

que se enfría hasta que el mercurio del índice toque de nuevo el extremo de la punta.
 Cuando hablemos de las temperaturas del mar, indicaremos las precauciones que exige el empleo de los termómetros de versión.

VII

MEDIDA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS. — PIROMETRÍA

Los límites extremos de las temperaturas que el termómetro de mercurio puede marcar son, bajo cero, -40° y, sobre cero, $+360^{\circ}$, por cuanto la primera es la de la congelación del mercurio, y la segunda la de su punto de ebullición. En realidad los límites verdaderos son -36° y $+350^{\circ}$. A los 36° , el mercurio sufre ya contracciones irregulares y sus indicaciones son inciertas. Se procura no llegar á los 360° , porque la

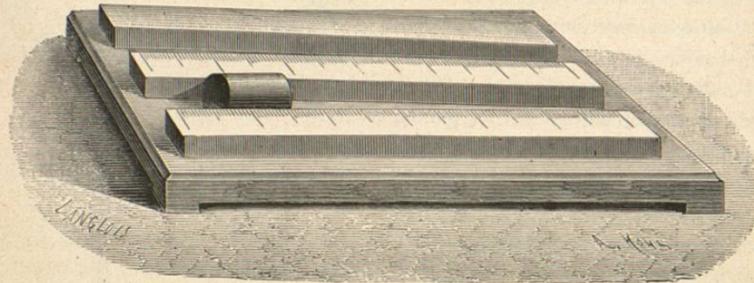


Fig. 534.—Pirómetro de Wedgwood

ebullición podría romper el tubo. Con el termómetro de alcohol se pueden apreciar temperaturas inferiores á -36° . Falta, pues, dar con el medio de medir las temperaturas que excedan de la de ebullición del mercurio. Los instrumentos que sirven para este objeto han recibido el nombre común de *pirómetros*. Más adelante describiremos aquellos de estos aparatos, muy diferentes de los termómetros ordinarios, que usan los físicos para sus investigaciones y que son los *pirómetros de aire ó de vapor de yodo*. En este artículo sólo trataremos de los pirómetros usados en la industria y que sirven para averiguar la temperatura de los hornos de porcelana, de los metálicos, etc.

Uno de los más antiguos y difundidos es el *de Wedgwood*, que lleva el nombre de su inventor, célebre alfarero inglés. Está basado en la propiedad que tiene la arcilla de contraerse tanto más cuanto más elevada es la temperatura á que se la somete.

Véase cuál es la disposición de este pirómetro. Se fijan en una placa metálica dos reglas de acero formando entre sí un ángulo muy pequeño y dejando así en su intervalo una ranura de anchura decreciente. Una de las reglas está dividida en partes iguales, siendo esta graduación la que sirve de medida de la contracción de la arcilla, puesto que indica hasta qué punto de la escala ó de la ranura puede penetrar un cilindro de arcilla, cuando ha adquirido la temperatura del horno en que ha estado metido. El cero de la división está en la base más ancha de la ranura, que comprende en toda su longitud 240 divisiones iguales. A fin de dar menos longitud al aparato, se emplean por lo común tres reglas, como se ve en la figura 534. El espacio angular comprendido entre las dos primeras no es otra cosa sino la prolongación del que media entre la segunda y tercera reglas.

Para operar, se hace uso de pequeños cilindros de arcilla, amasados con pasta bien homogénea y puestos en seguida á secar á la temperatura del rojo obscuro. Se los lima hasta dejarlos de un diámetro tal que colocados á lo largo entre las reglas penetren hasta el cero de la división. Para conocer la temperatura de un foco, por ejemplo de un horno de porcelana, se mete en él uno de dichos cilindros, y cuando se calcula que ha estado el tiempo suficiente para adquirir su temperatura, se le saca, se le deja enfriar, y se le introduce entre las reglas del pirómetro. Suponiendo que penetre hasta la 48.^a división, se dirá que la temperatura del horno está á 48° del pirómetro.

