

en sus dos extremos dos aberturas circulares tapadas con cristales, que permiten observar, por medio de dos anteojos, uno fijo y otro móvil, dos puntos de mira trazados en los dos extremos de la regla. Esta se halla colocada sobre dos soportes de hierro que descansan en los bordes de la artesa, y merced á dos sistemas de tornillos se la puede colocar de tal suerte, que una de las miras esté siempre enfrente de la abertura que corresponde con el anteojo fijo.

Puesto el baño á la temperatura que se desea, la regla se dilata, la segunda mira se desvía, y con el anteojo móvil se puede seguir su movimiento al través del cristal transparente. La medida de la dilatación se obtiene del modo siguiente. El anteojo móvil va sostenido en una alidada *adb* de latón y puede girar con ella alrededor de un eje vertical *ac*. Esta alidada lleva divisiones que se leen con un anteojo micrométrico, merced al cual se puede estimar hasta  $\frac{1}{1000}$  de milímetro. En virtud de un experimento previo, se sabe á qué fracción de milímetro corresponde el movimiento de una división de la alidada producida por el cambio de posición del anteojo móvil. Con el auxilio de este aparato, Pouillet ha podido medir dilataciones consiguientes á temperaturas inferiores á 300°; pero disponiendo de otro modo las reglas, en un hornillo por el que se podía hacer pasar aire caliente, ó bien una llama, le era posible medir dilataciones provenientes de temperaturas más altas.

Lleguemos ya á los resultados obtenidos, y terminemos este artículo con una tabla que dé los coeficientes de dilatación lineal de cierto número de cuerpos sólidos relativamente al intervalo de 0° á 100°. Cada número de dicha tabla expresa diezmillonésimas de unidad, de suerte que debería ir precedido de las cifras 0,0000. Por ejemplo, el coeficiente de dilatación del bismuto debe escribirse así: 0,0000139.

La dilatación total de una barra sólida, de longitud *L* á 0°, relativamente á un número de grados *t*, se obtiene multiplicando esta longitud por el coeficiente del cuerpo y por *t*; añadiendo el producto *L*, se tendrá la longitud de la barra dilatada; así lo expresa la fórmula siguiente, en la cual *a* es el coeficiente medio dado por el cuadro siguiente con respecto á la substancia de que la barra está formada:  $L' = L (1 + at)$ .

COEFICIENTES DE DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS POR 1 GRADO EN EL INTERVALO DE 0° Á 100°

1.º Metales y aleaciones:			
Zinc. . . . .	de 294 á 341	Cobre rojo. . . . .	de 170 á 172
Cadmio. . . . .	" 313	Oro. . . . .	147 155
Plomo. . . . .	278 288	Hierro. . . . .	116 144
Estaño. . . . .	119 228	Bismuto. . . . .	" 139
Aluminio. . . . .	" 222	Acero recocido. . . . .	124 137
Cobre amarillo. . . . .	178 214	Acero templado. . . . .	122 137
Plata. . . . .	191 208	Acero. . . . .	107 119
Bronce. . . . .	182 191	Platino. . . . .	086 088
2. Varios sólidos			
Hielo (de -27,5 á -1). . . . .	de 513 á 528	Flint. . . . .	de 082 á 087
Yeso (longitud del prisma). . . . .	" 140	Granito. . . . .	079 090
Mármol blanco. . . . .	085 107	Mármol. . . . .	042 057
Vidrio blanco. . . . .	077 092	Ladrillos. . . . .	049 055
Piedra de sillera. . . . .	043 090	Madera de acebo. . . . .	035 050

Creemos inútil decir que las cifras extremas dadas aquí para cada coeficiente no tan sólo dependen de los experimentadores que las han deducido, según el grado de

perfección de los métodos empleados, sino de la naturaleza física de los ejemplares, de su mayor ó menor grado de dureza y de la diferencia de composición de las aleaciones ó substancias tales como el vidrio.

