

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

cómo se evita este resultado llenando la vasija del líquido que se quiere calentar antes de ponerla al fuego.

La dilatación que durante la estación calurosa experimentan los metales que se emplean en la construcción de edificios y su contracción á causa de los fríos del invierno, producen efectos tanto más sensibles cuanto que estos metales están unidos con materiales cuya dilatabilidad difiere más de la suya. He aquí un ejemplo curioso, citado por Tyndall en su obra sobre el *Calor*, y cuya observación y explicación corresponden al canónigo Moselly:

“El tejado del coro de la catedral de Bristol es de planchas de plomo; su longitud de 20 metros y su altura de 7. Había sido colocado en 1851, y á los dos años ó sea en 1853 bajó casi 1^m,50. El plomo había empezado á bajar casi inmediatamente después de su colocación. Intentóse, aunque en vano, contenerlo en su marcha descendente por medio de clavos clavados en los caballetes, pero la fuerza que lo arrastraba era tal, que arrancó violentamente los clavos. La pendiente del tejado no era muy grande; por consiguiente no era el peso el que hacía bajar los plomos. Véase la causa productora de semejante efecto. “El plomo está expuesto noche y día á las variaciones de temperatura. De día, el calor lo dilata, y si descansara en una superficie horizontal, la dilatación se efectuaría por igual en todos sentidos; en una superficie inclinada es mayor bajando que subiendo. Por el contrario, de noche el plomo se contrae por el frío, pero la contracción de arriba abajo del borde superior es mayor que la de abajo arriba del inferior. Sus movimientos eran exactamente los de un gusano; de día avanzaba su borde inferior y de noche encogía el superior; las variaciones de temperatura del día y de la noche obraban en el mismo sentido. Así fué que arrastrándose lentamente había avanzado en dos años 1^m,50.”

Por este ejemplo se ve cuán importante es tener en cuenta los cambios de volumen de los sólidos empleados en la construcción de edificios ó en la industria. Los carriles de las vías férreas se alargan en verano y se encogen en invierno; por lo cual, al colocarlos, es preciso dejar entre ellos una pequeña separación para que puedan alargarse libremente; de lo contrario, el calor haría saltar los clavos de los cojinetes y deformaría la vía. El descarrilamiento que ocasionó en 1844 la catástrofe de Fampoux, en la línea del Norte de Francia, tuvo por causa, según parece, una deformación de esta clase, dimanada del escaso espacio que mediaba entre las puntas de los rieles.

Las piedras unidas con grapas ó abrazaderas de hierro se rompen con frecuencia, ya por la dilatación ó ya por la contracción del metal, una y otra más considerables que las de la piedra. La fuerza con que las moléculas de los cuerpos se apartan ó se acercan unas á otras por efecto de su cambio de temperatura es enorme. Una barra de hierro de un metro de largo se dilata 1^{mm},17 en el sentido de su longitud cuando se eleva su temperatura de 0° á 100°; se contraería otro tanto si se la pasara de 100° á 0°. Pues bien, se calcula que para contrarrestar este movimiento molecular, sería preciso ejercer en un sentido ó en otro un esfuerzo equivalente á la presión de 2,450 kilogramos, si la barra de hierro tiene un centímetro cuadrado de sección, y de 245,000 kilogramos si la sección es de un decímetro cuadrado. Se ha utilizado esta fuerza para acercar las paredes laterales de una galería del Conservatorio de Artes y Oficios, que se habían separado de la vertical á causa del empuje de la bóveda. A este fin se pusieron varias barras de hierro de modo que atravesaran las dos paredes por su parte superior, terminando por la de fuera en roscas provistas de tuercas. Se las calentó fuertemente en toda su longitud, lo cual produjo cierta prolongación, y se atornillaron las

tuercas contra gruesos trozos de madera aplicados á la cara exterior de las paredes de la bóveda mientras las barras estaban todavía calientes. El enfriamiento contrajo las barras, y la fuerza de contracción acercó poco á poco las paredes. Repitiendo muchas veces la misma operación, se consiguió devolverlas su posición vertical. Los aperadores de carros utilizan la fuerza de contracción del hierro que se enfría para poner las llantas en las ruedas. El arco de hierro está forjado de modo que abarca el contorno de la madera cuando se le calienta á una temperatura bastante elevada; al enfriarse, se contrae comprimiendo fuertemente el contorno de la rueda.

