo calculo que antes, $i' = i \cos \text{mon}$, igualdad que demuestra la tercera ley.

411. Equilibrio instable de temperatura. — Dos son las hipótesis que se han formulado acerca de la radiacion. Supónese en la primera que cuando dos cuerpos de temperatura desigual se hallan en presencia uno de otro, solo hay radiacion desde el cuerpo mas caliente al mas frio, sin que este emita nada hácia aquel, hasta que, bajando gradualmente la temperatura del cuerpo mas caliente, se equilibre con la del mas frio, cesando entonces por completo la radiacion. Esta hipótesis fué reemplazada por la siguiente, debida á Prévost, de Ginebra. Segun dicho fisico, todos los cuerpos, sea cual fuere su temperatura, emiten constantemente calor en todas direcciones, observándose una pérdida de calor, es decir, enfriamiento, en los de temperatura mas alta, porque los rayos que emiten son mas intensos que los que reciben; y por el contrario, hay absorcion, es decir, aumento de temperatura, para los que la tienen mas baja: de esta suerte llega un momento en que la temperatura es igual en ambos cuerpos; pero no obstante, aun continua el cambio de calor entre los mismos, si bien cada uno recibe tanto cuanto emite; por cuya razon permanece constante la temperatura. Este estado particular se designa con el nombre de *equilibrio instable de temperatura*.

412. Ley de Newton acerca del enfriamiento. — Un cuerpo situado en un recinto vacío, no se enfria ó no se calienta mas que por radiacion; pero en la atmósfera, además de aquella causa, existe tambien el contacto con el aire. En ambos casos la velocidad del enfriamiento ó de la calefaccion es la *cantidad de calor perdida ó absorbida en la unidad de tiempo*; siendo tanto mayor, cuanto mas considerable sea la diferencia de temperatura. Dicha velocidad es mayor en los gases que en el vacío, variando tambien con la naturaleza de aquellos; así es que en el hidrógeno, por ejemplo, es mayor que en el aire. Por último, depende tambien del poder emisivo ó absorbente de los cuerpos y de la presion.

Newton formuló acerca de este punto la siguiente ley: *La cantidad de calor que un cuerpo gana ó pierde, en la unidad de tiempo, es proporcional á la diferencia entre su temperatura y la del recinto.* Dulong y Petit han demostrado que esta ley no es general, y que solo debe aplicarse á diferencias de temperatura que no excedan de 20 á 30°. Pasado este límite, la cantidad de calor que se gana ó se pierde es mayor que la que la ley indica.

413. Corolarios de la ley de Newton. — 1.º Cuando un cuerpo se halla expuesto á un foco constante de calor, no puede aumentar indefinidamente su temperatura, porque la cantidad de calor que recibe en tiempos iguales es siempre la misma, mientras que la que pierde va aumentando con el exceso de su temperatura sobre la del aire ambiente. Llega, pues, un momento en que la cantidad de calor emitida es igual á la absorbida, y entonces queda estacionaria la temperatura.

2.º La ley de Newton, aplicada al termómetro diferencial, hace ver que las indicaciones de este instrumento son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. Sea, en efecto, un termómetro diferencial

con una de sus esferas sujeta á la accion de un foco constante de calor. El instrumento indica primero temperaturas crecientes, quedando luego estacionario, segun lo indica la posicion fija que adquiere el índice. En este momento, la cantidad de calor que recibe la esfera, es igual á la que emite; pero esta última, segun la ley de Newton, es proporcional al exceso de la temperatura de la esfera sobre la del ambiente, es decir, al número de grados que marca el termómetro. De consiguiente, *la temperatura que marca el termómetro diferencial, es tambien proporcional á la cantidad de calor que recibe el instrumento.*

REFLEXION, EMISION Y ABSORCION DEL CALOR.

414. Leyes de la reflexion. — Cuando los rayos caloríficos caen sobre la superficie de un cuerpo, se dividen generalmente en dos partes; unos penetran en la masa del cuerpo, y los otros se vuelven como repelidos por la superficie, á la manera de una bola elástica; circunstancia que se expresa diciendo que se han *reflejado*.

Si representamos por mn (fig. 442) una superficie plana reflejante, por CB el rayo incidente, por BD una línea perpendicular á la superficie, que se llama *normal*, por BA el rayo reflejado, el ángulo CBD es el *ángulo de incidencia*, y DBA el *ángulo de reflexion*. Entendido esto, la reflexion del calor está sujeta, lo mismo que la de la luz, á las dos leyes siguientes:

- 1.^a El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.
- 2.^a El rayo incidente y el reflejado están en un mismo plano, perpendicular á la superficie reflejante.

415. Demostracion experimental de las leyes de la reflexion del calor. — Estas leyes se demuestran experimentalmente con el termo-

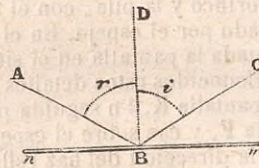


Fig. 442.

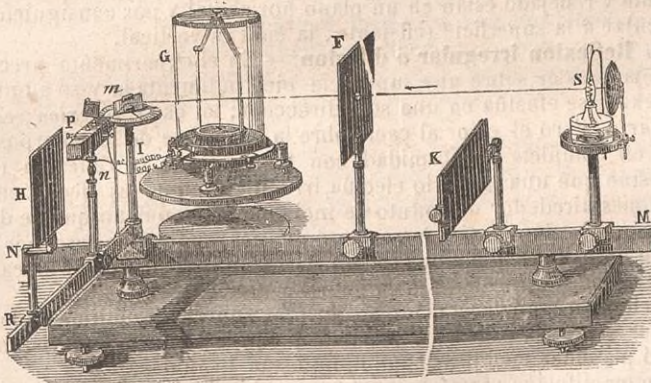


Fig. 445.

multiplicador de Melloni, ó con los espejos cóncavos (418). La figura 443 manifiesta el modo de hacer el experimento con aquel aparato. En una regla horizontal MN , de un metro de longitud y dividida en milíme-

tros, están fijas con tornillos de presion varias piezas. En S hay un foco de calor que consiste en un cubo de hierro lleno de agua á 100°, ó en un alambre de platino caleatado al blanco en la llama da una lámpara de alcohol; una pantalla maciza K intercepta, cuando está alzada, los rayos de calor procedentes del foco; la otra pantalla F, horadada en su centro, sirve para dejar pasar un haz paralelo. En la otra extremidad de la regla hay un vástago I que sostiene un limbo graduado, cuyo cero corresponde á la direccion de la regla MN, y por lo tanto á la del haz Sm. El limbo tiene en su centro un orificio en que gira un eje provisto de un espejo metálico plano m. Alrededor del vástago I puede girar libremente una alidada R, en la cual está fija la pila termo-eléctrica P en comunicacion con su galvanómetro G. Entre la pila y el limbo graduado está sujeto sobre la alidada un vástago n cuya punta está encorvada á la altura y en la direccion del limbo graduado para señalar en él los movimientos angulares de la alidada. Por último, fija tambien en esta hay otra pantalla H cuyo pié es acodillado, la cual puede colocarse entre el foco calorífico y la pila, con el fin de que esta no reciba mas que el calor reflejado por el espejo. En el grabado, por no tapar la pila, no está representada la pantalla en el sitio que debe ocupar.

Conocidos estos detalles, se procede al experimento bajando primero la pantalla K. En seguida pasa un haz paralelo por la abertura de la pantalla F, y cae sobre el espejo m reflejándose allí. Si la alidada no se halla en la direccion del haz reflejado, este no actúa sobre la pila, y el galvanómetro permanece estacionario; mas si se la hace girar lentamente, se encuentra una posicion en que el galvanómetro marca una desviacion máxima, lo cual sucede cuando la pila recibe de lleno el haz reflejado. Anotando entonces la direccion, en el limbo graduado, de una pequeña aguja perpendicular al espejo y que representa su normal, se observa que esta es bisecriz del ángulo formado por el haz incidente y el reflejado, lo cual demuestra la primera ley.

Demuéstrase tambien la segunda por el mismo experimento, porque las diferentes piezas del aparato están dispuestas de modo que los rayos incidente y reflejado están en un plano horizontal y por consiguiente perpendicular á la superficie reflejante, la cual es vertical.

416. Reflexion irregular ó difusion. — En el experimento precedente se refleja el calor sobre una superficie bien pulimentada y se admite que la reflexion se efectúa en una sola direccion: tal es la *reflexion regular ó especularia*. Pero el calor al caer sobre la superficie de los cuerpos no se refleja en completa conformidad con las leyes de la reflexion regular (414), sino que una parte lo efectúa irregularmente, es decir, en todas direcciones alrededor del punto de incidencia, fenómeno que se designa con el nombre de *reflexion irregular ó difusion*; entendiéndose por poder difusivo de una sustancia cualquiera, la razon de la cantidad de calor reflejado en todas direcciones á la de calor incidente.

La reflexion regular se origina sobre las superficies pulimentadas, y la irregular sobre las rugosas ó que tienen asperezas como los cristales raspados ó planchas metálicas cuando no están bruñidas.

El poder difusivo varia segun el foco calorífico y la superficie reflejante. Con el negro de humo, los metales y los cristales lustrosos es aquel muy débil y puede despreciarse; pero con los metales sin bruñir, el vidrio raspado, el papel y el blanco de albayalde, el poder difusivo es mas ó menos considerable segun el foco calorífico.

Melloni fué quien descubrió la difusion del calor por medio del termo-multiplicador (293). Para comprobar su descubrimiento con dicho aparato no hay mas que recibir sobre una superficie mate, ó recubierta de blanco de albayalde, un haz de calor, y cualquiera que sea la inclinacion y el lado de la pila del termo-multiplicador que se dirija hácia el punto de incidencia, siempre la aguja del galvanómetro se desvia mas ó menos en el momento en que el calor encuentra á la superficie reflejante, lo cual patentiza la reflexion del calor en todas direcciones, sea cual fuere la inclinacion.

417. Reflexion sobre los espejos cóncavos. — Dáse el nombre de *espejos cóncavos* ó *reflectores* á unas superficies esféricas ó parabólicas, de metal ó de vidrio, que sirven para concentrar en un solo punto los rayos luminosos ó caloríficos.

Solo consideraremos los espejos esféricos. La figura 445 representa dos de ellos, y en la 444 se ve su seccion mediana, llamada *seccion principal*.

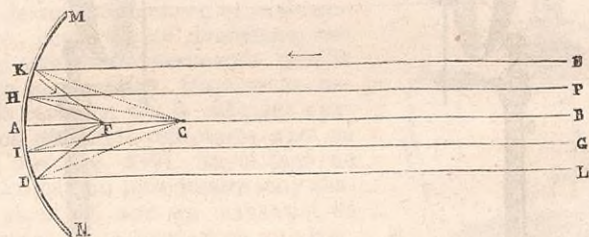


Fig. 444.

principal. El centro C de la esfera á que pertenece el espejo, se denomina *centro de curvatura*; el punto A, ó la parte media del reflector, es el *centro de figura*; y por fin la recta AB, tirada por estos dos puntos, es el *eje principal del espejo*.

A fin de aplicar á los espejos esféricos las leyes de la reflexion sobre las superficies planas, se los considera formados por una infinidad de superficies planas sumamente pequeñas, perteneciendo cada una al plano tangente correspondiente; mediante esta hipótesis, se puede deducir, por la Geometría, que las normales á estas pequeñas superficies van á concurrir todas al centro de curvatura.

Supongamos en el eje AB del espejo MN un foco de calor bastante lejano para que podamos considerar como paralelos entre sí los rayos EK, PH,.... que de él emanan. En virtud de la hipótesis anterior, que supone constituido el espejo por una infinidad de pequeños elementos planos, el rayo EK se refleja sobre el elemento K, exactamente lo mismo que lo haria sobre un espejo plano; es decir, que siendo CK la normal á este elemento, acepta el rayo una direccion KF tal, que el ángulo CKF es igual al CKE. Los demás rayos PH, GI,...., que se reflejan del mismo modo, van á concurrir casi á un mismo punto F, situado en la mitad de la recta AC, conforme se demostrará en la óptica (490). Existe, pues, en F, reunion de los rayos caloríficos, y por consiguiente, una temperatura mas elevada que en los demás puntos. De aquí el nombre de *foco* que se ha dado á este punto. La distancia FA del foco al espejo, se llama *distancia focal*.

En la figura anterior se propaga el calor siguiendo las líneas EKF,

LDF....., en el sentido de las flechas; pero, recíprocamente, si el cuerpo caliente se halla en F, se propaga el calor según las direcciones FKE, FDL....., de suerte que los rayos emitidos del foco quedan, después de la reflexión, paralelos entre sí: de lo cual resulta que el calor transmitido no pierde nada de su intensidad.

418 **Demostración de las leyes de la reflexión por medio de los espejos cóncavos.** — El experimento que sigue, efectuado la vez primera por Pictet y Saussure, en Ginebra, y conocido por el nombre de *experimento de los espejos conjugados*, demuestra á la vez la existencia de los focos, y las leyes de la reflexión del calor. Dispónense al efecto dos reflectores M y N (fig. 445) á 4 ó 5 metros de distancia, de manera que coin-

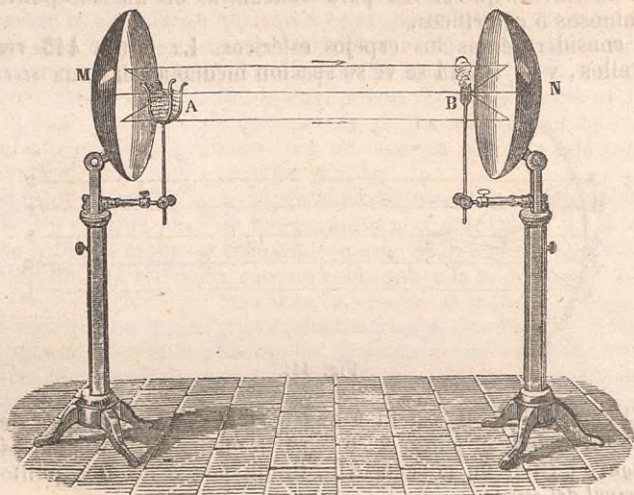


Fig. 445.

cidan sus ejes. En el foco de uno de ellos, en un canastillito de alambre de hierro A, se ponen varias ascuas, y en el foco del otro un cuerpo inflamable B, por ejemplo, yesca. Los rayos emitidos por las ascuas, se reflejan primero en el espejo M: toman, por efecto de esta reflexión, una dirección paralela al eje (417); se reflejan de nuevo sobre el otro reflector, y van á concurrir á su foco B. Así lo prueba la combustión de la yesca que se enciende en dicho punto y no en los demás.

Sirve además este experimento para demostrar que la reflexión del calor y la luz están sujetas á unas mismas leyes. Colócase, al efecto, en el foco A, donde estaban las ascuas, una vela encendida, y en el B una pantalla de vidrio deslustrado, ó de papel, observándose en esta un foco luminoso, exactamente en el sitio mismo en donde se enciende la yesca, lo cual nos dice que el foco de calor y el de luz se forman en un mismo punto. Verifícase, pues, la reflexión en ambos casos, siguiendo las mismas leyes. Al hablar de la luz demostraremos (480) que el ángulo de reflexión es igual al de incidencia, y que el rayo incidente y el reflejado se encuentran en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante y por consiguiente, *lo mismo sucede con el calor.*

419. Espejos ustorios. — Los espejos cóncavos han recibido el nombre de *espejos ustorios*, por efecto de la alta temperatura que puede obtenerse en sus focos. Refiérese que Arquímedes incendió los buques romanos delante de Siracusa, por medio de tales espejos. Buffon construyó espejos ustorios, cuya potencia prueba que es muy posible el hecho atribuido á Arquímedes. Dichos espejos constaban de muchos cristales planos y azogados, de 22 centímetros de largo por 16 de ancho, los cuales podían girar independientemente unos de otros en tal ó cual direccion, de suerte que los rayos reflejados fuesen á concurrir á un mismo punto. Con 128 espejos sometidos al ardiente sol del verano, inflamó Buffon una tabla de madera embreada, á 68 metros de distancia.

Recibiendo los rayos solares en un espejo cóncavo de laton batido, cuyo diámetro y rádio de curvatura sean respectivamente 1 y 2 metros, se obtiene un foco calorífico tan intenso, que la sílice, la piedra pómez, el cobre y la plata se funden allí en pocos minutos.

420. Reflexion en el vacío. — El calor se refleja del mismo modo en el vacío que en el aire, conforme se demuestra por medio del siguiente experimento, debido al químico inglés Davy. Dispónense debajo de la campana de la máquina neumática dos pequeños reflectores uno en frente de otro (fig. 446). En el foco de uno de ellos hay un termómetro muy sensible, y en el del otro un manantial de calor eléctrico, que consiste en un alambre incandescente de platino, lo cual se consigue haciendo pasar por él la corriente de una pila. Véase en seguida que el termómetro sube algunos grados, lo cual es debido al calor reflejado, puesto que cuando el termómetro no está situado exactamente en el foco del otro reflector no acusa el mismo incremento de temperatura.

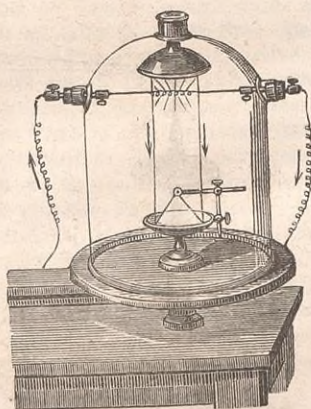


Fig. 446.

421. Reflexion aparente del frío. — Si se colocan dos reflectores uno en frente de otro, como los representa la figura 445, y en vez de ascuas se pone en el foco del espejo M un trozo de hielo ó una mezcla frigorífica, estando el ambiente á 12 ó 15°, por ejemplo, se observa que un termómetro diferencial situado en el foco del otro reflector indica un enfriamiento de algunos grados. A primera vista parece que depende este fenómeno de rayos frigoríficos emitidos por el hielo; pero esta *reflexion aparente del frío*, que es como se llama, se explica por la teoría que expusimos (411) acerca del equilibrio instable de temperatura que siempre tiende á establecerse entre los cuerpos. En este experimento, lo mismo que en el de la inflamacion de la yesca, el espejo delante del cual está el trozo de hielo se sustituye á una parte del recinto, y por tanto los rayos de calor que este envía hácia el termómetro los intercepta el espejo y son reemplazados por aquellos que procedentes del hielo caen sobre el primer espejo, reflejándose allí hácia el segundo, para ir al fin á caer sobre una de las esferas del termómetro; pero estos rayos no compensan el efecto de los interceptados por el espejo, por ser mas baja su temperatura, resultando de aquí el enfriamiento marcado por el termómetro.

A la misma causa debemos atribuir el frío que sentimos junto á las paredes de ladrillo ó piedra, y en general cerca de toda masa cuya temperatura es inferior á la nuestra.

422. Poder reflector.—Llámanse así la propiedad que posee cualquiera sustancia de reflejar una parte mas ó menos considerable del calor incidente.

Distínguese el *poder reflector absoluto* del *relativo*: el primero es la razon de la cantidad de calor reflejado á la cantidad de calor incidente; el segundo es la razon de la cantidad de calor reflejado por un cuerpo á la misma reflejada por otro, que generalmente es el latón bruñido.

El poder reflector es variable segun la naturaleza de las sustancias, y para poderle estudiar en varias, sin necesidad de construir tantos reflectores cuantas ellas sean, dispuso Leslie sus experimentos como lo demuestra la figura 447. El foco de calor es un cubo *M* lleno de agua á 100° ; en el

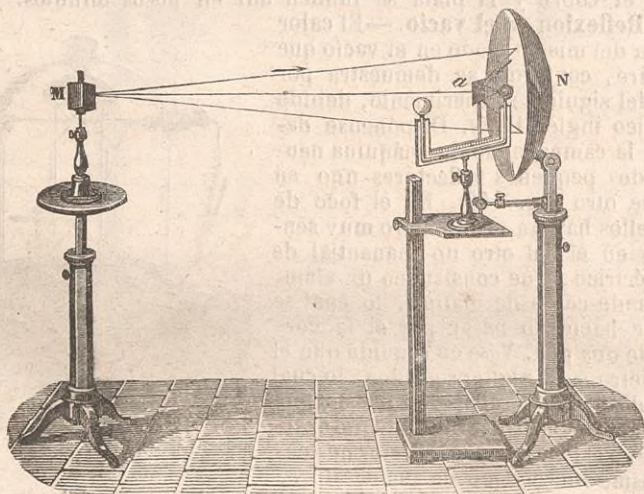


Fig. 447.

eje de un reflector *N*, entre el foco y el espejo, se sitúa una hoja ó plancha *a* de la sustancia cuyo poder reflector se quiere determinar. Con esta disposición los rayos emitidos por el foco y reflejados primero sobre el espejo encuentran la plancha *a*, se reflejan en ella otra vez, y van á formar su foco entre la misma y el espejo, en un punto donde se coloca una de las esferas de un termómetro diferencial. Obsérvase entonces que, siendo los mismos el reflector y el termoscopio, y estando siempre á 100° el agua del cubo, la temperatura del último varía con la naturaleza de las planchas sometidas al experimento; de donde se deduce, no el poder reflector absoluto de un cuerpo, sino la relacion de este poder con el de otro cuerpo tomado como término de comparacion. En efecto, conforme á lo dicho (413, 2.^a) sobre la aplicacion de la ley de Newton al termómetro diferencial, las temperaturas marcadas por este instrumento son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. Por consecuencia, si una plancha de vidrio y otra de plomo, por ejemplo, hacen va-

riar el termómetro diferencial 1° la primera y 6° la segunda, debemos deducir de esto que la cantidad de calor reflejado por el plomo es séxtupla de la que refleja el vidrio, porque siendo constante la cantidad de calor que emana del cubo, lo mismo sucede á la reflejada por el espejo N, y la diferencia solo puede provenir del poder reflector de las planchas *a*.

Merced á este procedimiento, y representando por 100 el poder reflector del laton, tomado como término de comparacion, formó Leslie la siguiente tabla de los poderes reflectores relativos.

Latón bruñido.	400	Tinta de China.	43
Plata.	90	Estaño amalgamado.	40
Estaño acepillado.	80	Vidrio.	40
Acero.	70	Vidrio untado de aceite.	5
Plomo.	60	Negro de humo.	0

Estos números solo representan el poder reflector relativo de diferentes sustancias con respecto al laton.

Melloni fué el primero que determinó con el termo-multiplicador el poder reflector absoluto de cierto número de sustancias, y los Sres. Desains y de la Provostaye, que tambien le han determinado para diversos metales, disponian el aparato como lo está en la figura 443. Antes de colocar la plancha *m* se hacia girar la alidada R hasta que estuviese en la prolongacion de la regla MN, en cuyo caso la pila recibia directamente el calor del foco, marcando el galvanómetro 18° por ejemplo. Colocando entonces en el limbo graduado una planchita bien bruñida *m* del metal, cuyo poder reflector se trataba de determinar, se daba vuelta á la alidada hasta que la pila recibiese el calor reflejado por la plancha. Como el galvanómetro señalaba actualmente una desviacion menor, tal como 15°, se infirió de esto que el poder absoluto del metal era $\frac{4}{3}$. Así es como los dos citados físicos encontraron los poderes absolutos siguientes, estando reflejado el calor bajo un ángulo de 50°.

Plaqué de plata.	0,82	Acero.	0,82
Oro	0,95	Zinc.	0,81
Latón y cobre.	0,93	Hierro.	0,77
Platino.	0,88	Fundicion de hierro.	0,74

Dentro de poco se verá (427) cuáles son las causas que, en una misma sustancia, modifican el poder reflector.

423. Poder absorbente. — Es la propiedad que poseen los cuerpos de dejar penetrar en su masa una porcion mas ó menos considerable del calor incidente. Análogamente á lo que acabamos de decir, respecto de los poderes reflectores, se distinguen tambien el poder absorbente *absoluto* del *relativo*.

El Sr. Tyndall supone que la absorcion depende del sincronismo que existe entre las vibraciones de los átomos de donde emanan las ondulaciones del éter, y las de otros átomos con las cuales se encuentran dichas ondulaciones; lo cual explica por qué ciertos cuerpos absorben mas calor que otros.

El poder absorbente de un cuerpo está siempre en un órden inverso de su poder reflector; es decir, que cuanto mas calor refleja un cuerpo, menos absorbe, y vice-versa, sin que por esto sean complementarios ambos poderes, esto es, que la suma de las cantidades de calor reflejado y absorbido no representa la totalidad del calor incidente. La cantidad de calor absorbido siempre es menor, lo cual proviene de que el incidente

se divide en tres partes, á saber: 1.^a una que es absorbida; 2.^a otra que es reflejada con regularidad, ó sea segun las leyes antes demostradas (414); y 3.^a otra parte que se refleja de un modo irregular (416). Además, para cierto número de cuerpos hay que considerar otra cuarta parte de calor, la que pasa al través de ellos sin calentarlos (429).

Para determinar el poder absorbente de los cuerpos se sirvió Leslie del mismo aparato ya empleado en la investigacion de los poderes reflectores (fig. 447), sin otra modificacion que suprimir la planchita *a* y colocar una de las esferas del termómetro diferencial en el foco mismo del reflector. Recubierta sucesivamente esta esfera de negro de humo, barniz, hojillas de oro, de plata, de cobre, etc., y sometido el termómetro á la influencia del foco del calor *M*, indicaba una temperatura tanto mas alta, cuanto mas calor absorbía la sustancia que rodeaba á la esfera focal. De este modo averiguó Leslie que el poder absorbente de un cuerpo es tanto mayor, cuanto mas débil es su poder reflector. Sin embargo, con estos experimentos no es posible deducir la relacion de los poderes absorbentes de la de las temperaturas indicadas por el termómetro, por no ser aquí rigorosamente aplicable la ley de Newton, que solo es cierta tratándose de cuerpos cuya sustancia es invariable, al paso que la cubierta de la esfera focal varía en cada observacion. Pero pronto veremos (425) cómo de las relaciones de los poderes emisivos pueden deducirse las de los absorbentes.

Melloni determinó los poderes absorbentes relativos con su termomultiplicador por el método siguiente; fijaba delante de la pila planchas delgadas de cobre, cuya cara, que miraba á la pila estaba cubierta de negro de humo, y la que recibia los rayos del foco de calor lo estaba de la sustancia cuyo poder absorbente se investigaba, por ejemplo, de una capa de negro de humo, de albayalde, de goma laca ó de una hoja de papel, de oro ó de estaño; como todas estas sustancias absorben en distinto grado el calor incidente, las planchas de cobre radiaban desigualmente hácia la pila, y el galvanómetro marcaba desviaciones diferentes. Tomando como foco de calor un cubo de Leslie lleno de agua á 100°, y representando por 100 el poder absorbente del negro de humo, determinó Melloni los siguientes poderes absorbentes relativos.

Negro de humo.	100	Tinta de China.	85
Blanco de albayalde.	400	Goma laca.	72
Cola de pescado.	91	Metales.	13

424. Poder emisivo.—El *poder emisivo* ó *radiacion* de los cuerpos es la propiedad que tienen los mismos de emitir en igualdad de temperatura y superficie una cantidad mayor ó menor de calor. Solo se consideran los poderes emisivos relativos.

