

fácilmente. Las capas superiores del agua se enfrían poco á poco y de una manera continua, y el termómetro metido en ella desciende de 4° á 0°, al paso que el termómetro inferior, después de bajar á 4°, se queda estacionado. Este experimento muestra que las capas más elevadas, al enfriarse á 4°, permanecen en la parte superior, como lo prueban las indicaciones de los dos termómetros, lo cual denota su mayor ligereza específica. Este experimento basta para comprobar el hecho, mas no para determinar con

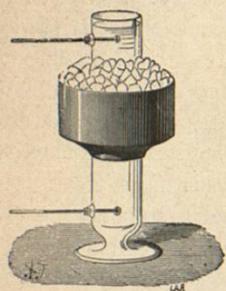


Fig. 550. — Experimento que prueba que el agua se contrae de 0° á 4°

exactitud la temperatura precisa del punto en que el agua adquiere su máximo de densidad, lo cual se ha conseguido por varios métodos, consistentes los unos en tomar la densidad del líquido haciendo variar la temperatura á una y otra parte del punto crítico, y los otros en buscar directamente la dilatación del agua mediante la comparación de termómetros de agua y de mercurio, lo cual exige, conforme hemos visto, el conocimiento exacto de la dilatación absoluta del mercurio. Valiéndose Hallstrom del primer método ha deducido 4°,1 como temperatura del máximo de densidad. Despretz, empleando el segundo, ha hallado 4° exactamente. M. Frankenheim ha tomado por base las investigaciones de Isidoro Pierre, y deducido la cantidad 3°,6. Vese, pues, que 4° es el promedio de los tres resultados. Como la dilatación varía con mucha lentitud á una y otra parte del punto en que se llega al máximo, compréndese que sea difícil decidir qué número es el más exacto. El cuadro siguiente, tomado de la obra de Despretz, indica los volúmenes y densidades del agua á varias temperaturas sobre y bajo cero, siendo la unidad de volumen y de densidad la del agua á 4° (1).

Temperaturas	Volúmenes	Densidades	Temperaturas	Volúmenes	Densidades
— 5°	1,0006987	0,999302	4°	1,0000000	1,0000000
— 4	1,0005619	0,999437	5	1,0000082	0,9999999
— 3	1,0004222	0,999577	6	1,0000309	0,9999699
— 2	1,0003077	0,999692	7	1,0000708	0,9999299
— 1	1,0002138	0,999786	8	1,0001216	0,9998788
0	1,0001269	0,999873	9	1,0001870	0,999813
1	1,0000730	0,999927	10	1,0002684	0,999731
2	1,0000331	0,999966	15	1,0008951	0,999125
3	1,0000083	0,999999	100	1,04315	0,958634

El agua de mar tiene un máximo de densidad lo propio que la pura, sucediendo lo mismo con algunas disoluciones salinas acuosas. Pero Despretz ha reconocido que en estos líquidos la temperatura del máximo baja más rápidamente que el punto de congelación. El agua de mar, que se congela á —1°,70, tiene su máximo de densidad á —3°,67; una disolución de sal marina, cuyo punto de congelación es —2°,12, tiene su máximo á —4°,75. Así pues, para que se pueda observar el máximo es menester tomar las precauciones necesarias para poner el líquido á dicha temperatura sin que cambie de estado. Estando siempre agitada el agua del mar, la congelación sobreviene antes que se enfríe lo bastante para llegar á la temperatura más baja del máximo.

(1) Más adelante veremos que se puede bajar la temperatura del agua hasta 12° bajo cero sin que ésta se solidifique; sino que continúa dilatándose hasta dicha temperatura extrema. El cuadro siguiente da, hasta —5°, el valor de esta dilatación del agua no congelada y de su densidad decreciente hasta el mismo límite. Por el contrario, el hielo se contrae á estas mismas temperaturas.

IV

TEMPERATURA DE LOS LAGOS PROFUNDOS. — POZOS DE HIELO

Así pues, todos los líquidos, excepto el agua y algunas disoluciones acuosas, se contraen al enfriarse hasta el punto en que, según más adelante veremos, cambian de estado y se solidifican, propiedad que origina en la Naturaleza ciertos fenómenos de los que vamos á tratar ligeramente.

El primer fenómeno es la constancia de la temperatura del agua, en toda estación, en el fondo de los lagos de gran profundidad. Saussure ha comprobado que esta temperatura es igual á 4°, es decir, precisamente la del máximo de densidad del agua. La explicación de esto es sencilla, si se tiene en cuenta el hecho de la condición de equilibrio de los líquidos superpuestos, la cual exige que las capas estén colocadas de arriba abajo por orden de densidades crecientes.

