

de describir algunas de las disposiciones especiales dadas á estos aparatos, conviene insistir en las dificultades que presenta el problema que se ha de resolver. Una de éstas es inherente á la profundidad misma y dimana de la presión que el agua ejerce contra las paredes del depósito del instrumento, cualquiera que éste sea. A 500 brazas de profundidad, esta presión es ya de 90 atmósferas, ó sea de 90 á 95 kilogramos por centímetro cuadrado, según la temperatura. A 3.000 brazas (5.500 metros), profundidad á que ha llegado la sonda y aun ha pasado de ella, la presión alcanza el enorme valor de 540 atmósferas. Aun cuando las cubiertas de vidrio de los termómetros no resultaran aplastadas, rotas por presiones tan grandes que crecen gradualmente á medida que va bajando la sonda, está claro que cederían, y comprimiendo el mercurio, le harían marcar en la escala un número de grados cuyo origen no sería por cierto el de la elevación de la temperatura (1).

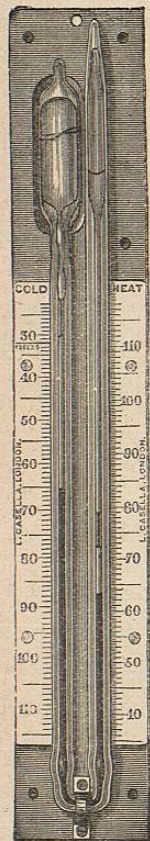


Fig. 125.—Termómetro anotador de Six, modificado por Miller y Casella.

Se evita esta dificultad resguardando los termómetros con una cubierta bastante recia. Cuando Walferdin practicó en 1856 sus investigaciones térmicas en el fondo de los pozos del Creuzot, metió sus termómetros de desague en tubos de cristal de dos á dos y medio milímetros de grueso, cerrados á la lámpara, de modo que pudieron resistir una presión de más de 81 atmósferas. Solamente se rompió un tubo de los diez y ocho empleados.

Los termómetros anotadores de Six, perfeccionados por el doctor W. A. Miller y construídos por M. Casella, tienen su depósito metido en una envoltura exterior de cristal casi enteramente llena de alcohol; antes de soldarla, se ha dejado penetrar en ella solamente una burbuja de aire y de vapor de alcohol, la cual, cediendo á la presión exterior, basta para resguardar el depósito termométrico. Véase en que consiste este aparato, representado en la figura 125. Es un tubo en U, cuya parte encorvada contiene una columna de mercurio: uno de sus brazos remata en un grueso depósito cilíndrico de una mezcla de creosota y de agua; el otro brazo contiene una corta cantidad del mismo líquido, y termina en una ampolla llena de los vapores del líquido y de aire comprimido. En cada extremidad del mercurio descansan dos pequeños indicadores de acero rodeados de un cabello que hace las veces de resorte; éstos son los flotadores que marcan, el uno la temperatura máxima á un lado del depósito, y el otro la mínima á un lado de la ampolla. En el momento de hacer uso del

termómetro se ponen los dos indicadores en contacto con el mercurio por medio de un fuerte imán.

Ya se trate de termómetros de máxima y de mínima ó de cualquier otro instru-

(1) "Esta causa de error, dice M. Wyville Thomson, no siempre produce idénticos efectos, por cuanto el grado de presión que sufre el depósito depende de su forma, del espesor y de la calidad del cristal de que está hecho. Así es que la diferencia de los buenos termómetros construídos con arreglo al modelo de la Oficina hidrográfica varía de 7° C. á 10°,5 C. á una presión de 6.817 libras por pulgada cuadrada, la cual representa una profundidad de 2.500 brazas." (*Los abismos del mar.*) Aunque, estudiando el fenómeno, sea posible deducir de él la corrección que se haya de hacer en las indicaciones de los instrumentos no resguardados, los experimentos efectuados en 1868 á bordo del *Lightning* por el sabio que acabamos de mencionar, probaron que no se puede contar con la exactitud de dichos instrumentos, pues algunos de ellos funcionaron con mucha irregularidad á algunos centenares de brazas y muchos cedieron á la presión.

mento, siempre es posible preservar los depósitos de los efectos de la presión valiéndose de los procedimientos que acabamos de describir ó de otros análogos, quedando así fácilmente allanada esta primera dificultad de la averiguación de la temperatura de las grandes profundidades. Pero se presenta otra que es inherente al empleo de los termómetros de máxima y de mínima. Cuando se saca este instrumento á la superficie y se lee el grado más bajo y el más alto que marca, se ignora en qué punto de la vertical ha estado sometido á uno ú otro de estos extremos de temperatura. Para aclarar esta duda, sería menester tener la seguridad de que la temperatura va bajando ó su-