Sirvióse tambien Leslie del mismo aparato representado en la figura 447 para la determinacion del poder emisivo de los cuerpos, á cuyo fin colocaba la esfera del termómetro diferencial en el foco mismo del reflector, y las caras del cubo *M* se componian de diferentes metales ó estaban cubiertas con diversas sustancias, como negro de humo, papel, etc. Lleno el cubo de agua á 100°, y en las mismas condiciones todo lo demás, iba volviendo sucesivamente hácia el reflector cada una de las caras del cubo, y anotaba las temperaturas que indicaba el termómetro: de esta manera observó que la cara recubierta de negro de humo originaba en el foco del reflector una temperatura mucho mas alta que

todas las demás, y que las caras metálicas producian las mas bajas. Aplicando la ley de Newton á estas observaciones, y representando por 100 el calor que emitia el negro de humo, formó Leslie la siguiente tabla de los poderes emisivos relativos.

Negro de humo.	400	Cola de pescado.	80
Albayalde.	400	Plomo empañado.	45
Papel.	98	Mercurio.	20
Lacre.	95	Plomo brillante.	19
Vidrio blanco comun.	90	Hierro bruñido.	15
Tinta de China.	88	Estaño, oro, plata, cobre.	12

Obsérvese que en esta tabla el orden de los cuerpos es precisamente el inverso del de la tabla de los poderes reflectores.

Melloni determinó los poderes emisivos tomando, como Leslie, por foco de calor un cubo lleno de agua á 100°, con una de sus caras cubierta de negro de humo, y las otras con diferentes sustancias, como albayalde, cola de pescado, tinta de China, etc. Dirigiendo sucesivamente

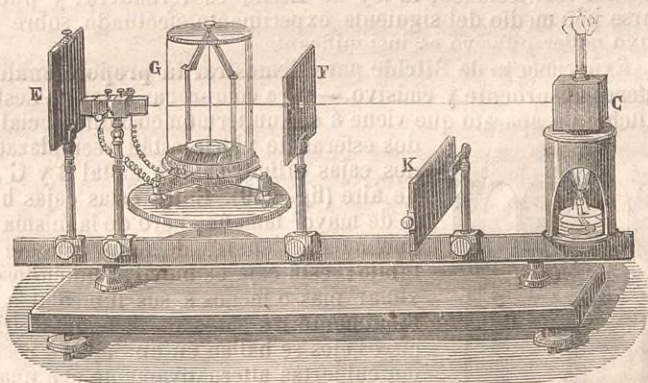


Fig. 448.

sobre la pila los rayos emitidos por estas diferentes caras (fig. 448) y representando por 100 el poder emisivo del negro de humo, halló los siguientes poderes emisivos:

Negro de humo.	400	Tinta de China.	85
Bianco de albayalde.	400	Goma laca.	72
Cola de pescado.	91	Superficies metálicas.	42

Los Sres. Desains y de la Provostaye, que repitieron estos experimentos sirviéndose del termo-multiplicador, hallaron los siguientes valores para los poderes emisivos de los metales, referidos al del negro de humo representado por 100.

Platino laminado.	40,80	Oro en hojas.	4,28
— bruñido.	9,50	Plata virgen laminada.	3,00
Plata mate posada químicamente.	5,36	— pura bruñida.	2,50
Cobre en planchas.	4,90	— posada químicamente y bruñida.	2,25

Comparados estos valores con los obtenidos por Leslie y Melloni se ve que el poder emisivo de los metales no es tan grande como ellos creian.

425. Identidad de los poderes absorbentes y emisivos.—De sus experimentos acerca de los poderes absorbentes y emisivos de diversas sustancias comparados con el del negro de humo, dedujo Leslie de una manera general que, para un mismo cuerpo, el poder emisivo es siempre igual al absorbente; es decir, que si una sustancia emite dos, tres veces mas calor que el negro de humo, absorbe tambien una cantidad doble ó triple del mismo.

Durante mucho tiempo se admitió esta ley como general; pero en virtud de los experimentos de Kirchhoff, quien observó que los poderes emisivos y absorbentes de una misma sustancia no varían en la misma proporción cuando aumenta la temperatura ó cuando cambia el foco de calor, quedó sujeta la ley de Leslie á las dos condiciones siguientes:

1.^a Al comparar el poder emisivo de un cuerpo con su poder absorbente, la temperatura debe ser próximamente la misma.

2.^a El calor absorbido y el emitido deben ser de la misma naturaleza, es decir, ambos oscuros, ó ambos luminosos (408).

Con estas restricciones, la ley de Leslie es verdadera, y puede demostrarse por medio del siguiente experimento efectuado sobre sustancias cuyo poder difusivo es insignificante.

426. Experimento de Ritchie para demostrar la proporcionalidad de los poderes absorbente y emisivo.—Para comprobar la ley de Leslie, empleó Ritchie un aparato que viene á ser un termómetro diferencial, cuyas dos esferas de vidrio están reemplazadas por dos cajas cilíndricas de metal B y C, llenas de aire (fig. 449). Entre estas cajas hay otra A de mayor tamaño, pero de la misma forma, que puede llenarse de agua caliente por un tubo; esta caja es móvil, pudiéndose aproximar mas ó menos á sus inmediatas B y C. Finalmente las bases de estos tres cilindros, cuyos ejes se hallan en una misma recta, están cubiertas alternativamente con una chapa de plata ó una capa de negro de humo, de manera que las dos caras que afrontan están siempre una plateada y la otra ennegrecida. Por lo tanto, la base plateada de A radia hácia la negra de B, y la negra de A hácia la plateada de C.

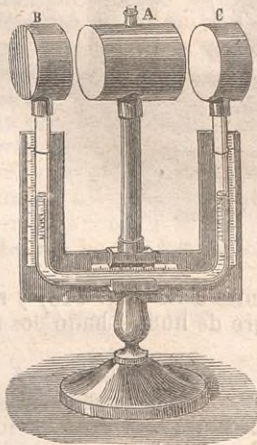


Fig. 449.

Dispuesto así el aparato, y lleno el cilindro A de agua caliente, se observa que cuando está equidistante de B y de C, la columna termométrica queda estacionaria y á la misma altura en las dos ramas; lo cual prueba que los

dos cilindros B y C absorben igual cantidad de calor. Ahora bien, si representamos por a y e los poderes absorbente y emisivo del negro de humo, y por a' y e' los respectivos de la plata, la cantidad de calor absorbida por B es simultáneamente proporcional á los valores a y e' y está representada por el producto $a \times e'$; análogamente el calor absorbido por C está representado por $a' \times e$; y como ambas

temperaturas son iguales, resulta $a \times e' = a' \times e$, de donde $\frac{a}{a'} = \frac{e}{e'}$;

igualdad que expresa de una manera general que *los poderes absorbentes son proporcionales á los poderes emisivos.*

Pero si se toman por unidades de los poderes absorbentes y emisivos los respectivos del negro de humo, la igualdad anterior se reduce á esta otra: $a' = e'$; es decir, que en este caso el *poder absorbente es igual al emisivo.*

427. Causas que modifican los poderes reflector, absorbente y emisor.—Siendo iguales los poderes absorbente y emisor, toda causa que modifique al uno modifica necesariamente al otro en el mismo sentido; en cuanto al poder reflector, como su marcha sigue un órden inverso al de los otros dos, toda causa que aumente el valor de estos disminuye el de aquel, y recíprocamente.

Ya se ha visto que estos poderes varían con las sustancias, y que los metales son los cuerpos de mas poder reflector, mientras que el de negro de humo es el mas débil; pero en un mismo cuerpo se modifican además estos poderes por el grado de pulimento, densidad, espesor de la sustancia radiante ó reflejante, su estado físico, oblicuidad de los rayos incidentes ó emitidos, naturaleza del foco y en fin por la especie de calor, segun que sea oscuro ó luminoso.

Poder reflector.—Durante mucho tiempo se habia admitido que el poder reflector crecia de un modo general con el grado de pulimento de las superficies, y que por el contrario disminuían los otros poderes. Pero Melloni probó que rayando una plancha de metal pulimentada, unas veces disminuía y otras aumentaba el poder reflector, fenómeno que este físico explicaba por la mayor ó menor densidad que adquiere la plancha metálica reflejante. Si esta ha sido antes batida, pierde la homogeneidad por efecto del batido, y la cohesion de las moléculas es mayor en la superficie que en la masa, lo cual aumenta el poder reflector; mas cuando se raya la superficie, la masa interior, que no es tan compacta, queda á descubierto, y el poder reflector disminuye. Por el contrario, en una plancha sin batir y homogénea en toda su masa aumenta el poder reflector cuando se la raya con un instrumento cortante, lo cual proviene de un aumento de densidad ocasionado en la superficie por las rayas que en ella se han trazado.

El poder reflector varia con la inclinacion de los rayos incidentes, cuya influencia es poco perceptible en los metales, pero en las sustancias transparentes, la cantidad de calor reflejado aumenta rápidamente con el ángulo de incidencia: en el vidrio, por ejemplo, el poder reflector absoluto, que es 0,05 para un ángulo de incidencia de 20° , lo es 0,55 para otro de 80° .

El foco de calor influye tambien en el poder reflector: en el acero es 0,60 con el calor solar, y 0,83 con el que emite una lámpara de Locatelli (sin vidrio).

Finalmente, el poder reflector de los metales es mayor con el calor oscuro que con el luminoso.

Poder emisor.—El espesor de los cuerpos radiantes modifica su poder emisor, como lo prueban los experimentos de Leslie, Rumford y Melloni. Este último se cercioró de que barnizando las caras de un cubo de metal lleno de agua á una temperatura constante, crecia el poder emisor con el número de capas de barniz hasta 16, quedando en seguida estacionario por mas capas que se agregasen; y calculó que el espesor de las 16 capas era $0^{\text{mm}},04$. Respecto de los metales, si se aplican sucesivamente á las caras de un cubo de vidrio varias hojas de oro de 8, 4 y 2 milésimas

de milímetro, se observa que la disminucion del calor radiante es la misma. El espesor de la capa radiante no ejerce, pues, influencia alguna tratándose de los metales, al menos hasta el límite á que aquel se puede llevar.

El estado físico de una sustancia cambia tambien su poder emisivo. Parece ser que los cuerpos reducidos á polvo impalpable tienen todos el mismo poder emisivo; al menos así lo observaron los Sres. Masson y Courtepée en diez y seis cuerpos de veinte que sometieron al experimento. El Sr. Tyndall atribuye este resultado á la goma arábica con que fijaban los polvos, pues sirviéndose del agua halló este físico que los poderes emisivos diferian unos de otros.

El poder emisivo varia además con la inclinacion de los rayos en la superficie que los emite, excepto para el negro de humo, en el cual es aquel constante bajo todas las inclinaciones. Con el blanco de albayalde, el poder emisivo es 100 en la direccion normal; bajo una inclinacion de 80° solo llega á 66. En las mismas condiciones de oblicuidad, el poder emisivo del vidrio es respectivamente 90 y 54.

Por último, en un mismo cuerpo el poder emisivo varía con la temperatura; el del borato de plomo, por ejemplo, disminuye cuando la temperatura es muy alta, pues mientras que á los 100° es casi igual al del negro de humo, á 550° ya no es mas que 0,75.

Respecto á los cuerpos gaseosos en combustion, su poder radiante es sumamente débil, como se prueba aproximando la pila termo-eléctrica á una llama de hidrógeno, aunque la temperatura de esta llama sea muy alta; pero si se pone en ella una espiral de platino, adquiere su temperatura y radia fuertemente. Por un efecto semejante á este radian las llamas de los quinqués y gas del alumbrado mucho mas que la de hidrógeno, lo cual consiste en el exceso de carbono que aquellos contienen, el cual no quemándose en totalidad, se pone incandescente en la llama.

Poder absorbente. — Melloni hizo constar tambien que el poder absorbente varía con la naturaleza del foco de calor. Así, por ejemplo, siendo igual la cantidad de calor incidente, el carbonato de plomo absorbe casi doble calor cuando este es emitido por un cubo lleno de agua á 100° que cuando lo es por una lámpara. Solo el negro de humo absorbe siempre la misma cantidad de calor, cualquiera que sea el foco calorífico.

El poder absorbente varía con la inclinacion de los rayos incidentes y alcanza su máximum bajo la incidencia normal, disminuyendo á medida que aquellos se separan de esta. Hé aquí una de las razones por qué el suelo se calienta mas en verano que en invierno, pues entonces son menos oblicuos los rayos solares.

En una palabra, todas las causas que modifican el poder emisivo modifican en el mismo sentido el absorbente.

428. Aplicaciones. — La propiedad que poseen los cuerpos de absorber, reflejar ó emitir mas ó menos fácilmente el calor, ofrece numerosas aplicaciones en la economía doméstica y en las artes. Por ejemplo, en las vasijas en que se calientan líquidos, como las cafeteras, conviene que la superficie sea negra y sin pulimento, porque entonces es mayor el poder absorbente, y el brillo que se acostumbra á darles ocasiona un gasto mayor de combustible. Si se trata, por el contrario, de conservar caliente un líquido el mayor tiempo posible, se le debe poner en una vasija de metal bruñido que tenga mucho brillo, como las teteras de plata, porque

en tal caso, siendo menor el poder emisor, el enfriamiento se verifica con mas lentitud.

Franklin colocó sobre la nieve telas de diferentes colores, expuestas á los rayos solares, y observó que las telas negras se hundian á mayor ó menor profundidad, y que las blancas no se hundian por completo; de lo cual dedujo que las primeras absorbian mejor el calor que las últimas. Los experimentos de Franklin han tenido luego aplicacion durante mucho tiempo en la eleccion de nuestros vestidos, suponiendo que lo; de color blanco son mas frescos que los negros, durante el estío, porque absorben menos calor, y mas calientes en el invierno por ser tambien menor su poder emisor. A este propósito el Sr. Tyndall observa acertadamente que si todos los rayos caloríficos fuesen luminosos, podriamos del color de los cuerpos deducir con certeza su poder absorbente; pero que siendo invisible la mayor parté de la radiacion solar (536), la coloracion y la absorcion son dos fenómenos distintos. En efecto, el citado físico hizo ver que presentando sucesivamente á la pila del termo-multiplicador tres de las caras de un cubo de hoja de lata, lleno de agua á 100°, una blanqueada con creta, otra enrojecida con carmin, y la tercera ennegrecida con humo, dichas tres caras producen igual desviacion en la aguja del galvanómetro; y que presentando la cara sin pintar, en seguida la aguja se aproxima al cero. Igual resultado se observa si las tres caras del cubo se forran respectivamente de terciopelo blanco, rojo, y negro, quedando la otra descubierta. Finalmente, el Sr. Tyndall hace constar que exponiendo á un foco calorífico dos cartulinas una blanca y otra ennegrecida con yodo, la primera se calienta mucho mas que la segunda; de lo cual deduce que lo que mas influye en nuestros vestidos, en la piel de los cuadrúpedos y en el plumaje de las aves no es el color, sino el tejido y el grado de conductibilidad.

CAPITULO X.

TRASMISION DEL CALOR AL TRAVÉS DE LOS CUERPOS.

429. Poder diatermano.—Además de la propiedad que tienen los cuerpos de reflejar, absorber y emitir mas ó menos el calor, poseen tambien la de dejarle pasar al través de ellos sin calentarse, como lo verifica la luz por los cuerpos trasparentes: tal sucede con el aire, el agua y el hielo; pero hay sustancias, como son los metales, impermeables al calor.

Melloni llamó *sustancias diatermanas* á las primeras y *atermanas* á las últimas; y se entiende por *poder diatermano* de una sustancia la razon de la cantidad de calor que trasmite á la que recibe.

430. Experimentos de Melloni.—Para determinar los poderes diatermanos se sirvió este físico de su termo-multiplicador anteriormente descrito (295), al cual aplicó cinco orígenes distintos de calor, á saber: 1.º una lámpara de Locatelli, es decir, sin vidrio, con reflector y una sola corriente de aire (fig. 450); 2.º una lámpara de Argand, esto es, de doble corriente de aire y provista de vidrio: á esta clase pertenecen las lámparas de Cárcel; 3.º un alambre de platino arrollado en hélice y mantenido al rojo blanco en una lámpara de alcohol (fig. 451); 4.º un cubo de cobre, teñida de negro su superficie exterior, y lleno de agua á una temperatura constante de 100° (fig. 352); 5.º finalmente, una plancha tambien de co-

bre ennegrecida y puesta á la temperatura de 400° próximamente, merced á una lámpara de alcohol (fig. 453).

Es de observar que de estos cinco manantiales de calor el de los tres



Fig. 450.



Fig. 451.



Fig. 452.



Fig. 453.

primeros es luminoso, y oscuro el de los dos últimos; y ahora vamos á ver que el poder diatermano varia en una misma sustancia segun sea la clase de calor (431).

El termo-multiplicador estaba dispuesto como aparece en la figura 454.

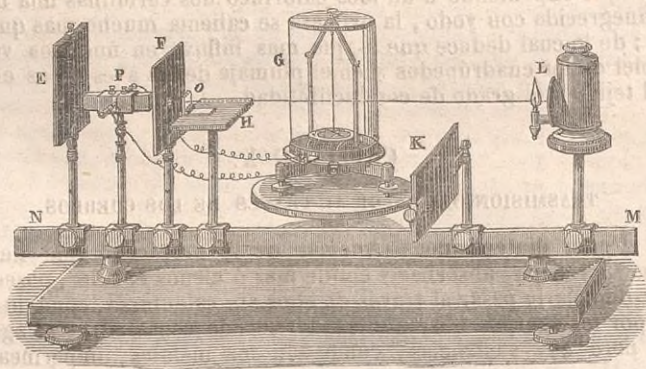


Fig. 454.

Las sustancias sometidas al experimento estaban preparadas en hojas de diferente espesor y fijas en *o* sobre un sosten *H*. Los rayos caloríficos, despues de atravesarlas, iban á parar á la pila *P* y ocasionaban una desviacion en la aguja del galvanómetro *G*, cuya desviacion indicaba la cantidad de calor trasmitado. Comparando esta desviacion con la que se produce sin exponer á los rayos caloríficos la sustancia sometida al experimento se obtiene su poder diatermano.

431. **Causas que modifican el poder diatermano.** — Los experimentos de Melloni le condujeron al conocimiento de las causas que modifican el poder diatermano, las cuales son seis, á saber:

- 1.^a La naturaleza de las pantallas que atraviesa el calor.
- 2.^a El grado de pulimento de dichas pantallas.

3.^a Su espesor.

4.^a El número de pantallas que sucesivamente atraviesa el calor.

5.^a La naturaleza de las ya atravesadas.

6.^a La del foco de calor.

1.^a *Influencia de la sustancia de las pantallas.* — Experimentando con diversos líquidos puestos sucesivamente en una vasija de vidrio cuyas caras opuestas eran paralelas y distaban entre sí 9^{mm},₂, y comparando las indicaciones dadas por el aparato, al hallarse interpuestos los líquidos, con el efecto observado cuando el calor llegaba á él directamente, encontró Melloni, tomando como manantial de calor una lámpara de Argand, que de 100 rayos incidentes

El sulfuro de carbono deja pasar.	63
El aceite comun ó de olivas.	50
El éter.	21
El ácido sulfúrico.	17
El alcohol.	15
El agua azucarada ó con alumbre.	12
El agua destilada.	11

Efectuando los mismos experimentos con diferentes sustancias sólidas cortadas en hojas todas del mismo espesor de 2^{mm},₂, obtuvo los resultados siguientes :

De 100 rayos, la sal gema deja pasar.	92
— el espato de Islandia y el vidrio de espejos.	62
— el cristal de roca ahumado.	37
— el carbonato de plomo diáfano.	32
— la cal sulfatada diáfana.	20
— el alumbre diáfano.	12
— el sulfato de cobre.	0

De los resultados consignados en las dos tablas precedentes se infiere que pueden muy bien dejarse atravesar por el calor sustancias mas ó menos impenetrables á la luz, como el cristal de roca ahumado, siendo así que pueden ser muy diáfanas otras muy poco permeables al calor, por ejemplo, el sulfato de cal y sobre todo el alumbre. Estos diversos experimentos conducen, pues, á admitir que no existe relacion alguna entre el poder diatermano y la traslucidez de los cuerpos.

2.^a *Influencia del pulimento.* — El poder diatermano de una pantalla aumenta segun que esté mas ó menos bruñida. El citado físico observó que las indicaciones de su aparato variaban de 12 á 5 grados con solo interponer pantallas de cristal de igual naturaleza y grueso, pero mas ó menos pulimentadas.

3.^a *Influencia del espesor.* — La cantidad de calor que atraviesa una pantalla diatermana, decrece cuando aumenta su espesor; pero la absorcion no es proporcional al mismo, pues esta se efectúa generalmente en las primeras capas, y á cierta profundidad el calor trasmitido tiende á quedar estacionario, aun cuando siga aumentando el espesor. Melloni comprobó este hecho experimentando en planchas de vidrio blanco cuyos gruesos eran 1, 2, 3, 4, y encontró que de cada 1000 rayos dejaban pasar respectivamente 619, 576, 558 y 549, números cuyas diferencias tienden á ser nulas.

4.^a *Influencia del número de pantallas.* — Aumentando el número de pantallas que ha de atravesar el calor se produce un efecto análogo al observado cuando aumenta su espesor; es decir, que la absorcion crece

con menos velocidad que el número de pantallas, ó en otros términos, que la cantidad de calor absorbida decrece desde una de ellas á la que sigue. Además, si están sobrepuestas varias pantallas de la misma especie, detienen mas calor que una sola cuyo espesor sea igual á la suma de los de todas ellas. Por último, el efecto que producen sobrepuestas varias planchas, de diferentes sustancias, es independiente del orden en que se suceden.

5.^a *Influencia de la naturaleza de las pantallas ya atravesadas.* — Los rayos caloríficos que han atravesado ya una ó mas sustancias diatermanas, sufren una modificación que los hace mas ó menos á propósito para ser trasmitidos al través de otras nuevas sustancias tambien diatermanas. Por ejemplo, comparando los resultados obtenidos con una lámpara de Argand, cuya llama está rodeada de un tubo de vidrio, con otros debidos á una de Locatelli, sin cristal, halló Melloni, representando por 100 los rayos incidentes, los siguientes resultados, relativamente á la cantidad de calor trasmitido por ambas lámparas.

SUSTANCIAS.	LÁMPARA de Argand.	LÁMPARA de Locatelli.
La sal gema deja pasar.	92	92
El espato de Islandia y el cristal de espejos.	62	59
El cristal de roca ahumado.	37	37
La cal sulfatada.	20	14
El alumbre.	12	9

Dedúcese de aquí que el calor que en la lámpara de Argand ha atravesado ya el vidrio, se trasmite mas fácilmente por entre las demás sustancias. Solo la sal gema deja pasar siempre la misma cantidad de calor incidente.

6.^a *Influencia de la naturaleza del origen de calor.* — Esta causa modifica mucho el poder diatermano de los cuerpos, segun lo demuestran los resultados obtenidos por Melloni haciendo uso de cuatro distintos focos de calor. En efecto, representando tambien por 100 los rayos incidentes, obtuvo los siguientes resultados:

SUSTANCIAS.	LÁMPARA de Locatelli.	PLATINO incandescente.	COBRE á la temperatura de 400°.	COBRE á la temperatura de 100°.
La sal gema deja pasar.	92	92	92	92
El espato de Islandia. . .	59	28	6	0
El cristal de espejos. . .	39	24	6	0
Id. el de roca.	37	18	6	0
La cal sulfatada.	14	5	0	0
El alumbre.	9	2	0	0
El hielo puro.	6	0	0	0

Esta tabla demuestra, sin mas excepcion que la sal gema, que la proporcion de calor trasmitido al través de los sólidos va disminuyendo con

la temperatura del manantial de calor, y llega á ser nula en uno de 100°. Los líquidos presentan el mismo fenómeno.

Reconócese tambien examinando la tabla anterior, que el calor luminoso es mas trasmisible que el oscuro, exceptuando tambien la sal gema, cuyo poder diatermano permanece invariable é igual á 92, cualquiera que sea el origen de calor de los que hemos citado. Segun Melloni tampoco influye en dicha sustancia el espesor de las pantallas, pues la pérdida del 8 por 100 del calor que la atraviesa, debe atribuirse únicamente á la reflexion sobre las dos caras de las planchas, y en este supuesto la juzgó perfectamente diatermana; pero posteriormente el Sr. Desains reconoció que el poder diatermano de la sal gema decrece cuando aumenta el espesor ó cuando la temperatura del foco calorífero es menor. Magnus, por su parte, ha hecho ver en sus recientes investigaciones sobre este asunto, que para ciertos manantiales de calor oscuro, y particularmente para el emitido por una plancha de sal gema, cuya temperatura sea 150°, dicha sustancia no es mas diatermana que otra cualquiera; y que su diatermancia, lejos de ser constante, varía con el espesor como la de todos los demás cuerpos. Finalmente el mismo sábio ha probado que el poder diatermano del cloruro de potasio es por lo menos igual al de la sal gema para todos los manantiales de calor.

432. Diatermancia de los gases.—Melloni supuso que todos los gases eran perfectamente diatermanos; pero el Sr. Tyndall, en sus recientes experimentos ha descubierto que, mientras el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno están dotados de tal poder diatermano que solo absorben una cantidad casi inapreciable del calor que les atraviesa, los gases compuestos, como el ácido sulfuroso, el gas amoníaco y el oleificante, paralizan casi por completo el calor, aun cuando su tension sea solamente algunos centímetros de mercurio. Experimentando el Sr. Tyndall en el aire húmedo, encontró que este absorbe 70 veces mas calor que el aire seco, de lo cual dedujo que el poder absorbente del primero es mayor que el del segundo. Pero Magnus, por otra parte, halló que el aire seco y el húmedo tienen casi el mismo poder absorbente, y que solo se encuentra alguna diferencia cuando el agua se halla en dicho fluido en estado vesicular, es decir, en el estado que presenta cuando condensándose en el aire se hace visible. Finalmente el Sr. Wild, en Berna, descubrió que la discordancia entre los resultados de los Sres. Tyndall y Magnus proviene de la pared del tubo donde habian encerrado el aire húmedo para efectuar sus experimentos. Si la pared interior de este tubo está pulimentada, el aire húmedo absorbe mas calor que el seco; y si por el contrario está ennegrecida ó forrada de terciopelo, el aire seco absorbe mas que el húmedo. Por consiguiente, la diferencia que se observa en los resultados obtenidos proviene del vapor que se condensa en las paredes del tubo.

433. Aplicaciones del poder diatermano.—El aire es muy diatermano, y á esta circunstancia se debe el que las capas superiores de la atmósfera estén siempre á muy baja temperatura, á pesar de los rayos solares que las atraviesan. Por ser el agua poco diatermana se produce el fenómeno contrario en el seno de los mares y lagos, participando tan solo de las vicisitudes atmosféricas, segun las estaciones, las capas superiores, y quedando invariable la temperatura á cierta profundidad.

Las propiedades de los cuerpos diatermanos se han utilizado para separar la luz y el calor que radian juntos de un mismo foco. La sal gema cubierta con negro de humo detiene por completo la luz y deja pasar el

calor; y por el contrario, las capas ó disoluciones de alumbre detienen el calor y dan paso á la luz. Aplícase con ventaja este último procedimiento á los aparatos que se iluminan con los rayos solares ó la luz eléctrica, cuando es necesario evitar un calor demasiado intenso. El yodo disuelto en el bisulfuro de carbono produce el efecto contrario, pues absorbe los rayos luminosos y deja pasar el calor.

El uso de campanas de cristal en las huertas y jardines para el abrigo de ciertas plantas está fundado en la propiedad diatermana de aquella sustancia, indicada en la tabla anterior (431, 6.^o), pues la atraviesan los rayos solares que tienen una alta temperatura, y no el calor radiante del suelo.

