

hacer entrar el pájaro á la jaula. Colóquese una tarjeta entre las dos figuras, cuidando de que quede perpendicularmente sobre el papel; apóyese la nariz sobre el borde de la tarjeta y obsérvese la jaula y el pájaro. Al cabo de un momento parece que el pájaro se pone en movimiento y entra á la jaula.

Este experimento está de acuerdo con las leyes de la visión binocular, pues al sobreponerse las imágenes nos parece ver al animalito dentro de la jaula.

Un objeto muy luminoso, colocado sobre fondo negro, nos parece siempre más grande de lo que es en realidad; inversamente, un objeto negro ó poco iluminado colocado sobre un fondo muy luminoso nos parece más pequeño.

Nadie ignora que con guantes de color claro, las manos parecen más grandes que con guantes oscuros.

Para explicar estos hechos, se admite que la luz que parte de los objetos iluminados para venir á formar una imagen en la retina, es tan viva, que conmueve á los puntos cercanos á aquellos donde se forma la imagen, y como toda conmoción de la retina, da una sensación de luz, resulta que la imagen parece agrandada.

Este fenómeno ha recibido el nombre de *irradiación*.

Recórtese un muñequito en papel blanco y péguese sobre papel negro; fijese en papel blanco otro muñequito enteramente igual, recortado en papel negro, y observando ambas figuras á unos dos ó tres metros de distancia, parecerá la silueta blanca mucho más grande que la negra.

## CAPÍTULO VII

### CALOR

SUMARIO. — Dilatación. — Máximo de densidad del agua. — Termómetros. — Conductibilidad. — Calor específico. — Calorimetría. — Fusión y solidificación. — Licuación de los gases. — Aire líquido. — Formación de los vapores en el vacío. — Evaporación y ebullición. — Calor latente de vaporización. — Ideas generales acerca de las máquinas de vapor.

204. *El calor, hipótesis acerca de su naturaleza.*

—El calor es la causa que, según su mayor ó menor energía, produce en nosotros la impresión de las variaciones de temperatura; es también el agente físico que hace que se funda el hielo, que entre el agua en ebullición, que una barra de hierro se enrojecza, que el mercurio desprenda vapores.

El calor es una fuerza física que ejerce un influjo directo en la existencia del hombre, de los animales y de las plantas, y la ausencia del calor implicaría la desaparición de la vida en la superficie del planeta.

Calor necesita la pequeña hormiga que trabaja incesantemente alrededor de su pequeña morada; calor necesita la abeja que revolotea entre las flores buscando la miel y la cera que ha de llevar al colmenar; calor necesita la lagartija que trepa ágil por

el añoso tronco del encino; el hombre requiere calor sea que viva en las ciudades cercanas al Ecuador que habite las zonas templadas ó las zonas de los polos, allá donde las masas de hielo dan un aspecto tan tristemente majestuoso al paisaje; calor necesita el grano para germinar y la planta para vivir y el ovario para fructificar.

La producción del calor es, pues, una condición indispensable y general para la vida.

Mientras que la atracción conduce á la Tierra por el espacio —dice Flammarion— y la inclina sobre su eje para ocasionar las regeneradoras estaciones, el calor despierta los organismos dormidos durante la noche del invierno, y hace cantar á las aves en los bosques; él es quien florece en las rosas y quien sonríe en las verdes praderas; él es quien murmura en el parlero manantial y suspira en la escarpada ribera de los mares; él es quien hace pasar los átomos de la planta al animal y del hombre á la planta, estableciendo sobre la tierra la inmensa fraternidad de todos los seres.

Por eso dijo Dumas que «apreciamos la existencia del calor sin materia, en el vacío perfecto; pero la materia sin calor nos es desconocida».

Dos són las teorías principales presentadas para explicar la causa del calor: la teoría de la *emisión* y la teoría de las *ondulaciones*.

En la primera se acepta la existencia de un flúido material, imponderable, llamado *calórico*. En esta hipótesis, los átomos del calórico en estado constante de repulsión, son proyectados en todas direcciones y á todas las distancias, almacenándose en los cuerpos en cantidad variable y oponiéndose al contacto inmediato de las moléculas.

