

comparables. En los estudios que requieran precisión se hace uso del termómetro de aire, ó si se prefiere el de mercurio por su comodidad, se le compara previamente con aquel y se forma una tabla (ó bien se construye una curva) mediante la cual se rectifican sus indicaciones.

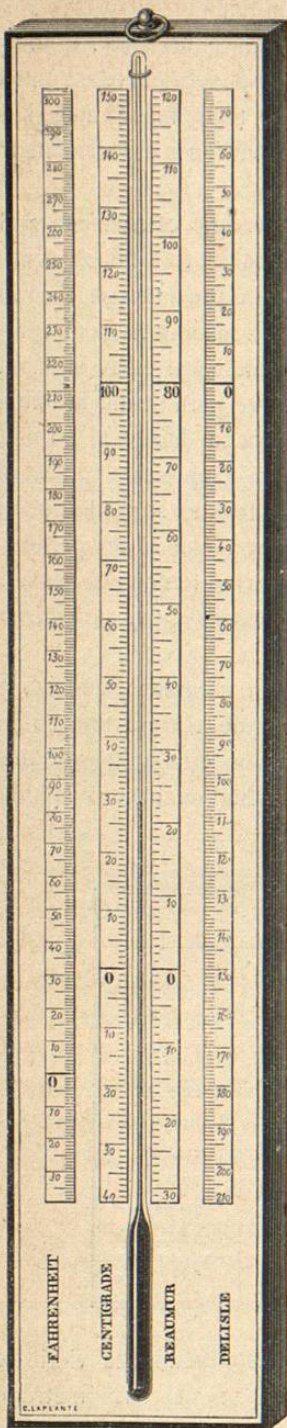


Fig. 520. —Escalas termométricas

Ocorre otro fenómeno, que se observa de vez en cuando y que es capaz de alterar las indicaciones del termómetro; consiste en el cambio de lugar del cero, que sube gradualmente más allá del punto marcado en la escala al construirlo. Esta elevación, que es común al otro punto fijo y por consiguiente á todos los grados de la escala, ha sido observada desde 1823 por Flaugergues en Francia y por Bellani en Italia, y según Despretz, puede continuar por espacio de cuatro ó cinco años. Por lo demás, las variaciones de los puntos fijos de un termómetro de mercurio pueden resultar de las de temperatura que experimenta cuando se desvían mucho en más ó en menos de la temperatura media. Una muy baja hace subir el cero; si la temperatura sube á 100°, obsérvase una depresión; y por último, cuando es muy alta, su consecuencia es la elevación de los puntos fijos. Si el termómetro ha subido hasta 100°, la depresión temporal del cero no pasa de algunas décimas de grado. Si por el contrario ha estado sometido bastante tiempo á una alta temperatura, nótese una elevación considerable. Citemos algunos casos. Habiendo calentado Person á 440° tres termómetros, su punto cero subió á 12°, 15° y 17°. Los señores Deville y Mascart calentaron tres termómetros por espacio de otras tantas horas á 166°, 206° y 266°, y vieron que los ceros subían á 11°, 4, 12°, 5 y 13°, 5.

M. Crafts ha hecho recientemente algunos estudios acerca de este asunto, convenciéndose de que la naturaleza del vidrio influye en la rapidez y en la extensión de la desviación; que el punto cero, desviado por la acción prolongada de una alta temperatura, tiende á quedar fijo en su nueva altura, y que el termómetro es más estable bajo la influencia del calor á toda temperatura inferior.

¿Cuál es la causa de estas variaciones? Al pronto creyóse poder atribuir las á la acción de la presión exterior, que obrando á la larga sobre el recipiente, lo comprime y disminuía su capacidad; pero ciertos experimentos hechos con termómetros de tubo abierto han dado los mismos resultados, lo cual prueba que la presión no es la causa del fenómeno. Por otra parte, tampoco puede bastar para explicar la depresión y la elevación transitoria del cero. En cambio, todo queda explicado si admitimos con Despretz que un cuerpo sólido cuyas moléculas hayan sufrido alguna desviación por una causa mecánica ó física, y cuyo volumen, por ejemplo, haya disminuído ó aumentado de un modo más ó menos