Dase el nombre de *lágrimas bátavas* ó *gotas de Rupert* á las gotas de vidrio derretido que se han solidificado súbitamente en el agua fría. Rompiendo el filamento de vidrio en que terminan, toda la masa se reduce instantáneamente á polvo con tal fuerza, que si se ha sumergido previamente la lágrima bátava en una redoma llena de agua, el choque transmitido por el líquido basta para romper la redoma. Obtiénese el mismo efecto con frascos de vidrio muy recio, enfriados repentinamente después de haberlos soplado. Un grano de arena echado en la vasija basta para hacer volar el fondo en pedazos (Tyndall). La razón de tal fenómeno es la misma en este caso que en el de las lágrimas bátavas. Lo primero que se enfría es el exterior de las gotas de vidrio, aprisionando la masa interior aún no solidificada. Al enfriarse ésta á su vez, se contrae, y ejerciéndose el esfuerzo de contracción por igual en toda la envolvente externa, ésta permanece en equilibrio. Pero todas las moléculas se hallan en un estado de tensión violenta, y la menor rotura destruye súbitamente el equilibrio en un punto, destruyéndolo al propio tiempo en toda la masa.

Podríamos multiplicar los ejemplos de los curiosos efectos de la dilatación; los que acabamos de indicar bastan, prescindiendo de toda preocupación científica, para hacer ver cuánto importa saberlos medir ó calcularlos para corregirlos ó prevenirlos. Para esto se necesita conocer lo que se llama *coeficiente de dilatación*. Entiéndese por esto el aumento que experimenta la unidad de volumen de un cuerpo cuando se eleva su temperatura 1° centígrado. Tomemos un ejemplo: un litro ó un decímetro cúbico de mercurio calentado de 0° á 1° se convierte en un litro más 179 millonésimas de litro, ó 1^{de},000179. La fracción 0,000179 es el coeficiente de dilatación del mercurio para la temperatura cero. Los números de que aquí se trata varían con la naturaleza y el estado físico de las substancias. Además, el coeficiente de dilatación de un mismo cuerpo varía por regla general á los diferentes grados de la escala termométrica, aun cuando su estado físico no cambie.

Con respecto á los líquidos y gases, sólo se considera la dilatación en volumen ó cúbica; pero tratándose de los sólidos, se puede tener únicamente en cuenta el aumento de una de sus dimensiones, es decir, la *dilatación lineal*, ó el de dos, ó *dilatación superficial*. Como un cuerpo sólido de cualquier forma se dilata comúnmente por igual en todos sentidos, de modo que queda semejante á sí mismo á todas las temperaturas, puede deducirse el aumento de su volumen de una sola de sus dimensiones, demostrándose por otra parte que el coeficiente de dilatación cúbica es sensiblemente el triple del de la lineal. Por esta razón, cuando se trata de cuerpos sólidos, es este último coeficiente el que más á menudo se procura determinar.

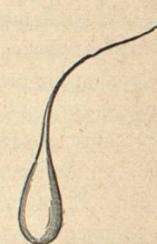


Fig. 538.—Lágrima bátava

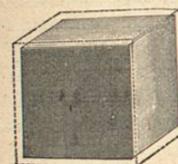


Fig. 539.—Dilatación lineal y dilatación cúbica

II

MEDIDA DE LA DILATACIÓN DE LOS CUERPOS SÓLIDOS

Antes de 1781, en cuya época Laplace y Lavoisier emprendieron, valiéndose de un método que vamos á describir, la determinación del coeficiente de dilatación lineal de varios cuerpos sólidos, habíanse hecho ya muchas tentativas con el mismo objeto; pero ninguna había dado resultados suficientemente exactos (1). Véase en qué términos explican dichos sabios las precauciones que habían tomado para evitar las causas de error en los procedimientos anteriores, así como las disposiciones de sus experimentos.

„Hemos empezado por hacer construir muchos termómetros de mercurio muy exactos en los cuales estaban marcados el término del hielo fundente y el del agua hirviendo. El intervalo de cada grado era de unas dos líneas ($4^{\text{mm}},5$) y podía subdividirse fácilmente á la vista en diez partes. Sin embargo, como, á pesar de la atención del artista que había construido dichos termómetros, podían temerse algunas irregularidades en su marcha, los hemos comprobado todos, comparándolos con un patrón de confianza, y hemos formado para cada uno una tabla de corrección.