434. Diferentes especies de rayos caloríficos: termocrosis. — Las propiedades que en su paso al través de los cuerpos ofrece el calor, indujeron á Melloni á emitir acerca de este fluido una hipótesis igual á la que hace tiempo se conoce sobre la luz. Así como Newton admitió varias especies de luz, roja, anaranjada, amarilla, verde, azul, indigo y violeta, que son desigualmente trasmisibles al través de los cuerpos diáfanos, y pueden combinarse entre sí ó quedar aisladas; así también Melloni admite la existencia de varias especies de rayos caloríficos emitidos simultáneamente en proporciones variables por los diversos focos de calor y dotados de la propiedad de atravesar mas ó menos fácilmente las sustancias diatermanas. Según esto, dichas sustancias poseerian una verdadera coloración calorífica; es decir, que absorberian ciertos rayos y dejarían pasar los demás, cual un vidrio azul, por ejemplo, se deja penetrar por este color y no por los demás. Melloni ha dado el nombre de *termocrosis* á esta propiedad que tiene el calor de componerse de rayos caloríficos de diferentes especies.

La teoría de Melloni se explica perfectamente en el sistema de las ondulaciones, admitiendo que las propiedades de las diferentes especies de rayos caloríficos deben su origen á números diferentes de vibraciones, ó á ondas caloríficas de desigual longitud.

Esta teoría es la adoptada hoy por todos los físicos; volveremos á ocuparnos de ella al tratar del *espectro calorífico*, cuyo estudio está íntimamente relacionado con el del espectro luminoso (540).

CAPITULO XI.

ORÍGENES DE CALOR Y DE FRÍO.

435. Diferentes orígenes de calor. — Según la teoría de la termodinámica solo existe en realidad un origen de calor; el movimiento impreso á las moléculas de la materia. Pero como este puede obtenerse de varias maneras, de aquí el que los orígenes de calor se clasifiquen del modo siguiente: 1.^o orígenes *mecánicos*, que comprenden el frotamiento, la percusión, la presión y la destrucción del movimiento; 2.^o orígenes *físicos*, á saber: la radiación solar, el calor terrestre, las acciones moleculares, los cambios de estado y la electricidad; y 3.^o orígenes *químicos*, esto es, las combinaciones moleculares, y principalmente la combustion.

MANANTIALES MECÁNICOS.

436. Calor desarrollado por el frotamiento. — El roce de dos cuerpos uno con otro desenvuelve una cantidad de calor tanto mas considerable,

cuanto mas fuerte es la presion y mas rápido el movimiento. Así sucede con frecuencia que los cubos de las ruedas de los carruajes se calientan hasta inflamarse á causa de su roce con el eje. H. Davy fundió en parte dos pedazos de hielo frotándolos uno con otro en una atmósfera bajo cero. Al barrear Rumford, debajo del agua, una masa de bronce, vió que para obtener 250 gramos de limaduras, es capaz el calor producido por el frotamiento de elevar 25 kilogramos de agua desde cero á 100°, cantidad que representa 2500 calorías. Los Sres. Baumont y Mayer construyeron en 1835, en Paris, un aparato con el cual elevaban en algunas horas, 400 litros de agua desde 10 hasta 130°, cuyo efecto era debido al roce de un cono de madera cubierto de cáñamo y que giraba, con una velocidad de 400 vueltas por minuto, dentro de otro cono hueco de cobre, fijo y sumergido en el agua de una caldera herméticamente cerrada, teniendo cuidado de engrasar continuamente con aceite las superficies frotadas.

Como los experimentos de Rumford y de Baumont y Mayer exigen demasiado tiempo para que puedan repetirse en las cátedras, puede destinarse á este fin un aparato de Tyndall, el cual en pocos minutos demuestra el calor por frotamiento. Consiste en un tubo de laton, hueco y lleno de agua, al cual se da un rápido movimiento de rotacion por medio de una polea, en la cual está fijo, de una gran rueda y de una correa sin fin (figura 455). El tubo tiene 10 centímetros de alto próximamente y 2 de diáme-

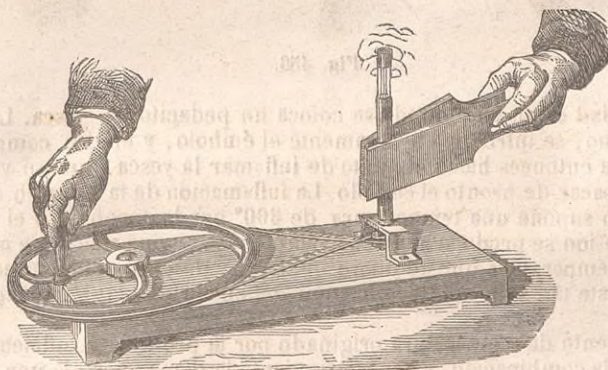


Fig. 455.

tro. Para que dure menos el experimento se le llena de agua templada y se le cierra con un tapon, á fin de que el líquido no salte fuera por efecto de la rotacion. Alrededor del tubo se aplican unas pinzas de madera, formadas de dos tablillas reunidas por medio de una visagra y con una ranura cada una para que abarquen mejor el tubo. Mientras que con una mano se hace girar la gran rueda, con la otra se agarra suavemente el tubo entre las dos tablillas, y el frotamiento producido por estas origina una calefaccion sumamente rápida, y pasando en breve de 100° la temperatura, la fuerza elástica del vapor hace saltar el tapon.

En el choque del eslabon con el pedernal se desarrolla tal cantidad de calor, que las partículas metálicas que se desprenden llegan á inflamarse en el aire.

En todos estos experimentos el calor producido por el rozamiento se atribuye á un movimiento vibratorio que adquieren las moléculas de los cuerpos; en todos los casos, pues, hay un movimiento trasformado en calor.

437. Calor originado por la presion ó por la percusion. — Si se comprime un cuerpo hasta el punto de aumentar su densidad, se eleva tanto mas su temperatura, cuanto mayor es la disminucion de volúmen. Este fenómeno, poco perceptible en los líquidos, lo es más en los sólidos; pero en los gases, que son súmamente compresibles, el desprendimiento de calor que origina el trabajo consumido durante la compresion es muy considerable.

Demuéstrase este fenómeno, tratándose de los gases, por medio del *eslabon neumático*, que consiste en un tubo de vidrio de paredes gruesas, en el cual hay un émbolo de cuero ajustado herméticamente (fig. 456), con



Fig. 436.

una cavidad en su base donde se coloca un pedacito de yesca. Lleno de aire el tubo, se introduce bruscamente el émbolo, y el aire comprimido se calienta entonces hasta el punto de inflamar la yesca, que se ve arder con solo sacar de pronto el émbolo. La inflamacion de la yesca en este experimento supone una temperatura de 300° por lo menos. En el acto de la compresion se produce una luz bastante viva, que primero se atribuyó á la alta temperatura que adquiere el aire, y despues se ha reconocido que consiste tan solo en la combustion del aceite con que se engrasa el émbolo.

El aumento de temperatura originado por la presion es suficiente para producir la combinacion, y por consiguiente la detonacion de una mezcla de oxígeno y de hidrógeno.

La percusion es otro manantial de calor, segun puede verse batiendo sobre un yunque un metal maleable.

El calor por presion y percusion es debido á un trabajo exterior que se trasforma en calor.

438. Experimentos de Tyndall sobre la compresion de los gases. — Tomamos de una obra de este distinguido físico los dos experimentos siguientes, que en el fenómeno de la compresion de los gases patentizan la trasformacion del calor en trabajo mecánico, y recíprocamente, del trabajo mecánico en calor.

Tómase un vaso de metal de paredes resistentes, provisto de una llave en la cual se atornilla una bomba de compresion, y se comprime el aire en el vaso; como el gas se calienta por la presion, se deja enfriar durante algunas horas hasta que haya vuelto á la temperatura del ambiente. Abriendo luego la llave, el aire sale con violencia, sucediendo esto por

la fuerza expansiva del gas interior; en una palabra, es el aire que se expulsa á sí mismo. Existe, pues, trabajo ejecutado por el gas, y por tanto, segun la teoría dinámica del calor, debe haber desaparicion del mismo. En efecto, si se recibe el chorro de gas en la pila termo-

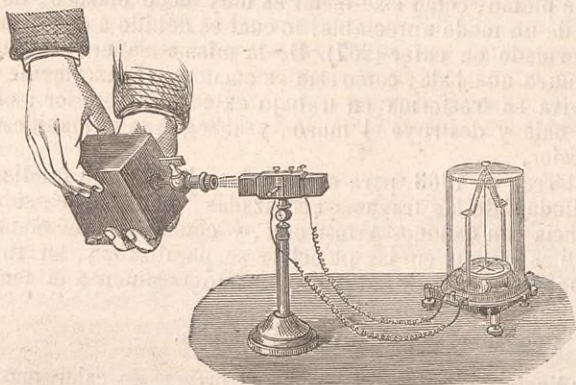


Fig. 457.

eléctrica (fig. 457), el galvanómetro indica, por el sentido de su desviacion, que hay enfriamiento.

Por el contrario, si se repite el experimento con un fuelle comun y se recibe tambien el chorro de gas en la pila (fig. 458), la desviacion de

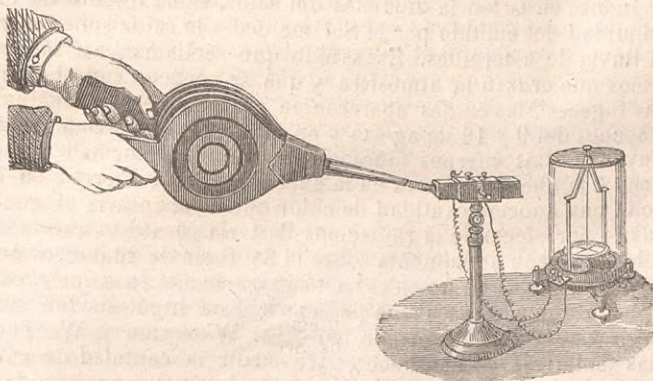


Fig. 458.

la aguja del galvanómetro se verifica en el sentido opuesto, lo que prueba que hay calefaccion. Efectivamente, en el primer experimento, como el trabajo mecánico de empujar el aire hácia adelante, se ejecuta por el aire mismo, una porcion de calor se consume en este esfuerzo; siendo así que en el segundo es la mano del experimentador la que efectúa el trabajo. En este caso, lo mismo que en el eslabon neumático, se transforma en calor un trabajo externo, y en el experimento de la figura 457 el trabajo interior se efectúa á expensas del calor.

439. Calor originado por la destruccion del movimiento.—Si se deja caer una esfera de marfil sobre un cuerpo duro, rebota en virtud de su gran elasticidad y no se calienta, porque el trabajo desarrollado por el descenso se consume inmediatamente al volver á subir (37). Pero si la esfera es de plomo, como este metal es muy poco elástico, no rebota y se calienta de un modo apreciable, lo cual es debido á que su fuerza viva se ha trasformado en calor (267). De la misma manera, cuando se tira contra un muro una bala, como esta se encuentra bruscamente detenida, su fuerza viva se transforma en trabajo exterior é interior; el primero deforma la bala y destruye el muro, y el segundo se manifiesta bajo la forma de calor.

En Inglaterra, en 1863, para ensayar las planchas de fundicion destinadas al blindaje de las fragatas acorazadas, se disparaba sobre ellas á corta distancia con cañones Armstrong, y como en el momento en que los proyectiles daban en las planchas se paralizaban, su fuerza viva se trasformaba en calor y adquirian instantáneamente la temperatura del rojo.

MANANTIALES FÍSICOS.

440. Radiacion solar.—El Sol es el origen de calor mas intenso. Ignórase la causa del calor emitido por este astro, que unos suponen ser una masa inflamada que experimenta inmensas erupciones, y otros le consideran compuesto de capas que reaccionan químicamente unas sobre otras, á semejanza de los pares de la pila voltaica, dando así origen á corrientes eléctricas á las cuales deberiamos la luz y el calor solares. Según ambas hipótesis, la incandescencia del Sol debe tener un término.

Apoyándose en la teoría dinámica del calor, se ha tratado de explicar la continuidad del emitido por el Sol merced á la caída sobre este astro de una lluvia de asteróides. Es sabido que se llaman así los cuerpos meteóricos que cruzan la atmósfera y que se conocen con el nombre de estrellas fugaces, las cuales aparecen en gran número, principalmente en las noches del 9 y 10 de agosto y en la del 12 de noviembre de cada año. Cayendo estos cuerpos sobre el Sol con una velocidad que excede en mucho á la que se observa en la superficie de la Tierra, su choque desarrolla una enorme cantidad de calor que compensaria el que pierde aquel astro por efecto de la radiacion. Bastaria para esto que la capa de asteróides que caen anualmente sobre el Sol fuese de 20 metros de espesor, cuyo aumento de volúmen es harto insignificante para que pueda apreciarse por los instrumentos que poseemos. Esta hipótesis fué propuesta por Mayer y sostenida luego por los Sres. Waterston y W. Thomson.

Varias tentativas se han hecho para medir la cantidad de calor que anualmente emite este astro. Pouillet calculó con un aparato de su invencion, llamado *pircliómetro*, que si la cantidad total de calor que la Tierra recibe del Sol en el curso de un año se emplease toda ella en fundir hielo, seria capaz de derretir una capa cuyo espesor fuese de 31^m,89 alrededor de todo el globo. Pues bien, atendida la superficie que presenta la Tierra á la radiacion del Sol, y en vista de la distancia á que de él se encuentra, no recibe aquella mas que $\frac{1}{400000000}$ del calor emitido por este astro.

441. Calor terrestre.—Nuestro globo posee un calor propio conocido con el nombre de *calor central*, pues á una corta profundidad, que varía según los paises, se encuentra una capa cuya temperatura es constante

en todas las estaciones; de lo cual se infiere que el calor solar no penetra en el suelo sino hasta cierta profundidad. Además, se observa que debajo de esta capa, llamada *capa invariable*, aumenta la temperatura por término medio 1 grado por cada 30 ó 40 metros que se profundice. Esta ley del aumento de temperatura del suelo se ha comprobado á grandes profundidades en las minas y los pozos artesianos. A 3500 metros de profundidad llegaría ya á 100° la temperatura de la capa correspondiente. Las aguas termales y los volcanes confirman la existencia del calor central.

La profundidad de la capa invariable no es la misma en los diferentes puntos del globo, pues en París está á 27 metros, y la temperatura es constantemente de 11°,8.

Para explicar el calor central del globo se han emitido varias hipótesis; pero la que generalmente admiten los físicos y los geólogos es la que supone que la Tierra fué líquida en un principio por efecto de una temperatura muy elevada, y que por radiacion se fué solidificando poco á poco la superficie terrestre hasta formar una corteza ó costra sólida, que aun hoy día no pasará de 60 kilómetros de espesor, estando todavía en el estado líquido la masa central. El enfriamiento no puede menos de ser sumamente lento en razon de la poca conductibilidad de las capas terrestres. Por la misma causa el calor central solo eleva al parecer $\frac{1}{36}$ de grado la temperatura de la superficie terrestre.

No obstante esto, algunos físicos, entre los cuales citaremos á Liais, W. Thomson y Huggins, apoyándose en los fenómenos astronómicos de la precesion, nutacion y mareas, han admitido que la tierra es sólida en toda su masa, explicando el calor central por acciones químicas debidas á la infiltracion de las aguas del mar.

442. Calor desarrollado por la imbibicion y la absorcion. — Los fenómenos moleculares, como la imbibicion, la absorcion y las acciones capilares, van acompañados generalmente de un desprendimiento de calor. Pouillet observó que siempre que se vierte un líquido sobre un sólido muy dividido, hay un aumento de temperatura que varia con la naturaleza de las sustancias. En las materias inorgánicas, como los metales, los óxidos y las tierras, es de 2 ó 3 décimos de grado; pero en las orgánicas, como las esponjas, la harina, el almidon, las raices y las membranas secas, varia de 1 á 10 grados.

La absorcion de los gases por los cuerpos sólidos presenta el mismo fenómeno. Dobereiner halló que poniendo en el oxígeno platino muy dividido, cual es el que se obtiene en el estado de precipitado químico con el nombre de *negro de platino*, absorbe este metal muchos centenares de veces su volúmen de oxígeno, y la temperatura se eleva entonces lo bastante para dar origen á muy intensas combustiones. La *esponja ó musgo de platino*, que se obtiene precipitando el cloruro de platino por la sal amoníaco, produce el mismo efecto; así es que basta dirigirle una corriente de hidrógeno para que este gas se inflame por el desprendimiento de calor debido á la absorcion.

En este principio se basa el *eslabon de musgo de platino*, que se compone de dos vasijas de vidrio (fig. 459), una de las cuales A penetra en la inferior B por medio de un tubo esmerilado que la cierra herméticamente, y en cuyo extremo hay una masa de zinc Z sumergido en agua cargada de ácido sulfúrico. La reaccion del agua, del ácido y del metal produce un desprendimiento de hidrógeno, que no hallando desde luego ninguna salida, rechaza el agua de la vasija B á la A, hasta que el zinc queda en

seco y cesa la reacción. El tapon de la vasija superior tiene una ranura lateral de modo que permite salir el aire según va subiendo el agua. Un tubo de cobre H, fijo en la pared de la vasija B, tiene un pequeño cono *a* con su orificio, y encima hay en una cápsula *c* donde se pone una esponja de platino.

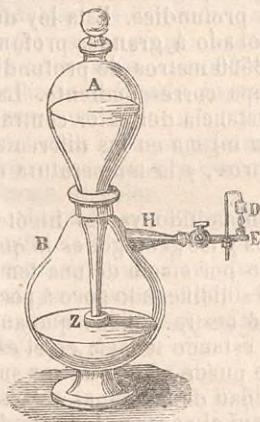


Fig. 439.

Bajo este supuesto, al instante que se abre una llave que cierra el tubo de cobre, se desprende y arde el hidrógeno en contacto con el platino; pero no debe presentarse este metal á la corriente del gas sino después de expulsado todo el aire de la vasija B, pues de otro modo habría una viva detonación producida por la combinación del oxígeno é hidrógeno contenidos en la vasija.

Fabre, que hizo numerosas investigaciones acerca del calor que se desarrolla al ser absorbido un gas por el carbon (167), obtuvo el notable resultado de que el calor máximo emitido por la absorción de 1 gramo de ácido sulfuroso ó de protóxido de ázoe excede en mucho al que da la licuefacción de un peso igual de los mismos gases; el calor desprendido por la absorción del ácido carbónico excede también al que desarrollaría su solidificación. De esto debemos deducir que no puede explicarse completamente el calor obtenido por la absorción de los gases, admitiendo que el gas absorbido se licua y aun se solidifica en los poros del carbon, sino que además ha de admitirse una acción especial entre las moléculas del carbon y las del gas, acción que Mitscherlich designó con el nombre de *afinidad capilar*.

El calor producido en el cambio de estado de los cuerpos ha sido tratado ya en los artículos *Solidificación* y *Licuefacción* (329 y 359), y el que procede de la electricidad se dará á conocer en la teoría de los fenómenos eléctricos.

MANANTIALES QUÍMICOS.

443. Combinaciones químicas: combustión. —Las combinaciones químicas van acompañadas generalmente de un desprendimiento mas ó menos considerable de calor. Este es inapreciable, si se efectúan con lentitud, como por ejemplo, cuando se oxida el hierro en el aire; pero es muy intenso, si se producen con rapidez, surgiendo entonces *la combustión*.

Denomínase así toda combinación química que se efectúa con desprendimiento de calor y de luz. En las combustiones que nos presentan las hornillas, las lámparas, las bujías, sucede que el carbono y el hidrógeno de la madera, del aceite y de la cera se combinan con el oxígeno del aire; pero además existen combustiones en las cuales para nada actúa el oxígeno. Por ejemplo, si en un frasco de cloro se echa antimonio muy dividido, ó fragmentos de fósforo, se unen estos cuerpos con el cloro, con un vivo desprendimiento de luz y de calor.

Algunos combustibles arden con llama. La *llama* no es otra cosa que un gas ó un vapor, que han adquirido una alta temperatura por efecto de la combustión. Su poder iluminante varía con los productos que se for-

man durante la combustion; la presencia de un cuerpo sólido en una llama, aumenta su facultad iluminante. Las llamas de hidrógeno, de óxido de carbono y de alcohol son pálidas, porque solo contienen productos gaseosos; pero las de las bujías, las de las lámparas y las del gas del alumbrado, poseen un gran poder iluminante por contener un exceso de carbono, el cual, quemándose solo de un modo incompleto, se vuelve incandescente en la llama. Se da una intensidad mucho mayor á una llama, colocando en ella hilos de platino ó de amianto. Obsérvese que la temperatura de una llama no está en relacion con su poder iluminante; pues la del hidrógeno, que es la mas pálida, es, sin embargo, la que mas calor produce.

444. Calor emitido durante la combustion. — Varios físicos, y particularmente Lavoisier, Rumford, Despretz, Dulong, Heiss y los Sres. Fabre y Silbermann han tratado de investigar el calor que emiten los diferentes cuerpos durante la combustion y las combinaciones.

Para estos experimentos empleó Lavoisier el calorímetro de hielo, descrito anteriormente (389); Rumford hizo uso de un calorímetro, que conserva su nombre, y que consiste en una cuba rectangular, llena de agua, en cuyo interior hay un serpentín que atraviesa su fondo, terminando en forma de embudo invertido. Debajo de este embudo es donde se queman los cuerpos que se someten al experimento. Los productos de la combustion se desprenden por el serpentín calentando el agua de la cuba, y de la temperatura de este líquido, se deduce el desprendimiento de calor. Despretz y Dulong modificaron sucesivamente el calorímetro de Rumford, quemando los cuerpos, no debajo de la cuba que contiene el agua que se ha de calentar, sino en una caja de combustion colocada en la masa misma del líquido; el oxígeno necesario á la combustion llegaba por un tubo dispuesto convenientemente en la parte inferior de la caja, y los productos de aquella se desprendian por otro tubo, colocado en la parte superior y arrollado á manera de serpentín en la masa del líquido que se queria calentar. Finalmente, los Sres. Fabre y Silbermann son los que con suma habilidad perfeccionaron mas este calorímetro, evitando, en cuanto es posible, toda causa de error, y haciéndole apto para determinar, no solo la cantidad de calor desprendida en la combustion, sino tambien en las demás reacciones químicas.

Hé aquí los números obtenidos por estos dos físicos, tomando como unidad de calor la cantidad necesaria para elevar 1 grado la temperatura de 1 kilogramo de agua.

Calor de combustion para 1 gramo de combustible.

Hidrógeno con oxígeno.	33 462	Grafito natural.	7 796
— con cloro.	23 783	Diamante.	7 770
Esencia de trementina.	10 852	Alcohol puro.	7 184
Eter sulfúrico.	9 027	Oxido de carbono	2 403
Carbon vegetal.	8 080	Azufre nativo.	2 262

445. Leyes del desprendimiento de calor en las combinaciones químicas. — De los trabajos de Dulong, Despretz, Heiss, Fabre y Silbermann, y de otros físicos, se han deducido las leyes siguientes sobre la producción del calor en las acciones químicas.

1.^a Un cuerpo en ignición produce siempre la misma cantidad de calor para llegar al mismo grado de oxidación, ya lo consiga inmediatamente ó ya de un modo progresivo. Pongamos un ejemplo: un gramo de car-

bono que se trasforma directamente en ácido carbónico desprende la misma cantidad de calor que si se hubiese convertido primero en óxido de carbono, y despues este en ácido carbónico.

2.^a En una combinacion química, cualquiera que sea su duracion, es siempre igual la cantidad de calor desprendido.

3.^a El calor que se desarrolla en la combustion de un cuerpo compuesto es generalmente mas débil que la suma de las cantidades de calor que se obtiene quemando separadamente cada uno de sus elementos.

446. **Aparatos destinados á producir temperaturas muy altas.** — La combustion por medio del aire, del carbon vegetal y la del coke han sido durante mucho tiempo los únicos orígenes del calor utilizados en la industria para obtener altas temperaturas, que bastan para fundir el hjerro, pero no el platino. Fundíase este metal por medio de una corriente eléctrica, pero en cantidad muy pequeña; el Sr. H. Sainte-Claire Deville es el primero que ha conseguido fundirle en gran cantidad por medio de la combustion del gas del alumbrado con solo el oxígeno. El aparato inventado al efecto por este físico consiste en dos tubos concéntricos de cobre terminados cada uno en una punta de platino. Desde un gasómetro llega el oxígeno por el tubo central y el hidrógeno carbonado por entre las paredes de los dos tubos. Una vez encendido este aparato penetra en una mufla de cal que tiene una pequeña abertura lateral, por la cual se desprenden los productos de la combustion. Cuando la mufla esté ya muy caliente se introducen por dicha abertura planchas que se funden casi instantáneamente: en pocos minutos puede fundirse de esta manera un kilógramo de platino. Cuando el metal se halla en el estado líquido es tal su incandescencia, que al abrir la mufla produce un resplandor comparable con el de la luz eléctrica.

Consíguese tambien fundir el platino por la combustion del gas del alumbrado con el aire, para lo cual es preciso que este se halle sometido á una presion por lo menos de dos atmósferas.

En los laboratorios está muy extendido el uso de un aparato conocido con el nombre de *quemador de Bunsen*, por haber sido este físico su inventor. Consiste en dos tubos concéntricos; por el central llega el gas del alumbrado, y el frio, que produce su combustion, aspira el aire por entre los dos tubos. Un solo quemador basta para fundir la plata.

CALEFACCION.

447. **Diversos sistemas de calefaccion.** — La *calefaccion* es un arte que tiene por objeto utilizar, en la economía doméstica y en la industria, los manantiales de calor que nos ofrece la naturaleza.

La combustion de la madera, del carbon, de la hulla, del coke, de la turba y de la antracita, son los manantiales de calor que principalmente se utilizan en la actualidad. Desde hace algunos años se utilizan tambien para este objeto el gas del alumbrado y los aceites esenciales.

Atendiendo á los aparatos que sirven para la combustion, pueden admitirse cinco procedimientos de calefaccion, á saber: 1.^o la calefaccion de hogar exterior, como acontece en las chimeneas; 2.^o la de hogar interior, tal como el de las estufas; 3.^o la que se efectúa por medio del aire enrarecido, cual sucede con los caloríferos; 4.^o la que utiliza el vapor, y 5.^o la que se obtiene por la circulacion del agua caliente. Describiremos sucintamente estos diferentes procedimientos.

448. Chimeneas. — Las *chimeneas* son hogares abiertos, situados junto á la pared y coronados por un tubo que da paso á los productos de la combustion. La invencion de las chimeneas data, al parecer, del primer siglo de la era cristiana. En tiempos mas remotos, se colocaba el foco en el centro de las habitaciones que debian calentarse, y el humo se escapaba por una abertura que se practicaba en el techo de las mismas. Por eso aconsejaba Viruvio que no se adornaran con obras suntuosas moradas de invierno, á fin de que el humo y el hollin no las echase á perder.

Las primeras chimeneas, si bien se colocaban junto á las paredes, no llevaban jambas ni dinteles, sino simplemente una *campana* para la salida del humo; de suerte que la forma que hoy se les da es enteramente moderna. Las personas que sucesivamente han ido perfeccionándolas son físicos, y particularmente Filiberto Delorme, Gauger, Franklin, Montgolfier y Rumford.