considerable por efecto de una fuerza cualquiera, conserva más ó menos tiempo el mismo volumen cuando esta fuerza ha cesado de obrar. Por la insuflación se han separado las moléculas del depósito termométrico; la ebullición del mercurio después de llenar el termómetro produce parecido fenómeno. Vuelto el vidrio del depósito á temperaturas inferiores, recobra muy poco á poco su estado molecular primitivo; sin embargo, á la larga se contrae como por una especie de temple debido al enfriamiento, la capacidad del depósito disminuye, lo cual explica la elevación gradual de los puntos fijos. Exponiéndolo en seguida á temperaturas elevadas, la acción del calor favorece de nuevo el regreso de las moléculas á su posición normal, y se observa otra elevación de los puntos fijos; mas, conforme se obtienen estos efectos, si el enfriamiento se efectúa con mucha lentitud, restablécese el equilibrio, y dichos puntos son más estables. La escasa depresión transitoria observada cuando se calienta el termómetro á 100° proviene de que la capacidad del depósito que por tal manera ha aumentado recobra muy poco á poco su volumen normal. Por último, la misma causa demuestra por qué suben también los puntos fijos cuando se ha sometido el termómetro á un frío prolongado; el depósito contraído no recobra en seguida su volumen primitivo.

La sensibilidad de un termómetro puede entenderse, ya relativamente á la rapidez con que adquiere la temperatura de los medios en que se le introduce, ó ya á la presión con que marque las más pequeñas fracciones de grado, es decir, con que indique insignificantes variaciones de temperatura. Para obtener la primera de estas dos cualidades esenciales importa que la masa del mercurio del depósito sea todo lo reducida posible, ó por lo menos su superficie la mayor que se pueda con relación á su volumen. De esto resultan dos ventajas: que el termómetro adquiere rápidamente la temperatura del cuerpo con el que se le pone en contacto; y que no modifica sino de una manera insensible esta misma temperatura. Consíguese este resultado dando al depósito una forma cilíndrica prolongada (la esférica es la menos favorable); á veces se retuerce en espiral el depósito para que, teniendo una gran superficie, su longitud sea escasa.

Cuanto más pequeño es el depósito, más reducido debe ser el diámetro interior del tubo, para que la segunda especie de sensibilidad sea mayor. En este caso suele suceder que la columna de mercurio es tan sumamente fina que se necesita apelar á un anteojito de aumento para observar su nivel. A fin de hacerla más aparente se construyen tubos cuya sección es una elipse alongada en vez de un círculo, sin aumentar su superficie; la columna mercurial, vista así en su mayor anchura, se distingue más fácilmente. También aplicase al tubo una faja de esmalte que forma un fondo blanco, opaco, sobre el cual se proyecta y se percibe claramente el extremo de la columna líquida.

Los termómetros que son bastante sensibles para que la longitud de sus grados permita dividirlos en décimas, habrían de tener dimensiones exageradas y su uso sería muy incómodo si comprendieran toda la longitud de la escala termométrica. Se subsana este defecto construyendo series de termómetros, cada uno de los cuales ha sido graduado, por comparación con un termómetro tipo, para un corto número de grados de la escala: tales son los *termómetros de escalas fraccionadas*. Con diez termómetros de esta clase, que comprendan respectivamente 20 grados, de 0° á 20, de 10 á 30, de 20 á 40, etc., se podrá medir toda una temperatura comprendida entre 0° y 110°. En cada caso particular se hará uso del que comprenda los límites probables de la temperatura que se ha de observar. Fabricanse algunos cuya escala es todavía menos extensa; para la práctica médica basta, por ejemplo, un termómetro que dé la temperatura entre 34° y 40°.

Dase el nombre de termómetro *metastático* al construido de modo que sus indicaciones, sin dejar de permitir la observación de pequeñas fracciones de grado, como décimas ó centésimas, reúnan las ventajas de la serie de termómetros de escalas frac-

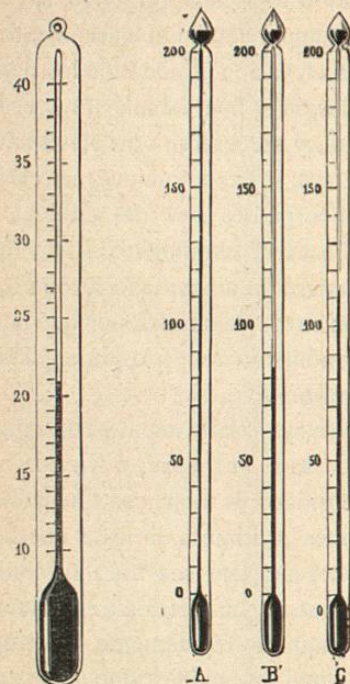


Fig. 521.—Termómetro de escala fraccionada.