Falta saber en qué condiciones son comparables entre sí las indicaciones del pirómetro y á qué grados del termómetro de mercurio ó del de aire corresponden. Parece evidente que la primera cuestión depende tan sólo de la composición de la arcilla empleada; pero es menester que esta composición sea la misma para todos los cilindros. Wedgwood empleaba la siguiente: cada 100 partes de arcilla contenían 44'29 de alúmina, 47'35 de sílice y 8'36 de agua. La segunda cuestión es más delicada. Para resolverla, Wedgwood midió la dilatación de un cilindro de plata, por medio de un molde de tierra de pipas que era la reproducción de una parte del pirómetro, elevando su temperatura de 100° á 360° , y de este modo vió que el cilindro de plata retrocedía 23,4 divisiones del pirómetro para un aumento de temperatura de 260° ; lo cual venía á ser $11^{\circ},11$ por división. Hecho esto,

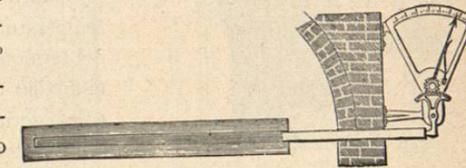


Fig. 535.—Pirómetro de Brongniart

y metiendo sucesivamente el cilindro de plata y uno de arcilla en un hogar, vió que el segundo avanzaba 2,25 divisiones, al paso que el primero retrocedía 66. Suponiendo una dilatación constante en la plata, la temperatura del hogar era $66 \times 11^{\circ},11$ centígrados $+ 10^{\circ}$ que tenía el cilindro de plata en el momento de la inmersión, ó sea 743° . Otra operación dió por resultado 1032° por 6,25 divisiones del pirómetro. De donde Wedgwood dedujo que la diferencia, ó sea 4 divisiones, equivalía á la de las temperaturas calculadas ó bien á 289° , lo cual representa una división del pirómetro por cada 72 grados centesimales. Por desgracia, esta determinación se basa en una hipótesis inexacta, la de la invariabilidad de la dilatación de la plata, cualquiera que sea la temperatura, y por tanto las indicaciones del pirómetro que acabamos de describir no pueden compararse con las de los termómetros ordinarios, resultando que su uso, muy precioso en la práctica, en la que sólo se quieren conocer los efectos, carece de valor científico. En realidad no es más que un *piroscopio*.

Lo propio sucede con el aparato ideado por Brongniart y del que se valía este físico en la fábrica de porcelana de Sèvres para conocer la temperatura de los hornos. Consiste en una barra de hierro, plata ó platino metida en una ranura practicada en una pieza de porcelana AB, fija en el horno (fig. 535). Al dilatarse esta barra por efecto del calor, empuja una varilla *ab* de porcelana, uno de cuyos extremos sale fuera del horno, dando contra el brazo menor de una palanca acodada. El movimiento se transmite, amplificándose, al otro brazo en forma de manecilla que recorre los grados de un arco de círculo; y sabiéndose por experiencia á qué divisiones de esta escala arbitraria corresponden las temperaturas necesarias para las operaciones de cocción del horno, no se necesita más; bien es verdad que con estos aparatos no se pueden valuar las mismas temperaturas en grados centígrados.

El pirómetro de Main, usado hace algún tiempo en Inglaterra, consiste en una vasija formada de tres cilindros de cobre concéntricos. El cilindro central contiene un termómetro de mercurio cuyo tubo y escala salen fuera de la vasija; el exterior A está lleno de una substancia mala conductora del calor. Por último, el cilindro intermedio B, ó el

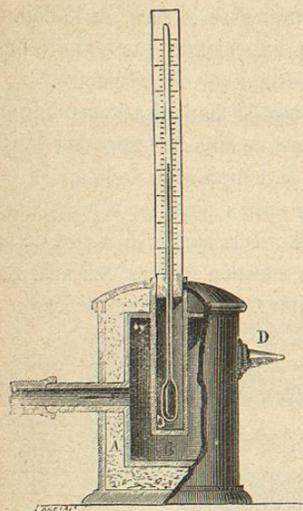


Fig. 536.—Pirómetro de Main

espacio anular comprendido entre los dos primeros, comunica con el horno ú hogar cuya temperatura se quiere conocer, por medio de un tubo E que da paso al aire caliente, el cual sale al exterior por un orificio cónico D, después de comunicar al cilindro interior, así como al termómetro contenido en él, una parte de su calor. Cuanto más elevada es la temperatura á que está el aire caliente del horno, mayor será el calor comunicado y más altas también las indicaciones termométricas. En cuanto á la graduación del pirómetro (ó á la relación que existe entre las temperaturas del horno y las correspondientes del termómetro de mercurio), se la obtiene con el auxilio de pirómetros metálicos; lo que equivale á decir que no es posible expresar con exactitud las temperaturas en grados centesimales.