Es de notar que los metales más dilatables son también los más fusibles, y así lo había comprobado Berthollet, quien creía poder deducir de ello que el coeficiente de dilatación de un metal debe de ir aumentando á medida que se acerca á la tempera-

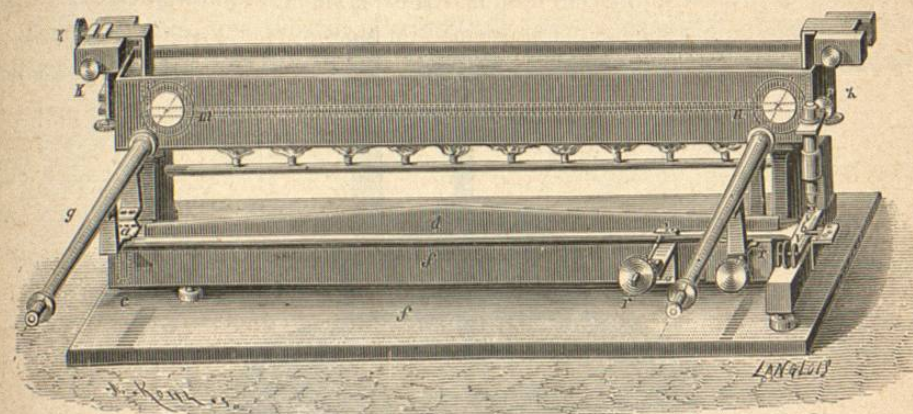


Fig. 543.---Aparato de Pouillet para medir dilataciones

tura de la fusión. Las medidas tomadas directamente han confirmado este modo de ver. Si se busca, por ejemplo, el coeficiente medio de dilatación de un sólido, no ya de 0° á 100° como lo marca la tabla anterior, sino de 0° á 200°, á 300°, se obtienen cantidades mucho mayores. He aquí algunas:

Entre 0° y 100°, el coeficiente de dilatación del platino varía de 0,0000086 á 0,0000088; entre 0° y 300°, sube á 0,0000092. Dulong y Petit han deducido 0,0000086 para una regla de vidrio blanco entre 0° y 100°; á 200°, el coeficiente del mismo vidrio llega á 0,0000092; á 300°, á 0,0000101. El cobre rojo tiene por coeficiente medio de 0° á 300° el número 0,0000188; el hierro, 0,0000147.

III

DILATACIÓN DE LOS CRISTALES

En todo cuanto precede hemos supuesto que la dilatación se efectuaba con igualdad en todos sentidos, y por consiguiente que todo cuerpo conservaba al calentarse ó al enfriarse, á cualquier temperatura, la forma que á otra temperatura tenía. Esto es exacto por lo que respecta á los sólidos homogéneos y amorfos, pero no lo es relativamente á los sólidos cristalizados, por lo menos á aquellos cuyas propiedades físicas varían según la orientación.

En 1823, Mitscherlich hizo la observación siguiente. Habiendo medido las inclinaciones mutuas de las caras de un romboide de carbonato de cal (espató de Islandia) á diferentes temperaturas, reconoció que estas inclinaciones variaban de una manera sensible: de 0° á 100° llegaba esta variación á 8' 30". Los ángulos diedros disminuían cuando la temperatura aumentaba. Resultaba de aquí que la dilatación era mayor en dirección del eje menor del romboide que en la de las otras diagonales; en una palabra, que



la forma del cristal se aproximaba á la del cubo. Una consecuencia de este hecho es que la doble refracción del espato de Islandia debía disminuir igualmente con la temperatura; y los experimentos de Fresnel confirmaron esta previsión de Mitscherlich. El coefi-

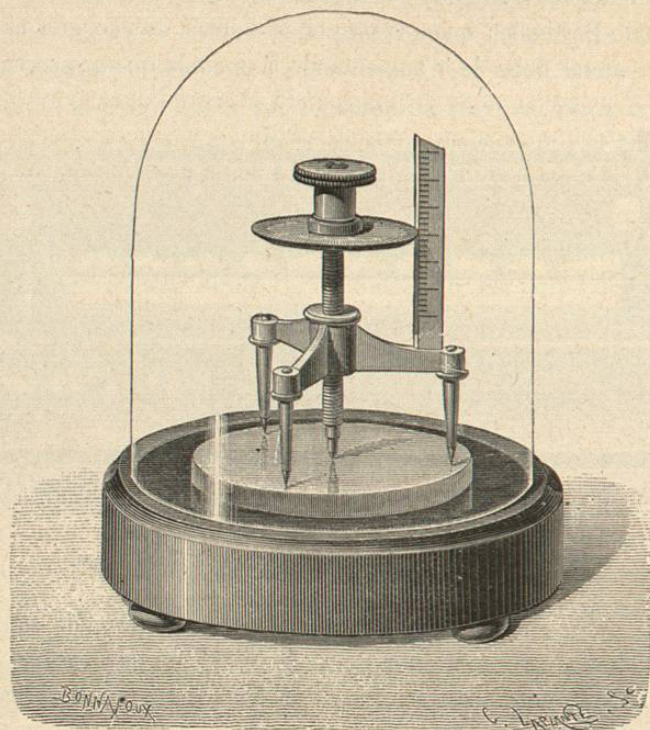


Fig. 544. — Medida del espesor de una placa con el esferómetro (1)

ciente de dilatación de la cal carbonatada en el sentido del eje menor es además bastante grande para que, aun en la hipótesis de que fuese nula perpendicularmente al