Hombres tan ilustres como Newton, Lavoisier, Laplace y Gay Lussac sostuvieron y apoyaron esta teoría; pero la teoría universalmente admitida es la de las ondulaciones, sostenida por Mayer y Joule, y que tanto popularizó el Profesor Tyndall con sus admirables trabajos.

En esta teoría se supone que las últimas moléculas de los cuerpos están animadas de un movimiento vibratorio muy pequeño, pero extremadamente rápido y que se transmite á distancia á través del *éter*, medio infinitamente elástico, que está extendido en todo el universo y llena no solamente los espacios intermoleculares, sino también los espacios intraplanetarios. Las vibraciones de los cuerpos se transmiten al *éter* y éste produce entonces ondulaciones que transmiten el movimiento y por consiguiente el calor, lo mismo que el aire propaga las ondas sonoras.

Adoptando esta teoría llamada *termodinámica*, los cuerpos más calientes serán aquellos cuyas moléculas vibren con mayor rapidez y con mayor amplitud; un cuerpo al calentarse gana movimiento y al enfriarse pierde movimiento.

205. Los principales manantiales del calor son: la radiación solar, las combustiones y demás acciones químicas, y los efectos mecánicos, tales como el frotamiento y la percusión.

El físico Pouillet, miembro del Instituto de Francia, se dedicó hace algunos años á estudiar por medio de ingeniosos experimentos, la cantidad de calor que el Sol envía á nuestro planeta.

El aparato que empleaba se llama *pireliómetro* y se compone principalmente de un vaso delgado de plata que tiene un decímetro de diámetro y que con-

tiene 100 gramos de agua. La cara del aparato que mira al Sol está cubierta de negro de humo; dentro del agua hay un termómetro muy sensible que marca la elevación de temperatura de dicho líquido. Con este aparato calculó Pouillet, teniendo en cuenta la pérdida por absorción de la atmósfera, que cada metro cuadrado de la Tierra en que los rayos solares caen perpendicularmente, recibe una cantidad de calor igual á 17.633 calorías (\*). Resulta de aquí que al cabo de un año la Tierra y su atmósfera han recibido una cantidad de calor representado por la enorme suma de *mil doscientos diez trillones de calorías*.

Si fuera posible disponer de este calor en un momento dado, elevaría á 2.315° una capa de agua de un metro de espesor que rodeara á la tierra, y sería capaz de fundir una capa de hielo de 30<sup>m</sup>89 que envolviera á la tierra por todas partes.

Las combinaciones químicas son generalmente acompañadas de un desprendimiento de calor más ó menos grande. Cuando se efectúan lentamente como en el caso de la oxidación del hierro en el aire, el calor desprendido es insensible; pero si se producen con energía como cuando arde el hierro en el oxígeno puro, entonces el desprendimiento de calor es abundante, y hay *combustión*. En la combustión de una bujía ó de una lámpara, el carbón se combina con el oxígeno del aire; pero no siempre es necesario el oxígeno para que haya combustión. Por ejemplo, si en un frasco lleno de gas cloro (\*\*) se deja

(\*) Se entiende por caloría la cantidad de calor necesaria para hacer pasar de 0° á 1° la temperatura de un kilogramo de agua.

(\*\*) Véase «Química Popular» por Luis G. León.

caer polvo de antimonio, ambos cuerpos se combinan con desprendimiento de calor y de luz.

El frotamiento de dos cuerpos puede producir una considerable elevación de temperatura. Es bien conocido el hecho de que si las chumaceras de los carros de ferrocarril no están bien aceitadas, el constante frotar de los ejes de las ruedas durante

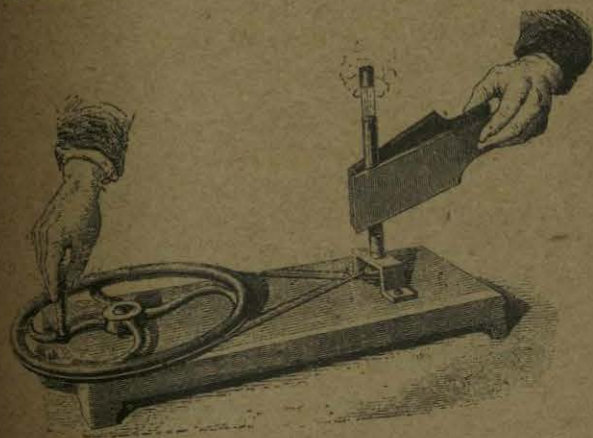


Fig. 238. El frotamiento produce calor.

el movimiento del tren puede ser causa de un incendio.