(1) Según parece, Musschenbroek fué el primer físico que hizo experimentos de esta clase (1731). El aparato que discurrió con tal objeto, y al que dió el nombre de *pirómetro*, es análogo al descrito anteriormente (fig. 509). Sólo que en lugar de una simple palanca acodada para recibir la acción de la barra dilatada, hacía uso de un mecanismo bastante complicado de piñones y ruedas dentadas, que transmitía el movimiento á una aguja móvil sobre un cuadrante con divisiones. Una serie de mechas de lámparas de alcohol calentaban la barra metálica. Aparte del defecto procedente de la complicación de los engranajes, el aparato de Musschenbroek adolecía de falta de firmeza en la barra, dispuesta en una jaula de hierro que se dilataba por sí misma; las dimensiones de sus barras ($5 \frac{1}{2}$ pulgadas) eran sobrado escasas, y por último, la valuación de la temperatura casi imposible. Todo cuanto pudo hacer fué comprobar y comparar las dilataciones desiguales de diferentes metales.

Bouger publicó en 1745 los experimentos que hizo en Quito con el mismo objeto; pero su aparato, toscamente construido, era muy defectuoso, y su termómetro, graduado por la escala Réaumur á una altitud de 1,460 toesas sobre el nivel del mar, marcaba temperaturas demasiado elevadas. Los resultados que obtuvo eran muy inexactos.

Smeaton hizo en Inglaterra, en 1754, experimentos sobre la dilatación de los metales. Operaba con barras de 2 pies 4 pulgadas que metía alternativamente entre hielo machacado y agua hirviendo, de suerte que, como observa Lavoisier, „sus resultados son independientes de todo error en la construcción del termómetro.„ Pero los puntos de apoyo de sus barras carecían de firmeza; descansaban en varillas de madera que se dilataban también por efecto del calor, y lo que él medía no era la dilatación de la barra, sino el exceso de esta dilatación sobre la de la varilla que servía de soporte.

Finalmente, de 1756 á 1760, Berthoud empleó un pirómetro más sencillo que el de Musschenbroek, pero también bastante complicado. Además colocaba verticalmente las barras con las cuales operaba en un baño de 4 á 5 pies de altura. Pero la temperatura del aire de semejante recinto era necesariamente variable según la altura á que estaba sumergida la bola del termómetro. Lo incierto de la graduación de este último instrumento, la escasa diferencia de las temperaturas que se unían á la desigualdad probable de la temperatura de los varios puntos de la barra metálica, no permitían contar con resultados exactos.

Los métodos que vamos á describir han sido experimentados, el primero por Laplace y Lavoisier durante los años 1781 y 1782; el segundo, debido al general Roy y á Ramsden, en 1785. En uno y otro experimentos se han allanado felizmente las principales dificultades de los anteriores procedimientos. Pero nos ha parecido instructivo, antes de describirlas, demostrar las tentativas que han tenido que hacerse; es un ejemplo que se reproduce con frecuencia y puede decirse que casi necesariamente en las ciencias experimentales.

„En vez de emplear una estufa, por ser difícil mantener todas sus partes á un mismo grado de temperatura, hemos preferido valernos de un baño, que hemos llenado al principio de hielo machacado, y luego de agua, cuya temperatura podíamos elevar sucesivamente desde la congelación hasta la ebullición.

„Este baño podía contener reglas de seis pies de longitud.

„Hemos operado en un jardín (el del Arsenal) y al aire libre; los puntos de apoyo de nuestro pirómetro consistían en gruesos cubos de piedra de sillería, cimentados á seis pies de profundidad en un terreno sólido.

„Por último, no usábamos ruedas ni engranajes para multiplicar el movimiento, sino palancas muy sólidas y absolutamente inflexibles al grado de resistencia que experimentaban. Estas palancas ponían en movimiento un antejo acromático de seis pies de longitud, movable sobre un eje y dirigido sobre una escala dividida en pulgadas y líneas, situada ora á 100 ó bien á 200 toesas de distancia, según la clase de los experimentos.

„Una prolongación de una línea en la regla de seis pies sujeta al experimento hacía recorrer el antejo, cuando la mira estaba colocada á 100 toesas de distancia, 62 pulgadas ó 744 líneas, lo cual facilitaba el dividir la línea en 744 partes. Se hubiera podido conseguir doble precisión trasladando la mira á 200 toesas, conforme lo habíamos he-

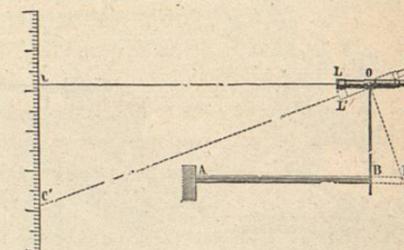


Fig. 540.—Medida de la dilatación lineal de un sólido. Principio del método de Lavoisier y Laplace

cho en los primeros experimentos; pero pronto echamos de ver que los vapores á menudo difundidos por la atmósfera oscurecían la visión, y que por esta causa de incertidumbre se perdía más de lo que se ganaba aumentando el tamaño de la escala.