Más adelante hablaremos de los pirómetros de aire y de aquellos cuya construcción y uso están basados en determinaciones calorimétricas, permitiendo por lo tanto que se valúen con mucha aproximación altas temperaturas; también diremos algo acerca de los métodos ópticos ó espectroscópicos propuestos por varios físicos y puestos recientemente en práctica con objeto de resolver el mismo problema.

VIII

NOCIONES HISTÓRICAS SOBRE LOS PROGRESOS DE LA TERMOMETRÍA

Los detalles en que hemos entrado con motivo de la construcción y graduación de los diferentes aparatos termométricos, pueden dar una idea de las exigencias de la ciencia actual sobre el punto importante de la averiguación exacta de las temperaturas. Hoy todavía no está resuelto el problema por lo que respecta á las temperaturas elevadas. Pero si se comparan los procedimientos y los instrumentos de que se sirven los físicos contemporáneos con los que han estado en uso en los dos siglos anteriores al nuestro, se tendrá idea de los progresos realizados.

Se hace remontar la invención del termómetro á los últimos años del siglo XVI ó primeros del XVII, habiendo concebido la primera idea de él, Galileo según unos, Cornelio Drebbel según otros. También se citan entre los inventores los nombres de Van Helmont, Sanctorius, Bacón, Fludd, Sarpi y Borelli. Sea lo que quiera, sus termómetros ó más bien sus termoscopios estaban basados en los efectos de la dilatación del aire bajo la influencia del calor.

He aquí, según la *Enciclopedia* de D'Alembert, la descripción y la figura del instrumento inventado por Drebbel:

“En un tubo BC (fig. 537, 1), al cual va adaptado un globo de vidrio, AB, se echa una cantidad de agua regia para impedir que se hiele en invierno; y á esta mezcla se agrega un poco de vitriolo para teñirla de verde. Al llenar el tubo, hay que cuidar de dejar en él y en el globo bastante aire para que pueda llenar precisamente el globo en lo más riguroso del invierno, cuando el aire está más condensado, y para que no pueda expulsar del tubo todo el líquido durante los más fuertes calores del verano, cuando la atmósfera está en su mayor grado de enrarecimiento. En el otro extremo del tubo hay otra esfera ó globo de vidrio CD, abierto por el lado del aire en D; á los dos lados del tubo se aplica una escala ó platina EF, en la cual se marcan los grados ó cierto número de líneas á igual distancia entre sí. En tal estado, cuando el aire que rodea el tubo es más caliente, el contenido en la esfera y en lo alto del tubo se dilata, empuja el líquido á la esfera inferior y por consiguiente lo hace bajar; por el contrario, cuando el aire que rodea el tubo se enfría, el contenido en la esfera se condensa y hace subir el líquido.”

El termoscopio así descrito es el que se atribuye á C. Drebbel. Véase cómo se construía el de Galileo (fig. 537, 2): “Pónese del mismo modo y con idénticas precauciones una corta cantidad de azogue, que no exceda del tamaño de un guisante, en un tubo BC, que se acoda en muchos sitios, para poderlo manejar más fácilmente y con menos riesgo de romperlo, y se le divide en cierto número de partes iguales que sirven de escala. En tal estado, las varias aproximaciones del mercurio hacia la esfera A marcarán los aumentos y los diferentes grados de calor.”

El redactor del artículo, que no es otro sino el mismo D'Alembert, añade: “Los defectos de ambos termómetros consisten en que están sujetos á recibir las impresiones de dos causas; porque no tan sólo el aumento de calor, sino también el del peso de la atmósfera es el que puede hacer subir el líquido en el primero, y el mercurio en el segundo; y por otro lado, puede ser la disminución del peso, así como la del calor de la atmósfera la que haga descender el líquido y el mercurio en los dos termómetros.”