El siguiente experimento, debido á Tyndall (\*), pone de manifiesto el calor desarrollado por el frotamiento.

El aparato se compone de un tubo de latón, hueco y lleno de agua, al cual se imprime un rápido movimiento de rotación con ayuda de una polea que comunica por medio de una correa con una rueda

(\*) Tyndall, célebre sabio inglés. Fué un gran popularizador de los conocimientos científicos.

grande. Para que el experimento no se prolonge mucho se llena el tubo con agua tibia y se tapa con un corcho, á fin de que el agua no sea proyectada hacia fuera por efecto de la rotación. El tubo se rodea con unas anchas pinzas de madera que llevan unas ranuras para abrazar bien al cilindro de latón. A causa del frotamiento el agua se calienta mucho, alcanza la temperatura de ebullición y cuando la tensión del vapor es suficiente, el tapón es lanzado al aire.

Cuando se frota la piedra con el eslabón, el frotamiento hace que las partículas de acero que se desprenden se calienten é inflamen en el aire.

*Experimento núm. 42.* — Hagamos uso del aparato descrito en la pág. 18 (Experimento núm. 15) que se conoce con el nombre de *eslabón neumático*. Antes de introducir el émbolo pongamos en el fondo del grueso tubo de cristal un pedacito de yesca. Si después se introduce bruscamente el émbolo, el aire comprimido se calienta tanto que la yesca se inflama.

En todos estos ejemplos tenemos al trabajo transformado en calor.

#### DILATACIÓN

206. El calor al separar las moléculas de la materia puede producir dos efectos: dilatar los cuerpos y hacerlos cambiar de estado.

La dilatación puede ser *longitudinal*, *superficial* y *cúbica*.

Longitudinal es cuando nada más consideramos el aumento de longitud que experimenta un cuerpo; superficial cuando consideramos la dilatación de dos

de las dimensiones del cuerpo, y cúbica cuando consideramos el aumento de volumen.

El calor hace que un cuerpo al estado sólido pase al estado líquido y del estado líquido al estado de vapor. Inversamente, la disminución de calor hace al vapor convertirse en líquido y al líquido en sólido.

Hay cuerpos que pasan directamente del estado sólido al gaseoso y del gaseoso al sólido sin pasar por el estado líquido: el yodo, por ejemplo.

Todos los cuerpos se dilatan por la acción del ca-

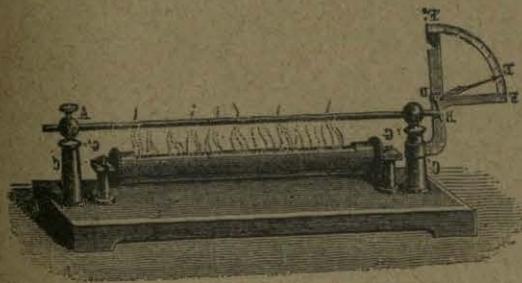


Fig. 239. Dilatación de los sólidos.

lor. Los más dilatables son los gases, después los líquidos y al último los sólidos. En estos últimos tenemos que considerar la dilatación lineal y la dilatación cúbica; es decir, la dilatación en longitud y la dilatación en volumen.

En los líquidos y los gases sólo se considera la dilatación en volumen.

207. *Dilatación de los sólidos.* — Para demostrar la dilatación lineal de los sólidos se hace uso de un aparato llamado *pirómetro* (fig. 239) que consiste en una barra metálica horizontal, fija en una de sus extremidades por medio de un tornillo de presión y libre en el otro extremo, el cual está en contacto

con el pequeño brazo de una palanca que puede moverse sobre un cuadrante.

Abajo de la varilla hay un receptáculo con alcohol. Se inflama el alcohol, la varilla se calienta, al dilatarse empuja al brazo de la palanca, la cual se mueve sobre el cuadrante.