„Tales son, en términos generales, los principios en que está basada la construcción del pirómetro de que hemos hecho uso.„

La figura 540 dará más precisión á la descripción precedente y mostrará en qué consiste esencialmente el método ideado por Lavoisier y Laplace para medir la dilatación lineal de una barra sólida. La barra AB está fija en A, de suerte que no puede dilatarse sino por su extremo B. Al dilatarse la cantidad BB', empuja una varilla OB, que puede girar alrededor del punto O, en la posición OB'. Un antejo LL, al principio horizontal, gira á su vez en L'L', de suerte que en lugar de estar dirigido al punto C de la mira vertical CC', se dirige entonces al punto C'. Así pues, por este medio se sustituye la medida difícil de la exigua cantidad BB', con una longitud CC', que vale tantas veces la primera como veces la distancia OC de la mira contiene la altura de la varilla OB.

La figura 541 representa la disposición del aparato que ha servido para realizar el método anterior. Vese la barra S, cuya dilatación se quiere medir, metida en una cubeta C llena de agua, debajo de la cual está el hornillo que ha de elevar su temperatura (en una segunda serie de experimentos, el agua no estaba calentada por el hornillo, sino introducida ya hirviendo en la cuba). Por una parte, se apoya en una barra de vidrio fija B', unida invariablemente á los pilares; por otra, tropieza con la regla de vidrio móvil B que comunica su movimiento al antejo. Estando el agua de la cuba al principio á 0°, los observadores anotan la división de la mira á que corresponde el hilo

micrométrico horizontal puesto en el foco del anteojo. Luego, después de reemplazar el agua helada por otra que se eleva á 100°, temperatura de la ebullición, observan de nuevo la división de la mira. En virtud de una proporción simple, deducen la relación de la prolongación de la barra con su longitud primitiva, es decir, la dilatación correspondiente á 100° de temperatura.

Después de un gran número de experimentos (cada uno de ellos se repetía por lo menos cinco ó seis veces), Lavoisier y Laplace hicieron las deducciones siguientes:

“1.º Todo cuerpo calentado desde el punto de congelación hasta el de ebullición del agua, y enfriado desde éste á aquél, recobra rigurosamente sus primeras dimensiones; 2.º el vidrio y los metales experimentan dilataciones sensiblemente proporcionales á las del mercurio, de suerte que doble número de grados del termómetro da doble dilatación; triple número de grados, triple dilatación, etc.,”

El acero templado les presentó diferencias extraordinarias, por ir disminuyendo su

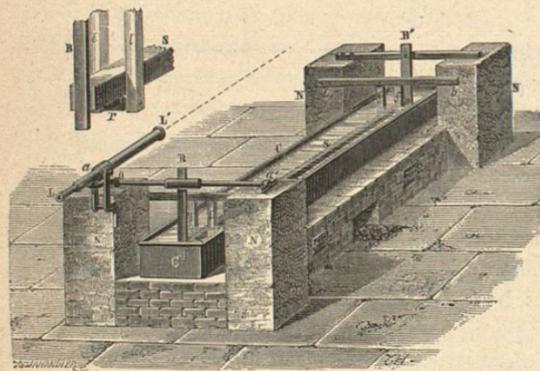


Fig. 541. — Aparato de Laplace y Lavoisier para la medida de la dilatación lineal de sólidos

dilatación de un modo sensible con el aumento de temperatura; lo cual consiste en que el acero templado tiene una dilatación mucho mayor que la del acero sin temprar. Por el calor, el primero experimenta un principio de recocción y pierde así una parte de su dilatibilidad. También reconocieron que el vidrio se dilata desigualmente según los ejemplares puestos á prueba, es decir, según la calidad, el grado de cocción y la proporción de los ingredientes que entran en su composición. La

dilatibilidad del hierro varía mucho asimismo según los distintos estados en que se encuentra; por lo tanto, los hierros del comercio no son metales idénticos. Así también, el estaño de las Indias es más dilatible que el de Cornualles.