A pesar de la perfeccion que se ha procurado en la construccion de las chimeneas, son los caloriferos mas imperfectos y mas dispendiosos, porque solo utilizan, con la leña, un 6 por 100 del calor total emitido por el combustible, y un 13 con el coke y la hulla. Proviene esta enorme pérdida de calor de que la corriente de aire necesaria para la combustion arrastra siempre una cantidad considerable del calor producido, de suerte que este se pierde en gran parte en la atmósfera. Esta circunstancia obligó á decir á Franklin que si se deseaba, con una cantidad dada de combustible, obtener el menor calor posible, debian adoptarse las chimeneas. Con todo, son y seguirán siendo el sistema de calefaccion mas agradable y sano, por la presencia del fuego y porque renuevan de continuo el aire de las habitaciones.

449. Tiro de las chimeneas. — Se entiende por *tiro* de una chimenea una corriente que se establece de abajo arriba en el tubo, por efecto de la ascension de los productos de la combustion. Cuando la corriente es rápida y continua, se dice que *tira* bien la chimenea.

El tiro reconoce por causa la diferencia entre las temperaturas interior y exterior del tubo, en virtud de las cuales las materias gaseosas que le llenan son menos densas que el aire del aposento, resultando imposible el equilibrio (172). Efectivamente, como el peso de la columna gaseosa CD (fig. 460) en el tubo es menor que el de la columna de aire exterior AB, que tiene la misma altura, resulta, de afuera hácia adentro, un exceso de presion que repele los productos de la combustion, con tanta mayor rapidez, cuanto mayor sea la diferencia de peso entre las dos masas gaseosas.

Compruébase perfectamente la existencia de las corrientes que originan en los gases, la diferencia de temperatura, por medio del experimento que sigue: se abre una puerta que ponga en comunicacion una pieza caliente con otra que no lo esté, y luego se coloca en la parte superior una vela encendida; su llama se dirige desde el sitio caliente hácia el frio; y ¡por el con

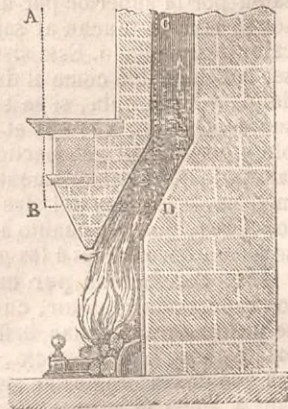


Fig. 460.

trario, si se la pone en el suelo, se dirige la llama desde el aposento frio al que se halla caliente. Dependen estos dos efectos, de una corriente de aire enrarecido que se escapa por la parte superior de la puerta, y de otra fria que pasa á reemplazarle por la inferior.

Para que tire bien la chimenea, debe reunir las siguientes condiciones:

1.^a La seccion del tubo ha de tener las dimensiones estrictamente necesarias para la salida de los productos de la combustion, pues en caso contrario, si es demasiado grande, se establecen á la vez corrientes ascendentes y descendentes, y la chimenea despide humo. Conviene colocar en la extremidad superior del tubo una caperuza cónica mas estrecha que aquel, á fin de que el humo salga con velocidad suficiente para resistir la accion del viento.

2.^a El tubo de la chimenea ha de ser bastante alto, porque como la causa del tiro es el exceso de la presion exterior sobre la interior, este será tanto mayor, cuanto mas alta sea la columna de aire caliente.

3.^a Es preciso que el aire exterior pueda penetrar en el aposento donde se halle la chimenea con toda la rapidez que exija el hogar. En una habitacion herméticamente cerrada no arderia el combustible, ó se establecerian corrientes de aire descendentes que la llenarian de humo. El aire entra, de ordinario, en cantidad suficiente por las rendijas de las puertas y de las ventanas.

4.^a Debe evitarse siempre que comuniquen entre sí dos tubos de chimenea, porque si el uno tira mas que el otro, surge en este último una corriente de aire descendente que llena de humo la habitacion.

450. **Estufas.**—Las *estufas* son aparatos caloríferos de hogar aislado, situados en medio de la masa de aire que trata de calentarse, de suerte que el calor radia en todas direcciones alrededor del hogar. Por la parte inferior entra el aire necesario á la combustion, y los productos de este salen por la superior por medio de tubos. Como estos productos gaseosos se enfrian mucho al salir, puede así utilizarse casi la totalidad del calor desarrollado. Este sistema es mas económico, pero dista mucho de ser tan saludable como el de las chimeneas, porque su ventilacion es muy débil, y hasta nula, si se toma el aire del exterior como en las estufas suecas. Ofrecen además el inconveniente de producir un olor desagradable y perjudicial, en particular cuando son de hierro fundido ó de palastro, lo que probablemente debe atribuirse á la descomposicion de las materias orgánicas del aire por su contacto con las paredes calientes de los tubos, pues en cuanto aquellas están á una temperatura bastante alta se hacen permeables á los gases del hogar (168) y vician el aire.

451. **Calefaccion por medio del vapor.**—La propiedad que poseen los vapores de restituir, cuando se condensan, su calor de vaporizacion, se utiliza para calentar baños, talleres, edificios públicos, invernáculos, estufas, etc. Al efecto, se produce el vapor en calderas análogas á las que describiremos en seguida (458) al tratar de las máquinas de vapor, y luego se le hace circular por tubos situados en el lugar que se trata de calentar. Condénsase el vapor en estos tubos y les cede todo su calor latente, el cual queda libre en el momento de la condensacion. Este calor se trasmite en seguida al aire exterior, ó al líquido en el cual se sitúan los tubos de conduccion.

452. **Calefaccion por medio del aire caliente.**—La calefaccion por medio del aire caliente consiste en calentar aire en la parte inferior de

un edificio, dejándole que suba luego hasta los pisos superiores, en virtud de su menor densidad, por cañerías situadas en las paredes del edificio. El aparato se halla dispuesto según manifiesta la figura 461. De un horno F, situado en los sótanos, parten, enchufando unos en otros, un sistema de tubos encorvados AB, de los cuales uno tan solo es visible en el grabado. Por el orificio inferior A, llamado *toma de aire*, penetra este en los tubos; allí se calienta, y sube luego en el sentido de las flechas hasta penetrar en las habitaciones M por el orificio superior B, denominado *boca de calor*. En los diferentes pisos, posee cada pieza una ó varias bocas de calor que se sitúan lo mas bajo posible, porque el aire caliente siempre tiende á subir. El conducto O es un tubo de chimenea comun, por el cual se desprenden desde el horno los productos de la combustion.

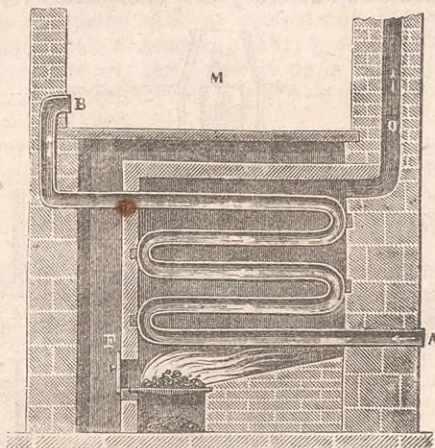


Fig. 461.

Estos aparatos, conocidos con el nombre de *caloríferos*, son mucho mas económicos que las chimeneas, pero no pueden ventilar tan bien el aire de las habitaciones, y por consiguiente, son menos saludables.

453. Calefacción producida por la circulación del agua caliente. — La calefacción por este procedimiento es debida á un movimiento continuo de circulación del agua, que, después de haberse calentado en una caldera, sube por una serie de tubos, volviendo por otros análogos á la misma caldera luego que está fría.

A fines del siglo pasado inventó Bonnemain, en Francia, el primer aparato para este género de calefacción; la figura 462 representa la disposición adoptada por el Sr. Leon Duvoir para calentar un edificio de varios pisos. En el sótano se sitúa una caldera oo, en forma de campana, y de hogar interior F, y encima un largo tubo M que va á un depósito Q, situado en el tejado del edificio que se desea calentar. Dicho depósito tiene en su parte superior un tubo n cerrado por una válvula s, cargada convenientemente á fin de limitar la tensión del vapor en el interior del aparato.

Llenas de agua la caldera, el tubo M y parte del depósito Q, á medida que se calienta el líquido, se produce en el tubo M una corriente ascendente de agua hasta el depósito Q, y al mismo tiempo se establecen otras corrientes descendentes del mismo líquido, no tan caliente, pero mas denso, que parten desde el fondo del citado depósito, dirigiéndose respectivamente por otros tantos tubos á los receptáculos b, a, llenos de agua. Desde estos continúa la corriente descendente por otros nuevos tubos hasta los receptáculos inferiores d, c, y f, e, y por fin, desde estos últimos sigue por tubos de retorno hasta la parte inferior de la caldera.

Durante este doble trayecto, el agua caliente comunica sucesivamente

su temperatura á los tubos y á los receptáculos, de suerte que estos se calientan y trasforman en verdaderas estufas de agua. Calcúlase fácilmente su número y sus dimensiones, para calentar un espacio dado,

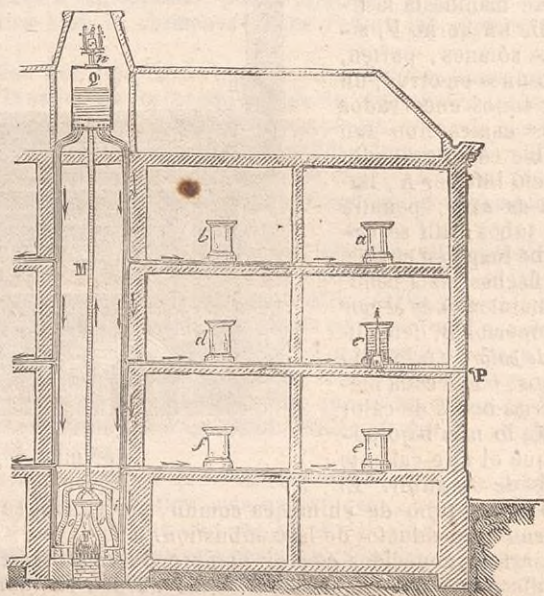


Fig. 462.

apoyándose en que la teoría y la experiencia han confirmado, que un litro de agua basta para comunicar el calor necesario á 3200 litros de aire. Dos de estas estufas pueden, durante el invierno, mantener de 600 á 700 metros cúbicos de aire á una temperatura de 15 grados.

En el interior de los depósitos *a, b, c, d, e, f*, hay tubos de hierro fundido llenos de aire, que se toma del exterior por medio de otros tubos *P*, situados debajo del pavimento. Este aire se calienta en los tubos, y sale luego por la parte superior de los receptáculos.

La ventaja principal de este sistema de calefacción consiste en dar una temperatura casi constante durante mucho tiempo, pues el agua de los receptáculos y la de los tubos se enfría con gran lentitud. Por esto se usa mucho en los invernáculos, en las estufas, en la incubación artificial, y en general, en todos los casos en que se requiere una temperatura uniforme.

ORÍGENES DE ENFRIAMIENTO.

454. Diversos manantiales de frío.— Las causas de enfriamiento son: el paso del estado sólido al líquido, el del estado líquido al de vapor ó gaseoso, el enrarecimiento de los gases, la radiación en general, y particularmente la nocturna. Conocidas ya las dos primeras causas (334 y 358), solo trataremos ahora de las dos últimas.

455. Enfriamiento producido por la dilatación de los gases.— Dijimos

ya (437) que la compresion de los gases eleva la temperatura; y recíprocamente, el enrarecimiento de un gas va acompañado de un descenso de la misma, á consecuencia de la desaparicion de calor ocasionada por el trabajo interior del gas. Este fenómeno está ya demostrado por el experimento del Sr. Tyndall dado antes á conocer (438), y se prueba tambien poniendo el termómetro de Breguet (285) debajo de la campana de la máquina neumática y haciendo el vacío; á cada golpe de émbolo se dilata el gas y la aguja avanza hácia el cero.

455*. **Aparato de Carré para la fabricacion de hielo.**—Se vió ya (357) que al evaporarse un líquido absorbe en el estado latente una cantidad considerable de calor, y de aquí un manantial de frio tanto mas abundante, cuanto mas volátil es el líquido y mayor su calor de vaporizacion.

El Sr. Carré utilizó esta propiedad de los líquidos para helar el agua por la destilacion del amoniaco. Su aparato consiste en una caldera cilíndrica C (figs. 463 y 464) y en un vaso ligeramente cónico A, que es

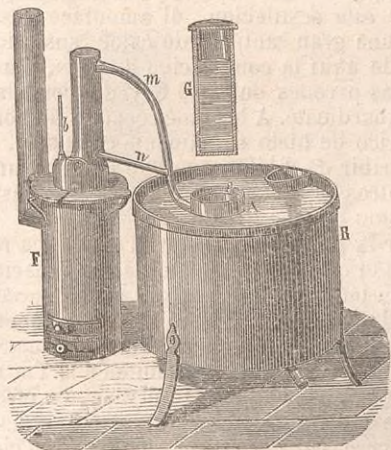


Fig. 465.

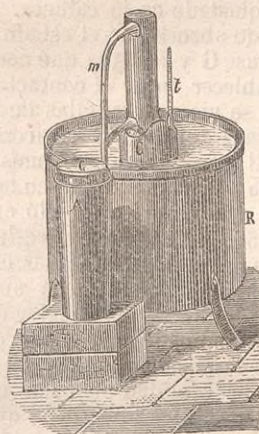


Fig. 464.

el congelador. Estas dos vasijas comunican entre sí por un tubo *m*, y un travesaño *n* sirve para unir las sólidamente una á otra. Ambas están construidas con palastro estañado bastante grueso, y pueden resistir presiones de siete atmósferas.

La caldera C, cuya capacidad es de 8 litros, está llena en sus tres cuartas partes de una disolucion amoniaca concentrada, que sirve indefinidamente. En un tubo adaptado á la pared superior de la misma se echa aceite, y en este aceite se pone un termómetro *t* que marca las altas temperaturas de 100 á 150 grados. Por último, el congelador A está formado por dos vasijas concéntricas, de modo que estando vacía su parte central en toda su altura, puede colocarse allí un vaso de hoja de lata G que contiene el agua que ha de helarse. Segun esto, solamente el espacio comprendido entre las paredes del congelador es el que comunica con la caldera por el tubo *m*. En el fondo superior del congelador hay un tubito por donde se introduce en el aparato la disolucion amoniaca, y se expulsa

de él el aire, cerrándole en seguida herméticamente con un tapon de metal.

Conocidos estos detalles, la fabricacion del hielo comprende dos operaciones distintas. En la primera (fig. 463) está situada la caldera en un hornillo F y el congelador en una cuba R llena de agua de pozo cuya temperatura sea 12° próximamente. Calentando la caldera hasta los 130° , el gas amoníaco disuelto en el agua se desprende de esta y va al congelador, donde se licua por su propia presion, conteniendo todavía como un décimo de su peso de agua. Esta destilacion de C hácia A queda terminada en cinco cuartos de hora, y entonces empieza la segunda operacion, que consiste en poner la caldera en la cuba de agua fria (fig. 464) y el congelador en la parte de fuera, cuidando de rodearle de una tela de lana bien seca. En este estado se introduce en el congelador el vaso de hoja de lata G, lleno de agua en sus tres cuartas partes. Enfriándose así la caldera, el gas amoníaco que la llena se disuelve de nuevo, y produciéndose el vacío, el amoníaco líquido que está en A se gasifica y destila entonces de A hácia C para disolverse nuevamente en el agua que ha quedado en la caldera. Durante esta destilacion, el amoníaco gasificado absorbe en el estado latente una gran cantidad de calor, sustraída al vaso G y al agua que contiene; de aquí la congelacion de esta. Para establecer mejor el contacto entre las paredes del vaso G y del congelador se vierte entre ellas alcohol ó aguardiente. A los cinco cuartos de hora se saca del vaso G un trozo cilindrico de hielo sumamente compacto.

El aparato que acabamos de describir da 2 kilógramos de hielo en una hora, pero se construyen tambien otros de accion continúa que dan hasta 200 kilógramos de hielo en el mismo espacio de tiempo.

456. Enfriamiento originado por la radiacion nocturna. — De dia recibe la Tierra del Sol mas calor que el que ella emite hácia los espacios celestes, y por lo tanto, aumenta su temperatura; pero de noche sucede todo lo contrario. El calor que pierde entonces la Tierra no está compensado, y de aquí resulta un descenso de temperatura tanto mayor, cuanto mas despejado está el cielo; porque, si hay nubes, estas emiten á la Tierra mayor cantidad de calor que los cuerpos celestes. Obsérvase, en efecto, en ciertos inviernos, que no se hielan los rios, aun cuando el termómetro marque menos de 4° bajo cero, por encontrarse cubierto el cielo, mientras que en otros inviernos menos rigurosos se hielan aquellos, porque está despejada la atmósfera. El poder emisor influye muchísimo en el enfriamiento por la radiacion nocturna; pues cuanto mayor es aquel, tanto mas considerable es el enfriamiento.

Ya se verá en la Meteorología, que el enfriamiento originado por la radiacion nocturna, es la causa del fenómeno denominado rocío.

En Bengala se utiliza el enfriamiento nocturno para obtener artificialmente el hielo. Con este objeto, durante las noches serenas, se exponen á la intemperie grandes vasijas llenas de agua, de gran superficie y poca altura, procurando que descansen sobre sustancias mal conductoras, como son la paja, las hojas secas, etc. Entonces, por efecto de la radiacion nocturna, estas vasijas se enfrían lo suficiente para que se congele el agua, aun cuando el aire esté á 10° sobre cero.

CAPÍTULO XII.

MÁQUINAS DE VAPOR.

457. **Objeto de estas máquinas.**—Las *máquinas de vapor* son unos aparatos que sirven para utilizar la fuerza elástica del vapor de agua como fuerza motriz. En las máquinas generalmente usadas, el vapor, en virtud de su fuerza elástica, imprime á un émbolo un movimiento rectilíneo alternativo, que se trasforma luego en circular y continuo por medio de diversos mecanismos. El inventor de estas máquinas fué Watt, célebre ingeniero inglés.

Toda máquina de vapor se compone de dos partes enteramente distintas, que son el aparato en que se produce el vapor y la máquina propiamente dicha; describirémos desde luego la primera.

458. **Generador de vapor.**—Dáse el nombre de *generador ó caldera* al aparato que sirve para la producción del vapor. La figura 465 repre-

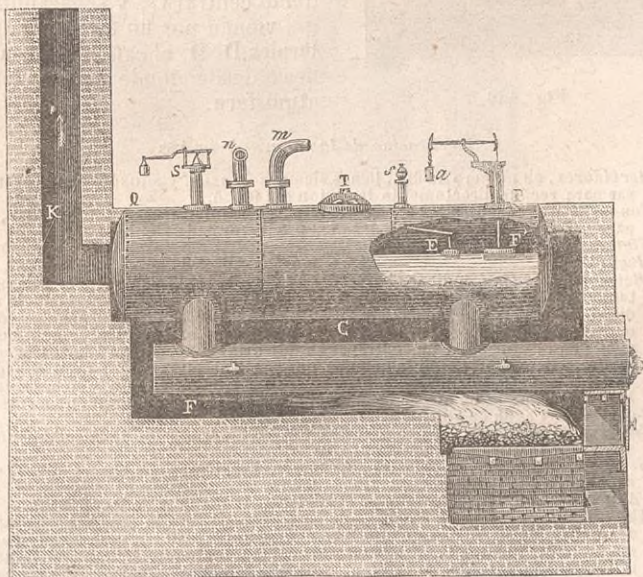


Fig. 465.

senta una vista longitudinal y la 466 una sección trasversal de un generador de máquina fija, pues los de las locomotoras y buques de vapor son muy diferentes. Este generador es un largo cilindro de palastro PQ, cerrado en sus extremos por dos casquetes esféricos; debajo hay otros dos cilindros B, B, de menor diámetro y de la misma materia, que comunican con el generador por dos tubos. Estos cilindros, llamados *hervidores*, se hallan inmediatamente expuestos al fuego del hogar y están completamente llenos de agua, mientras que el cilindro PQ lo está únicamente al por mas de la mitad. Por debajo de los hervidores se halla el hogar, ali-

mentado con carbon de piedra ó leña, y para multiplicar la superficie de calefaccion y utilizar todo el calor de los productos de la combustion, se

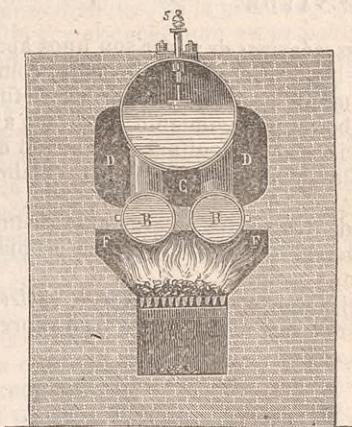


Fig. 466.

hace que estos circulen por unos conductos de ladrillos que rodean á las paredes de los hervidores y del generador, y que dividen el hogar en dos cavidades horizontales F, F' y D, C, D (figura 466); la superior está dividida además en tres conductos distintos D, C, D, por dos tabiques verticales que no van representados en el grabado y corresponden por ambos lados á los hervidores. La llama y los productos de la combustion, van rozando primero la parte inferior de aquellos de delante hácia atrás, vuelven en sentido contrario por el conducto central C, y separándose luego, vienen por fin á parar por los laterales D, D, al cañon K de la chimenea, desde donde se pierden en la atmósfera.

Explicacion de las figuras 465 y 466.

- B, B Hervidores, en número de dos, llenos siempre de agua, y situados en el centro del hogar para recibir directamente la accion del fuego.
- C, D, D Conductos que rodean á los hervidores y paredes inferiores del generador, sirviendo para utilizar el calor que arrastran los productos de la combustion.
- E Flotador del silbato de alarma s.
- F, F' Hogar.
- F' Flotador destinado á indicar el nivel del agua en la caldera. Consta de una piedra rectangular, sumersida parte de ella en el agua, conforme se ve, merced á la rotura indicada de la pared del generador. Esta piedra, que se halla suspendida en la extremidad de una palanca, permanece en equilibrio por la pérdida de peso que experimenta en el agua y por un contrapeso a. Mientras el agua llega á la altura conveniente, permanece horizontal la palanca que sostiene al flotador; pero cuando no hay bastante agua se inclina hácia F', y en sentido contrario, si hay demasiada. En ambos casos es un signo que sirve al fogonero para regular convenientemente la introduccion del agua de alimentacion.
- K Cañon de la chimenea por donde se desprenden los productos de la combustion, dándosele grande altura para activar el tiro.
- P, Q Generador cilindrico de palastro, unido á los hervidores por cuatro tubos, y lleno de agua casi hasta la mitad.
- S Válvula de seguridad, descrita ya al hablar de la marmita de Papin (356).
- T Abertura ó entrada (trou d'homme de los franceses) para la limpieza y reparacion del generador. El cierre de esta abertura es *autóclavo*, es decir, que se cierra por sí misma mediante una tapa aplicada interiormente á los bordes de la pared, donde no solo la sostiene un tornillo de presion, sino que tambien la comprime de abajo arriba contra estas mismas paredes. Además, cuanto mayor es la presion del vapor, mas comprimida está la tapa contra las paredes y mas hermético es el cierre.
- a Contrapeso del flotador.
- m Tubo por donde pasa á la máquina el vapor del generador.
- n Tubo que da entrada al agua de alimentacion del generador.
- s Silbato de alarma, así llamado porque avisa cuando no hay bastante agua en la caldera, circunstancia que puede causar una explosion al entrar en ella aquel liquido, porque encontrándose al rojo las paredes, se forma al instante un exceso de vapor. Mientras el nivel en la caldera no es demasiado bajo, no pasa el vapor al silbato; pero si descendiendose aquel á un punto inferior á la altura conveniente, baja un pequeño flotador E, que cierra el pié del silbato y da salida al vapor. Al escaparse este, pasa rozando los bordes de un disco delgado de metal, y le pone en vibracion haciéndole producir un sonido agudo que sirve de aviso al fogonero.

459. Máquinas de vapor de doble efecto. — Denominanse así las máquinas en las cuales actúa el vapor alternativamente por encima y por

debajo del émbolo para darle un movimiento rectilíneo intermitente, que se trasforma despues en circular y continuo.

La figura 467 da una idea del conjunto de esta máquina, y las 468 y

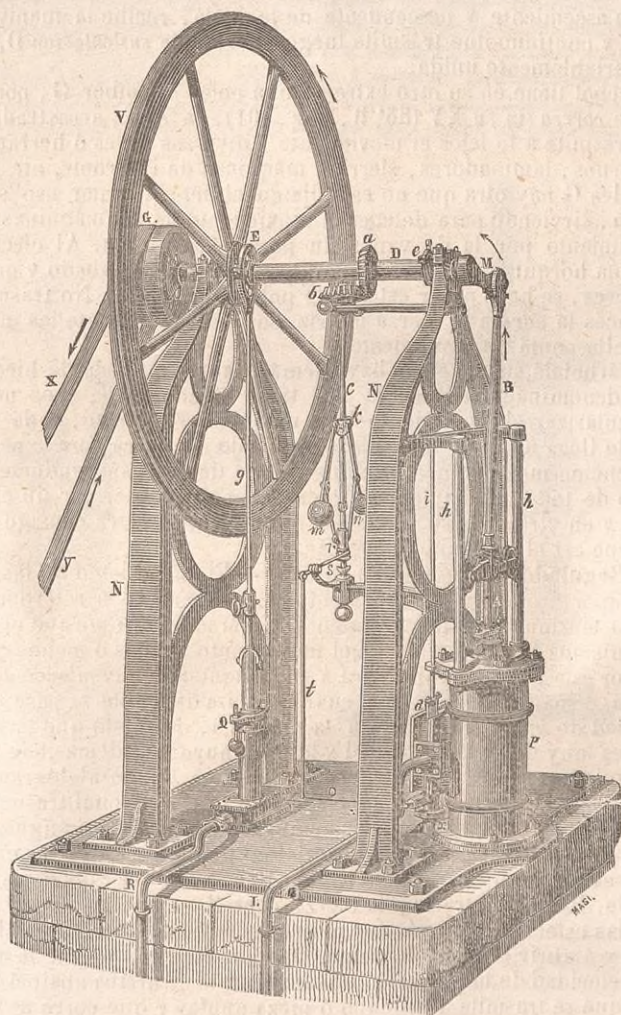


Fig. 467.

469 representan una seccion vertical del cilindro y de la distribucion de vapor. Esta máquina es de hierro fundido y está sostenida en unos estribos N, N del mismo metal.

A la derecha del dibujo hay un cilindro *p* á donde llega el vapor de la caldera por un tubo *x*. En este cilindro, cuya seccion vertical se ve en la figura 469, hay un émbolo *T*, sobre el cual obra el vapor alterna-

tivamente de arriba abajo y de abajo arriba. Participando el vástago A del émbolo de este doble movimiento, le trasmite á una larga pieza B que se llama *biela* y se articula por un extremo con el del vástago A y por el otro con una pieza mas pequeña M, que es la *manivela*. Del movimiento ascendente y descendente de la biela, recibe la manivela uno circular y continuo que trasmite luego al *árbol de sustentacion* D, al cual está invariablemente unida.

Este árbol tiene en su otro extremo una polea ó tambor G, por donde pasa una *correa sin fin* XY (55° R, pág. 101), la cual, arrastrada por la polea, trasmite á lo lejos el movimiento á diversos útiles ó herramientas, como tornos, laminadores, sierras, máquinas de imprimir, etc. Al lado de la polea G hay otra que no está fija en el árbol, y por eso se llama *polea loca*, sirviendo para detener el movimiento de las máquinas puestas en movimiento por la de vapor sin parar esta última. Al efecto, mediante una horquilla de hierro, que no aparece en el grabado y que abraza la correa, se hace pasar esta de la polea G á la loca. No trasmitiendo ya entonces la correa la fuerza motriz, se paran al instante las máquinas que aquella ponía en movimiento.