La célebre sociedad científica de Florencia, conocida con el nombre de *Accademia del Cimento*, fué la primera que construyó un termómetro basado en la dilatación de los líquidos y que, con la denominación de *termómetro común* ó *de Florencia*, ha sido el tipo de los aparatos modernos. Consistía simplemente en un tubo soldado á una esfera llena de espíritu de vino ó de alcohol teñido de rojo. “Llénase de este espíritu de vino, así teñido y preparado, una bola de vidrio AB (fig. 537, 3) y un tubo BC, y para que durante el invierno no baje todo el espíritu de vino á la bola, es conveniente poner esta bola en un montoncito de hielo mezclado con sal; ó si se construye el instrumento en invierno, se pone la bola en agua pura impregnada de salitre, para que, al condensarse mucho el espíritu de vino, se pueda ver hasta qué punto bajará en lo más

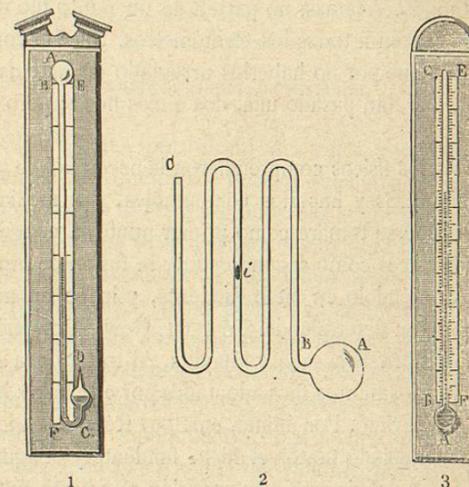


Fig. 537.—Termómetros usados en el siglo pasado: 1, termómetro de C. Drebbel; 2, de Galileo; 3, de Florencia

recio del frío. Si el alcohol sube á demasiada altura sobre la bola, es preciso extraer parte de él; y para que el tubo no sea muy largo, conviene poner la bola, llena de su espíritu de vino, en agua hirviendo, y marcar el punto más distante de ella al que asciende entonces el líquido. En este punto se cerrará el tubo herméticamente á la llama de una lámpara, y á uno y otro lado de él se aplicará una escala como en los demás termómetros., (Enciclopedia.)

Después de describir como queda dicho los termómetros hasta entonces usados, D'Alembert enumera algunos de sus defectos, insistiendo más especialmente, y se comprende, en la imposibilidad de comparar sus indicaciones. "Otro gran defecto, dice, consiste en que estos termómetros no son comparables entre sí. Verdad es que marcan los diferentes grados de calor y frío, pero cada cual de ellos los marca para sí mismo y á su modo. Además, no parten de un punto fijo de calor ó de frío, y este es otro defecto común á todos los termómetros. Sucede con estos instrumentos lo que con dos relojes, que por no haberlos arreglado de antemano á la marcha del sol, indicarán sin duda que han pasado una, dos ó más horas; pero nunca marcarán la exacta del día ó del sol.,

Varios físicos comprendieron la necesidad de partir de puntos fijos para graduar los termómetros y hacerlos comparables, y á mediados del siglo XVII propuso Roberto Boyle que se tomara como primer punto la congelación del agua, habiendo adoptado varios físicos como segundo punto la fusión de la manteca. Renaldini graduaba su aparato metiéndolo en hielo fundente, y luego en mezclas de hielo y agua hirviendo en proporción determinada. En 1701, Newton marcaba 0° á la fusión del hielo y 12° á la temperatura de la sangre humana. Al tratar de la escala de Fahrenheit hemos visto cuáles eran los puntos fijos adoptados por este físico: la temperatura del agua hirviendo era el más elevado. Por último, en 1730 Réaumur adoptó para su termómetro, cuyo uso se ha generalizado tanto, el hielo fundente y el agua hirviendo; pero este físico tuvo el mérito de definir, con más precisión que hasta entonces se había hecho, la unidad de temperatura, es decir, el grado. Dividía cuidadosamente los tubos de sus termómetros en partes de igual capacidad, y para llenarlos se valía de espíritu de vino, cuya dilatación fué tal, que siendo su volumen igual á 1,000 en el punto de congelación del agua, llegó á 1,080 al calor del agua hirviendo. El grado era, pues, la 80.^a parte de la dilatación total del líquido entre los dos puntos fijos. Tal fué el origen de la escala llamada de Réaumur.