Fig. 522.—Termómetros metastáticos.

cionadas de que acabamos de tratar. La escala de un termómetro metastático sólo comprende un corto número de grados; pero el valor absoluto de sus indicaciones puede cambiar á beneplácito del observador, como si se pudiera trasladar los puntos fijos á un punto cualquiera del tubo. Su depósito es muy pequeño, y el tubo de un calibre interior bastante fino para que, al variar la temperatura, por poco que sea, la columna mercurial recorra toda su longitud. El instrumento contiene la cantidad de mercurio suficiente para que, aun dada la temperatura más baja que se quiera medir con él, el líquido llene el depósito, el tubo entero y una parte del recipiente globular soldado al extremo superior y que comunica con el tubo por un angosto orificio. Este último está dividido en partes iguales de longitud arbitraria, 200 por ejemplo.

Cada vez que se necesite hacer uso del termómetro, hay que regular su marcha, de modo que el nivel esté siempre comprendido en el límite de las temperaturas que se trata de determinar, por ejemplo entre 15° y 25°. Entonces se le mete en un baño de una temperatura constante algo superior á 25°; tan luego como se obtiene el equilibrio, se le saca, y cuando empieza á enfriarse, se da al tubo una sacudida brusca que separa la columna mercurial del mercurio del recipiente globular en el punto en que aquélla comunica con éste. A partir de tal momento, el mercurio del recipiente permanece en él contrayéndose, y queda el termómetro preparado para las observaciones que se hayan de hacer en los límites requeridos. Entonces sólo será preciso conocer.

1.º cuál es el valor de una de las divisiones de la escala en grado ó fracción de grado; 2.º á qué grado del termómetro tipo corresponde una de ellas. Lógrase esto poniendo el termómetro metastático en el mismo baño que aquél, y anotando el grado marcado por el primero con la división correspondiente. Dejando luego que el baño se enfríe un grado, una nueva lectura dará todos los elementos de la cuestión.

Como se ve, estas operaciones son bastante largas y delicadas, pero hay que tener en cuenta que son necesarias cuando se trata de averiguaciones precisas, de determinaciones rigurosas que requieren una aproximación de la temperatura en décimas y hasta en centésimas de grado centígrado. En las observaciones ordinarias se hace uso de los termómetros comunes de mercurio ó de alcohol.

En las investigaciones de física se emplea á veces un aparato termométrico que difiere del termómetro de mercurio en que no tiene tubo ni necesita graduación: es el

termómetro *de peso*, formado de un grueso depósito cilíndrico soldado á un tubo corto, dos veces acodado en ángulo recto y con su extremo aguzado y presentando una abertura capilar (fig. 523). Se pesa el tubo vacío, y luego se le llena de mercurio que se purga por ebullición, después de lo cual se le mete entre hielo en fusión manteniendo el orificio en mercurio bien purificado. El instrumento se llena así de este último líquido á 0°; se le pesa en tal estado, y la diferencia con el peso del tubo vacío da el del mercurio solo á 0°. Hecho esto, se lleva el aparato á un baño de temperatura conocida y constante, cuidando de recoger el mercurio que la dilatación hace salir por el orificio. Se pesa por último el mercurio salido; siendo evidente que este último peso referido al



Fig. 523.—Termómetro de peso.

del mercurio restante, es decir  $\frac{p}{p-p}$ , representa la dilatación total aparente del mercurio respecto del número de grados que expresa la temperatura del baño  $t$ . Dividiendo este número por  $t$  se tendrá la dilatación para un grado, ó la aparente del mercurio en el vidrio del tubo para la unidad de volumen y para un grado. Conocido este elemento, y empezando de nuevo la operación que acabamos de describir, se podrá averiguar recíprocamente la temperatura desconocida del baño en el que se introducirá el aparato.