En el árbol de sustentacion hay además una gran rueda de hierro fundido V, denominada *volante*, la cual tiene mucho peso, y es necesaria para regularizar el movimiento de la máquina. En efecto, cada vez que el émbolo llega al punto mas alto ó mas bajo de su carrera experimenta una detencion momentánea, durante la cual tiende á suspenderse el movimiento de toda la máquina. Pero entonces el volante, por un efecto de inercia, y en virtud de su velocidad adquirida, arrastra consigo al árbol y mantiene así el movimiento regular.

460. Regulador de fuerza centrifuga. — El movimiento de las máquinas de vapor propende continuamente á acelerarse ó á retardarse, ora porque la tension del vapor varía en el generador, ora porque el número de mecanismos á que se trasmite el movimiento es mas ó menos considerable. Por esta razon añadió Watt á sus máquinas un *regulador de fuerza centrifuga*, ó sea un aparato en el cual se utiliza dicha fuerza para arreglar la cantidad de vapor que llega á la máquina, de modo que la aumenta cuando es muy débil la velocidad y la disminuye si es demasiado grande.

El regulador de fuerza centrifuga consiste en un paralelógramo articulado *kmnr* (fig. 467), fijo en un vástago vertical *c*, al cual trasmite el árbol su movimiento de rotacion por medio de dos ruedas en ángulo *a* y *b*. Dos de las ramas adyacentes del paralelógramo están cargadas cada cual con una esfera de hierro colado *m* y *n*, que por su peso tienden sin cesar á cerrarle. Por el contrario, la fuerza centrifuga que resulta de la rotacion de las esferas con el vástago *c*, propende constantemente á hacerlas divergir y á abrir el paralelógramo. De aquí resulta, segun la mayor ó menor velocidad de la máquina, un movimiento de arriba abajo ó de abajo arriba, que se trasmite á un cubo ó pieza anular *r* que corre á lo largo del vástago *c*, y que por un sistema de palancas *s*, *t*, *O*, hace abrir ó cerrar una válvula *v* (fig. 468) situada en el tubo *x* por donde llega el vapor, la cual está dispuesta de modo que se cierra tanto mas, cuanto mas divergen las esferas del regulador. Por consiguiente, cuando la velocidad de la máquina excede del límite debido, llega el vapor en menor cantidad, y disminuyendo la fuerza motriz, se retarda el movimiento.

461. Bomba alimenticia. — Es necesario alimentar el generador de agua á medida que esta se va evaporando, de cuyo trabajo está encar-

gada la máquina misma de vapor, para lo cual forma parte de ella una bomba Q (fig. 467) aspirante é impelente, cuyo vástago *g* recibe su movimiento de vaiven de una excéntrica E situada en el árbol de sustentacion. Esta bomba, que se designa con el nombre de *bomba alimenticia*, aspira el agua de un pozo y por un tubo de cobre R la repele al generador.

462. Distribucion de vapor.—Para completar la descripcion de la máquina de que se trata, resta dar á conocer la *distribucion del vapor*, esto es, el mecanismo que sirve para hacerle pasar alternativamente por encima y debajo del émbolo. Las figuras 468 y 469 representan una sec-



Fig. 468.

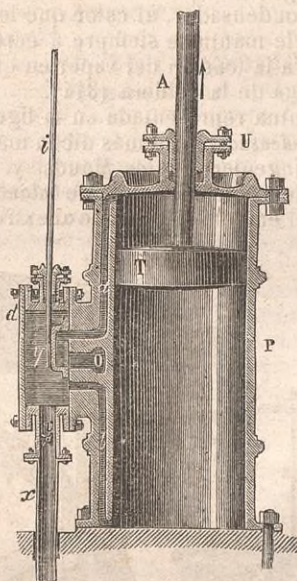


Fig. 469.

cion vertical de este mecanismo. Llegando el vapor del generador por el tubo *x*, se dirige á una caja de hierro fundido *d*, que es la *caja de distribucion*. De esta, en el grueso mismo de las paredes del cilindro, parten dos conductos *a* y *b* que dirigen el vapor, uno por encima y el otro por debajo del émbolo. Una pieza móvil *y*, llamada *corredera* ó *pasador*, cierra siempre uno de estos conductos. En la figura 469 es el superior *a* el que se encuentra cerrado, y llegando el vapor por la parte inferior del émbolo le hace subir.

La corredera está fija en un vástago *i*, que recibe de una excéntrica *e* (fig. 467) un movimiento de vaiven de abajo arriba y de arriba abajo, en virtud del cual el pasador ocupa sucesivamente las posiciones representadas en las figuras 468 y 469.

Quando el vapor llega por debajo del émbolo (fig. 469), la parte superior del cilindro comunica por el conducto *a* con una cavidad *O*, de donde parte un tubo *L* (fig. 467), por el cual sale el vapor que acaba de actuar sobre el émbolo. Despues, cuando llega el vapor por encima

de este (fig. 468), es la parte inferior del cilindro la que comunica por el conducto *b* con la misma cavidad *O* y con el tubo *L*. Según esto, los conductos *a* y *b* sirven alternativamente para la entrada y salida del vapor.

En las máquinas de alta presión (465), el vapor que se desprende del tubo *L* va á perderse en la atmósfera; mas en las de baja ó media presión se dirige aquel á una vasija cerrada, llamada *condensador*, que está llena de agua fria, á cuyo contacto se condensa el vapor, lo que hace ganar una atmósfera, puesto que siempre tiende á producirse el vacío en la cara del émbolo opuesta á la que recibe la acción del vapor. Sin embargo, aunque una bomba especial renueva constantemente el agua del condensador, el calor que le cede el vapor por el acto de la condensación le mantiene siempre á cerca de 40°, y es sabido que á esta temperatura la tensión del vapor en el condensador es muy inferior á la del que llega de la caldera (344).

La máquina representada en la figura 467 es una *máquina de alta presión sin condensador*. Además dicha máquina es de *biela articulada*, sistema debido al ingeniero inglés Maudslay. La máquina de Watt, idéntica bajo todos los demás aspectos, es de *balancin*, es decir, que el movimiento del vástago del émbolo se trasmite al extremo de un enorme balancin de hier-

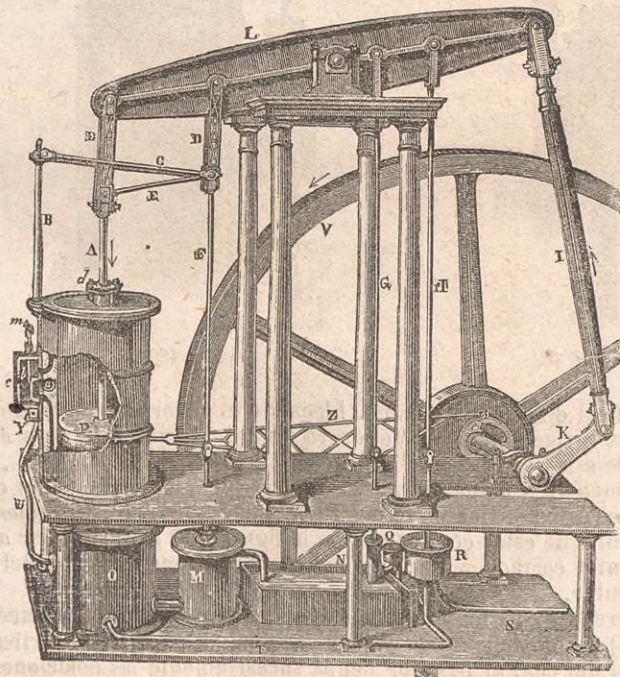


Fig. 470.

ro fundido, móvil en su centro sobre dos gorriones, siendo este balancin el que luego, por su otro extremo, comunica el movimiento á la biela, á la manivela y al árbol de sustentación. La figura 470 representa en con-

junto la máquina de balancin ó de Watt. El uso de las máquinas de biela articulada está en el día mucho mas extendido en los obradores que el de las máquinas de balancin.

463. Locomotoras.—Dáse este nombre á unas máquinas de vapor que, armadas sobre un carruaje, se mueven por sí mismas trasmitiendo el movimiento á las ruedas.

Las locomotoras son de biela articulada, pero carecen del volante de las máquinas fijas, y la forma de la caldera se halla tambien completamente modificada. Sus principales piezas son el *bastidor*, la *caja de fuego*, el *cuerpo cilindrico* de la caldera, la *caja de humo*, los *cilindros de vapor* con sus *correderas*, las *ruedas motoras* y la *alimentacion*.

El bastidor es un marco de madera de encina, sostenido por los ejes de las ruedas, el cual á su vez sirve de sustentáculo á todas las partes de la máquina. La figura 471 representa al maquinista que dirige la locomotora, subido sobre la plataforma de palastro que cubre el bastidor, en el momento de ir á abrir la *toma de vapor* I situada en la parte superior de la caja de fuego Z. Debajo de esta se encuentra el hogar, desde el cual la llama y los productos de la combustion van á la caja de humo Y, y luego al cañon de la chimenea, despues de haber atravesado 125 tubos de cobre, que están completamente sumergidos en el agua de la caldera.

Esta, que enlaza la caja de fuego con la de humo, es de cobre, cilindrica, de un metro de diámetro próximamente, y está rodeada de due-las de caoba, que por su débil conductibilidad se oponen al enfriamiento. Al salir el vapor de la caldera pasa á los dos cilindros situados á cada lado de la caja de humo, y allí, por medio de una distribucion análoga á la antes descrita (462), actúa alternativamente sobre las dos caras de los émbolos, cuyos vástagos trasmiten el movimiento al eje de las grandes ruedas; esta distribucion no se ve en el grabado, porque está debajo del bastidor, entre los dos cilindros. Despues de haber actuado el vapor sobre los émbolos, se desprende por la chimenea y contribuye así á activar el tiro.

La trasmision del movimiento de los émbolos á las dos grandes ruedas se efectúa por dos bielast que, por medio de manivelas, enlazan los vástagos de los émbolos con el eje de dichas ruedas; el movimiento de vaiven de la corredera en la caja de distribucion de cada cilindro, se obtiene mediante excéntricas situadas sobre el eje de las dos grandes ruedas.

La alimentacion, ó sea la renovacion del agua en la caldera, se logra á beneficio de dos bombas aspirantes é impelentes situadas debajo del bastidor y movidas por excéntricas. Estas bombas, por medio de tubos de comunicacion, aspiran el agua de un depósito que hay debajo del *tender*; llámase así un carruaje que sigue inmediatamente á la locomotora y lleva el agua y el carbon necesarios para un viaje determinado.

Explicacion de la figura 471.

- A Tubo de cobre que recibe el vapor por la extremidad I, y se bifurca en la otra para conducirle á los dos cilindros que contienen los émbolos motores.
- B Mango de la palanca que sirve para cambiar el sentido del movimiento: trasmítense este al tirante C, el cual lo comunica á la distribucion de vapor.
- C Tirante para cambiar de direccion.
- D Parte inferior de la caja de fuego que contiene las rejillas del hogar.
- E Tubo de salida del vapor luego que ha actuado sobre los émbolos.
- F Cilindro de hierro que contiene un émbolo motor: hay dos, uno á cada lado de la locomotora, y para que se vea el émbolo en la figura, aparece roto el cilindro.

- G Varilla que sirve para abrir la corredera I, á fin de que pase el vapor al tubo A: en el grabado el maquinista tiene en la mano la palanca que hace girar esta varilla.
 H Llave para vaciar la caldera.
 I Corredera que se abre y se cierra á mano para la graduacion del vapor.
 K Gran biela motora ahorquillada, que une la extremidad del vástago del émbolo con la manivela M de la rueda mayor o r.

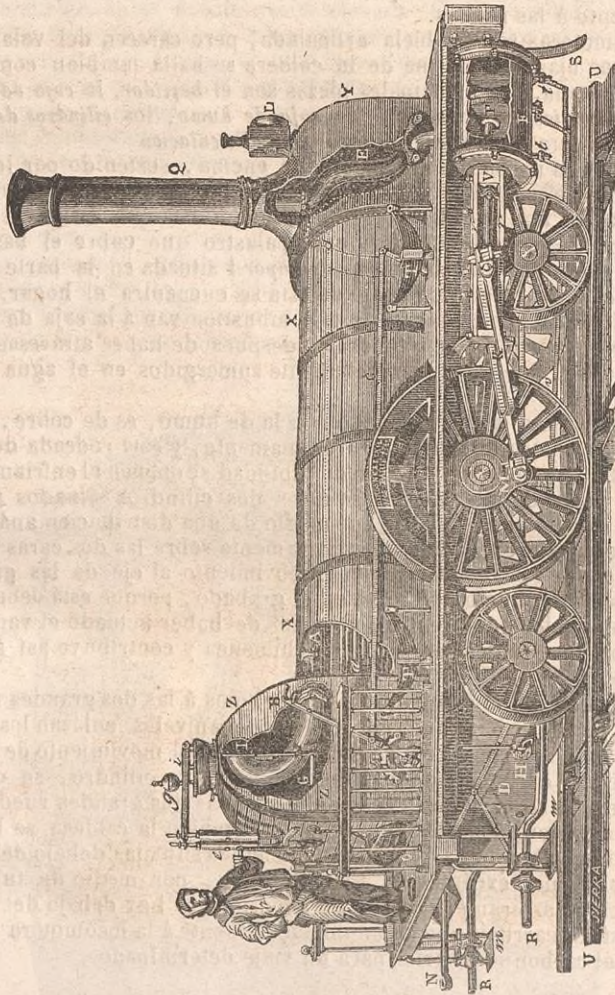


Fig. 471.

- L Lámpara y reflector que sirven para indicar de noche la aproximacion de la locomotora
 M Manivela que trasmite al eje de la rueda mayor el movimiento del émbolo.
 N Boton para enganchar el tender que sigue á la locomotora.
 O Puerta del hogar por la cual el fogonero introduce el cok.
 P Émbolo de metal cuyo vástago se articula con la biela K.
 Q Cañon de la chimenea por el cual salen el humo y el vapor de los cilindros.
 R, R Tubos que conducen el agua del tender á dos bombas impelentes que alimentan la caldera, las cuales no se ven en el dibujo.
 S Pala que barre las piedras ú otros obstáculos de la via.
 T, T Muelles que sostienen la caldera.

- U, U Rails ó carriles sentados en la vía sobre cojinetes de hierro, y estos sobre traviesas de madera.
- V Armazon de la caja de estopa de los cilindros.
- X, X Cuerpo cilindrico de la caldera, cubierto de duelas de caoba destinadas, por su débil conductibilidad á disminuir la pérdida de calor. Vése debajo del tubo A hasta donde sube el nivel del agua en la caldera. Sumergidos en el agua hay unos tubos de cobre *a*, al través de los cuales pasan los productos de la combustion para dirigirse á la caja de humo.
- Y Caja de humo donde terminan los tubos *a*.
- Z, Z Caja de fuego en forma de cúpula á la cual se dirige el vapor.
- a* Tubos de cobre en número de 125, abiertos por sus dos extremidades y que terminan por un lado en la caja de fuego, y por otro en la de humo. Estos tubos transmiten el calor del hogar al agua de la caldera, y la vaporizan.
- b* Sector guía situado al lado de la caja de fuego con varias muescas en que puede engranar el brazo de palanca B. La muesca extrema anterior corresponde á la marcha hácia adelante, la extrema posterior á la marcha hácia atrás, y la de en medio es un punto muerto. Las muescas intermedias entre esta y las extremas regulan la marcha en uno ú otro sentido (466).
- e* Estuches con muelles en hélice que arreglan el juego de las válvulas de seguridad *í*.
- g* Silbato de alarma que se oye á 2 kilómetros.
- í* Válvulas de seguridad.
- m, m* Estribos para subir al tablero de la locomotora.
- n* Tubo de cristal situado delante del maquinista para indicar el nivel del agua en la caldera, con la cual comunica por sus dos extremos.
- r, r* Guías que mantienen en línea recta el movimiento de la cabeza del émbolo.
- l, l* Llaves de desagüe despues de dispuesto el tren y calentados los cilindros.
- v* Tirante que transmite el movimiento á las llaves de desagüe.

464. Máquinas de reaccion: eolípila. — Llámase *máquinas de reaccion* aquellas en que obra el vapor por reaccion, á la manera del agua en el molinete hidráulico (86). La invencion de estas máquinas es ya muy antigua, pues 120 años antes de J.-C., Heron de Alejandría, inventor de la fuente que lleva su nombre, describió el siguiente aparato, conocido con el nombre de *eolípila de reaccion*.

Es una esfera hueca de metal (fig. 472), que puede girar libremente

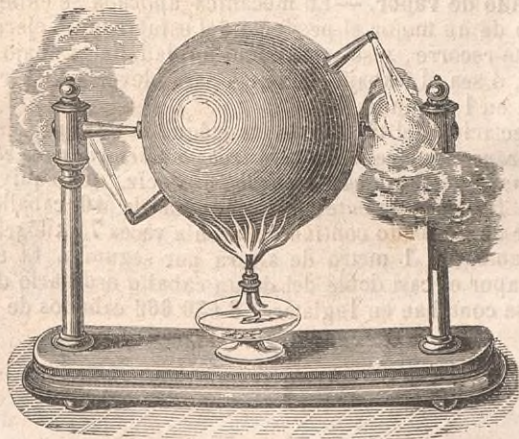


Fig. 472.

alrededor de dos gorriones, la cual tiene á los extremos de un mismo diámetro dos tubos acodillados en sentido contrario y terminados en pequeños orificios por donde se desprende el vapor. Para introducir agua en esta esfera, se la calienta ante todo con el objeto de enrarecer el aire, metiéndola luego en agua fría; el aire se contrae entonces y penetra el líquido en ella. Si en este estado se calienta el aparato hasta la ebullicion, el vapor que se desprende le imprime un rápido movimiento gira-

torio, que es debido á la presion del vapor sobre la pared opuesta al orificio de salida.

Diversos ensayos se han hecho para utilizar en grande escala la reaccion del vapor como fuerza motriz, habiéndose tambien intentado hacerle actuar por impulsión, dirigiendo una corriente sobre la paleta de una rueda giratoria; mas con estos diferentes procedimientos hasta ahora está muy lejos de prestar el vapor el efecto útil que se obtiene haciéndole obrar por expansion sobre un émbolo.

465. Máquinas de baja, alta y media presion. — Dicese que una máquina es de *baja presion* cuando la tension del vapor no excede en atmósferas de 1,25: de *media presion* si la tension está comprendida entre 2 y 4 atmósferas, y de *alta presion* cuando aquella es superior á 4 atmósferas.

466. Máquinas con expansion ó sin ella. — Si el vapor funciona de lleno sobre el émbolo durante toda su carrera, su fuerza elástica es casi constante, y se dice que el vapor obra *sin expansion*; pero si por una conveniente disposicion de la corredera cesa de llegar vapor sobre el émbolo, cuando solo se halla este á los dos tercios ó á los tres cuartos de su carrera, entonces obra *con expansion*, es decir, que en virtud de su fuerza expansiva, debida á su alta temperatura, sigue obrando sobre el émbolo y le obliga á terminar su carrera. De aquí la distincion de *máquinas con expansion ó sin ella*.

Finalmente, llámanse *máquinas de condensacion* las que están provistas de un condensador donde se licua el vapor despues de haber actuado sobre el émbolo, y *máquinas sin condensacion* aquellas que no tienen condensador, como son las locomotoras.

467. Caballo de vapor. — En mecánica aplicada se entiende por *trabajo mecánico* de un motor el producto del esfuerzo que ejerce por el camino que este recorre, y se toma como unidad del trabajo mecánico el *kilográmetro*, ó sea el trabajo necesario para elevar 1 kilogramo á 1 metro de altura en 1 segundo (36).

En la apreciacion del trabajo de las máquinas de vapor sirve de unidad el *caballo de vapor*, que representa el *trabajo necesario para elevar 75 kilogramos á 1 metro de altura en 1 segundo*, es decir, que equivale á 75 kilográmetros. Por consiguiente, una máquina de 40 caballos es la que puede elevar de un modo continuo cuarenta veces 75 kilogramos, ó sean 3000 kilogramos, á 1 metro de altura por segundo. El trabajo de un caballo de vapor es casi doble del de un caballo ordinario de tiro.

En 1866 se contaban en Inglaterra 3 650 000 caballos de vapor.

LIBRO VII.

LUZ.

CAPÍTULO PRIMERO.

TRASMISION, VELOCIDAD É INTENSIDAD DE LA LUZ.

468. Luz: hipótesis acerca de su naturaleza.—La *luz* es el agente que por su acción sobre la retina produce en nosotros el fenómeno de la vision. La parte de la Física que trata de la teoría de la luz se llama *óptica*.

A fin de explicar el origen de la luz se han adoptado las mismas hipótesis que para el calor, á saber: la de la *emision* y la de las *ondulaciones*. La última, única hoy admitida, y mantenida sucesivamente por Descartes, Grimaldi, Huyghens, Euler, Tomás Young, Malus y Fresnel, supone que las moléculas de los cuerpos luminosos están animadas de un movimiento vibratorio infinitamente veloz que se comunica al éter (267). En esta hipótesis, una conmocion en un punto cualquiera del éter se propaga en todos sentidos bajo la forma de ondas esféricas luminosas, de la propia manera que el sonido se trasmite en el aire por las ondas sonoras. Sin embargo, admítase que las vibraciones del éter se producen, no perpendicularmente á la superficie de la onda luminosa, como en la propagacion del sonido, sino segun esta misma superficie, esto es, perpendicularmente á la direccion que al propagarse sigue la luz; lo cual se expresa diciendo que las vibraciones son *transversales*. Podemos formarnos una idea de estas vibraciones agitando una cuerda por uno de sus extremos: el movimiento se trasmite serpenteando hasta el otro extremo, efectuándose la propagacion en el sentido de la cuerda, aunque al través de las vibraciones. Ahora bien, como el éter penetra los medios que llenan la cavidad del ojo, las ondas luminosas van á parar al nervio óptico abierto en el fondo de este órgano, de manera que la sensacion de la luz, lo mismo que la del sonido y la del calor, es debida á una comunicacion de movimiento.

Las ondulaciones del éter, que producen la luz, solo difieren de las que engendran el calor por el tiempo que dura el período de vibracion. Estas últimas son demasiado lentas para conmover la retina, y por lo tanto el calor es invisible, no siendo luminosas las ondulaciones del éter sino mas allá de cierta velocidad de vibracion, y aun se verá mas adelante (614) que su mayor ó menor frecuencia es la que origina en nosotros la sensacion de los diferentes colores.

469. Cuerpos luminosos, iluminados, diáfanos, traslucientes y opacos.—Dáse el nombre de *cuerpos luminosos* á los que emiten luz, como el Sol y las sustancias en ignicion, no siendo estos los únicos visibles para nosotros, pues los no luminosos lo son tambien, aunque con la condicion de estar *iluminados*, esto es, de recibir luz de un origen cualquiera, cuya luz devuelta luego en todas direcciones por estos cuerpos,

segun verémos al tratar de la *reflexion* (480), es la que los hace visibles. Así es que todos los cuerpos no luminosos aparecen situados por encima de nuestro horizonte visual; pero en la oscuridad cesan de ser visibles, al paso que los cuerpos luminosos por sí mismos lo son siempre.

Cuerpos *diáfanos ó transparentes* son los que dejan pasar fácilmente la luz, y al través de los cuales se distinguen los objetos, como sucede con el agua, los gases y el vidrio lustroso. *Cuerpos traslucientes* son los que tambien permiten paso á la luz, pero sin que sea posible reconocer la forma de los objetos, tales como el vidrio deslustrado y el papel impregnado de aceite. Finalmente, se llaman *cuerpos opacos* aquellos por entre los cuales no hay trasmision de luz, cuales son las maderas y los metales; con todo, no existen cuerpos completamente opacos, pues todos son mas ó menos traslucientes una vez reducidos á hojas bastante delgadas. Foucault hizo ver que plateando con una capa muy ténue la superficie exterior de los objetivos de un anteojo, dicha capa de plata es tan transparente que al través de ella se observa perfectamente el Sol sin peligro para la vista, pues la capa de plata refleja la mayor parte del calor y de la luz (1).

470. **Rayo y haz luminoso.**—Las palabras *rayo, haz, haz paralelo, haz divergente*, se toman aqz en el mismo sentido que en el calor (408). Además se dice que un haz es *convergente* cuando concurren los rayos hácia un mismo punto; si el haz es muy divergente recibe el nombre de *píncel*.

471. **Propagacion de la luz en un medio homogéneo.**—Un *medio* es el espacio, lleno ó vacío, en donde se produce un fenómeno. El aire, el agua y el vidrio son medios en los cuales se propaga la luz. Es *homogéneo* un medio, cuando su densidad y composicion química son idénticas en todas sus partes.

En todo medio homogéneo se propaga la luz en línea recta. En efecto, si se interpone un cuerpo opaco en la línea recta que une el ojo con un cuerpo luminoso, queda interceptada la luz. Obsérvese tambien que la luz que penetra en la cámara oscura por un pequeño orificio, traza en el aire un surco luminoso rectilíneo, que se hace visible iluminando las moléculas de polvo que flotan en la atmósfera.

Sin embargo, la luz varía de direccion cuando encuentra un obstáculo que no puede penetrar, ó cuando pasa de un medio á otro. Pronto describirémos estos fenómenos con los nombres de *reflexion* y de *refraccion* (480 y 504).

472. **Sombra, penumbra, reflejo.**—La *sombra* de un cuerpo es el lugar del espacio en el cual impide que penetre la luz. Si se desea determinar la extension y la forma de la sombra que un cuerpo proyecta, hay que distinguir dos casos: aquel en que el foco luminoso es un punto único, ó bien cuando es un cuerpo de una extension cualquiera.

(1) «Algunos cuerpos son transparentes porque el éter y sus átomos están entre si en tal proporcion, que las ondas que originan la luz pasan entre los átomos sin cederles el movimiento de que están animadas. En los cuerpos colorados (536), algunas ondas se detienen ó son absorbidas, pero las que dan su color al cuerpo trasparente le atraviesan completamente. Por ejemplo, las ondas azules pasan sin impedimento alguno al través de una disolucion de sulfato de cobre, mientras que las de color rojo se extinguen totalmente. Dedúcese de aqui que los cuerpos, por lo que toca á las ondas luminosas, poseen una especie de poder de eleccion, separando ciertas ondas para destruirlas, y dejando pasar otras. La transparencia para una onda no implica necesariamente la de las demás, pudiéndose deducir razonablemente de este hecho que la transparencia para la luz no supone la del calor radiante, como puede confirmarse experimentalmente (431).» (Tyndall, *El calor*).

En el primer caso, sean S (fig. 473) el punto luminoso, y M el cuerpo que produce la sombra, y que supondremos esférico. Si se concibe una recta indefinida SG que se mueve alrededor de la esfera M , siéndole tangente y pasando constantemente por el punto S , dicha recta engendra

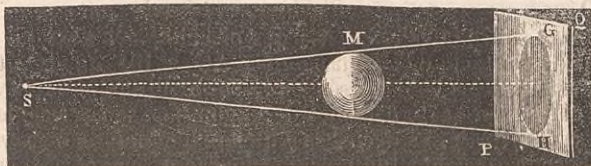


Fig. 473.

una superficie cónica, que separa, mas allá de la esfera, la porción del espacio que queda en la sombra del que está iluminado. En el caso que consideramos, si se colocara detrás y á cierta distancia del cuerpo opaco una pantalla PQ , el tránsito en ella de la sombra á la luz sería brusco, pero no es esto lo que acontece comunmente, puesto que los cuerpos luminosos poseen siempre cierta extension.