Colocando varillas de distintos metales y teniendo a la vez las dos el mismo tiempo bajo la acción del calor, se ve que la aguja no marca el mismo número de grados sobre el cuadrante, lo que depende de que no todos los metales tienen el mismo coeficiente de dilatación.

208. *El piroscopio eléctrico.* — Ultimamente construí para la Escuela Normal un *piroscopio eléctrico* destinado á comprobar la dilatación lineal de los líquidos.

Se compone de una plancha vertical de madera en la que está fijo un timbre eléctrico provisto de una pila seca. Sobre otra plancha de madera que forma ángulo recto con la primera hay dos columnas de cristal terminadas por unas esferas metálicas entre las que pasa la barra cuya dilatación se desea comprobar. De un lado la barra tiene un tornillo de presión que le impide dilatarse, y del otro hay, á muy corta distancia, un tornillo destinado á cerrar el circuito eléctrico. Debajo de la barra está un depósito con alcohol, se inflama éste y un momento después se oye sonar el timbre, lo que prueba que la varilla se ha dilatado y al aumentar de longitud se puso en contacto con el tornillo y se cerró el circuito. Si ya que está sonando el timbre se apaga la lámpara, observamos que después de un rato el timbre deja de sonar, lo que indica que al disminuir la temperatura la barra se contrajo y

poco á poco va adquiriendo su longitud primitiva.

209. La dilatación cúbica se demuestra por medio de un aparatito muy conocido en Física, y que se llama *anillo de Gravesend*.

Consiste en un anillo metálico fijo en una barra horizontal que se atornilla sobre una columnita unida á un zócalo de madera. La columnita se encorva en la parte superior y sostiene una cadena de la cual pende una esfera metálica.

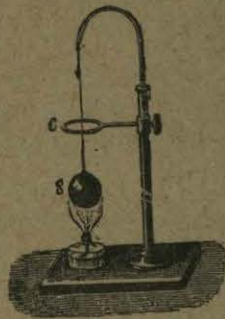


Fig. 240. El anillo de Gravesend.

A la temperatura ordinaria la esfera pasa libremente por el anillo; pero una vez calentada la esfera con una lámpara de alcohol, ya no puede pasar por el anillo, lo que prueba que se ha dilatado.



Fig. 241. Dilatación de los líquidos.

210. *Dilatación de los líquidos.* — Para hacer palpable la dilatación de los líquidos se suelda un globo de vidrio en la extremidad de un tubo capilar.

Tubos capilares son aquellos cuyo diámetro inferior es tan pequeño que se compara al de un cabello.

El globo y parte del tubo se llenan con un líquido coloreado (alcohol con fuchina, por ejemplo), y basta sumergir el globo en agua tibia para que se vea al líquido coloreado subir en el tubo. Sin embargo, al comenzar la experiencia se

nota que el líquido baja en lugar de subir, lo que depende de que el globo se dilata; pero un momento después el líquido comienza á subir rápidamente.



Fig. 242. Dilatación de los gases.

Hay, pues, que considerar en los líquidos la dilatación *aparente* y la *absoluta*. La dilatación absoluta es el aumento de volumen que experimenta un líquido haciendo abstracción de la dilatación de las paredes del vaso que lo contiene.

211. *Dilatación de los gases.*—Un aparato parecido sirve para demostrar la dilatación de los gases. Se llena el globo con algún gas (oxígeno, hidrógeno, nitrógeno ó simplemente aire), y se introduce en el tubo un índice de mercurio de 1 á 2 centímetros de longitud. Basta colocar la mano sobre el globo para ver al índice avanzar hacia la extremidad del tubo, lo que indica que el gas se ha dilatado, y con una cantidad pequeñísima de calor.

Si en un globo terminado por un tubo doblado en forma de S introducimos un gas cualquiera y en la S ponemos un poco de líquido coloreado, veremos que al principio los dos niveles están iguales; pero tan pronto como comenzamos á calentar el gas se ve que el líquido se eleva rápidamente en la rama abierta, mientras que baja muy poco en la otra rama, lo que prueba que el calor tiene por efecto en este caso, *aumentar la fuerza elástica del gas cuya dilatación no puede efectuarse libremente.*



Fig. 243. El calor aumenta la fuerza elástica del gas.