La principal ventaja del termómetro de peso consiste en la escasa longitud de su tubo, que permite sumergirlo enteramente en los medios cuya temperatura se desea conocer. Además, de este modo se evitan los errores de graduación; pero las operaciones son más largas y requieren balanzas más exactas.

## VI

### TERMÓMETROS DIFERENCIALES, METÁLICOS, DE MÁXIMA Y DE MÍNIMA

Los aparatos que acabamos de describir, juntamente con el termómetro de aire de que trataremos después, son los únicos usados en las investigaciones precisas de los laboratorios de física y cuando se han de determinar temperaturas absolutas. Cuando se trata de comprobar rápidas variaciones de temperatura, valuar simples diferencias ó saber á qué temperaturas extremas ha estado sometido un medio durante un espacio de tiempo dado, se emplean varios instrumentos que vamos á describir someramente.

Atribúyese á Galileo y á Cornelio Drebbel la invención de los primeros termómetros de aire, que á decir verdad no eran más que simples termoscopios. Uno de ellos (figura 524) consiste en un tubo de recipiente que contiene una pequeña columna líquida A, la cual separa el aire del recipiente del aire exterior. El otro aparato está asimismo formado de un tubo de depósito de aire semejante al primero, pero cuyo extremo abierto penetra en una vasija abierta; á causa del enfriamiento, el aire disminuye de volumen, y por consiguiente su elasticidad es menor, de suerte que el líquido, sometido siempre á la presión atmosférica exterior, sube más ó menos por el tubo. Este segundo aparato fué muy usado en el siglo último. Ahora se gradúan estos dos termómetros por comparación con uno de mercurio; márcanse los

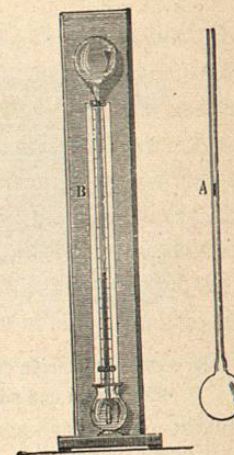


Fig. 524.—Termómetros de aire de Cornelio Drebbel y de Galileo.

puntos en que se detiene el líquido á dos temperaturas diferentes, y se divide el intervalo en tantas partes iguales cuantos son los grados que éste comprende. Pero como los cambios de la presión atmosférica los afectan, no son susceptibles de gran precisión. Su calidad consiste sobre todo en la rapidez de sus indicaciones.

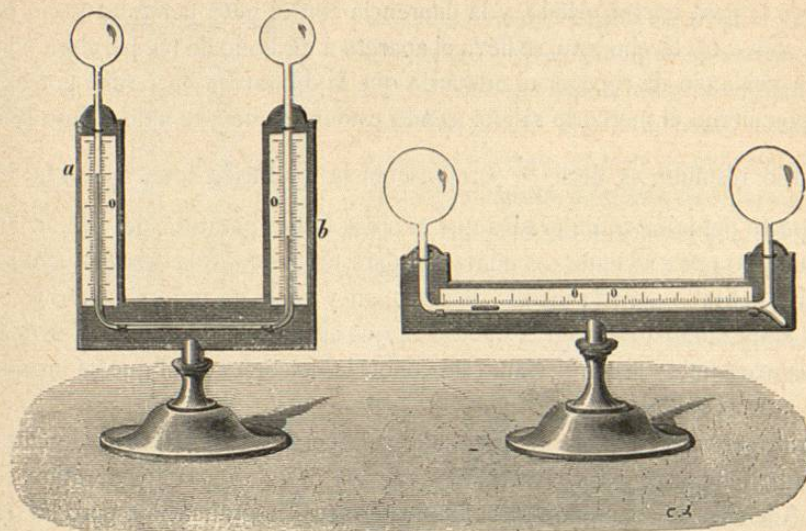


Fig. 525.—Termómetro diferencial de Leslie

Fig. 526.—Termómetro diferencial de Rumford

Leslie y Rumford han ideado, cada cual por su parte, termómetros fundados en la dilatación del aire, pero que no ofrecen los inconvenientes de los anteriores, esto es, no influye en ellos la presión atmosférica. Ambos constan de un tubo acodado dos veces, y terminado en cada extremo en un depósito globular. El tubo del termómetro de Leslie (fig. 525) contiene una columna líquida de ácido sulfúrico teñido de encarnado,