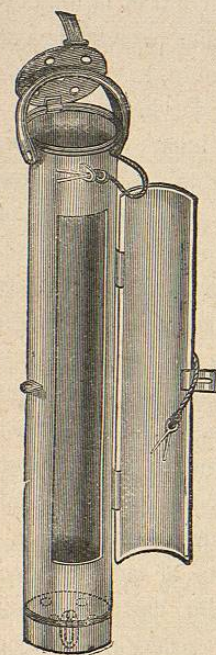


Fig. 126.—Linterna de bronce para resguardar el termómetro Miller-Casella.

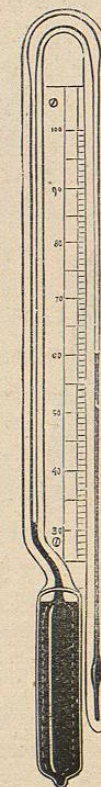


Fig. 127.—Termómetro Negretti y Zambra.

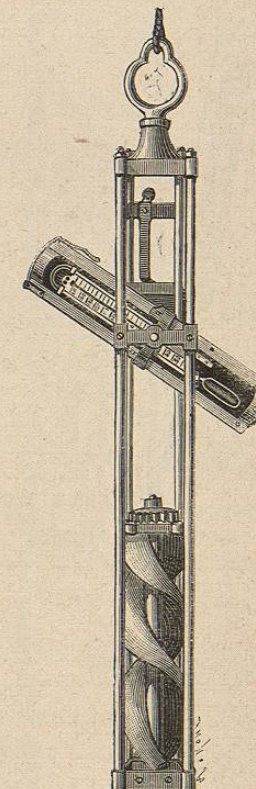


Fig. 128.—Termómetro Negretti y Zambra. Mecanismo de inversión.

biendo de un modo continuo desde la superficie hasta el fondo alcanzado por la sonda. Verdad es que el primer caso es el que ocurre con más frecuencia; pero se le ignora *a priori*, por cuanto se trata precisamente de encontrar experimentalmente la ley de esta variación. En tal caso, no queda otro recurso sino proceder por series de sondeos. He aquí, según Wyville Thomson, cómo se procede en una ó en otra hipótesis:

"Para efectuar sondeos de temperatura á grandes profundidades, se atan dos ó varios termómetros Miller-Casella á la cuerda de la sonda, á corta distancia unos de otros, y á pocos pies solamente de la anilla de sujeción de una sonda cuyo peso haya de quedar en el fondo. Bájase con rapidez el instrumento y se dejan transcurrir de cinco á diez minutos después de haberse desprendido á causa de su contacto con el fondo, antes de subir los termómetros; y aun bastan pocos instantes para que éstos marquen el verdadero grado de temperatura. Para hacer sondeos por series, es decir,

para averiguar la temperatura que reina á diferentes intervalos de profundidad, se desenrolla la cantidad de cuerda necesaria para cada observación, y á cada una de éstas se remonta todo el aparato. Esta operación es larga y prolija: una sola serie de sondeos practicada en el golfo de Vizcaya, en donde había 850 brazas de profundidad, y en que anotamos la temperatura á cada 50 brazas, nos ocupó todo un día., (*Los abismos del mar.*)

Posteriormente se han multiplicado las expediciones científicas organizadas para explorar las profundidades del Océano, y á fin de obviar las dificultades que acabamos de indicar, se han tenido que inventar aparatos merced á los cuales se pudiera conocer la temperatura á cualquier profundidad sin incertidumbre, lo cual se ha conseguido de varios modos.