*Experimento núm. 43.*—Hay otro experimento muy bonito y muy fácil de ejecutar para demostrar la dilatación de los gases. A un frasco de cristal de boca ancha, lleno de agua hasta las dos terceras partes, se le pone un tapón de caoutchouc de dos taladros. Por uno de los taladros se le introduce un tubo recto que penetra en el agua y cuya extremidad exterior termina en punta. Por el otro taladro penetra otro tubo encorvado en ángulo recto, pero que no se sumerge en el agua. Ese tubo se pone en comunicación con un globo de cristal lleno de aire. Una vez dispuesto así el experimento se calienta el globo, el aire que contiene se dilata, ejerce presión sobre el agua y salta un chorro de este líquido por la punta del tubo recto.



Fig. 244. El aire caliente ejerce presión sobre el agua y la obliga á salir.

212. El calor, como ya dije, tiene también por efecto, sobre los cuerpos, hacerlos cambiar de estado.

Si colocamos un pedazo de plata en un crisol y elevamos la temperatura hasta 1,000°, la plata pasa al estado líquido. Un pedazo de hielo pasa al estado líquido á una débil temperatura 0°, y al estado gaseoso á la temperatura de 100°. Y este mismo vapor enfriado vuelve á pasar al estado líquido y aun puede pasar al estado sólido si el enfriamiento es suficiente. Esto también es efecto del calor, pues el

*frio* no es más que una de las formas del calor. Un cuerpo está *frio* ó caliente comparado con otro de mayor ó menor temperatura que aquél.

Cuando introducimos una mano en agua á 0° experimentamos una sensación de *frio*; pero si después de haber tenido la mano en una mezcla de hielo y cloruro de sodio la introducimos en agua á 0°, esta agua, que antes nos parecía fría, nos parece ahora tibia.

TERMÓMETROS

213. El instrumento que nos sirve para medir la temperatura de los cuerpos se llama *termómetro*, y consiste en un tubo capilar de vidrio cerrado por la parte superior y unido en la inferior á un receptáculo esférico ú ovoide. El recipiente y parte del tubo están llenos de mercurio ó de alcohol. El instrumento está fijo en una plancha de madera donde se halla la graduación. En algunos termómetros la graduación está en el mismo tubo.



Fig. 245.  
El termómetro.

Para la construcción del termómetro se escogió el mercurio, porque siendo un metal, es muy buen conductor del calor, porque no entra en ebullición sino á una temperatura muy elevada, porque es de todos los líquidos el que se dilata más regularmente, y porque se pone violentamente en equilibrio de temperatura

con los cuerpos ambientes. El alcohol se emplea porque no se congela á ninguna temperatura *natural* conocida. Sólo artificialmente se ha logrado congelarlo á una temperatura extremadamente baja.

El termómetro fué inventado á fines del siglo XVI, y algunos le atribuyen la invención á Galileo.

El punto de 0 del termómetro ordinario lo determina el momento de la licuación del hielo y el punto 100 la ebullición del agua.



Fig. 247. Aparato sencillo para el 100.

que se sumerge el termómetro. El mercurio se contrae y comienza á bajar. En el punto en que

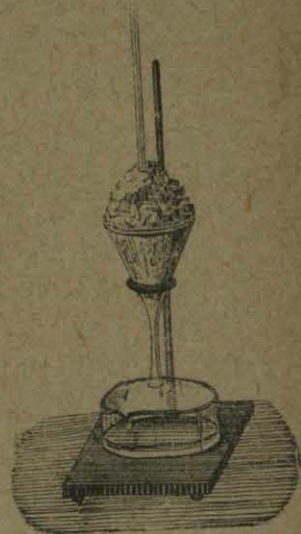


Fig. 246. Aparato sencillo para el 0.

Para la primera parte de la graduación se hace uso de un aparato que consiste en un vaso cilíndrico de metal terminado por un cono en su parte inferior. El vaso está sostenido por un trípé, y el cono está taladrado. Se llena el vaso con trozos de hielo en los

se detiene se marca 0. En seguida se lleva el termómetro á un vaso cerrado donde hay agua en ebullición, teniendo cuidado de que el termómetro no se sumerja en el agua caliente, sino que únicamente esté rodeado por el vapor. El mercurio se dilata y comienza á subir, y en el punto en que queda estacionario se marca 100. Después el espacio comprendido entre esos dos puntos se divide en 100 partes iguales, que se llaman *grados*, y la graduación puede llevarse más arriba del 100 y más abajo del 0.