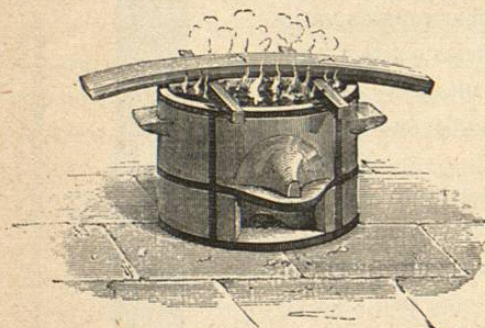


Fig. 527.—Dilatación desigual de dos metales diferentes á una misma temperatura

cuyos niveles son iguales en cada brazo, cuando la temperatura de las dos bolas es igual (1). Señálase con un 0 este nivel común. Si se calienta entonces uno solo de ambos depósitos, la dilatación del aire contenido en él empuja el líquido; el nivel del brazo correspondiente baja á *b* al paso que en el otro brazo sube hasta *a*; y la altura sobre cero marca la diferencia de temperatura de los depósitos, si el instrumento ha sido graduado por comparación con un termómetro de mercurio. La elección del líquido que forma la columna-índice no es indiferente. Leslie se valió del ácido sulfúrico, porque no desprende vapores á las temperaturas ordinarias.

El termómetro de aire de Rumford difiere del anterior en que la columna líquida

(1) Esto supone que las masas de aire contenidas en los dos depósitos son perfectamente iguales, resultado que se consigue por medio de tanteos cuando se construye el instrumento.

está reemplazada por un índice que ocupa la parte media del brazo horizontal del tubo cuando hay igualdad de temperatura entre los dos depósitos, siendo también iguales las masas de aire contenidas en cada mitad del aparato. Si uno de los depósitos se calienta más que el otro, la dilatación del aire hará que el índice se dirija por la parte horizontal del tubo hacia el lado de la bola más fría, y se medirá la diferencia de temperaturas por el número de divisiones que dicho índice haya recorrido á partir del cero. Rumford empleaba un índice de alcohol; pero como este líquido es muy volátil, las indicaciones del aparato no ofrecían mucha seguridad, y sólo podían marcar la igualdad de las temperaturas. Le daba el nombre de *termoscopio*.

Ambos instrumentos marcan así diferencias de temperatura, por lo cual se les llama *temperaturas diferenciales*. Pero pueden indicar también las temperaturas absolutas, en cuyo caso se rodea uno de los globos de hielo fundente, lo cual mantiene su temperatura á cero.

La dilatación de los cuerpos sólidos puede servir asimismo para medir la tempera-