Vino en seguida el sueco Celsio, quien en 1742 propuso la división centesimal entre los mismos puntos fijos del hielo fundente y el agua hirviendo.

Otro progreso importante de la termometría, que data asimismo del siglo XVIII, fué la sustitución del mercurio por el alcohol. Musschenbroeck censuró el empleo de este líquido que, según dice, pierde á la larga su virtud expansiva, y por otra parte su punto de ebullición es poco elevado. Además el mercurio tiene la ventaja de que siempre se le puede obtener puro. "Siempre subsiste el mismo aun cuando se le guarde muchos años, y por viejo que sea siempre se dilata con igualdad., Los termómetros de Amon-ton, Fahrenheit y Delisle eran de mercurio.

La termometría, tan defectuosa é imperfecta en un principio, fué de este modo y poco á poco adquiriendo mayor precisión, hasta que, gracias á los perfeccionamientos introducidos en sus procedimientos por ciertos físicos como Petit y Dulong, llegó á cobrar el grado de rigurosa exactitud que hoy posee, por lo menos en los límites de temperatura comprendidos entre el punto de congelación y el de ebullición del mercurio.

Puede asegurarse que, á no ser por estos perfeccionamientos, la ciencia del calor no habría podido desarrollarse, y que las demás partes de la Física hubieran continuado tan imperfectas como antes en un gran número de sus ramas. El termómetro es para la Física un instrumento tan importante como la balanza para la Química.

CAPÍTULO III

DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS

I

EFFECTOS DE LA DILATACIÓN. — DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS, LINEAL, SUPERFICIAL Y CÚBICA

Todo cuerpo se dilata ó aumenta de volumen por efecto del calor, recobrando luego su volumen primitivo ó contrayéndose así que pierde el calor que había recibido. Tal es el fenómeno general que se manifiesta en diferentes grados, según que el cuerpo sea gaseoso, líquido ó sólido; tal la propiedad que sirve de fundamento para la termometría y merced á la cual se ha podido, según acabamos de ver, definir la temperatura y luego construir aparatos á propósito para medirla. No se podía pensar en construir estos aparatos con el grado de perfección que hoy alcanzan, sin conocer antes en virtud de qué leyes se efectúan las variaciones de volumen en cuestión. Por consiguiente, era ante todo preciso medirlas relativamente á cada cuerpo, según que éste se presente en uno ú otro de los tres estados; resolver, en una palabra, el problema siguiente: "¿Cuánto aumenta el volumen de un cuerpo, en qué fracción del volumen primitivo se acrecienta por cada grado centígrado de calor? ¿Esta fracción varía de un cuerpo á otro, y para un mismo cuerpo subsiste igual á cualquier temperatura?., Tales son las cuestiones que naturalmente se han planteado los físicos, después de haber reconocido por la observación los efectos de las variaciones del calor. Antes de dar una idea de los resultados obtenidos, demostremos con algunos ejemplos la utilidad del conocimiento exacto de estos efectos y la necesidad en que á menudo se está, aun fuera de los laboratorios científicos, de corregirlos ó preverlos. Ocupémonos ante todo de la dilatación de los sólidos.

Si se somete un cuerpo frágil y mal conductor del calor á un cambio brusco de temperatura, el efecto inmediato será la rotura del cuerpo. Así por ejemplo, un pedazo de vidrio frío sobre el cual se ponga una barra de hierro candente, se raja, sucediendo lo propio con un pedazo de vidrio muy caliente en cuyo contacto se ponga de pronto una barra de hierro fría. En el primer caso, sobreviene una dilatación brusca en las partes del vidrio tocadas por el hierro hecho ascua, y las partes inmediatas que no han tenido tiempo de calentarse todavía se separan violentamente de las primeras, ocasionando la rotura. En el segundo caso, las partes tocadas son, por el contrario, las que se contraen antes que las inmediatas hayan tenido tiempo de enfriarse, y la rotura es también la consecuencia de este brusco movimiento molecular. Todo el mundo sabe que no se debe verter agua hirviendo en una vasija fría, so pena de que se rompa por efecto de la dilatación inmediata de la porción de las paredes que toca el líquido. Lo propio sucedería si se pusiera la vasija vacía sobre brasas; más adelante veremos