Los aparatos indicados en las figuras 246 y 247 son de los más sencillos de gabinete, y sirven, no precisamente para hacer la graduación, sino para ver si un termómetro está bien graduado.

El primero consiste simplemente en un embudo de cristal lleno de trozos de hielo y colocado arriba de una cristalizadora para que caiga ahí el agua que proviene de la fusión. En el hielo del embudo se sumerge el termómetro.

El segundo consiste en un matraz con agua y cuyo tapón lleva dos taladros: por uno pasa el termómetro y por el otro un pequeño tubo encorvado para que se escape el vapor de agua. El matraz puede calentarse sencillamente con una lámpara de alcohol.

214. Hay tres escalas termométricas: la del centígrado, la de Réaumur y la de Farenheit. La del centígrado está dividida en 100 partes iguales, la de Réaumur en 80 y la de Farenheit en 212.

El 0 del Farenheit se obtiene sumergiendo el termómetro en una mezcla de hielo y clorhidrato de amoníaco, que produce un frío muy intenso. El 0 del centígrado y del Réaumur corresponde á los 32° Farenheit.

El 100 del centígrado, el 80 del Réaumur y el 212 del Farenheit corresponden á la temperatura de ebullición del agua (al nivel del mar).

En México usamos el termómetro centígrado. El de Farenheit está muy generalizado en Inglaterra y en los Estados Unidos del Norte.

La temperatura media anual en México es de 15°4, lo que hace templado y agradable nuestro clima.

El problema que se presenta más á menudo, teniendo en cuenta que nuestros vecinos del Norte usan el termómetro de Farenheit, es reducir grados de esta escala á centígrados ó grados centígrados á Farenheit.

Para lo primero empleamos la fórmula siguiente:

$$t_c = (t_f - 32) \frac{5}{9}$$

Y para reducir grados centígrados á Farenheit:

$$t_f = t_c \times \frac{9}{5} + 32$$

215. *Desalojamiento del cero.*— Sucede con el tiempo que un termómetro que daba buenas indicaciones, ya no marca 0 en el hielo fundente, sino que marca uno ó dos grados más arriba. Este hecho se ha explicado por una disminución del volumen del receptor, pero más bien se cree que es debido á un trabajo molecular producido cuando después de haber llevado el vidrio á la temperatura de ebullición del mercurio, se deja después enfriar rápidamente. Por esto siempre que se quiera hacer una medida precisa de temperatura hay que rectificar el 0 del termómetro.



216. *Graduación del termómetro de alcohol.*—El del termómetro de alcohol se gradúa lo mismo que el 0 del termómetro de mercurio; pero como el alcohol entra en ebullición á los 79° no sería posible llevar la graduación hasta el 100. Entonces se gradúa por comparación con un *termómetro patrón* de mercurio, y se toma como limite superior de la graduación el número 60 ó 70.

En los Observatorios Meteorológicos se emplean unos termómetros llamados de máxima y mínima

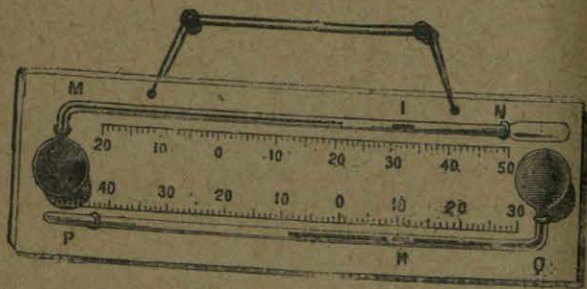


Fig. 248. Termómetro de máxima y mínima.

que sirven para conocer la mayor y menor temperatura ocurridas en un día.