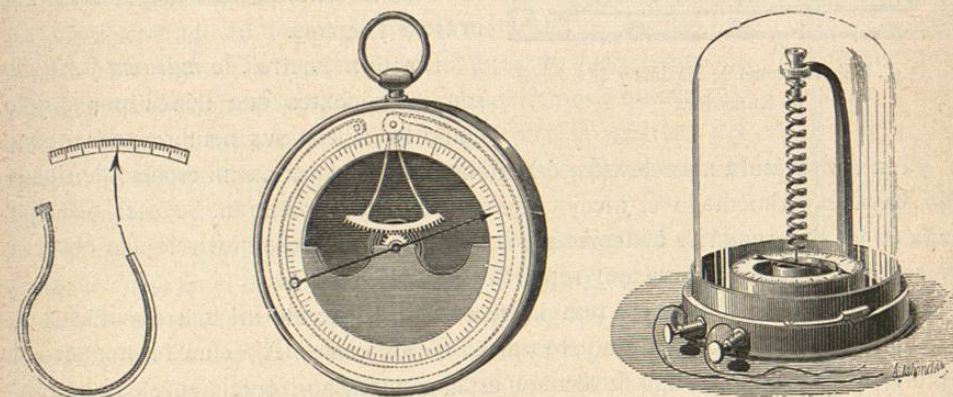


Fig. 528.—Termómetro metálico de Regnier

Fig. 529.—Termómetro metálico de cuadrante

Fig. 530.—Termómetro metálico de Bréguet

tura. Los aparatos que hemos descrito más arriba están basados en la desigualdad de dilatación de los líquidos ó de los gases y de las substancias que los contienen; esta desigualdad, ya sensible para con los líquidos, lo es mucho más respecto de los gases. La construcción de los termómetros metálicos representados en las figuras 528, 529 y 530 está asimismo basada en la desigualdad de dilatación de los diferentes cuerpos sólidos. Dos placas metálicas, una de cobre y otra de zinc por ejemplo, soldadas una á otra en toda su longitud de manera que formen una barra recta, se alargan con desigualdad si se eleva su temperatura; la barra se dobla entonces como lo demuestra la figura 527, formando el zinc, como más dilatante, el lado convexo, y el cobre el lado cóncavo. Al volver á la temperatura primitiva, recobra su forma rectilínea, para doblarse en sentido contrario, si se la somete en seguida á un enfriamiento.

El termómetro metálico de cuadrante se compone de una placa curva de cobre y acero soldados. Uno de los extremos está fijo, y el otro lleva una manecilla cuya punta puede recorrer las divisiones de un cuadrante. Tal es el termómetro metálico de Regnier (fig. 528). La extremidad movable de la doble placa se apoya también en el brazo menor de una palanca, cuyo brazo mayor, en forma de sector dentado, engrana en el piñón de la aguja (fig. 529). Las variaciones de la temperatura aumentan ó disminuyen la curvatura de la placa, haciendo entonces mover, en uno ú otro sentido, la pa-

lanca y por consiguiente la aguja. El cuadrante está dividido en grados por comparación con un termómetro de mercurio.

En el termómetro metálico de Bréguet (fig. 530) la placa está formada de tres láminas de plata, oro y platino, que componen una banda metálica enrollada en hélice, constituyendo la plata, como el más dilatado de los tres metales, la superficie interior de las espiras (1). La hélice está suspendida verticalmente, y de su extremo inferior pende una aguja horizontal que recorre las divisiones de un cuadrante. Si la temperatura se eleva, la curvatura de las espiras disminuye por efecto de la mayor dilatación de la plata y la aguja marcha en un sentido; lo contrario sucede si la temperatura baja.

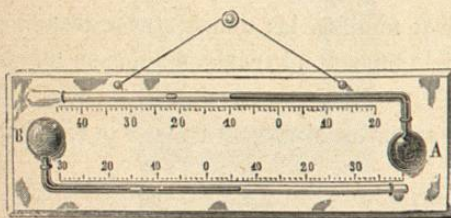


Fig. 531.—Termómetro de máxima y de mínima de Rutherford

Como la masa de la hélice es sumamente débil, se pone con gran prontitud en equilibrio de temperatura con el aire que la rodea; el termómetro de Bréguet es, pues, muy sensible, y muy á propósito para marcar las variaciones de temperatura más bruscas y ligeras.

Los termómetros de *máxima* y *mínima* son instrumentos que tienen por objeto, como lo indican sus nombres, dar á conocer, ya la temperatura más elevada, ó bien la más baja que, en un espacio de tiempo dado, haya experimentado el medio en cuyo seno se encuentran. Se usan principalmente en los observatorios meteorológicos, en donde eximen al físico de una observación continua ó por lo menos muy repetida.

La figura 531 representa los termómetros de máxima y de mínima descritos por Rutherford. Los dos instrumentos, el primero de los cuales, A, es un termómetro de mercurio, y el segundo, B, uno de alcohol, están situados horizontalmente en una tablilla. En el interior del termómetro de máxima y en la superficie del mercurio descansa un pequeño cilindro de acero ó de esmalte, que el líquido empuja ante sí mientras la temperatura se eleva, pero que permanece quieto en el punto más distante á que ha llegado cuando aquélla llega á bajar.