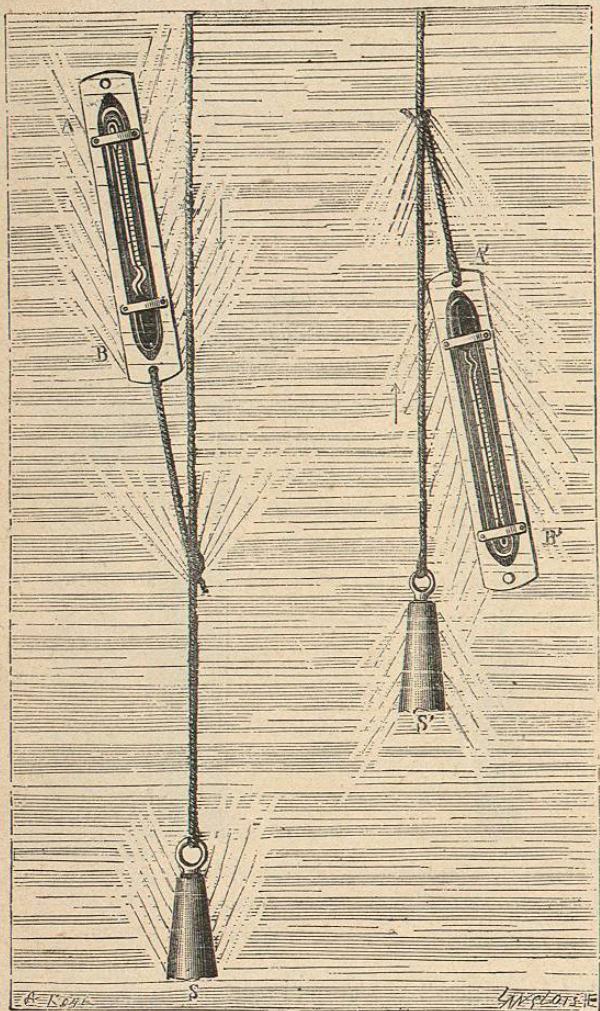


Fig. 129.—Termómetro sondador de Negretti y Zambra

En lugar de termómetros de máxima y mínima se usa uno común, pero con el tubo estrangulado un poco más arriba del depósito. Gracias á esta disposición, discurrida por Negretti y Zambra con el exclusivo objeto de obtener un termómetro de máxima, se puede separar en un momento dado la columna de mercurio que ha pasado del punto de estrangulación de la que está al lado del depósito. Para ello basta imprimir una brusca oscilación al instrumento cuando se supone que ha adquirido la temperatura de medio ambiente, de modo que el depósito que estaba abajo quede arriba. Efectúase la separación de las dos partes del mercurio y la columna que pasa del punto

de estrangulación cae en el extremo inferior del tubo. Este extremo, que está encorvado en U en los termómetros Negretti y Zambra y que es rectilíneo en los instrumentos adoptados por Milne-Edwards (expedición del *Talismán*), está convenientemente graduado. No hay para qué decir que el termómetro está resguardado de los efectos de la presión por una doble y sólida cubierta de vidrio.

Digamos ahora una palabra acerca de los medios empleados para conseguir la oscilación del aparato y la inversión ó vuelco del tubo barométrico.

Los señores Negretti y Zambra adoptaron primeramente el sistema representado en la figura 128. El marco en que está fijo el termómetro puede girar alrededor de un

eje que pasa por su centro de figura y hacer una revolución en su plano, en el interior de una especie de jaula metálica. En la parte inferior de ésta hay una hélice cuyo eje vertical lleva una rueda dentada unida al eje de rotación del termómetro por medio de un piñón al que comunica su movimiento. Cuando el instrumento, sumergido en el agua, efectúa su descenso, la hélice gira en un sentido calculado de modo que se desengrane el piñón de comunicación con el termómetro; pero tan luego como se sube el aparato, la hélice emprende su movimiento en sentido opuesto, hace que engrane el piñón y se efectúa la rotación del termómetro.

Esta clase de aparatos, además de tener el inconveniente que ofrece su mecanismo algo complicado y costoso, adolecen del de no funcionar siempre en el momento requerido. Por esto sin duda han ideado los inventores otro modo de inversión mucho más sencillo, que se comprende fácilmente examinando la figura 129. El termómetro, de tubo recto y algo más estrecho sobre el depósito como los anteriores, está sujeto á un marco de madera provisto de un doble fondo en toda su longitud. En este fondo hay cierta cantidad de perdigones para servir de lastre al aparato, y tal, que el conjunto tenga el mismo peso que el agua de mar desalojada. Este marco está sujeto con un cordel á la cuerda de la sonda un poco más arriba de la plomada. Mientras la sonda baja, la resistencia que el agua opone al movimiento del aparato, obliga á éste á mantenerse en una posición casi vertical, con el depósito hacia abajo. Al llegar al fondo ó á la profundidad requerida, el termómetro conserva esta posición; se le deja en ella unos cuantos minutos de modo que

tenga tiempo de adquirir la temperatura del agua ambiente, y luego se le sube. El movimiento de ascensión hace que el aparato dé media vuelta quedando el depósito arriba. El mercurio se separa en el punto de estrangulación, baja á la parte inferior del tubo, donde se queda si se tiene cuidado de no interrumpir el movimiento de ascensión hasta que el aparato esté fuera del agua. El termómetro está resguardado de la presión por una cubierta, pero no la tablilla, que se impregna de agua por efecto de aquélla y no puede flotar más allá de cierta profundidad (según Mohn, tan sólo 200 metros).