(1) El instrumento conocido con el nombre de *esferómetro* y que está representado en las figuras 544 y 545, tiene por objeto medir espesores muy pequeños, por ejemplo el de las láminas tenues de caras paralelas. No es otra cosa sino un tornillo micrométrico montado sobre un trípode de puntas de acero perfectamente templadas. El tornillo, cuyo paso, muy regular, tiene por ejemplo cinco milímetros, penetra en medio del trípode en una abertura en forma de tuerca, remata en su parte superior en un botón estriado en el borde que sirve para subirlo ó bajarlo y lleva un disco horizontal dividido en 500 partes iguales. Una regla vertical dividida en medios milímetros, encajada en uno de los pies, sirve de índice para los movimientos de subida del tornillo y marca el número de vueltas que da. El trípode descansa en un plano de cristal fijo pulido con esmeril; cuando se baja la punta del tornillo hacia el cristal de este plano hasta tocarle, el círculo graduado se encuentra precisamente al nivel del cero de la regla.

Para medir el espesor de una lámina delgada, se la coloca debajo del tornillo, y hay que dar vueltas á éste hasta que haya contacto simultáneo de las tres puntas del trípode con el plano de cristal. El número de divisiones de la regla índice da el de las vueltas ó de los medios milímetros de espesor; el de las divisiones del círculo horizontal marca además la fracción de vuelta. Supongamos que se haya puesto el tornillo en la tercera división y que la del círculo horizontal puesto enfrente del índice sea 40; el espesor de la lámina

$$\text{será } 3 \times 0^{\text{mm}}, 5 + \frac{40}{500} \times 0^{\text{mm}}, 5 = 1^{\text{mm}}, 54.$$

El uso del esferómetro requiere cierta práctica para conocer el momento preciso en que las tres puntas del trípode y la del tornillo tocan á la vez el plano fijo y la placa ó lámina cuyo espesor se trata de medir. Su nombre procede de que fué inventado para valuar la curvatura de las lentes esféricas. La figura 545 muestra el aparato funcionando con este último objeto.

eje, la dilatación total de esta substancia debiera exceder de la del vidrio. Pero la medición directa de la dilatación cúbica del espato de Islandia demuestra, por el contrario, que es inferior. De aquí se deduce una consecuencia singular: la de que, si el calor dilata el cristal paralelamente á su eje, debe contraerlo ó acercar sus moléculas en direcciones perpendiculares. Para cerciorarse de este hecho, Mitscherlich hizo tallar placas de espato de Islandia, paralelamente al eje; luego midió su espesor con un *esferómetro* á temperaturas diferentes, y comprobó la exactitud de sus previsiones.

Tenemos, pues, una substancia cristalizada que experimenta en un sentido una dilatación, y en otro una contracción, por efecto de un aumento de calor. El espato de