La base del cilindro más inmediata al mercurio indica sin duda la temperatura máxima. El movimiento del índice mientras la columna mercurial sube, así como su detención cuando ésta retrocede, están igualmente basados, según se ve, en la propiedad que tiene el mercurio de no mojar el cilindro de acero, de no adherirse á su superficie. Una propiedad contraria á ésta es la que ha proporcionado á Rutherford el medio de construir su termómetro de mínima. Este es, en efecto, un termómetro de alcohol en cuyo tubo hay un cilindro de esmalte que el líquido rodea sin moverlo de su sitio cuando sube la temperatura, pero al que arrastra tras sí cuando ésta baja. La base del cilindro opuesta al depósito es, pues, la que indica el *mínimo*. Cuando se quiere instalar el instrumento para hacer una observación, hay que cuidar de hacer que el índice pase á los extremos de cada columna líquida: el uno



Fig. 532.—Termómetro de máxima de Negretti y Zambra

(1) La interposición del oro entre los dos metales de dilatibilidad más desigual tiene por objeto evitar la rotura ó por lo menos la separación de las partes soldadas, accidente que podría sobrevenir si se empleara exclusivamente el platino y la plata.

descansa entonces sobre el mercurio, y el otro, rodeado de alcohol, asoma su base más distante del depósito por la superficie del líquido.

También se hace uso, como termómetro de máxima, del instrumento representado en la figura 532. Es un termómetro de mercurio común cuyo tubo está un tanto encorvado junto al depósito, y estrechado en A, en el punto en que, cuando el mercurio se contrae por efecto del enfriamiento, la columna situada en el tubo no puede ya penetrar en el depósito. Su extremidad queda, pues, en el punto más elevado de su ascensión. En cambio, mientras el mercurio se dilata, basta su fuerza expansiva para que el líquido del depósito pase al tubo, á pesar de lo reducido del diámetro de la parte estrechada. Este instrumento ha sido inventado por Negretti y Zambra.

El termómetro de Six, modificado por Bellani, reúne en un solo aparato los termómetros de máxima y de mínima de Rutherford. Consiste en un termómetro de alcohol de gran depósito, de tubo acodado dos veces y que contiene una columna de mercurio en los dos brazos verticales del codo inferior. De este modo quedará el alcohol separado en dos partes por el mercurio; en los dos niveles de este último descansan dos flotadores de hierro, que en virtud de sus movimientos y por los puntos extremos á que llegan, indican, el uno la temperatura más baja, el otro la más alta del espacio de tiempo durante el cual se haya estado observando el instrumento.

Para observar las temperaturas *máximo* y *mínimo* á ciertas profundidades, en el agua del mar ó en los lagos y en los pozos artesianos, se usan los termómetros de versión, entre los cuales describiremos los de Walferdin, los más apreciados por los físicos.

El termómetro de máxima está construido como uno de mercurio común; pero el tubo termina en punta afilada y abierta que penetra en un pequeño depósito lateral ó *panza*, la cual contiene cierta cantidad de mercurio. Cuando se quiere hacer alguna observación, se calienta el depósito hasta que el mercurio llene enteramente el tubo; luego se invierte el instrumento, quedando el depósito arriba y bajando el mercurio de la panza hacia la punta; se le deja enfriar á una temperatura más baja que la de las máximas que se tengan que determinar, á pesar de lo cual el tubo continúa lleno enteramente de mercurio, por cuanto la punta sigue sumergida en el mercurio del depósito ó panza. Cebado así el instrumento, se le coloca en el medio que se ha de observar. Mientras la temperatura se eleva, el mercurio pasa por la punta, y en el momento del *máximo* el tubo quedará enteramente lleno. Al sacar el instrumento del medio, se hallará la temperatura máxima calentando el termómetro en un baño hasta que la columna de mercurio toque de nuevo el vértice de la punta.

En el termómetro de mínima, la punta está abajo, cerca del depósito, que contiene mercurio y cierta cantidad de alcohol. Cuando se quiere hacer alguna observación, se enfría el instrumento á una temperatura inferior á la que se supone como mínima; se le invierte y por la punta penetra en el tubo cierta cantidad de mercurio. Colocado el termómetro en el medio que se trata de observar, mientras la temperatura baja, el índice de mercurio del tubo desciende y una parte de aquél cae en el depósito; si la temperatura se eleva, el mercurio vuelve á subir. Retirado el instrumento, se le sumerge en un baño



Fig. 533.—Termómetros de máxima y mínima de Walferdin