En la reciente expedición del *Talismán* ha discurrido A. Milne-Edwards un medio muy sencillo para que el termómetro dé la media vuelta así que el plomo de la sonda ha llegado al fondo. Mientras dura la bajada de la cuerda, el aparato, fijo como se ve en la fig. 128 á un marco metálico, conserva su posición vertical con el depósito hacia abajo, mantenido en ella por un gancho *a b*, cuyo brazo en forma de palanca tiene su

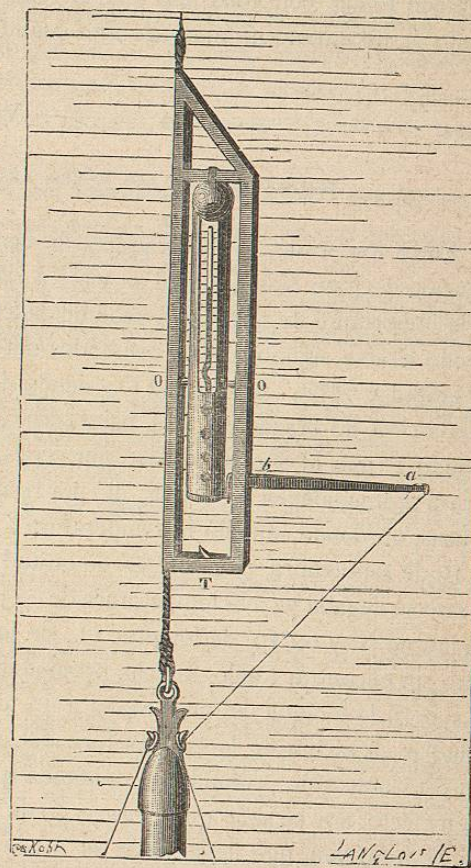


Fig. 130.—Termómetro sondador de báscula, de la expedición del *Talismán*

extremo unido á los pesos de recarga del sondador con un cordel de cáñamo. Cuando la sonda toca el fondo del mar, estos pesos se desprenden, caen y tiran del cordel, haciendo que se levante el gancho que sujetaba la parte inferior del tubo metálico en que está el termómetro. Una vez libre este tubo, cede á la acción de un muelle que le hace oscilar, de modo que el depósito del termómetro pasa á ocupar la parte superior del marco, y conserva esta posición hasta que se ha subido del todo el hilo de la sonda. Según M. Fihol, estos aparatos han funcionado así perfectamente; pero, como se ve, no se puede tomar con ellos más que la temperatura del fondo mismo del Océano, por cuanto el mecanismo no funciona sino cuando la sonda ha llegado á este fondo.

## V

## TEMPERATURA DE LOS MARES: RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES

Entre los primeros observadores de las temperaturas submarinas debemos hacer mención de John Ross, que en su viaje á los mares árticos efectuado en 1818 hizo una serie importante de medidas á profundidades variables y hasta á 1.000 brazas, mereciendo citarse algunos de los resultados obtenidos. El 1.º de septiembre, á los 73°37' de latitud y 77°25' de longitud O., siendo de 1°,3 la temperatura de la superficie, bajaba á 0° á 80 brazas y á 1°,4 bajo cero á 250. El 6 del propio mes, en un punto situado 1º más al Sur, un sondeo por series, es decir, un sondeo que daba la temperatura á profundidades crecientes, dió por resultado un decrecimiento gradual hasta 1.000 brazas, en donde se halló la temperatura á 3°,6 bajo cero. Igual resultado se obtuvo el 19 de septiembre, á los 66°50' de latitud y 60°30' de longitud O.; sólo que á las 660 brazas se llegaba ya á la temperatura de -3°,6. Por último, el 4 de octubre, á los 61°41' de latitud N. y 62°16' de longitud O., sir John Ross hizo un sondeo hasta 950 brazas, pero sin encontrar fondo: á dicha profundidad la temperatura era de 2º sobre cero; en la superficie el agua del mar estaba á 4º, al paso que el aire no pasaba de 2º,7. Tan singular elevación de la temperatura del agua, mayor que la del aire y que subsistía á 1.800 metros de profundidad, denotaba que allí había una corriente de agua caliente; y en efecto, hoy se sabe que el estrecho de Davis recibe á bastante distancia un efluvo del Gulf-Stream, que llega hasta el fondo del mar de Baffin. Lo que da gran importancia á las observaciones ya antiguas de sir John Ross, es que parece cierto que se han medido las temperaturas con instrumentos que ofrecían garantías de exactitud.