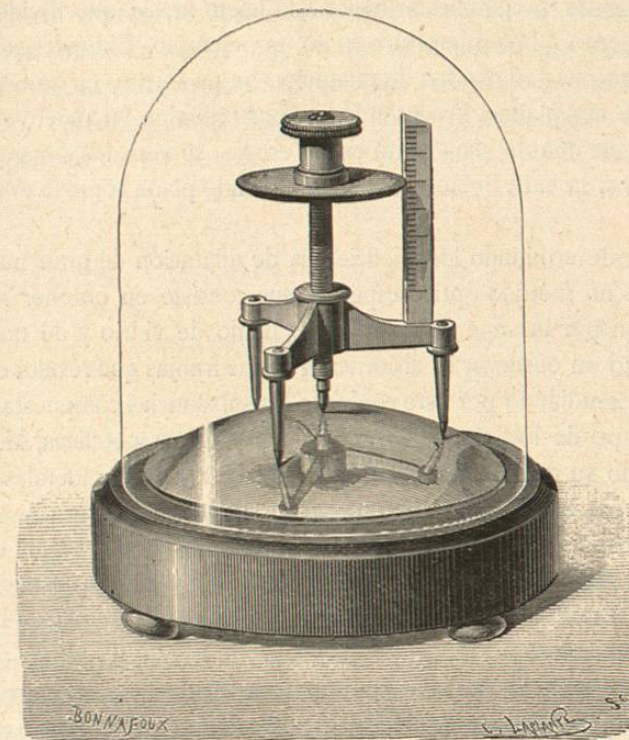


Fig. 545. — Esferómetro: valuación de las curvaturas

Islandia tiene así dos coeficientes, uno de dilatación que tiene por valor 0,00002621, y otro de contracción ó de dilatación *negativa* cuyo valor es -0,00000540.

Después de las primeras investigaciones hechas por Mitscherlich y Fresnel, se siguió el estudio de las dilataciones de los cristales, del cual han resultado varias leyes que vamos á resumir.

Sábese que los cuerpos cristalizados, naturales ó artificiales, se dividen, según su forma geométrica, en varios sistemas, cuyos caracteres no debemos definir aquí. Bajo el punto de vista de la dilatación forman tres clases. A la primera pertenecen los cristales cúbicos ó aquellos cuya forma poliédrica se deriva del cubo; se dilatan con igualdad en todos sentidos, de suerte que su forma es siempre la misma á cualquier temperatura. La sal gema, el alumbre y el espato fluor son ejemplos de este primer sistema. La segunda clase contiene cristales caracterizados por un eje principal y dos ó tres secundarios situados en un plano perpendicular al primero. Estos cristales tienen dos coeficientes de dilatación lineal de valor desigual, el uno de los cuales corresponde á la



dirección del eje principal y el otro á la dirección normal. El circón, el cuarzo, la cal carbonatada ó espato de Islandia, la turmalina y la esmeralda corresponden á este segundo sistema. Por último, la tercera clase comprende los cristales que tienen tres ejes desiguales, diferentes por sus propiedades, como el topacio, el sulfato de magnesia, el feldespato, y el yeso ó sulfato de cal. Estos cristales tienen tres coeficientes desiguales de dilatación, ya según su eje, ó ya según otras direcciones.

Mediante un sencillo experimento, se puede comprobar esta desigualdad de dilatación de los cristales, con un fragmento de yeso de la variedad conocida con el nombre de *yeso hierro de lanza*, que se encuentra especialmente en las canteras de los alrededores de París. En uno de estos fragmentos se talla una lámina terminada en dos caras planas y tersas perpendicularmente á la línea media que divide el cristal, y en seguida se la calienta á la temperatura de 80° por ejemplo. Entonces se nota fácilmente la deformación que la desigualdad de dilatación ha producido en ambas caras, las cuales han dejado de ser planas. Procurando ver por reflexión un objeto suelto y fino, por ejemplo un hilo, en una de ellas como en un espejo, se ven dos imágenes del hilo, lo que no sucedería si la cara hubiese continuado siendo plana como lo era antes de elevar la temperatura.

M. Fizeau ha determinado los coeficientes de dilatación de gran número de cristales valiéndose de un método óptico especial, que consiste en obtener los anillos coloreados de Newton por la superposición de un plano de vidrio y de una lámina tenue del cristal, y luego en observar la dislocación de las franjas que resulta cuando se eleva la temperatura. Estudiando por este concepto las sustancias compuestas cristalinas que pertenecen al grupo de los cloruros, bromuros y yoduros metálicos, M. Fizeau no tan sólo ha reconocido su gran dilatabilidad que excede á la de los metales más dilatables, sino que también ha podido hacer patente una anomalía singular presentada por una de dichas sustancias, el yoduro de plata. Este compuesto que, según hemos visto, ha desempeñado tan gran papel en la invención de la fotografía, está formado de 54,02 partes de yodo y 45,98 de plata. Véase en qué términos anunciaba el sabio físico el caso á que nos referimos:

“El yoduro de plata, no tan sólo posee la gran dilatabilidad de sus congéneres, sino que por este concepto presenta con ellos un contraste tan completo como inesperado. En efecto, de las varias pruebas á que se le ha sometido parece resultar con toda certeza que el yoduro de plata posee la propiedad de contraerse ó de disminuir de volumen cuando sube la temperatura, y de dilatarse, por el contrario, ó de aumentar de volumen cuando ésta baja, siendo siempre el fenómeno perfectamente regular y continuo entre los límites de temperatura de  $-10^{\circ}$  y  $+70^{\circ}$ . Conviene observar que el yoduro de plata no es fusible sino á una temperatura elevada (á los  $400^{\circ}$ ), de suerte que no se pueden atribuir los efectos en cuestión á las irregularidades que pudieran producirse en los límites de la temperatura correspondiente al cambio de estado de la sustancia. Por lo demás, los efectos son bien constantes y exactamente inversos uno de otro durante el calor y el enfriamiento.

„Así pues, la dilatación del yoduro de plata se debe expresar con un coeficiente negativo, á lo menos para todo el intervalo comprendido entre  $-10^{\circ}$  y  $+70^{\circ}$ . Además, á medida que la temperatura se eleva entre estos límites, el valor numérico del coeficiente aumenta notablemente, de suerte que la contracción se ha efectuado en todas direcciones, y el coeficiente negativo ha resultado igual á  $-0,000000139$  y  $-0,000000137$ . El yoduro de plata cristalizado se contrae en la dirección del eje principal y se dilata

normalmente á esta dirección; pero el primer coeficiente es  $-0,00000367$  y el segundo  $+0,00000065$ , de suerte que en definitiva hay disminución de volumen.

Por el hecho de aumentar el calor el volumen de los cuerpos, disminuye su densidad; por consiguiente, al determinar esta última á temperaturas diferentes por los procedimientos que hemos descrito, se podría deducir de los resultados obtenidos el valor del coeficiente de dilatación cúbica. Y en efecto, de este modo ha sido fácil cerciorarse de un hecho sobre el cual se abrigaban dudas en otro tiempo; nos referimos á la contracción del hielo por el frío; hasta se había creído reconocer que el hielo se dilata á medida que baja su temperatura. Pero las medidas de la densidad de esta sustancia obtenidas por Brüner al evaluar la pérdida de peso en el aceite de petróleo de un mismo trozo de hielo exento de burbujas de aire á  $0^{\circ}$  y á  $-6^{\circ}$ , han dado por coeficiente de dilatación linear un número mayor que para los otros sólidos conocidos, según se ha podido ver ya en lo que concierne á los cuerpos continuados en el cuadro de la página 576. Posteriormente, Géissler y Plücker han deducido  $0,0000528$ , cifra que pasa en dos tercios del coeficiente del zinc, el más dilatado de los metales.

## CAPITULO IV

### DILATACIÓN DE LOS LÍQUIDOS

#### I

##### DETERMINACIÓN DE LA DILATACIÓN ABSOLUTA DEL MERCURIO

Comparando entre sí los resultados consignados en los diferentes artículos del capítulo anterior, se ve fácilmente que los cuerpos sólidos, amorfos ó cristalizados, distan mucho de seguir la misma ley en sus cristalizaciones. Sus variaciones de volumen para un mismo cambio de temperatura no tan sólo difieren considerablemente de un cuerpo á otro, sino también, en un mismo cuerpo, cuando se consideran variaciones iguales de la temperatura en diferentes puntos de la escala termométrica. ¿Cuál es la verdadera significación de estos resultados?

Para hacerse cargo de ellos, debe tenerse en cuenta que la medida de las temperaturas, tal como resulta de la construcción y graduación del termómetro de mercurio, es necesariamente arbitraria ó convencional. Un grado centígrado indica, bien una dilatación si la temperatura se eleva, ó bien una contracción si baja, igual á la  $6480^{\text{a}}$  parte del volumen del mercurio al hielo fundente, aunque en uno y otro caso interviene también la dilatación ó contracción del vidrio. Así pues, decir que el coeficiente de dilatación de un cuerpo sube con la temperatura, es simplemente reconocer que la ley de dilatación de este cuerpo no es, con respecto á aumentos iguales de temperatura, la misma que la ley de dilatación del mercurio. Pero esto nada prejuzga relativamente á la ley, hasta aquí desconocida, que puede enlazar las indicaciones del termómetro, ó las variaciones de volumen de los sólidos medidos con las cantidades reales de calor que producen estos diferentes efectos.

También sabemos ya que encontraremos divergencias semejantes en los líquidos, porque hemos visto que ciertos termómetros construídos y graduados según el principio