

las y de cuero ó de tela las de las planchas? Porque la madera, el cuero y la lana tienen muy escaso poder conductor, razón por la cual parecen estas substancias más calientes que los metales y que el mármol en un mismo recinto en el cual todos los objetos tienen, sin embargo, igual temperatura.

El pavimento de madera de una habitación es menos frío que el enladrillado porque la madera conduce peor el calor que el ladrillo, y por análoga razón un pavimento de abeto es menos frío que uno de roble.

En todos estos ejemplos, el contacto de la mano con cuerpos buenos ó malos conductores causa una sensación de frío ó de calor, porque el cambio de calor que se efectúa en un sentido ó en otro, entre estos cuerpos y nuestra piel, es más ó menos rápido.

La impresión desagradable que procede de una quemadura reconoce por causa un cambio demasiado brusco de calor que ocasiona la desorganización del tejido.

La misma impresión desagradable puede resultar del contacto con un cuerpo cuya temperatura es muy baja, como la que se siente tocando un pedazo de mercurio ó de ácido carbónico congelado. En los climas polares, la mano no puede tocar impunemente los objetos metálicos, siendo menester envolverlos en tela ó bien ponerse gruesos guantes para cogerlos.

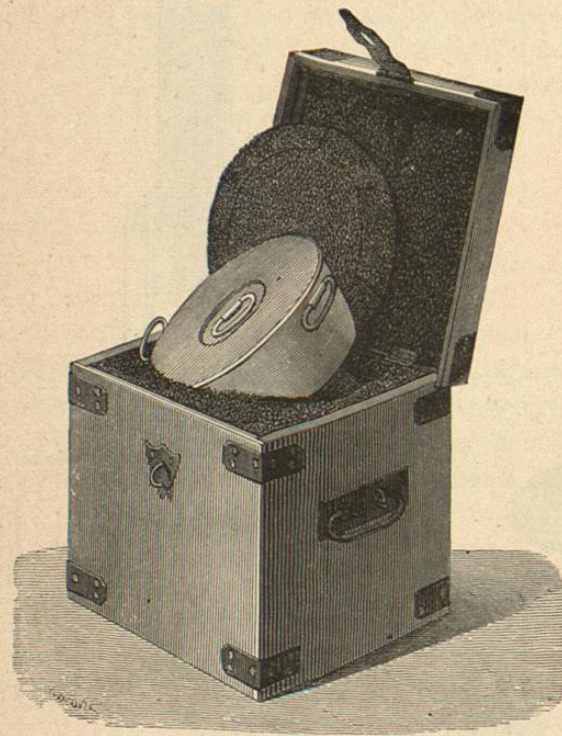


Fig. 699.—Marmita automática

La escasa conductibilidad de algunas substancias, como la lana y el fieltro, ha hecho que se dé á las mismas una curiosa aplicación doméstica de la cual diremos también dos palabras.

La *marmita automática* (fig. 699) que se veía en la Exposición universal de 1867 y que se usa en los países del Norte de Europa, no es otra cosa sino una marmita metálica en la que se echa carne, agua y todas las legumbres é ingredientes que constituyen una olla. Todo ello se pone al calor de un hornillo hasta que hierve. Tan luego como llega á la temperatura de la ebullición, se mete la marmita en una caja cuyo interior y tapadera están forrados de fieltro grueso; además se cubre la marmita con una almohadilla de la misma materia, se la cierra herméticamente y entonces se puede abandonar el utensilio á sí mismo: la cocción continúa y acaba sin fuego, porque gracias á la escasa conductibilidad de la envolvente, el calor interno conserva muchas horas una temperatura elevada, no bajando al cabo de tres más que 12 grados por término medio.

CAPITULO IV

VARIAS APLICACIONES DE LAS LEYES DEL CALOR.—DILATACIÓN

I

PÉNDULOS COMPENSADORES

En el capítulo de las *Aplicaciones de la gravedad* que trata del péndulo hemos visto que una de las condiciones esenciales del uso de este aparato en los relojes es la invariabilidad de la longitud del vástago ó varilla, ó, si se quiere, de la distancia del punto de suspensión al centro de oscilación.

Pero esta invariabilidad supone que la temperatura á la que se ha arreglado el péndulo es constante; pues si aumenta, la materia de que está formada la varilla se dilata, el péndulo se alarga y sus oscilaciones duran más; y si dicha temperatura baja, la materia se contrae, el péndulo se acorta y las oscilaciones son más rápidas, resultando de aquí que un reloj bien arreglado á una temperatura media debe *atrasar* en verano y *adelantar* en invierno.

¿Cómo se remedia este defecto? ¿Cómo se atenúa, á lo menos, á fin de asegurar la invariabilidad de longitud del péndulo y el isocronismo de sus oscilaciones? Se ha conseguido utilizando la desigualdad de dilatación de los varios metales y compensando el crecimiento de longitud del péndulo, que hace bajar el centro de oscilación, con la elevación de este mismo centro. De aquí el nombre de *péndulos compensadores* dado á las varias combinaciones discurridas con este objeto.