217. *Termómetros de máxima y mínima.*—El termómetro de máxima es de mercurio y se coloca horizontalmente. El mercurio al dilatarse empuja á un índice I, de acero. Al bajar la temperatura el mercurio se contrae y el índice permanece quieto marcando la mayor temperatura ocurrida. Hay otros termómetros de máxima que no tienen índice, sino que cerca del receptáculo hay una pequeña estrangulación que permite al mercurio retroceder una vez que se ha dilatado y se queda, por lo tanto, indicando la temperatura máxima. Para que el mercu-

ro regrese al receptáculo se coloca el termómetro verticalmente y se le da una ligera sacudida.

El termómetro de mínima es de alcohol y lleva, sumergido en el líquido, un índice de esmalte. Al contraerse el alcohol arrastra consigo el índice, pero al volverse á dilatar pasa entre el índice y el tubo capilar, y el índice permanece indicando la menor temperatura habida. Después hasta inclinar un poco el tubo para que el índice resbale hasta quedar en contacto con la extremidad del alcohol.

El termómetro del Sr. Six es al mismo tiempo de máxima y de mínima. Se compone de un tubo de cristal, tres veces encorvado y fijo verticalmente en una plancha de madera. La columna es de mercurio y tiene en ambas extremidades un índice de acero.

El índice de la derecha marca la máxima y el de la izquierda marca la mínima. Para volver á pasar los índices en contacto con el mercurio, se hace uso de un pequeño imán en forma de herradura, que tiene los polos acanalados. El termómetro de Six es de empleo cómodo para determinar con una sola lectura diaria la temperatura media aproximada de un lugar. Basta leer la máxima y la mínima, sumarlas y sacar mitad al resultado.

218. *Termómetro metálico de Breguet.*—El termómetro de Breguet (\*) se funda en la desigual dilatabilidad de los metales. Se compone de tres lami-



Fig. 249. Termómetro de Six.

(\*) Breguet, relojero parisiense, murió en 1823.

nititas superpuestas: una de platino, una de oro y otra de plata, las cuales soldadas entre si y pasando por el laminador forman una cinta metálica muy delgada. Se enrolla la cinta en forma de hélice y se fija en un soporte especial (fig. 250) y en la extremidad inferior se le coloca una aguja que puede moverse sobre un cuadrante horizontal, donde está

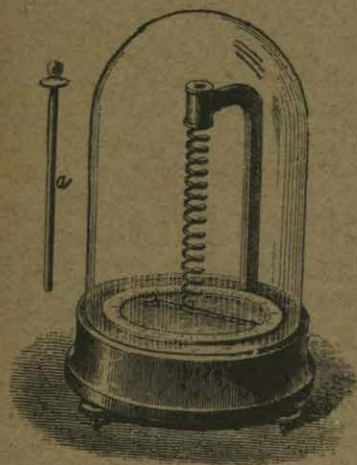


Fig. 250. Termómetro de Breguet.

graduado una escala centígrada. La plata, que es el metal más dilatante de los tres metales, ocupa la parte exterior de la hélice; el oro, que es el metal más dilatante, ocupa la parte exterior y el oro que queda en la parte media. Cuando se eleva la temperatura, la plata se dilata más que los otros dos metales y la hélice se desenrolla; cuando la temperatura baja, la hélice se enrolla. El oro se coloca entre la plata y el platino porque tiene una dilatación intermedia entre éstos, y si sólo se empleara la plata y el platino un cambio brusco de temperatura podría causar la ruptura del aparato. La graduación de este termómetro se hace por comparación con un termómetro patrón de mercurio.

Cuando se transporta el aparato de un lugar a otro se introduce en la hélice una varilla metálica que impide que se deforme el instrumento, todo lo cual está protegido por una campana de cristal.

219. *Termómetro diferencial de Leslie.*— El termómetro diferencial de Leslie (\*) sirve para conocer la diferencia de temperatura entre dos puntos certeros, y ha recibido por esto el nombre de *termómetro diferencial*. Se compone de un tubo de cristal doblemente encorvado en cuyas extremidades hay dos esferas iguales de cristal llenas de aire. La parte horizontal del tubo y la mitad de las ramas verticales están llenas de ácido sulfúrico teñido de rojo. Se escoge el ácido sulfúrico porque no da vapores á las temperaturas ordinarias.