Supongamos, en efecto, para simplificar la demostracion, que los cuerpos iluminante é iluminado sean dos esferas SL y MN (fig. 474). Si

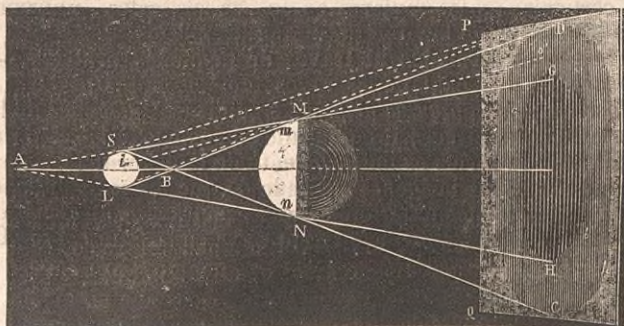


Fig. 474.

se concibe que una recta indefinida AG se mueve tangencialmente á las dos esferas, cortando siempre la línea de los centros en el punto A , dicha línea engendra una superficie cónica que tiene por vértice el citado punto, y que limita, detrás de la esfera MN , un espacio $MGHN$ completamente privado de la luz. Si en la actualidad una segunda recta LD , que corta la línea de los centros en B , gira tambien tangencialmente á las dos esferas, de manera que engendre una nueva superficie cónica BDC , se reconoce, por la inspeccion de la figura, que todo el espacio exterior, con respecto á dicha superficie, se halla completamente iluminado. En efecto, si se coloca una pantalla PQ detrás del cuerpo opaco, cualquier punto o de esta pantalla situado fuera de la superficie DBC , puede unirse, por medio de una recta, á todos los puntos de SL , sin que se interponga el cuerpo opaco; pero todo punto o' , comprendido entre las dos superficies cónicas solo puede recibir luz de los puntos de SL situados sobre la recta $o'a$; por consiguiente, el punto o' está menos iluminado

que el punto *o*. Finalmente, si se considera un punto cualquiera de la parte central *GaHb*, como aquel no puede recibir luz de ninguna parte del cuerpo *SL*, se halla completamente en la sombra. La porcion anular *DhCgGbHa*, mas iluminada que la central, y menos que el resto de la pantalla, recibe el nombre de *penumbra*; su resplandor aumenta desde *G* hácia *D*.

Si se trazan sobre la esfera opaca dos círculos *MN* y *mn* que pasen por los puntos de contacto de las tangentes *AG* y *BD*, queda determinada una zona *mnMN* á la cual corresponde tambien una penumbra.

Las sombras, tal cual acabamos de obtenerlas, son las sombras *geométricas*; pero las *físicas*, es decir, las que realmente se observan, no se hallan tan rigurosamente limitadas. Adviértese, en efecto, que cierta cantidad de luz pasa á la sombra, y que tambien se observa algo de sombra en la parte iluminada. Este fenómeno es el que mas adelante describirémos con el nombre de *difraccion* (611).

Cuando un cuerpo opaco intercepta la luz por una de sus caras, nunca está completamente oscura la cara opuesta, sino que siempre se halla mas ó menos iluminada por la luz que reflejan los cuerpos inmediatos. Este efecto de reverberacion se denomina *reflejo*. Como la luz reflejada por un cuerpo colorado participa, en general, del color propio del mismo, resulta que los reflejos adquieren á su vez el tinte de los objetos próximos. Los pintores en sus cuadros, los decoradores de habitaciones en la eleccion de cortinajes, y las mujeres en los de sus galas, utilizan artísticamente los efectos de luz que presentan los reflejos.

473. Imágenes formadas al través de pequeños orificios.— Cuando se proyectan en una pantalla los rayos luminosos que penetran en una cámara oscura *por un pequeño orificio*, se obtienen imágenes de los objetos exteriores, que ofrecen los siguientes fenómenos: 1.º el de aparecer invertidas; 2.º su forma es independiente de la del orificio.

La inversion de las imágenes depende de que los rayos luminosos que proceden de los objetos exteriores y que penetran en la cámara oscura, se cruzan al pasar por el orificio segun se ve en la figura 475. Como los

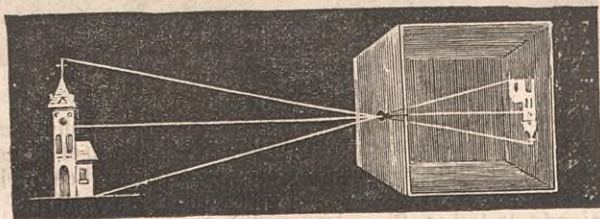


Fig. 475.

rayos continúan propagándose en línea recta, los que parten de los puntos mas altos del objeto encuentran la pantalla en los mas bajos, y recíprocamente, los que proceden de la parte inferior van á proyectarse en los puntos superiores de aquella; de aquí la inversion de la imagen. En el artículo *Cámara oscura* (568) veremos cómo se aumenta el brillo y la claridad de las imágenes por medio de vidrios convergentes, y qué medios se emplean para que aparezcan en su verdadera posicion.

Para demostrar que la forma de la imagen es independiente de la de

la abertura, cuando esta es suficientemente pequeña y se halla á una distancia conveniente de la pantalla, supongamos un orificio triangular *O* (fig. 476) abierto en el ventanillo de una cámara oscura, y una pantalla *ab* sobre la cual se recibe la imágen de una llama *AB*, situada en la parte

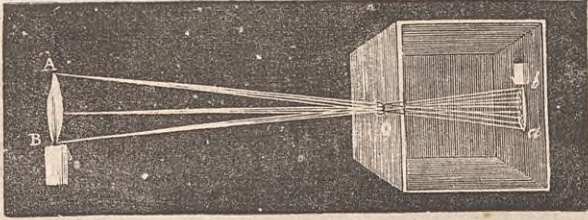


Fig. 476.

exterior. De cada punto de la llama penetra en la cámara un haz de luz divergente, que forma en la pantalla una imágen triangular, semejante á la abertura; pero la reunion de todas estas imágenes parciales produce una total de la misma forma que el objeto luminoso. En efecto, si concebimos que una recta indefinida se mueva en la abertura de la ventana, que suponemos muy pequeña, con la condicion de que permanezca siempre tangente al objeto luminoso *AB*, dicha recta describe en su movimiento dos superficies cónicas cuyo vértice está en el orificio mismo de la cámara, y las bases respectivamente, la de la una, en el cuerpo luminoso, y la de la otra, en la parte iluminada de la pantalla, ó sea la imágen. Por lo tanto, si la pantalla es perpendicular á la recta que une el centro de la abertura con el del cuerpo luminoso, la imágen es semejante á este; pero si aquella es oblicua, la imágen se presenta prolongada en el sentido de la oblicuidad. Tal es lo que se observa, por ejemplo, en la sombra que da el ramaje de los árboles, pues los haces luminosos que pasan al través de las hojas, ofrecen imágenes del Sol, que son circulares ó elípticas, segun que la superficie sobre el cual se proyectan sea perpendicular ú oblicua á los rayos solares, cualquiera que sea, por otra parte, la forma de los intersticios que dejan entre sí las hojas para el paso de la luz.

474. Velocidad de la luz.—La luz se propaga con tal velocidad que es imposible, en la superficie de la tierra, hallar un intervalo apreciable para medirla, por mucha distancia que medie entre el momento en que se produce un fenómeno luminoso, y aquel en el cual lo percibe la vista; por lo tanto, ha sido preciso determinar dicha velocidad por medio de observaciones astronómicas. El astrónomo danés Rømer fué el primero que, en 1675, dedujo la velocidad de la luz, observando los eclipses del primer satélite de Júpiter.

Se sabe que Júpiter es un planeta alrededor del cual giran rápidamente cuatro satélites, de la misma manera que la Luna gira alrededor de la Tierra. Su primer satélite, ó sea el mas próximo al planeta, efectúa sus *inmersiones*, es decir, entra en la sombra proyectada por Júpiter á intervalos iguales de tiempo, cuya duracion es $42^{\text{h}} 28^{\text{m}} 36^{\text{s}}$; por consiguiente dicho satélite se eclipsa periódicamente en cada uno de estos intervalos. Ahora bien, antes de las observaciones de Rømer, construyó Domingo Cassini unas tablas basadas en un gran número de observaciones, las

cuales habian de servir para predecir los eclipses de los satélites de Júpiter; pero al emplear Røemer dichas tablas, se cercioró de que no eran exactas, pues los eclipses acontecian unas veces antes y otras despues de lo que resultaba del cálculo. Cuando Júpiter se hallaba en *oposicion*, es decir, cuando la Tierra estaba entre aquél planeta y el Sol, el cálculo efectuado con las tablas era erróneo por predecir el eclipse para un tiempo anterior al verdadero; y al revés, en la época de las *conjunciones*, es decir, cuando el Sol está entre la Tierra y Júpiter, el error era en sentido contrario. Esta observacion fué la que condujo á Røemer al descubrimiento de la velocidad de la luz.

En efecto, en la oposicion y al acercarse á ella, hallándose el Sol en (fig. 477), la Tierra en T, y Júpiter en j, la distancia de la tierra á Jupi.

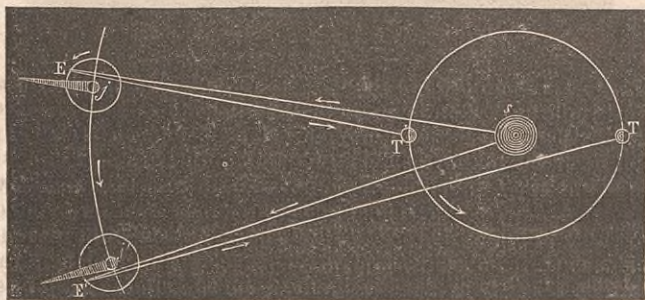


Fig. 477.

ter, y por consiguiente á su satélite E, es próximamente $sj - Ts$, es decir, la diferencia entre la distancia del Sol á Júpiter, y la de la Tierra al Sol, mientras que en la época de las conjunciones, ó sea cuando la Tierra se halla en T' y Júpiter en j', la distancia de la Tierra á Júpiter viene á ser $sj' + T's$. Como la distancia T'j' excede á la Tj en el duplo de la que media entre la Tierra y el Sol, la luz de este, reflejada hácia aquella por el satélite E, tiene que recorrer en el segundo caso un camino mayor que en el primero, pues le excede en el duplo de la distancia sT: esta es la causa del retraso observado por Røemer.

Para valuar este retraso, imaginemos que se observa un eclipse del satélite E, es decir, el momento de su inmersion en el cono de sombra proyectada por Júpiter, cuando este planeta se halla en j y la Tierra en T; y que luego se observa otro eclipse cuando los dos planetas se hallan respectivamente en j' y T', es decir, cuando la distancia que los separa ha aumentado en la totalidad del diámetro de la órbita terrestre. De estas dos observaciones resulta que el tiempo trascurrido entre ellas, no es el producto $42^h 28^m 36^s$ por el número de veces que se ha eclipsado el satélite E durante el tiempo empleado por la Tierra en trasladarse del punto T al T', sino que excede á dicho producto en $16^m 26^s$. Este es, por lo tanto, el tiempo que emplea la luz en recorrer la distancia TT', que es doble de la de la Tierra al Sol. Dedúcese de aquí que la luz emplea $8^m 13^s$ en recorrer la distancia entre el Sol y la Tierra, lo cual, atendida esta distancia, representa una velocidad por segundo de 77000 leguas de 4000 metros, ó sean 30800 miriámetros.

Esta velocidad es la determinada por Struve observando la aberracion de las estrellas fijas; la que determinó Roemer era algo mayor.

Las estrellas mas próximas á la tierra se encuentran por lo menos á una distancia 206,265 veces mayor que la que nos separa del Sol, y por consiguiente, la luz que proyectan tarda mas de 3 años y 3 meses en llegar hasta nosotros. Por lo que hace á las estrellas que no son visibles sino por medio del telescopio, se encuentran á tal distancia de la tierra, que se requieren millares de años para que llegue su luz hasta nosotros, de suerte que pueden trascurrir muchos siglos desde su desaparicion, sin dejar de verlas y de estudiar sus movimientos.

Fig. 478. Experimentos del Sr. Foucault para medir la velocidad de la luz.—A pesar de la prodigiosa velocidad de la luz, el Sr. Foucault consiguió determinarla experimentalmente por medio de un ingenioso aparato fundado en el uso del espejo giratorio, adoptado ya por Wheatstone para medir la velocidad de la electricidad.

Antes de describir este aparato, indicaremos que lo que vamos á exponer supone que nos son conocidas las propiedades de los espejos y las de las lentes (490 y 522). La figura 478 representa, en un plano horizontal, las principales disposiciones del aparato del Sr. Foucault. El ventanillo K de una cámara oscura posee un orificio cuadrado, detrás del cual se halla tenso verticalmente un alambre fino de platino *o*. Un haz de luz solar reflejado en la parte exterior sobre un espejo, penetra en la cámara por el orificio cuadrado, encuentra el alambre de platino, y de aqui se dirige á una lente acro-

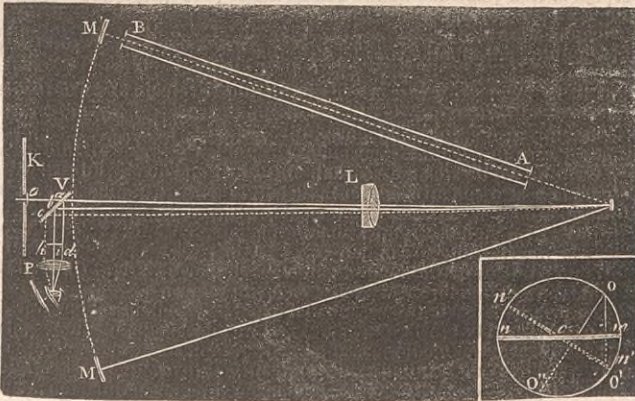


Fig. 478.

Fig. 479.

mática *L*, de largo foco, situada á una distancia del alambre, menor que el doble de la distancia focal principal. La imagen del alambre de platino tiende á formarse entonces sobre el eje de la lente, con dimensiones mas ó menos amplificadas; pero el haz luminoso, despues de haber atravesado la lente, encuentra un espejo plano *m*, que gira con gran velocidad, sobre el cual se refleja, y forma en el espacio una imagen del alambre de platino, que se va moviendo con una velocidad angular doble de la del espejo (1). Esta imagen es reflejada por un espejo *M*, cóncavo y fijo, cuyo centro de curvatura coincide con el eje de rotacion del espejo giratorio *m* y con su centro de figura. El haz reflejado en el espejo *M*, retrocede sobre si mismo, se refleja de nue-

(1) Para demostrarlo, sean *mn* (fig. 479) el espejo giratorio, *O* un objeto fijo, situado delante de él, cuya imagen se forma en *O'*. Cuando el espejo acepta la posición *m'n'* se forma la imagen en *O''*. Los dos ángulos *O'OO''* y *mcm'* son iguales, por tener los lados respectivamente perpendiculares, pero el ángulo inscrito *O'OO''* tiene por medida la mitad del arco *O'O''*, mientras que la del ángulo *mcm'*, cuyo vértice está en el centro, es todo el arco *mm'*. De consiguiente, el arco *O'O''* es doble que el *mm'*, lo cual nos demuestra que la velocidad angular de la imagen es doble de la del espejo.

vo en el espejo m , cruza por segunda vez la lente, y va á formar una imagen del alambre de platino que aparece sobre este mismo alambre mientras el espejo m gira con lentitud.

A fin de ver esta imagen sin interceptar el haz que entra por el orificio o , se coloca un cristal de vidrio V , de caras paralelas, entre la lente y el alambre de platino, y se le inclina de manera que los rayos reflejados vayan á caer sobre un poderoso ocular P .

Sentado esto, si el espejo m está en reposo, ó si gira con escasa velocidad, el rayo de retorno Mm encuentra al espejo m en la misma posición que tenía en el momento de la primera reflexión; recobra, pues, la misma dirección que ya siguió, encuentra en a el espejo V , se refleja en él parcialmente, y va á formar en d , á una distancia $ad = ao$, la imagen que observa el ojo con el ocular P . A cada revolución del espejo m reaparece dicha imagen, y si su velocidad de rotación es uniforme, queda aquella inmóvil en el espacio. Para velocidades que no pasen de 30 vueltas por segundo, se distinguen las apariciones sucesivas de la imagen; pero pasado este límite, persisten las impresiones en el ojo, y aparece aquella completamente tranquila.

Por último, si el espejo m gira con suficiente velocidad, se percibe el cambio de posición que efectúa mientras la luz recorre el doble trayecto de m á M y de M á m ; el rayo de retorno, después de su reflexión en m , acepta la dirección mb , y va á formar su imagen en i , es decir, que la desviación total de esta es di . Rigorosamente hablando, apenas gira el espejo, aunque sea con lentitud, hay desviación, pero no es apreciable hasta que adquiere cierta magnitud, lo cual exige una velocidad de rotación bastante rápida, ó una distancia Mm suficientemente grande, porque la desviación crece por precisión, como el tiempo que tarda la luz en volver sobre sí misma.

En el experimento de Foucault, la distancia Mm solo fué de 4 metros, y dando entonces al espejo m una velocidad de 600 á 800 vueltas por segundo, se obtuvieron desviaciones de 2 á 3 décimos de milímetro.

Suponiendo que $Mm = l$, $Lm = l'$, $oL = r$, y representando por n el número de vueltas por segundo, por δ la desviación absoluta di , y por V la velocidad de la luz

obtuvo Foucault la fórmula $V = \frac{8\pi l'n r}{\delta(l+l')}$, y halló que la velocidad de la luz es 74500

leguas de 4000 metros, ó sean 29800 miriámetros.

El aparato de Foucault permite experimentar también sobre los líquidos. Al efecto se interpone un tubo AB de tres metros de longitud y lleno de agua destilada, entre el espejo giratorio m y otro cóncavo M' idéntico al M . Los rayos luminosos reflejados por el m en la dirección mM atraviesan dos veces la columna de agua AB antes de volver sobre el espejo V . El rayo de retorno acaba de reflejarse entonces en c , y de formar su imagen en h , y la desviación, por lo tanto, es mayor para los rayos que han atravesado el agua, que para los que se han propagado solo por el aire, lo cual indica que la velocidad de la luz es menor en el agua que en aquel fluido.

Esta consecuencia es la parte interesante del experimento del Sr. Foucault. En efecto, habiendo patentizado la teoría que, en el sistema de las ondulaciones, la velocidad de la luz es menor en el medio más refringente, mientras que en el de la emisión se verifica lo contrario, el resultado que Foucault obtuvo, demuestra que el sistema que debe adoptarse exclusivamente, ha de ser el de las ondulaciones, pues luego veremos (518), que el agua es más refringente que el aire.

Por lo que hace al mecanismo que le sirvió á Foucault para comunicar una gran velocidad al espejo giratorio, consiste en una pequeña turbina de vapor, algo parecida á la sirena, y que, como esta, produce un sonido, tanto más agudo, cuanto más rápida es la rotación: de la altura del sonido se deduce la velocidad de rotación.

476. Experimento de Fizeau. — El Sr. Fizeau midió directamente, en 1849, la velocidad de la luz, observando el tiempo que le era necesario para propagarse de Suresnes á Montmartre y vice-versa. El aparato que empleó consistía en una rueda dentada, que giraba con más ó menos velocidad, y cuyos intervalos, entre cada dos dientes, eran rigurosamente iguales á la anchura de estos. Colocada esta rueda y el mecanismo que la movía en Suresnes, pasaba entre dos dientes un haz de luz paralelo é iba á reflejarse en un espejo situado en Montmartre, desde donde el haz volvía hacia la rueda dirigido por un sistema de tubos y lentes. Mientras la rueda estaba en reposo, el haz volvía á pasar precisamente por entre los mismos dientes por donde había salido; pero girando la rueda con suficiente rapidez, uno de los dientes venía á ocupar el lugar del intervalo inmediato, interceptando el haz que el observador recibía á través de un ocular. Girando la rueda con mayor rapidez, reaparecía el haz en el momento de la vuelta, cuando el espacio entre los dos dientes que seguían había ocupado el sitio del primero.

Por la dimensión de la rueda, su velocidad de rotación y su distancia al espejo reflector, que era de 8635 metros, halló Fizeau que la velocidad de la luz es de 31200

miriámetros, número que se diferencia muy poco del que da la observacion de los fenómenos astronómicos.

477. Leyes de la intensidad de la luz.—Tomando por *intensidad* de una luz la cantidad recibida sobre la unidad de superficie de un cuerpo iluminado, dicha intensidad está sometida á las dos leyes siguientes:

1.^a *La intensidad de la luz recibida normalmente en una superficie dada, está en razon inversa del cuadrado de la distancia al foco luminoso.*

2.^a *La intensidad de la luz, recibida oblicuamente, es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos luminosos con la normal á la superficie iluminada.*

Estas dos leyes se demuestran idénticamente por el mismo razonamiento que las análogas 1.^a y 3.^a del calor (410), sustituyendo un foco de luz al de calor (figs. 437 y 441). Además, la ley del coseno se aplica también á los rayos emitidos oblicuamente por una superficie luminosa, cuyos rayos son tanto menos intensos, cuanto mas inclinados están sobre la superficie que los emite (2.^a ley del calor).

La divergencia de los rayos luminosos emitidos desde un mismo foco hace que la intensidad de la luz esté en razon inversa del cuadrado de la distancia. Respecto de los paralelos la intensidad es constante, por lo menos en el vacío, pues en el aire y demás medios transparentes decrece por un efecto de absorcion (548), aunque con mucha mas lentitud que aumenta el cuadrado de la distancia.

Vamos á ver ahora (479) cómo se prueba experimentalmente por medio del fotómetro la primera ley de la intensidad de la luz.

478. Fotómetros.—Llámanse *fotómetros* unos aparatos que sirven para comparar las intensidades relativas de dos luces. Se han ideado muchos, pero todos ellos dejan bastante que desear respecto á exactitud.

Fotómetro de Rumford.—Consta de una pantalla de vidrio deslustrado delante de la cual se fija una varilla opaca *m* (fig. 480). A cierta distancia

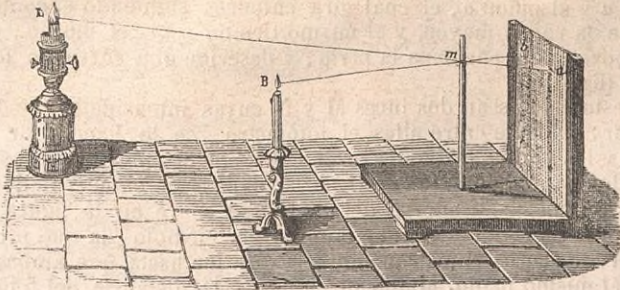


Fig. 480.

se ponen las luces que se quieren comparar, por ejemplo, un quinqué y una bujía, de suerte que cada una proyecta sobre la pantalla una sombra de la varilla. Estas sombras así proyectadas son desde luego de desigual intensidad; pero alejando ó acercando poco á poco el quinqué, se obtiene una posición en que es idéntica la intensidad de las dos sombras *a* y *b*, lo cual indica que la pantalla está igualmente iluminada por ambas luces. Entonces *las intensidades de estas dos luces son directamente pro-*

porcionales á los cuadrados de sus distancias á las sombras proyectadas; es decir, que si el quinqué está, por ejemplo, tres veces mas distante que la bujía, esto da á entender que alumbrá nueve veces más.

Efectivamente, sean i é i' las intensidades del quinqué y de la bujía á la unidad de distancia, y d y d' sus distancias respectivas á las sombras proyectadas. En virtud de la primera ley de la intensidad de la luz (477), la del quinqué á la distancia d es $\frac{i}{d^2}$, y la de la bujía $\frac{i'}{d'^2}$ á la distancia d' . Es así que estas dos intensidades son iguales en la pantalla; luego se tiene la igualdad $\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d'^2}$, de donde $\frac{i}{i'} = \frac{d^2}{d'^2}$, que es lo que se quería demostrar.

Fotómetro de Wheatstone.—La pieza principal de este aparato es una perla de acero P (fig. 481), dispuesta sobre el borde de un disco de corcho, sostenido á su vez por un piñon o que engrana interiormente con una rueda de mayor tamaño, la cual está fija en una cajita cilíndrica de cobre que puede tenerse en una mano, mientras que con la otra se da



Fig. 481.



Fig. 482.

vueltas á un manubrio A, que trasmite el movimiento á un eje central, al rádio a y al piñon o , el cual gira entonces siguiendo el contorno interior de la rueda mayor, y al mismo tiempo sobre sí mismo, de cuyo doble movimiento participa la perla, y describe una curva en forma de roseton (fig. 482).

Supuesto esto, sean dos luces M y N cuyas intensidades se trata de comparar: colócase entre ellas el fotómetro, se le hace girar rápidamente, y los puntos brillantes producidos por la reflexion de las dos luces en dos puntos opuestos de la perla, dan origen entonces á dos rastros ó líneas luminosas dispuestas del modo que se ve en la figura 482. Si una de ellas es mas intensa que la otra, por ejemplo, la que procede de la luz M, se acerca el instrumento á la otra luz hasta que ambas señales tengan el mismo brillo. Midiendo entonces la distancia del fotómetro á cada luz, sus intensidades son proporcionales á los cuadrados de las distancias.

479. Demostracion de la primera ley de la intensidad de la luz.—Demuéstrase con el fotómetro de Rumford que la intensidad de la luz está en razon inversa del cuadrado de la distancia, disponiendo el experimento como en la figura 483. Situada una bujía á cierta distancia Bb de la pantalla del fotómetro, se disponen otras cuatro idénticas á la primera en línea recta con la varilla m , y luego se las separa hasta que las dos sombras a y b , proyectadas en la pantalla, aparezcan igualmente oscu-

ras. Si se mide entonces la distancia media Aa de las cuatro bujías á la pantalla, se ve que es doble de Bb ; lo cual comprueba la ley, puesto que cuatro bujías á una distancia de 2 metros, por ejemplo, alumbran tanto

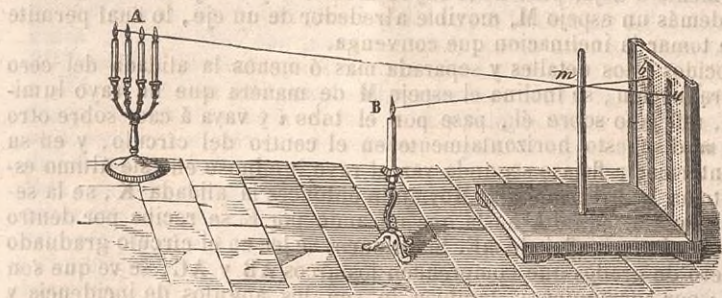


Fig. 483.

como una sola á la distancia de 1 metro. Puede verse asimismo que nueve bujías á una distancia de 3 metros alumbran lo mismo que una sola á la distancia de 1 metro.

CAPITULO II.

REFLEXION DE LA LUZ : ESPEJOS.

480. Leyes de la reflexion de la luz. — Cuando un rayo luminoso encuentra una superficie pulimentada, se refleja con arreglo á las dos leyes siguientes, que son las mismas que para el calor.