Uno de los más usados es el *péndulo de cuadro ó de rejilla*, inventado por Harrison. El vástago está formado de una serie de varillas de latón y de acero alternativamente, reunidas por travesaños, de modo que los alargamientos producidos por la dilatación de todas las varillas de acero tienden á bajar el centro del péndulo, al paso que los que afectan á las varillas de latón propenden por el contrario á levantarlo. La varilla del medio, que aquí es de acero (figs. 700 y 701) es la que sostiene el disco del péndulo: pasa por unas aberturas practicadas en los travesaños con la holgura suficiente para quedar independiente de ellos. La varilla de suspensión está por el contrario fija al travesaño superior del cuadro que rodea á los otros. Las longitudes de estos pares de varillas deben calcularse por los coeficientes de dilatación del acero y del latón, de suerte que la suma de las dilataciones de los pares de acero sea precisamente igual á la suma de las dilataciones de los pares de latón.

Si la longitud total del péndulo está representada por L , la suma de las longitudes de los pares de varillas de acero por F y la de las varillas de latón por C , tendremos

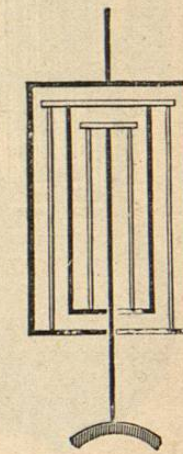


Fig. 700.—Disposición de las varillas en el péndulo compensador de rejilla.

$L = F - C$. Siendo K y K' los coeficientes de dilatación de los dos metales, para que haya compensación se deberá tener la igualdad $KF = K'C$, ó $K(L + C) = K'C$. De donde $\frac{C}{L} = \frac{K}{K' - K}$. Tomemos para K la cantidad 0,00001075 y para K' 0,00001878, resultará $\frac{C}{L} = \frac{1075}{803} = 1,34$ próximamente. Empleando cuatro varillas de latón como en la figura 700, la razón anterior da para cada una 0,67, ó sea los dos tercios de

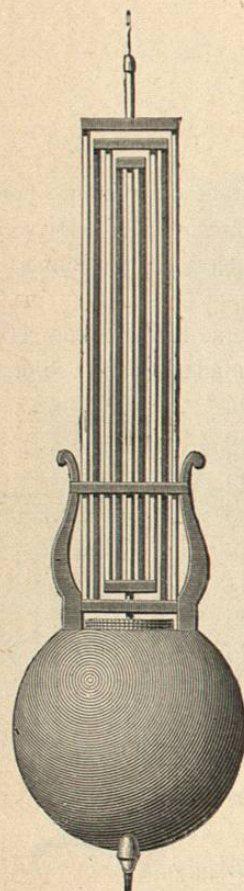


Fig. 701.—Péndulo compensador de rejilla

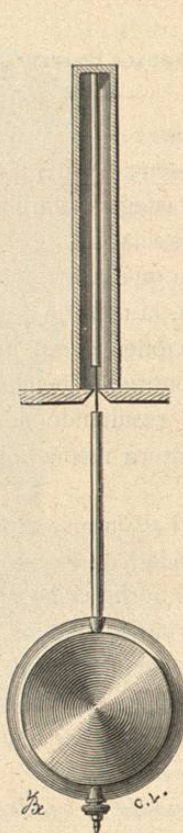


Fig. 702.—Compensador Leroy

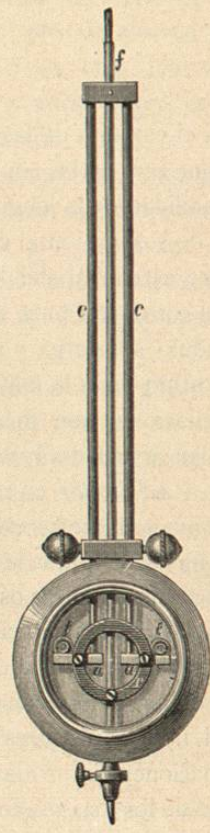


Fig. 703.—Compensador Brocot

la longitud del péndulo. Pero si solamente se emplearan tres varillas de latón ó tres de acero, la longitud de las primeras debería exceder en un tercio de la del péndulo, lo que obligaría á adoptar una disposición, ya que no imposible, por lo menos muy incómoda.

Sin embargo, así se obtiene una compensación aproximada, porque el centro de oscilación de un péndulo compuesto no se confunde ni con el centro de gravedad del disco, ni con el de todo el aparato. Hay, pues, que regular esta compensación, lo que se hace por tanteo mediante un tornillo puesto debajo del disco.

El péndulo compensador de Leroy (fig. 702) consiste en un tubo de latón sostenido por un travesaño fijo sobre una abertura á bisel, que da paso á una varilla de acero suspendida del fondo del tubo, y que se compone de dos partes reunidas por una

lengüeta de acero flexible á la altura de la ranura. La distancia de esta ranura al centro de oscilación da la longitud del péndulo, puesto que allí está el verdadero punto de suspensión.