Cuando las dos esferas están á la misma temperatura el nivel es igual en ambas ramas, y en estos puntos se marca 0. En seguida se levanta una de las bolas á 0° y la otra se pone á la temperatura de 10°. El aire de esta esfera se dilata y empuja á la columna líquida que sube en la otra rama hasta el punto 10. Cuando el líquido permanece estacionario se marca 10 de cada lado á la altura de los niveles, y luego se dividen los intervalos de 0 á 10 en diez partes iguales y se continúan las divisiones arriba y abajo del cero en cada rama.

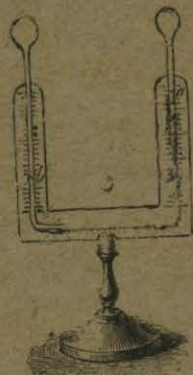


Fig. 251. Termómetro diferencial.

220. *Termoscopio de Rumford.*— Existe otro instrumento análogo debido á Rumford (\*\*). Consta también de un tubo de cristal doblemente encorvado, terminado por dos esferas más grandes que las del termómetro de Leslie. En la rama horizon-

(\*) Leslie, fisico francés, murió en 1832.

(\*\*) Rumford, fisico americano, murió en París en 1814.

tal hay un índice E que no tiene más que dos centímetros de largo. Cuando las dos esferas están a la

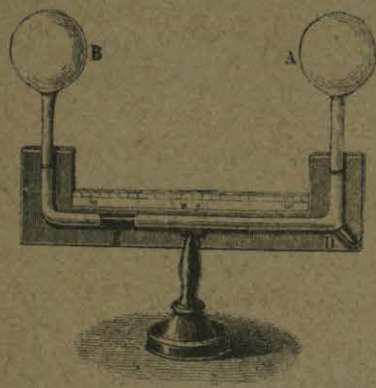


Fig. 252. Termómetro de Rumford.

una de las bolas, se hace pasar el índice al apéndice para permitir que pase aire á la otra bola.

COEFICIENTES DE DILATACIÓN

221. Se llama *coeficiente de dilatación lineal* el número que expresa el aumento que adquiere la unidad de longitud de un cuerpo sólido cuando su temperatura se eleva 1° centígrado.

Coeficiente de dilatación cúbica es el número que expresa el aumento de volumen que adquiere la unidad de volumen cuando la temperatura se eleva 1° centígrado.

Llamemos L la longitud de una barra á la temperatura de 0° y L' la longitud á la temperatura t; el coeficiente de dilatación lineal  $\delta$  será:

$$\delta = \frac{L' - L}{Lt}$$

Supongamos un cubo de plata que tenga por lado la unidad de longitud á la temperatura de 0°. Si aumentamos en 1° la temperatura del cubo, cada lado tendrá por valor  $1 + \delta$ , y el volumen será igual  $(1 + \delta)^3$ .

Desarrollando tendremos:

$$(1 + \delta)^3 = 1 + 3\delta + 3\delta^2 + \delta^3.$$

El aumento de volumen ó sea el coeficiente de dilatación cúbica estará representado por:

$$3\delta + 3\delta^2 + \delta^3.$$

Y como el coeficiente de dilatación lineal de los cuerpos es siempre muy pequeño, el cuadrado y el cubo serán todavía más pequeños y podremos despreciarlos, así es que el valor del coeficiente de dilatación cúbica sería  $3\delta$ .

Esto quiere decir que el *coeficiente de dilatación cúbica de un cuerpo es sensiblemente el triple del coeficiente de dilatación lineal.*

222. *Método de Lavoisier y Laplace.*—Para medir

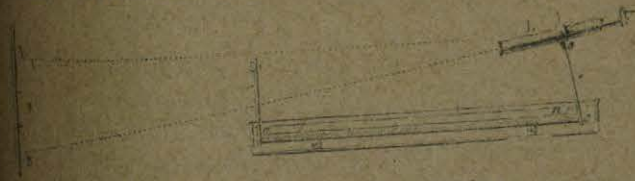


Fig. 253. Aparato de Lavoisier y Laplace.

el coeficiente de dilatación lineal de los cuerpos sólidos reducidos á barras, los Sres. Lavoisier y Laplace idearon el siguiente procedimiento: En una caja metálica de pequeña profundidad se coloca sobre dos cilindros de vidrio la barra a n cuyo co-