1.^a El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.

2.^a Los rayos incidente y reflejado están en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.

Las voces *rayo incidente*, *rayo reflejado*, *ángulo de incidencia*, *ángulo de reflexion* se toman aquí en el mismo sentido que en el párrafo 414, donde pueden verse sus definiciones.

1.^a *Demostracion* — Las dos leyes precedentes se demuestran experimentalmente por medio del aparato representado en la figura 484, el cual consiste en un círculo graduado de cobre, colocado verticalmente sobre un trípode con tornillos para nivelar. En A está el cero de la graduacion, que se extiende á derecha é izquierda de dicho punto hasta 90°; forman tambien parte del aparato dos alidadas de cobre K é I que pueden girar libremente alrededor de un eje central



Fig. 484.

situado detrás del círculo. Estas alidadas llevan consigo dos tubitos *i*, *c*, dispuestos de manera que las prolongaciones de sus ejes se cortan precisamente en el centro del círculo; dichos tubitos están destinados respectivamente á dejar paso á los rayos incidente y reflejado. La alidada *I* lleva además un espejo *M*, movable alrededor de un eje, lo cual permite hacerle tomar la inclinacion que convenga.

Conocidos estos detalles y separada mas ó menos la alidada del cero de la graduacion, se inclina el espejo *M* de manera que un rayo luminoso *S*, reflejado sobre él, pase por el tubo *i* y vaya á caer sobre otro espejo *m* dispuesto horizontalmente en el centro del círculo, y en su parte anterior; refléjase segunda vez el rayo luminoso en este último espejo y toma la direccion *mE*. Moviendo entonces la alidada *K*, se la separa ó acerca al punto *A* hasta que mirando por *E* se reciba por dentro del tubo *c* el rayo reflejado *mE*. Si entonces se lee en el círculo graduado el número de grados que comprenden los arcos *AB* y *AC*, se ve que son iguales; por consiguiente, tambien lo son los ángulos de incidencia y de reflexion *Bma* y *amC* medidos por dichos arcos, con lo cual se demuestra la primera ley.

La segunda queda tambien demostrada por la disposicion misma del aparato, pues los ejes de los tubitos *c* é *i* están en un mismo plano paralelo al del círculo graduado, y por consiguiente, perpendicular á la superficie del espejo *m*.

2.^a *Demostracion*.—Pueden tambien demostrarse las leyes de la reflexion de la luz por medio del siguiente experimento, que ofrece mayor exactitud que el anterior. Colócase verticalmente un círculo gradua-

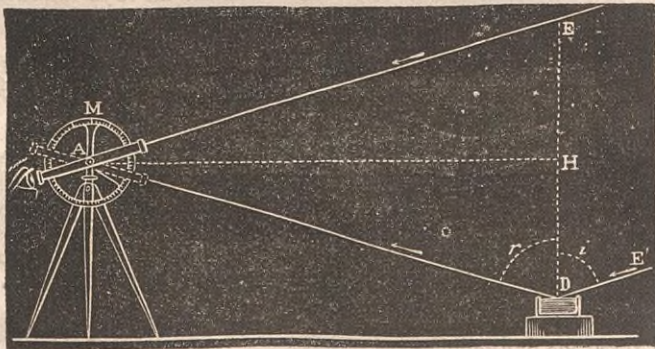


Fig. 485.

do *M* (fig. 485), en cuyo centro hay un anteojo móvil en un plano paralelo al limbo, y á la debida distancia se situa un vasito lleno de mercurio, que hace las veces de un espejo plano perfectamente horizontal: dispuesto esto así, se dirige por el anteojo una visual *AE* á una estrella notable de primera ó segunda magnitud, y en seguida se le inclina de modo que su eje coincida con un rayo *AD*, procedente de la misma estrella, despues de haberse reflejado en *D* sobre la superficie brillante del mercurio; pues bien, obsérvase de esta manera que los dos ángulos formados por los rayos *EA* y *DA*, con la horizontal *AH*, son iguales, de donde es fácil inferir que el ángulo de incidencia *E'DE* es igual al de re-

flexion EDA, pues si se supone la DE normal á la superficie del mercurio, siendo esta recta perpendicular á la AH, el triángulo AED es isósceles, y los ángulos ADE y AED son iguales; pero siendo paralelos, por la gran distancia de la estrella, los dos rayos luminosos AE y DE', los ángulos AED y EDE' son tambien iguales como alternos internos; luego $EDE' = ADE$ que es lo que se queria demostrar.

481. Reflexion irregular.—La reflexion sobre la superficie de los cuerpos pulimentados conforme á las dos leyes antes enunciadas (480), se conoce con el nombre de *reflexion regular ó especular*; pero la cantidad de luz así reflejada dista mucho de representar toda la incidente. Esta, cuando el cuerpo reflejante es opaco, se divide en dos partes, á saber: una que se refleja con toda regularidad, y la otra *irregularmente*, esto es, en todas direcciones (416).

La luz reflejada irregularmente se llama *luz difusa*, y es la que nos hace ver los cuerpos, pues la que lo efectúa con regularidad no da la imagen del cuerpo que la refleja, sino la del que la emite. Así, por ejemplo, si en una cámara oscura se recibe un haz de luz solar sobre un espejo bien pulimentado, cuanto mas regularmente refleja este la luz, tanto menos visible es desde las diversas partes del recinto, pues el ojo que entonces recibe el haz reflejado no ve el espejo, sino tan solo la imagen del Sol. Para convencerse de ello no hay mas que echar encima del espejo cierta cantidad de polvo finísimo, lo cual disminuye su poder reflector, y entonces aumentará la cantidad de luz difusa, se debilitará la imagen solar y será visible el espejo desde todas las partes del recinto.

482. Intensidad de la luz reflejada.—En un mismo cuerpo, la intensidad de la luz reflejada regularmente aumenta con el grado de pulimento y con el ángulo que los rayos incidentes forman con la normal á la superficie reflejante. Por ejemplo, si se mira muy oblicuamente un pliego de papel blanco situado delante de una bujía, se ve por reflexion una imagen de la llama, lo cual no sucede cuando los rayos son menos oblicuos.

En cuerpos de naturaleza diferente, pulimentados con el mismo esmero, siendo igual el ángulo de incidencia, la intensidad varía con la sustancia, y tambien con el medio en que está sumergido el cuerpo reflejante; así, por ejemplo, el vidrio lustroso, introducido en el agua, pierde gran parte de su poder reflejante.

REFLEXION DE LA LUZ SOBRE SUPERFICIES PLANAS.

483. Espejos é imágenes.—Llámase *espejo* todo cuerpo cuya superficie, perfectamente pulimentada, refleja la luz con regularidad, reproduciendo la imagen de los objetos que se le presentan. Clasificanse los espejos por su forma, en *planos, cóncavos, convexos, esféricos, parabólicos, cónicos*, etc.

484. Formacion de las imágenes en los espejos planos.—La determinacion de la posicion y del tamaño de las imágenes se reduce siempre á la investigacion de las imágenes de una serie de puntos. Sea, por lo tanto, en primer lugar, un punto único A, luminoso ó iluminado, situado delante de un espejo plano MN (fig. 486); un rayo cualquiera AB que parta de dicho punto y encuentre al espejo, se reflejará en la direccion BO, formando el ángulo de reflexion DBO igual al de incidencia ABD. Si desde A se baja una perpendicular AN sobre el espejo, y se

prolonga el rayo OB por debajo del mismo hasta que encuentre á dicha perpendicular en un punto a , se forman dos triángulos ABN y BNa que son iguales, porque tienen un lado comun BN , adyacente á dos ángulos iguales, á saber: los ANB y BNa , que son rectos, y los ABN y NBa , iguales entre sí, pues ambos lo son al OBM . De la igualdad de estos triángulos resulta que aN es igual á AN , es decir, que un rayo cualquiera AB acepta, despues de la reflexion, una direccion tal, que prolongándole por debajo del espejo, va á cortar á la perpendicular Aa , en un punto a , situado precisamente á la misma distancia del espejo que el A . Pero esta propiedad no es peculiar del rayo AB , sino

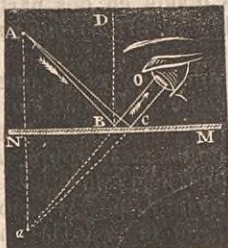


Fig. 486.

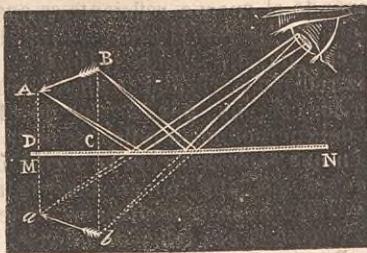


Fig. 487.

que se aplica á cualquiera otro AC que parta del punto A . Dedúcese de aquí la consecuencia importante, de que todos los rayos emitidos por el punto A y reflejados sobre el espejo, siguen, despues de su reflexion, la misma direccion que si todos derivasen del punto a . Como el ojo ve siempre los objetos en la direccion de los rayos luminosos que llegan á él, percibe la imágen del punto A en a , como si realmente existiese este punto. De consiguiente, en los espejos planos, la imágen de un punto se forma detrás del espejo, á una distancia igual á la del punto dado, y sobre la perpendicular bajada de este punto al espejo.

Es evidente que se obtendrá la imágen de un objeto cualquiera construyendo, segun la regla anterior, la imágen de cada uno de sus puntos, ó por lo menos la de los que basten para determinar su posicion y su forma. La figura 487 manifiesta la construccion que hay que hacer para obtener la imágen ab de un objeto cualquiera AB .

De esta construccion se deduce inmediatamente que, en los espejos planos, la imágen es del mismo tamaño que el objeto, porque si se coloca el trapecio $ABCD$ sobre el $CDab$, se ve desde luego que coinciden, y que el objeto AB se confunde con su imágen.

Dedúcese igualmente de la citada construccion que, en los espejos planos, la imágen es simétrica con el objeto, y no aparece invertida, dando á la palabra simétrica la misma significacion que en Geometría, en cuya ciencia se dice que dos puntos son simétricos con relacion á un plano, cuando se hallan situados en una misma perpendicular á este plano, uno á cada lado de este y á igual distancia; condiciones que satisfacen sucesivamente todos los puntos del objeto AB y de su imágen ab en la figura 487.

485. Imágenes virtuales é imágenes reales. — En la direccion de los rayos reflejados por los espejos, hay que distinguir dos casos, pues aquellos, despues de reflejarse, pueden ser divergentes ó convergentes.

En el primer caso no se encuentran los rayos reflejados; pero suponiéndolos prolongados al otro lado del espejo, sus prolongaciones concurren en un punto (figs. 486 y 487). Impresionado el ojo cual si los rayos partiesen de este punto, ve allí una imágen, que no es mas que una ilusión de la vista, pues en realidad no existe, porque los rayos luminosos no pasan al otro lado del espejo. De aquí proviene el nombre de *imágen virtual*, es decir, que tiende á producirse, pero que no se forma en realidad. Tales son siempre las imágenes que ofrecen los espejos planos.

En el segundo caso, cuando los rayos reflejados son convergentes como pronto veremos en los espejos cóncavos, dichos rayos concurren en un punto situado delante del espejo y en el lado mismo en que se encuentra el objeto. Allí forman una imágen que se denomina *imágen real*, para expresar que realmente existe, pues puede recibírsela sobre una pantalla y obrar químicamente sobre ciertas sustancias. En resúmen, puede decirse que *las imágenes reales son las que están formadas por los mismos rayos reflejados, y las imágenes virtuales, las originadas por sus prolongaciones.*

486. **Imágenes múltiples en los espejos de vidrio.** — Los espejos metálicos solo ofrecen una superficie reflejante, y, por lo mismo, no dan mas que una imágen, pero no sucede lo mismo en los de vidrio, los cuales producen varias, que pueden observarse con facilidad mirando oblicuamente en un espejo la imágen de una bujía. Véase una primera imágen poco intensa, luego una segunda muy visible, y detrás de esta otras varias cuya intensidad decrece sucesivamente hasta que llegan á extinguirse.

Explícate este fenómeno por las dos superficies reflejantes que presentan los espejos de vidrio. Cuando los rayos luminosos que parten del punto A (fig. 488) encuentran la primera superficie, se refleja una parte de luz dando la imágen *a*, formada por la prolongacion de los rayos *bE* reflejados por esta superficie; el resto de la luz penetra en el vidrio, se refleja en *c* sobre la capa de estaño amalgamado que cubre la cara posterior del espejo, y vuelve al ojo en la direccion *dH*, dando la imágen *a'*. Esta, que dista de la primera el doble del espesor del espejo, es mas intensa, porque la capa metálica refleja mas que el vidrio.

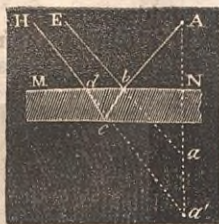


Fig. 488.

En cuanto á las otras imágenes que aparecen, provienen del hecho general de que siempre que un haz luminoso ha de pasar de un medio á otro, por ejemplo, del aire al vidrio ó vice-versa, jamás dicho haz pasa por completo, sino solo parcialmente, reflejándose la otra parte en la superficie que separa los dos medios. Por consiguiente, cuando el haz *cd*, reflejado por la capa de estaño, llega á *d* para salir del vidrio, una parte se refleja interiormente sobre la cara *MN*, y vuelve hácia la capa de estaño donde se refleja de nuevo hácia la cara superior. De aquí sale una porción que da una tercera imágen, mientras que la otra porción vuelve sobre la capa de estaño, se refleja allí, y sale en parte del vidrio por la cara *MN*, produciendo una cuarta imágen; y así sucesivamente hasta que debilitándose gradualmente la luz dejan de ser visibles las imágenes.

Como esta multiplicidad de imágenes perjudicaria la observacion en

algunos instrumentos de óptica, se emplean preferentemente los espejos metálicos.

487. Imágenes múltiples sobre dos espejos planos inclinados.— Cuando un objeto se halla situado entre dos espejos que forman un ángulo recto ó agudo, resultan varias imágenes cuyo número aumenta con la inclinación de los espejos. Si el uno es perpendicular al otro, se ven tres imágenes dispuestas de la manera que aparecen en la figura (489), siendo O el punto luminoso. Los rayos OC y OD , que parten del punto O , dan, después de una sola reflexión, el uno la imagen O' , y el otro la O'' , y el rayo OA , que ha sufrido dos reflexiones en A y en B , produce la tercera imagen O''' .

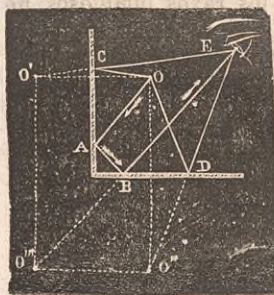


Fig. 489.

Cuando el ángulo que forman los espejos es de 60 grados, aparecen 5 imágenes; y si es de 45 grados, 7 imágenes. El número de estas continúa creciendo así á medida que disminuye el ángulo del espejo; lo cual proviene de que los rayos luminosos sufren sucesivamente de un espejo á otro, un número creciente de reflexiones.

En la propiedad de los espejos inclinados se funda el *kaleidoscopio*, aparato que consiste en un tubo de cartón con dos espejos inclinados formando entre sí un ángulo de 45 grados, ó bien con tres espejos también inclinados, según un ángulo de 60 grados. Situando en su extremo objetos muy irregulares, como musgo, oropel, encaje, etc., entre dos discos de vidrio, de los cuales el exterior esté deslustrado, al mirar por el otro extremo, se ven estos objetos y sus imágenes simétricamente dispuestas, constituyendo un conjunto muy variado y casi siempre muy agradable.

488. Imágenes múltiples sobre dos espejos paralelos.— En el caso de que los espejos sean paralelos, el número de las imágenes que se pro-

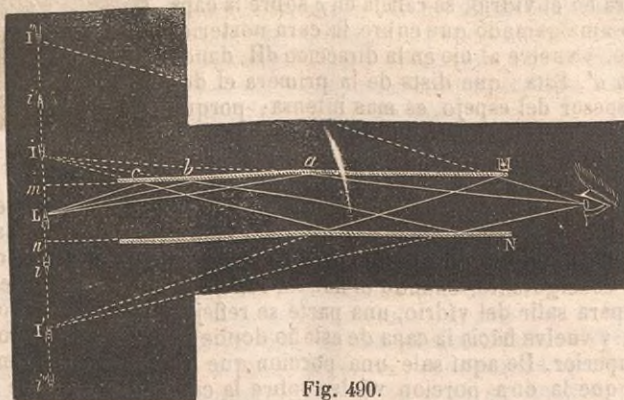


Fig. 490.

ducen de los objetos situados entre ellos es teóricamente infinito, pero limitado físicamente, porque no reflejándose jamás en su totalidad la luz

incidente, las imágenes pierden cada vez mas su brillo, acabando por extinguirse completamente.

La figura 490 demuestra como el haz La , reflejado una sola vez en el espejo M , da en I la imagen del objeto L , á una distancia $ml = mL$; despues el haz Lb reflejado una vez en el espejo M y otra en N produce la imagen I' á una distancia $nI' = nI$; asimismo el haz Lc , despues de dos reflexiones en M y una en N , forma la imagen I'' á una distancia $ml'' = ml'$; y así sucesivamente hasta el infinito. En cuanto á las imágenes i, i', i'' , están formadas del mismo modo por los rayos de luz que, partiendo del objeto L , caen primero sobre el espejo N .

REFLEXION DE LA LUZ SOBRE LAS SUPERFICIES CURVAS.

489. Espejos esféricos.— Se vió ya (483) que existen varias clases de espejos curvos; pero los de uso mas frecuente son los esféricos y los parabólicos.

Denominanse *espejos esféricos* aquellos cuya curvatura es la de una esfera, pudiéndose suponer su superficie engendrada por la revolucion de un arco AN que gira alrededor del radio CA que une la extremidad del arco con su centro (fig. 491). Segun que la reflexion se efectue en la



Fig. 491.

cara interna ó en la externa del espejo, así se dice que este es *cóncavo* ó *convexo*. El centro C de la esfera hueca de que forma parte el espejo, es el *centro de curvatura* ó el *centro geométrico*, y el punto A , el *centro de figura*. La recta indefinida AL , tirada por los centros A y C , es el *eje principal* del espejo; y cualquiera otra recta que pase por C , sin pasar por A , es un *eje secundario*.

Denomínase *seccion principal* de un espejo la que se obtiene cortándole por un plano que pase por el eje principal. Solo trataremos aquí de las líneas situadas en una misma seccion principal de los espejos. Por último, el ángulo MCN formado por dos líneas que unan el centro con los extremos del arco MN es la *apertura* del espejo.

La teoría de la reflexion de la luz sobre los espejos curvos se deduce muy sencillamente de las leyes de la reflexion sobre los planos, considerando la superficie de los primeros como formada por una infinidad de superficies planas infinitamente pequeñas, que son sus *elementos*. La *normal* á la superficie curva, en un punto dado, es entonces la perpendicular al elemento correspondiente, ó, lo que es igual, al plano tangente que lo contiene. Demuéstrase en Geometría que, en la esfera, todas las normales pasan por el centro de curvatura, lo cual permite trazar fácilmente la normal en un punto cualquiera de un espejo esférico, pues no hay mas que unir dicho punto con el centro de curvatura por medio de una recta.

490. Foco de los espejos esféricos cóncavos. — En los espejos curvos, reciben el nombre de *focos*, los puntos á los cuales concurren los rayos reflejados ó sus prolongaciones: de aquí el que se clasifiquen en *focos reales* y en *focos virtuales* (485). En los espejos cóncavos, que son los primeros que vamos á estudiar, se encuentran estas dos especies de focos; además los focos se subdividen en *focos principales* y *focos conjugados*.

1.º Foco principal. — El carácter distintivo de este foco es el tener una situación fija, equidistante de los centros de curvatura y de figura, siendo así que la del foco conjugado es variable. Para obtener desde luego el foco de que se trata, consideremos un haz de rayos luminosos paralelos al eje principal, lo que supone al cuerpo luminoso situado á una distancia infinita, y sea GD uno de estos rayos (fig. 491). Supuesto que los espejos curvos están compuestos, según queda dicho, de una multitud de elementos planos infinitamente pequeños, dicho rayo se refleja sobre el elemento correspondiente al punto D , según las leyes de reflexión sobre los espejos planos (480); es decir, que siendo CD la normal al punto de incidencia D , el ángulo de reflexión CDF es igual al de incidencia GDC y está en la misma sección principal. Fácil es deducir de aquí que el punto F , donde el rayo reflejado encuentra el eje principal, divide en dos partes casi iguales el radio de curvatura AC . En efecto, en el triángulo DFC los lados DF y CF son iguales por ser opuestos á ángulos también iguales, puesto que los DCF y FDC son ambos á dos iguales al CDG , el primero como alterno interno y el segundo por las leyes de reflexión; por otra parte, FD se aproxima tanto más á ser igual á FA , cuanto más pequeño es el arco AD . Podemos considerar, pues, cuando este arco solo consta de un corto número de grados, las rectas AF y FC como iguales, y el punto F como el centro de AC . Mientras la abertura MCN del espejo no exceda de 8 á 10° , cualquiera otro rayo HB , paralelo al eje, pasa, después de la reflexión, muy cerca del punto F . Según esto, se ve que cuando un haz paralelo al eje cae sobre un espejo cóncavo, *todos los rayos, después de la reflexión, vienen á concurrir casi en un mismo punto, situado á igual distancia del centro de curvatura y del espejo*. Este punto es el foco principal del espejo, y la distancia FA del punto al espejo es la *distancia focal principal*.

Recíproco. — Como todos los rayos paralelos al eje concurren en un mismo punto F , conviene observar que si recíprocamente se supone en F un punto luminoso, los rayos emitidos por él toman después de la reflexión direcciones DG , BH ..., paralelas al eje principal. En efecto, los ángulos de reflexión se convierten en este caso en ángulos de incidencia, y recíprocamente; pero dichos ángulos permanecen iguales. De consiguiente colocando un punto luminoso en el foco principal de un espejo cóncavo, *los rayos que partiendo de este punto vienen á caer sobre el espejo, originan después de reflejarse, un haz casi paralelo al eje*.

2.º Foco conjugado. — Supongamos ahora el caso en que los rayos luminosos que caen sobre el espejo derivan de un punto L (fig. 492) situado en el eje, mas allá del foco principal, á tal distancia que los rayos incidentes no sean ya paralelos, sino divergentes. El rayo LK forma entonces con la normal CK un ángulo de incidencia LKC , menor que el SKC que constituye con la misma normal el rayo SK , paralelo al eje, por lo tanto, el ángulo de reflexión correspondiente al rayo LK deberá también ser menor que el ángulo CKF que corresponde al rayo SK . El LK

deberá, pues, encontrar al eje, después de la reflexión, en un punto l situado más cerca del centro C que el foco principal F . Interin la abertura del espejo no excede de un corto número de grados, todos los rayos emitidos por el punto L concurren, después de reflejarse, casi en el mismo punto l ,

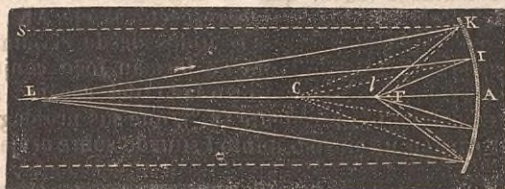


Fig. 492.

que se llama *foco conjugado* del punto L , para indicar el enlace que media entre los puntos L y l , enlace tal, que son recíprocos entre sí; es decir, que si se trasladase á l el punto luminoso, estaría en L su foco conjugado, siendo lK el rayo incidente y KL el reflejado.

Para demostrar que los rayos derivados del punto L y reflejados sobre el espejo van á concurrir muy aproximadamente en l , observemos que en el triángulo LKl , siendo la recta CK bisectriz del ángulo K , resulta, según un conocido teorema de Geometría,

$\frac{LK}{Kl} = \frac{LC}{Cl}$ [1]. Por otra parte, si la abertura del espejo es de un corto número de grados, LK es casi igual á LA , y lK á lA . La igualdad [1] puede, pues, reemplazarse por $\frac{LA}{lA} = \frac{LC}{Cl}$, y esta última puede tomar la forma $\frac{LA}{LC} = \frac{lA}{Cl}$ [2]. Ahora bien, la

igualdad [2] subsiste para todos los rayos que parten del punto L , y la razón $\frac{LA}{LC}$ es constante mientras la distancia LA es la misma; por consiguiente la razón $\frac{lA}{Cl}$ es también constante para los rayos emitidos del mismo punto L , lo cual no puede realizarse sino en el caso de que todos los rayos reflejados vayan á concurrir en l . Efectivamente, para cualquier rayo que encuentre al eje más lejos ó más cerca del centro que el punto l , como entonces los dos términos lA y Cl varían en sentido contrario, la razón $\frac{lA}{Cl}$ no sería constante

Por la inspección de la figura 492 se reconoce fácilmente que cuando el objeto L se aproxima ó se aleja del centro C , sucede lo propio á su foco conjugado, porque los ángulos de incidencia y de reflexión crecen ó decrecen simultáneamente.

Si el objeto L coincide con el centro C , es nulo el ángulo de incidencia, y como debe ocurrir otro tanto con el de reflexión, el rayo reflejado vuelve sobre sí mismo, y el foco coincide con el objeto. Cuando el cuerpo luminoso pasa más allá del centro C , entre este punto y el foco principal, el conjugado pasa á su vez al otro lado del centro, y se aleja de él según se va aproximando el punto luminoso al foco principal. Por último, cuando aquel coincide con este, no se encuentran ya los rayos reflejados por ser paralelos al eje, y de consiguiente no hay foco, ó lo que es lo mismo, se forma en el infinito.

3.º *Foco virtual.* — Sea, por último, el caso en que el objeto está situado en L (fig. 493), entre el foco principal y el espejo. Un rayo cualquiera LM, emitido desde el punto L, forma entonces con la normal CM un ángulo de incidencia LMC mayor que FMC, y por lo tanto el de reflexión debe ser también mayor que el ángulo CMS. Síguese de aquí que el rayo reflejado ME es divergente respecto al eje AK, y como sucede lo propio con todos los rayos emitidos desde el punto L, estos rayos no se encuentran, y por lo tanto no forman foco conjugado; pero si se les concibe prolongados por el otro lado del espejo, se reconoce por el mismo razonamiento precedente (2.º), que sus prolongaciones vienen á concurrir casi en un mismo punto *l* situado sobre el eje, de manera

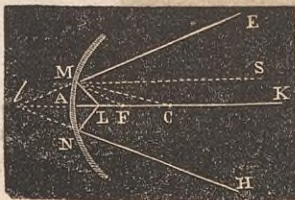


Fig. 493.



Fig. 494.

que el ojo que los recibe siente la misma sensación que si dichos rayos hubiesen sido emitidos desde el punto *l*, formándose allí, por consiguiente, un *foco virtual* enteramente análogo al que presentan los espejos planos (485).

En los diferentes casos que acabamos de considerar, se observa que los *focos principal y conjugado están siempre en el mismo lado que el objeto con relacion al espejo*, siendo así que el *foco virtual se halla al otro lado*.

4.º *Foco conjugado sobre un eje secundario.* — Hasta ahora se ha supuesto el punto luminoso precisamente en el eje principal, y entonces se forma el foco sobre este eje; pero si aquel se halla en un eje secundario LB (fig. 494), y se le aplica el mismo razonamiento que al del principal, se echa de ver que el foco del punto L se forma en el otro *l* situado sobre el eje secundario, y que según sea la distancia del punto L, así dicho foco puede ser principal, conjugado ó virtual con relacion al eje LB.