Veinte años después, en 1838 y 1839, Bravais, C. Martins y Pottier hicieron más de trescientas observaciones de temperatura en los mares árticos. He aquí los resultados principales de tan importantes investigaciones.

En pleno verano, la temperatura en la superficie del mar es igual á la del aire, ó mejor dicho un poco menos alta, pues la diferencia varía entre 0°,4 y 0°,7. Pero en otoño y después del 1º de octubre, supera ya á la del aire, como lo prueban los números siguientes que representan las temperaturas mensuales de la superficie del mar y del aire:

	Temperatura del mar	Temperatura del aire
Octubre 1838. . . . .	+2°,16	-2°,0
Noviembre. . . . .	+1°,32	-8°,2
Diciembre. . . . .	+0°,91	-7°,1
Enero 1839. . . . .	+0°,29	-9°,6
Febrero. . . . .	-0°,13	-7°,9

Bravais vió que la temperatura del mar era en marzo de +0°,79, mientras que la del aire en el mismo mes tenía por valor medio -9°,46. "Vese por esto, dice, la resistencia que el mar opone al descenso de su temperatura superficial por el contacto con el aire frío, efecto que sin duda procede en gran parte de que descienden al fondo las capas enfriadas de la superficie á causa de su mayor densidad, y en parte también del Gulf-Stream, que baña los fiordos de la costa occidental de la Escandinavia." Estas observaciones dan á conocer el poder moderador del agua del mar sobre la temperatura de las capas inferiores del aire, enfiándolas en verano y calentándolas en invierno.

Más por otra parte, la proximidad de las costas influye en la temperatura de la superficie del mar. Los inmensos glaciares que en el Spitzberg descienden hasta sus costas, ejercen en el agua una acción frigorífica muy notable; en cambio, en Noruega, donde los glaciares no bajan hasta el nivel del Océano, las costas tienden más bien á elevar la temperatura del agua superficial.

Los sondeos termométricos, practicados por los físicos ya citados, á grandes profundidades y con termómetros Walferdin preservados de la presión por un tubo de cristal cerrado á la lámpara, les han dado los resultados siguientes:

"Entre los 70°,40' y 79°,33' de latitud N. y los 7º y 21°,15' de longitud E. de París, las temperaturas del mar Glacial disminuyen con la profundidad durante los meses de julio y agosto.

"Estas temperaturas son siempre superiores á 0º, por lo menos hasta 870 metros, que es la mayor profundidad á que se ha llegado durante estos experimentos.

"Comparando la temperatura de la superficie con la del fondo y con las intermedias, se ve que la disminución es uniforme, y por término medio de 0°,675 por 100 metros.

"Cuanto más profunda es una capa líquida, más igual y constante es su temperatura."

Cerca de las costas y en la cercanía de los glaciares del Spitzberg, las observaciones de M. Martins han demostrado que durante los meses de julio y agosto forman dos capas: en la superior, comprendida entre la superficie y una profundidad de 70 metros, la temperatura va creciendo unas veces y disminuyendo otras con la profundidad, no siendo jamás inferior á 0º en ningún punto; á partir de 70, aquélla, más baja que 0º, disminuye hasta el fondo, siendo por término medio igual á -1°,75 para la capa que cubre el fondo del mar. "Fácilmente se explican estos hechos, dice M. Martins, si se tiene en cuenta que el máximo de densidad y el punto de congelación del agua salada están muchos grados bajo cero, y si se consideran las influencias complejas, intermitentes y de intensidad variable ejercidas por la solidificación de la superficie durante el invierno, los glaciares, los hielos flotantes, las mareas y las corrientes."

Las observaciones de los físicos franceses que acabamos de mencionar datan de los años 1838 y 1839, estando en abierta contradicción con la ley que sir James Clarke Ross creyó poder deducir de las que hizo durante los dos años siguientes en los mares árticos y que se aceptó largo tiempo como verdadera por haberla patrocinado J. Herschel y de Wallich. Suponíase en dicha ley que la temperatura del fondo de los mares, como la de los lagos y por la misma razón, era uniformemente de 4º (punto del máximo de densidad del agua pura, pero no del agua del mar). Las investigaciones de Despretz habían probado que esta ley no tenía ningún fundamento teórico, y tampoco estaba basada en los hechos, por cuanto James Ross hizo sus sondeos térmicos con aparatos que no estaban resguardados de la presión.