Lavoisier y Laplace consignan al fin de la Memoria que sobre este asunto escribieron la concordancia de los resultados numéricos deducidos por ellos con los de Smeaton, y sobre todo con los de Roy y Ramsden. Por lo demás hacen completa justicia al método adoptado por estos últimos, del cual vamos á decir cuatro palabras. Al llegar á la descripción del aparato de Ramsden, añaden: “Este instrumento parece, por todos conceptos, muy á propósito para el objeto que se proponían estos inventores; ha debido dar resultados muy exactos, y es probable que si lo hubiésemos conocido antes de dedicarnos á esta clase de experimentos, no hubiéramos tratado de discurrir otro.,”

El general Roy hizo sus experimentos en 1785, con motivo de la medición de la base de How-Stow-Heath, en la provincia de Middlesex, en Inglaterra. Tratábase de conocer con exactitud, para el buen éxito de dicha operación geodésica, la dilatibilidad de las reglas metálicas empleadas en la medición de la base, á los diferentes grados de temperatura á que se podía operar. Por lo demás, igual género de consideraciones habían inducido cuatro años antes á Lavoisier y Laplace á emprender los experimentos que acabamos de describir.

Un constructor inglés, Ramsden, concibió el aparato que necesitaba Roy, aparato cuya disposición se ve en la figura 542. Consiste en tres artesas A, B, C, colocadas paralelamente sobre el mismo soporte. La del medio está destinada á recibir la varilla metálica *ad*, de 5 pies ingleses de longitud, cuya dilatación se trataba de medir; esta varilla estaba metida sucesivamente entre hielo machacado, y luego en agua que se calentaba hasta la ebullición por medio de doce lámparas de alcohol. Cada una de las otras dos artesas, enteramente rodeadas de hielo á 0°, contenía un prisma de palastro de la misma longitud que la regla. Los dos prismas extremos, que conservaban invariablemente la misma temperatura mientras duraba el experimento, constituían un sistema de longitud invariable. Cada prisma llevaba en sus extremos y sobre columnitas verticales, el uno dos retículos de alambres cruzados que servían de mira y estaban alum-

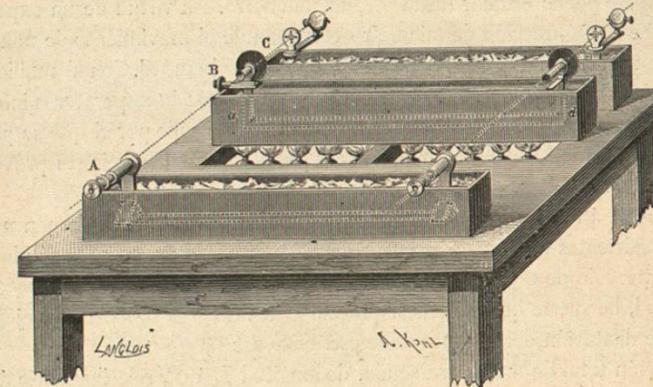


Fig. 542. — Aparato de Ramsden para medir la dilatación de los cuerpos sólidos

brados por espejitos, y el otro dos oculares en cuyos focos había otros dos retículos de hilos cruzados; la regla del medio llevaba también dos objetivos que formaban con los oculares precedentes dos anteojos astronómicos.

He aquí cómo se opera con el aparato Ramsden:

Al principio del experimento, y estando los dos prismas y la regla á la misma temperatura del hielo fundente, se arreglan los tres sistemas de modo que mirando por cada ocular haya coincidencia perfecta de la imagen de los hilos reticulares que sirven de mira y de los hilos situados en los focos de los oculares. Entonces se eleva la temperatura del agua contenida en la artesa central hasta que llegue á la de ebullición. La regla sumergida en ella se dilata; uno de sus extremos, que tropieza con un tornillo exterior, no se desvía, ó si se mueve, se la vuelve á su posición primitiva. Así pues, toda la dilatación tiene efecto en el otro extremo; pero la lente sostenida por el extremo opuesto puede moverse mediante un tornillo micrométrico que permite apreciar los centésimos de milímetro, por ejemplo (en el aparato de Ramsden la precisión de las medidas podía llegar á $\frac{1}{600}$ de línea de pie inglés ó $\frac{1}{25}$ de milímetro). El número de vueltas y fracciones de vuelta que se ha de hacer efectuar al tornillo para que coincidan los hilos de los retículos, mide, pues, la cantidad en que se ha dilatado la regla entre 0° y 100°, ó entre 0° y cualquier otra temperatura á la cual se quiera hacer el experimento.

En la figura 543 damos la vista de conjunto de un aparato ideado por Pouillet para resolver las mismas cuestiones. La artesa que contiene la regla metida en el baño lleva