491. *Determinación experimental de los focos en los espejos cóncavos.* — Para hallar experimentalmente el foco principal de un espejo cóncavo se recibe sobre él un haz de luz solar, que sea paralelo al eje principal; después de esto se busca en una pantalla de papel ó de vidrio deslustrado el sitio en que la luz reflejada aparece mas brillante, y allí es el foco principal.

El foco conjugado se determina de la misma manera colocando una bujía encendida en el punto en donde se quiera poner el foco, y buscando como antes el sitio donde mas resplandece el haz reflejado.

492. *Determinación gráfica de los focos en los espejos cóncavos.* — *Foco principal.* — Conocido el centro de curvatura de un espejo cóncavo, queda inmediatamente determinado su foco principal, pues se halla en la mitad del radio de curvatura. Si se trata de un eje secundario cualquiera, el foco principal se obtiene de la misma manera.

Foco conjugado. — 1.º Consideremos primeramente el caso en que el punto luminoso L, cuyo foco se quiere determinar, está situado en el eje prin-

cial mas allá del centro de curvatura (fig. 495). Trazando un rayo incidente cualquiera LI, la normal IC, y formando el ángulo de reflexion CII igual al CIL, el punto l , en que el rayo reflejado corta al eje principal, es el foco conjugado de L. Recíprocamente, si el punto luminoso está en l , su foco conjugado L se determina mediante la misma construcción.

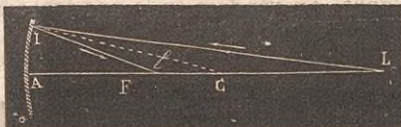


Fig. 495.

2.º Supongamos que el punto luminoso está en L, fuera del eje (fig. 496). Trazado el eje secundario LC, observemos, de una vez para siempre, que cualquier eje de esta clase, y lo mismo el principal, *representa siempre un rayo luminoso incidente*, pero un rayo tal que se confunde con la normal y por consiguiente con el rayo reflejado. Esto sentado, se podría hallar el foco conjugado del punto L mediante la misma construcción de la figura 495; pero generalmente se emplea la siguiente que es mas sencilla: en vez de trazar desde

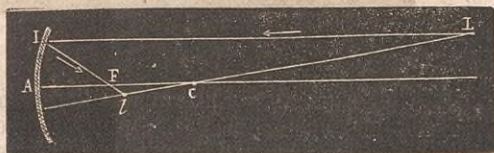


Fig. 496.

el punto L un rayo incidente cualquiera, se traza un rayo LI paralelo al eje principal. En este caso, debiendo el rayo reflejado pasar por el foco principal (490, 1.º), se obtiene desde luego su dirección uniendo los dos puntos F é l por una recta, la cual, prolongada, va á cortar al eje secundario LC en un punto l que es el foco conjugado que se busca, puesto que es el punto donde concurren los rayos que parten del punto L.

Recíprocamente, si el punto luminoso está en l , se traza por este punto y por el foco F, un rayo incidente lI, y tirando desde I una paralela al eje principal, el punto L donde aquella corte al eje secundario CL es el foco conjugado de L.

Foco virtual. — Las construcciones anteriores son tambien aplicables al foco virtual. 1.º Si el objeto luminoso L está situado en el eje principal, se traza un rayo incidente cualquiera LI, la normal IC y el rayo reflejado

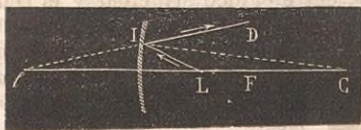


Fig. 497.

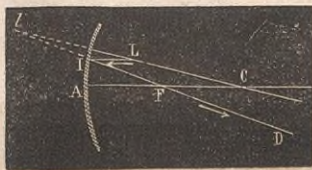


Fig. 498.

ID (fig. 497). Prolongado este último, corta al eje secundario en un punto l que es el foco virtual de L. 2.º Si el punto luminoso L está fuera del eje principal (fig. 498), se traza el eje secundario LC, un rayo LI paralelo al eje principal, y se unen los puntos I, F, con una recta, la cual prolongada al otro lado del espejo, da el foco virtual l en el punto en que corte á la prolongacion del eje secundario CL (490, 3.º).

493. **Formación de las imágenes reales en los espejos cóncavos.**— Cualquiera que sea el tamaño de un objeto colocado delante de un espejo cóncavo, la imagen que este da puede construirse sin dificultad alguna, apoyándose en lo que acabamos de decir acerca de la determinación de los focos.

En efecto, sea AB el objeto colocado delante de un espejo cóncavo,

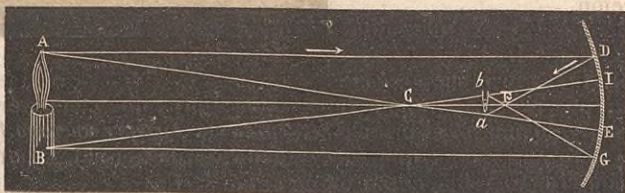


Fig. 499.

mas allá del centro (fig. 499). Limitándose á investigar los puntos extremos de la imagen, y no considerando mas que una seccion principal del espejo y las líneas en ella contenidas, trácense desde luego los ejes secundarios AE y BI , correspondientes á los puntos A y B ; trazando despues desde el punto A un rayo incidente AD paralelo al eje principal, dicho rayo pasa, despues de reflejarse, por el foco principal F (490), y forma en a , sobre el eje secundario AE , la imagen del punto A . De la misma manera el rayo BG , trazado por el punto B , paralelamente al eje, forma en b la imagen del punto B : resulta, por consiguiente, formada en ab la imagen de AB .

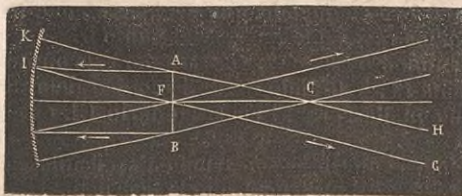


Fig. 500.

Esta imagen es real, está invertida, situada entre el centro de curvatura y el foco principal, y es tanto mas pequeña comparada con el objeto, cuanto mas apartado está este del espejo.

Recíprocamente, si el objeto luminoso ó iluminado, cuya imagen se investiga, está situado en ab (fig. 499), entre el foco principal y el centro, su imagen se forma en AB . Tambien entonces es real y se presenta invertida, pero es mayor que el objeto, y tanto mayor, cuanto mas cerca está este del foco principal.

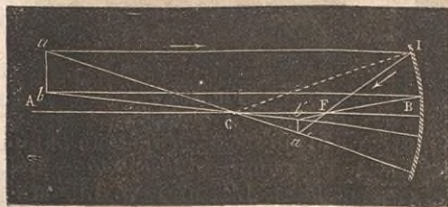


Fig. 501.

Si el objeto está situado en el mismo foco principal (figura 500) no resulta imagen alguna. En efecto, los rayos AK y AI , emitidos por el punto A originan, despues de reflejarse, un haz $KIGH$ paralelo al eje secundario CK , y los emitidos por el punto B otro haz paralelo á BC

(490, recíproco), cuyos haces no pueden formar focos ni imágenes.

Finalmente, si el objeto *ab* tiene todos sus puntos fuera del eje principal (fig. 501), resulta de la construcción anterior que la imagen se forma en *a'b'*, al otro lado del eje AB.

Imágenes aéreas.—Debe observarse que en todos los casos pueden verse las imágenes reales de dos maneras: ya recibíendolas sobre una pantalla, en cuyo caso la reflexión permite verlas en todas direcciones, ó bien aplicando el ojo del lado acá de la imagen de manera que lleguen á él los rayos reflejados que la producen. En este caso se ve en el espacio una imagen que se designa con el nombre de *imagen aérea*.

494. Formación de las imágenes virtuales en los espejos cóncavos.—Se ha visto ya que solo hay foco virtual en los espejos cóncavos cuando los rayos luminosos derivan de un punto situado entre el foco principal y el espejo (490, 3°); tal es, por consiguiente, la situación que ha de ocupar el objeto cuya imagen virtual se quiera determinar.

En este supuesto, sea AB un objeto situado delante de un espejo cóncavo, entre el foco principal y el espejo (fig. 502). Trácese desde luego los ejes secundarios de los puntos A y B, teniendo cuidado de prolongarlos hasta el otro lado del espejo. Trazando después el rayo incidente AD, paralelo al eje principal,

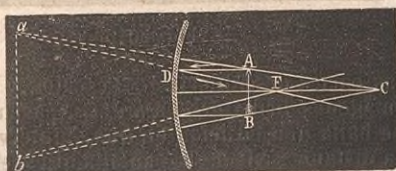


Fig. 502.

y, por el foco F, el rayo reflejado DF, este último, prolongado, forma en *a* la imagen virtual del punto A. De la misma manera el rayo paralelo al eje trazado desde el punto B forma en *b* la imagen de dicho punto. Resulta, pues, en *ab* la imagen AB, que es *virtual*, *no está invertida*, *es mayor que el objeto* y *está situada detrás del espejo*.

495. Espejos convexos: sus focos.—En los espejos convexos solo existen focos virtuales. Sean, en efecto, varios rayos SI, TK... (figura 503), paralelos al eje principal de un espejo convexo. Estos rayos,

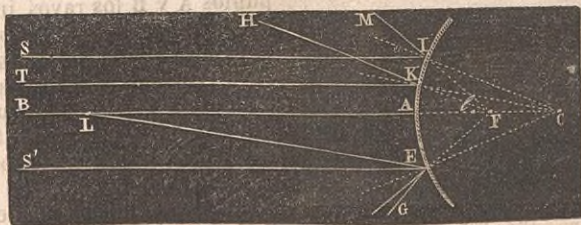


Fig. 503.

después de su reflexión, toman direcciones divergentes IM, KH... que prolongadas, vienen á concurrir en un punto F, que es el *foco virtual principal del espejo*. Podría demostrarse por medio del triángulo isóceles CKF, de igual modo que en los espejos cóncavos, que el punto F se halla en la mitad del radio de curvatura CA.

Si los rayos luminosos incidentes, en vez de ser paralelos al eje, derivan de un punto L situado sobre el mismo á una distancia finita, se reco-

noce fácilmente que el foco es aun virtual, solo que se forma en l , entre el foco principal F y el espejo.

496. Determinacion del foco principal en los espejos convexos.— Para hallar experimentalmente el foco virtual principal de un espejo convexo se le cubre de papel, dejando en este, á igual distancia del centro de figura A , y en un mismo plano meridiano

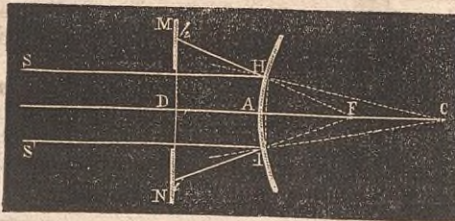


Fig. 504.

(fig. 504), dos aberturitas circulares H e I , por las cuales queda descubierto el espejo. Sitúase en seguida delante de este una pantalla MN con un orificio circular en su centro, cuyo diámetro sea mayor que la distancia HI . Si se recibe entonces sobre el espejo un haz de rayos solares SH , SI , paralelos al eje, se refleja la luz en H e I sobre

las partes descubiertas del espejo, y va á formar sobre la pantalla dos imágenes brillantes en h e i . Apartando ó aproximando la pantalla MN , se halla una posición en que el intervalo hi es el doble de HI , y entonces la distancia AD de la pantalla al espejo representa la distancia focal principal. En efecto, el arco HAI , que es muy pequeño, casi se confunde con su cuerda, y los triángulos semejantes FHI y Fhi dan la proporción $HI : FA$

$\frac{hi}{HI} = \frac{FD}{FA}$; pero como HI es la mitad de hi , FA lo es también de FD ; de consiguiente, AD es próximamente igual á AF ; y siendo por otra parte FA la distancia focal principal, por ser los rayos SH y SI paralelos al eje, puede muy bien representarse por AD esta distancia.

497. Formacion de las imágenes en los espejos convexos.— Sea AB un objeto colocado delante de un espejo convexo á una distancia cualquiera (fig. 505). Trazando los ejes secundarios AC y BC , y desde los puntos A y B los rayos incidentes

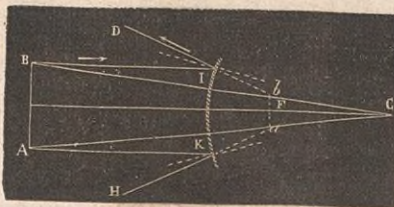


Fig. 505.

desde los puntos A y B los rayos incidentes AK y BI paralelos al eje principal, es sabido que la prolongacion del rayo reflejado en K debe pasar por F ; uniendo estos dos puntos por la recta KF , esta corta al eje secundario AC en un punto a que es el foco virtual de A . El de B se forma de la misma manera en b , y el ojo que recibe los rayos reflejados ID y KH ve en ab la imagen

del objeto AB , cuya imagen es siempre virtual, mas pequeña que el objeto y no está invertida.

498. Fórmulas relativas á los espejos esféricos.— La relacion que existe entre la posición relativa de un objeto y la de su imagen en los espejos esféricos, se puede representar por medio de una fórmula muy sencilla. Al efecto, consideremos primero un espejo cóncavo, y representemos por R su radio de curvatura, por p la distancia LA del objeto L al espejo (fig. 506), y por p' la distancia LA de la imagen al mismo espejo. Como en el triángulo MLI la normal MC divide el ángulo LMI en dos partes iguales, se puede aplicar el teorema de Geometría que dice, que en todo trián-

gulo la bisectriz de un ángulo divide al lado opuesto en dos segmentos, que son entre sí como los dos lados del ángulo, esto es, que $\frac{Cl}{CL} = \frac{LM}{LM}$, de donde

$$Cl \times LM = CL \times LM.$$

Si el arco AM no excede de 5 á 6 grados, las líneas ML y Ml son casi iguales á LM y Al, es decir, á p y p' . Por otra parte, $Cl = CA - Al = R - p'$, y $CL = AL - AC = p - R$. Sustituyendo estos diversos valores en la igualdad precedente, resulta: $(R - p')p = (p - R)p'$, ó bien $Rp - pp' = pp' - Rp'$, y trasponiendo y reduciendo: $Rp + Rp' = 2pp'$ [1].

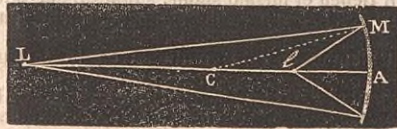


Fig. 506.

Si se dividen todos los términos de esta igualdad por $pp'R$, y se suprimen los factores comunes, acepta la siguiente forma bajo la cual se la considera comunmente :

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \quad [2].$$

Resolviendo la ecuación [1] con relación á p' , resulta $p' = \frac{pR}{2p - R}$ [3], fórmula que da á conocer la distancia de la imagen al espejo, cuando se conoce la del objeto y el radio de curvatura.

499. **Discusión de la fórmula de los espejos cóncavos.**—Investiguemos ahora los diferentes valores que adquiere p' , según los que se dan á p en la fórmula [3].

1.º Supongamos que el objeto luminoso ó iluminado se encuentra en el eje á una distancia infinita, en cuyo caso los rayos incidentes son paralelos. Para interpretar el valor que entonces adquiere p' , hay que dividir por p los dos términos de la fracción $\frac{pR}{2p - R}$; lo cual da por resultado $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}}$ [4]. Introduciendo en esta fórmula

la condición de ser p infinito, la fracción $\frac{R}{p}$ se reduce á cero, y resulta $p = \frac{R}{2}$; es decir, que la imagen se forma en el foco principal, como debe acontecer, porque los rayos incidentes constituyen entonces un haz paralelo al eje.

2.º Si el objeto se acerca al espejo, decrece p , razón por la cual aumenta el denominador de la fórmula [4], y por lo tanto el valor de p' ; de consiguiente, la imagen se aproxima al centro al mismo tiempo que el objeto, pero siempre se halla comprendida entre el foco principal y aquel punto, pues mientras $p > R$, se tiene:

$$\frac{R}{2 - \frac{R}{p}} > \frac{R}{2} \text{ y } < R.$$

3.º Si el objeto coincide con el centro, lo cual se expresa haciendo $p = R$, resulta $p' = R$, es decir, que la imagen coincide con el objeto.

4.º Si el objeto luminoso se sitúa entre el centro y el foco principal, entonces $p < R$, y de la fórmula [4] se deduce que $p' > R$; es decir que la imagen se forma en este caso al otro lado del centro. Cuando el objeto llega al foco principal, se tiene $p = \frac{R}{2}$, lo cual da $p' = \frac{R}{0} = \infty$: es decir, que la imagen se forma en el infinito. En efecto, los rayos reflejados son entonces paralelos al eje.

5.º Por último, si el objeto se sitúa entre el foco principal y el espejo, se tiene $p < \frac{R}{2}$; y como el denominador de la fórmula [4] es entonces negativo, otro tanto le sucede á la distancia p' de la imagen al espejo, lo cual indica que aquella debe con-

tarse en el eje en sentido contrario á p . Efectivamente, en este caso la imagen es virtual, y se halla situada al otro lado del espejo (490, 3.º).

Introduciendo en la fórmula [2] la condicion de ser negativo el valor p' , se transforma aquella en $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$, bajo cuya forma están comprendidos los casos de las imágenes virtuales en los espejos cóncavos.

Espejos convexos. — En estos espejos, como la imagen siempre es virtual (439), p' y R tienen el mismo signo, supuesto que aquella y el centro están á un mismo lado del espejo, y p es de signo contrario, pues el objeto se encuentra al otro lado.

Introduciendo esta condicion en la fórmula [2], resulta $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ [5], como fórmula relativa á los espejos convexos. Por lo demás, se la podría encontrar directamente empleando las mismas consideraciones geométricas por las cuales se deduce la fórmula [2] de los espejos cóncavos.

Obsérvese que las diferentes fórmulas que anteceden no son rigurosas, pues se apoyan en hipótesis que tampoco lo son, cual es la de ser las rectas LM y IM (fig. 506) iguales á LA y á IA , lo cual solo es cierto en el límite, esto es, cuando el ángulo MCA se reduce á cero. Estas fórmulas son tanto mas exactas, cuanto menor es la abertura del espejo.

500. Cálculo de la magnitud de las imágenes. — Por medio de las fórmulas anteriores, se puede calcular fácilmente la magnitud de una imagen, conocida la distancia del objeto, su tamaño y el radio del espejo. En efecto, si se representa aquel por BD (fig. 507), su imagen por bd , y si se supone conocida la distancia KA y el radio AC , se calcula Ao por medio de la fórmula [3] del párrafo 498; conocida ya Ao , se deduce de ella oC . Como los dos triángulos



Fig. 507.

BCD y dCb son semejantes, se tiene, entre sus bases y sus alturas, la proporcion $\frac{bd}{BD} = \frac{Co}{CK}$, de la cual se deduce el tamaño bd de la imagen.

501. Aberracion de esfericidad: cáusticas. — En la teoria que acabamos de dar de los focos y de las imágenes en los espejos esféricos, ha podido observarse que los rayos reflejados solo concurren con gran aproximacion en un punto único, cuando la

abertura del espejo no excede de 8 á 10 grados (490). Si la abertura es mayor, los rayos reflejados próximos á los bordes encuentran al eje mas cerca del espejo que los que se han reflejado á una pequeña distancia del centro de curvatura. De aquí resulta en las imágenes una falta de limpieza, que se designa con el nombre de *aberracion de esfericidad* por reflexion, á fin de distinguirla de la aberracion de esfericidad por refraccion que se observa en las lentes (531).

Cortándose los rayos reflejados sucesivamente dos á dos, segun se ve en la parte superior del eje FL (fig. 508), sus puntos de interseccion forman, en el espacio, una superficie brillante, que se llama *cáustica por reflexion*. La curva FM representa una de las ramas de la seccion principal de esta superficie.

502. Aplicaciones de los espejos. — Todos conocen las aplicaciones de los espejos planos en la economía doméstica, los cuales son tambien de frecuente uso, en algunos aparatos de fisica, para dar á la luz una direccion determinada. Si es la luz solar la que quiere dirigirse, es preciso que el espejo sea móvil para que los rayos reflejados conserven una direccion constante, pues se requiere un movimiento que compense el cambio de direccion que sin cesar aceptan los rayos incidentes, por efecto del movimiento diurno aparente del Sol. Se obtiene este resultado por medio de un movimiento de relojería que hace variar la inclinacion del espejo por hallarse este fijo en un eje: dicho aparato se denomina *heliostato*. Se ha utilizado tambien la reflexion de la luz

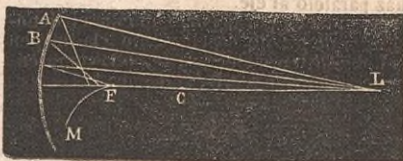


Fig. 508.

OMENCLATURA Y CLASIFICACIONES QUÍMICAS

seguidas de un léxico histórico y sinonímico, que comprende los nombres antiguos, las fórmulas, los nombres nuevos, el nombre del autor y la fecha del descubrimiento de los principales productos de la química: por HOEFER. Madrid, 1863. Un tomo en 8.º, 3 pesetas en Madrid y 3 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO DE QUÍMICA INORGÁNICA

TEÓRICO Y PRÁCTICO.

aplicada á la Medicina y especialmente á la Farmacia, por el Dr. D. Rafael EZ y PALACIOS, catedrático de Farmacia químico-inorgánica de la Universidad central, socio de la Academia de Medicina de Madrid, etc.

Esta obra consta de dos magníficos tomos, de unas 700 páginas cada uno, con 400 figuras intercaladas en el texto. Precio de los dos tomos, elegantemente encuadernados en tela á la inglesa, 22 pesetas en Madrid y 24 pesetas en provincias, franco de porte.

Creemos inútil llamar la atención sobre la importancia de este TRATADO y sobre la extensión que su inteligente y distinguido autor ha sabido darle, para que sea útil á los farmacéuticos como á los médicos les sea indispensable en la práctica de sus profesiones.

LA VETERINARIA DOMÉSTICA

Un método, tan económico como fácil, de preservar y curar á los animales domésticos y á los vegetales cultivados de la mayor parte de sus enfermedades: por V. RASPAIL; traducida al castellano de la última edición. Madrid. Un tomo en 8.º, 2 pesetas en Madrid y 2 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO TEORICO Y PRACTICO

DE LOS PRODUCTOS NATURALES

Y ARTÍCULOS FABRICADOS QUE SON OBJETO DE COMERCIO.

Con las nociones de física, química, historia natural y análisis indispensables á este estudio; dispuesto para uso de los alumnos de la carrera pericial de aduanas, de la Escuela profesional de Comercio de esta corte, comerciantes, comisionistas, productores, etc., etc.—PRIMERA PARTE. *Nociones de Física, Química, Productos minerales y Análisis química*: por D. Constantino SAEZ DE MONTOYA, consultor químico de la Dirección general de Aduanas, etc.—SEGUNDA PARTE. *Nociones de Historia natural y Productos vegetales y animales*, por D. Luis María UTOR y UAREZ, alumno de la extinguida Escuela normal para Profesores industriales, catedrático de conocimiento de productos comerciales de la Escuela profesional de Comercio en el Real Instituto industrial. Madrid, 1862. Dos tomos en 4.º, 15 pesetas en Madrid y 16 pesetas y 50 cént. en provincias, franco de porte.

DE LA

SALUD DE LOS CASADOS

Fisiología de la generación del hombre é higiene filosófica del matrimonio: obra del doctor D. Luis SERAINE, autor de los *Preceptos del matrimonio* y de la *Salud de los niños*; traducida de la última edición francesa por D. Joaquin Gassó, profesor de medicina.—*Obra aprobada por la Autoridad eclesiástica*.—Cuarta edición.—Madrid. Un bonito tomo en 12.º, encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 75 cént. de peseta en Madrid y 4 pesetas y 25 céntimos de peseta en provincias, franco de porte.

DE GIMNASIA DE SALA.

MÉDICA É HIGIÉNICA.

O Representación y descripción de los movimientos gimnásticos que, no exigiendo ningún aparato para su ejecución, pueden practicarse en todas partes y por toda clase de personas de uno y otro sexo, seguido de sus aplicaciones á diversas enfermedades: por D. G. M. SCHREBER, doctor en medicina, etc.; vertido del alemán por H. Van-Oordt; traducido al castellano y considerablemente aumentado, por D. E. S. de O. *Séptima edición*. Madrid, 1871. Un tomo en 12.º, con 43 figuras intercaladas en el texto y encuadernado en tela á la inglesa, 3 pesetas y 25 céntimos de peseta en Madrid y 3 pesetas y 75 cént. en provincias, franco de porte.

TRATADO PRACTICO

DE NIVELACION CON TRES APÉNDICES.

Uno sobre trazado de arcos de círculo de gran radio y los otros dos con las demostraciones del cálculo de las cotas y de la fórmula prismoidal de Sir Jhon MacNeill: por D. Venancio de la TEJERA.—*Segunda edición*, acompañada de cinco láminas. Un tomo en 8.º, 5 pesetas en Madrid y 6 pesetas en provincias, franco de porte.

TRATADO TEÓRICO Y PRÁCTICO

DE ENSAYOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS

En sus aplicaciones á la *Farmacia*, á la *Medicina legal*, la *Industria*, las *Artes*, la *Agricultura* y el *Comercio*. Conteniendo la descripción de los aparatos y utensilios de laboratorio, los cuadros analíticos mas útiles, los ensayos y análisis de los minerales, metales y sus combinaciones; aguas naturales, potables y minero-medicinales. Ensayos de las drogas y medicamentos, cuerpos grasos, alimentos y bebidas, tejidos, colores, tierras de labor, abonos, arcillas, lozas, vidrios, porcelanas, y en general todos los productos que son objeto de consumo ó de transacciones mercantiles; escrita para los Farmacéuticos, Médicos, Ingenieros, Directores de Fábricas, Ensayadores, Plateros, Industriales en general, Agricultores, Comisionistas, Agentes de Aduanas y Empleados provinciales de las mismas, etc., Redactados ante los Tratados de Berzelius, Liebig, Mohos, Mitchell, Berthier, Phillips, Hoffman, Fresenius, Whill, Henri Rose, Quevenne, Bolley, Dumas, Orfila, etc., etc.: por los señores D. Luis MARIA UTOR, ingeniero industrial, catedrático en la Escuela superior de Comercio, director del Conservatorio de Artes, miembro de la Junta de Aranceles, etc., etc.; D. Constantino SAEZ DE MONTOYA, ingeniero químico, farmacéutico, catedrático de Metalurgia del hierro en el Conservatorio de Artes, consultor químico de la Direccion de Aduanas, etc., etc., y D. José SOLER y SANCHEZ, doctor en Ciencias, farmacéutico y catedrático de Química inorgánica en la Universidad central (facultad de Ciencias), etc., etc. Madrid, 1872. Tomo primero. Precio: 10 pesetas en Madrid y 11 pesetas en provincias, franco de porte.

MR. AUBRY,

Fabricante de instrumentos de Cirugía, Física y Matemáticas.—*Proveedor de instrumentos de la Beneficencia municipal de Madrid.*—Esta Casa (rue Saint-Jacques, núm. 140, Paris), la primera en su género, establecida hace mas de cincuenta años, surte los principales despachos de Paris, así como tambien los del extranjero. En general, la fabricacion de casi todos los nuevos instrumentos le están confiados, pues su habilidad, perfeccion, precision y exactitud en todo ello la ha hecho á dora á tener la preferencia sobre todas.

Madrid, 1872.—Imp. de Bailly-Bailliere.