El experimento de Hope, anteriormente descrito, muestra en pequeña escala lo que sucede en grande en la Naturaleza.

En efecto, cuando al acercarse el invierno el descenso de temperatura hace que las capas superficiales del lago se enfríen hasta 4°, estas capas se vuelven más densas que las que tienen debajo, por lo cual descienden al fondo y las reemplazan otras más calientes y ligeras que se enfrían y bajan á su vez. De esta suerte y poco á poco las capas profundas del lago quedan constituidas por agua á 4°; y si el enfriamiento de la superficie continúa de 4° á 0°, es evidente que el equilibrio se establecerá de modo que el agua más fría ó menos densa sea precisamente la que ocupe los puntos más elevados, al ir creciendo la temperatura desde un punto próximo á 0° hasta 4°, que será la de las capas más profundas.

El lago podrá congelarse superficialmente, en mayor ó menor espesor, pero no cesará el equilibrio de que acabamos de hablar.

Si el lago es de escasa profundidad, el descenso de temperatura de la superficie podrá llegar poco á poco á las capas inferiores, que entonces, en lugar de permanecer á 4°, podrán bajar á 3°, á 2°, etc., pero conservando el orden de superposición que deja en el fondo el agua más caliente y también la más densa, mientras se encuentre en los límites comprendidos entre 0° y 4°.

Cuando, al volver los calores, las capas superficiales del lago recobran una temperatura más elevada, la comunican muy despacio á las inferiores, comunicación que, suponiendo una gran profundidad, no tiene tiempo de llegar al fondo antes de que vuelva el invierno.

Según los sondeos termométricos efectuados hace algunos años en los lochs escoceses por M. Buchanan, parece que la observación no confirmaba completamente los resultados obtenidos por Saussure. M. Buchanan vió, en el Loch Lomon, que la temperatura del agua, que era de 0° á la superficie, se elevaba gradualmente hasta 2°,4 á 20 metros de profundidad, pero sin subir más.

M. Forel ha hecho indagaciones con el mismo objeto, durante el invierno de 1879-1880, en los lagos de Morat y de Zurich: he aquí los resultados de sus trabajos, siendo las deducciones que de ellos ha hecho enteramente conformes á la explicación hasta entonces adoptada, como se va á ver:

“1. Lago de Morat.—Superficie, 27 kil, 4; profundidad máxima, 45 metros. El lago

se heló en la noche del 17 al 18 de diciembre. Espesor del hielo el 23 de diciembre, 11 centímetros; el 1.º de febrero, 36 centímetros.

Profundidad en metros	Temperatura	
	el 28 diciembre 1879	el 1.º febrero 1880
0	0°,36	0°,35
5	1°,60	1°,90
10	2°,00	2°,00
15	2°,23	2°,45
20	2°,46	2°,50
25	2°,60	2°,50
30	2°,66	2°,40
35	2°,75	2°,55
40	2°,70	2°,70
Promedios	2°,15	2°,15

„2. Lago de Zurich.—Superficie, 87kil,8; profundidad máxima, 141 metros. El lago se heló dos días á fines de diciembre, y luego de nuevo y definitivamente el 21 de enero. Espesor del hielo el 25 de enero, 10 centímetros.

Profundidad	Temperatura	Profundidad	Temperatura	Profundidad	Temperatura
0 ^m	0°,2	50 ^m	3°,6	100 ^m	3°,9
10 ^m	2°,6	60 ^m	3°,7	110 ^m	4°,9
20 ^m	2°,9	70 ^m	3°,7	120 ^m	4°,0
30 ^m	3°,2	80 ^m	3°,8	133 ^m	4°,0
40 ^m	3°,5	90 ^m	3°,8		

„Del estudio de estas cifras deduzco las conclusiones siguientes:

„1.^a La antigua teoría de la congelación de los lagos, que admite un enfriamiento progresivo de toda la masa hasta á 4° C, y luego otro de las capas superficiales que se estratifican de 4° á 0° según su orden de densidad, es exacta.

„2.^a La penetración del frío en las capas superficiales puede bajar hasta 110 metros de profundidad (lago de Zurich).

„3.^a M. Buchanan ha hallado 2°,4 y no 4° en el Loch Lomon á causa de la escasa profundidad de éste.

Otro fenómeno natural cuya explicación se relaciona con el hecho del máximum de densidad del agua á 4° es el de los *pozos de hielo*. Dase este nombre á unas cavidades de forma generalmente cilíndrica que se encuentran, en los Alpes, en la superficie de las masas de hielo que constituyen los glaciares. Examinando el fondo de estos pozos, se ve siempre un cuerpo sólido, como una piedra, un madero, hojas, etc. Véase cómo se explica la formación de una de estas cavidades. La superficie del hielo, expuesta á los rayos solares, se funde uniforme, pero lentamente, cuando la temperatura del aire es inferior á 0°; pero si cae en el hielo un cuerpo extraño, el calor del sol eleva su temperatura y derrite el hielo debajo y alrededor de él con mayor rapidez que en los demás puntos. Fórmase, pues, debajo del cuerpo una cavidad que se llena de agua de fusión. La temperatura de ésta, allí donde está expuesta á la radiación solar, sube poco á poco hasta 4°, y como su densidad aumenta, baja al fondo de la cavidad y la reemplaza el agua más fría y ligera. Por su contacto con el hielo, le cede una parte de su calor, y produce una nueva cantidad de agua de fusión; pero, enfriándose también, se torna más ligera y sube á la superficie. Así pues, una vez formada la cavidad, aumenta progresivamente en profundidad, y el cuerpo extraño que la ha dado nacimiento queda en el fondo, atestiguando con su presencia el origen y la causa del fenómeno.

CAPITULO V

DILATACIÓN DE LOS GASES

I

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN DE LOS GASES POR EL MÉTODO DE GAY-LUSSAC

Que la dilatación de los gases sea, para una misma elevación de temperatura, mucho mayor que la de los líquidos y con mayor motivo que la de los sólidos, es un hecho conocido de muy antiguo y que explica por qué los primeros termoscopios ideados estaban fundados en la dilatación del aire. En virtud de un fácil experimento se sabía que un globo cerrado y lleno de aire se rompe cuando se eleva demasiado su temperatura, y que una vejiga se infla y revienta en las mismas circunstancias. Las medidas que hemos dado ya de los coeficientes de dilatación de los sólidos y los líquidos nos han hecho ver que el volumen del mercurio, el más dilatado de los segundos, aumenta en 179 diezmilésimas cuando se le calienta de 0° á 100°, al paso que el del metal más dilatado, el zinc, sólo aumenta en 102 diezmilésimas para igual elevación de temperatura. El aire, en iguales condiciones, se dilata 3665 diezmilésimas, más del tercio de su volumen primitivo; casi 36 veces tanto como el zinc, y más de 20 que el mercurio. Esta proporción es poco más ó menos la misma para todos los gases, conforme vamos á verlo al describir los principales procedimientos que han servido á los físicos para determinar sus coeficientes de dilatación. Gay-Lussac, á quien corresponde el honor de haber hecho las primeras determinaciones exactas, halló para todos los gases una cifra mucho mayor que la que hoy se admite.

Antes de la época de este ilustre físico habíanse hecho ya varias tentativas con objeto de medir la dilatación de los gases, entre otras las de Hauksbee y Amontons, Priestley, Monge y Berthollet, Guyton y Prieur; pero las conclusiones de estas indagaciones multiplicadas no concordaban entre sí. Hoy sabemos que la divergencia de los resultados consistía en gran parte en la insuficiencia de los procedimientos de desecación de los gases; la humedad que conservaban en los experimentos, y la formación de vapores por efecto del calor, eran causas de perturbación y de error á la sazón inevitables. Según dice Lamé atinadamente, “no se conocían entonces las leyes de formación de los vapores, y esta circunstancia descuidada impedía que los experimentos fuesen comparables entre sí.” Gay-Lussac en Francia y Dalton en Inglaterra fueron los primeros que lograron descubrir las leyes de dilatación de los gases; y por largo tiempo se consideró que el primero había dado las verdaderas fórmulas y el valor verdadero del coeficiente de dilatación común. He aquí el enunciado de las tres leyes que cada cual dedujo por su parte, y que han sido conocidas largo tiempo en la ciencia con el nombre de leyes de Gay-Lussac:

PRIMERA LEY: *Todos los gases se dilatan uniformemente de 0 á 100 grados.*

SEGUNDA LEY: *La dilatación de los gases es independiente de la presión.*

TERCERA LEY: *La dilatación común de los gases entre 0 y 100 grados es igual á*