Al dilatarse, el tubo de latón sube y el centro de oscilación del péndulo sigue este movimiento. La varilla tiende, por el contrario, á bajar, concibiéndose que se hayan calculado las dimensiones respectivas de las partes del aparato de modo que haya compensación. Esta se completa además por el método adoptado para el péndulo de rejilla y para todos los demás sistemas compensadores.

Haremos aún mención de otros tres: el compensador Brocot, representado en la fig. 703; el compensador Graham (fig. 704), que es el primer sistema adoptado para la compensación de los péndulos, y el compensador Martin (fig. 705).

En el primero de ellos, la varilla de hierro f que sostiene el disco está provista en su parte superior de un travesaño al cual van unidas dos varillas de latón cc , que se dilatan libremente por sus extremos inferiores, los cuales á su vez se apoyan en dos palancas aa , fijas al disco. Dichas palancas actúan sobre éste por medio de unos ejes tt , y lo levantan, de suerte que el centro de oscilación propende á subir al propio tiempo que la dilatación de la varilla de suspensión tiende á bajarlo. De este modo queda efectuada en parte la compensación, y sólo resta completarla por tanteo.

El compensador Graham está formado de una varilla de hierro que lleva en su parte inferior una placa en la cual descansan dos cilindros de cristal llenos en parte de mercurio. Mientras la dilatación da lugar á un alargamiento de la varilla de suspensión, y baja por consecuencia el centro de oscilación del péndulo, este resulta levantado por la elevación del nivel del mercurio en los tubos á causa de la misma elevación de temperatura. Usanse uno ó dos tubos; pero en todo caso se calcula del mismo modo la altura que debe darse al mercurio para compensar la dilatación de la varilla de hierro, teniendo en cuenta á la vez la dilatación del mercurio y la del cristal.

Graham suspendía su péndulo de una varilla de cristal en lugar de una de hierro, pero el principio y el cálculo eran los mismos.

Para hacer la compensación más rigurosa, se quita ó se pone, según las indicaciones de la experiencia, cierta cantidad de mercurio, ó bien se levanta ó se baja el péndulo por medio de un tornillo fijo en su parte inferior.

El péndulo Martin está representado en la fig. 705.

Es un péndulo común, cuya varilla lleva dos láminas metálicas fijas en un punto de su longitud, desigualmente dilatables, soldadas una á otra y terminadas en dos bolas pesadas, de oro por ejemplo. Estando debajo el metal

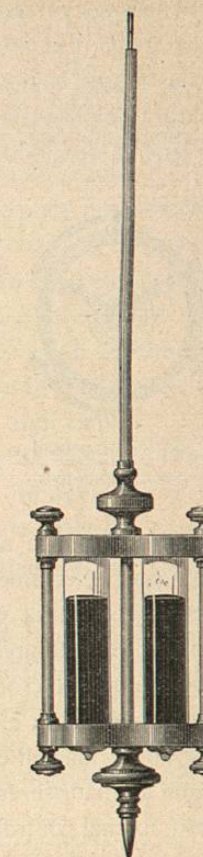


Fig. 704.—Compensador Graham

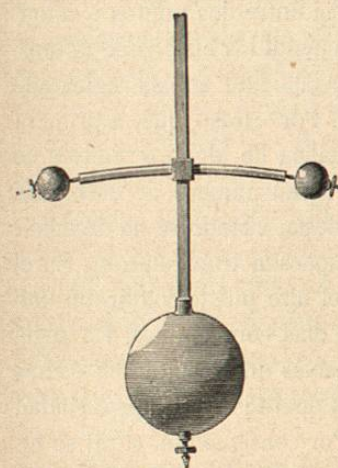


Fig. 705.—Compensador Martin

más dilatable, cuando la temperatura suba más allá del grado en que aún permanecen rectilíneas las varillas, éstas se encorvarán, formando un arco con la concavidad vuelta hacia arriba, y el centro de gravedad y por lo tanto el de oscilación del péndulo subirán con las masas; si la temperatura baja, el arco se formará en sentido contrario y el centro bajará. Compréndese que se hayan calculado las dimensiones y el peso de las piezas del sistema de modo que haya compensación. Aparte de esto, las bolas de oro pueden correr por los tornillos que las sujetan, y llevándolas á un lado ú otro, es fácil acabar la compensación por tanteo.

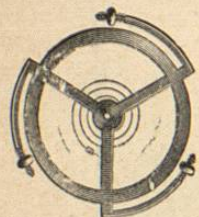


Fig. 706.—Compensador de los cronómetros

Hay además otros sistemas de compensación de los péndulos, pero todos están basados en el mismo principio, esto es, en la desigualdad de dilatación de los sólidos ó líquidos que los componen, y en una disposición que levanta por un lado y baja por otro el centro de oscilación.

El efecto de las variaciones de temperatura en los balancines de los cronómetros es análogo al que producen en los péndulos. Estos reguladores consisten en una rueda (fig. 706) puesta en movimiento por la acción de un muelle llamado *espiral*, resultando oscilaciones que deben ser perfectamente isócronas; pero como su duración depende del radio del balancín, de su masa y de la fuerza del muelle, sucede que la dilatación originada por el aumento de temperatura alarga dicho radio, y por tanto la duración de la oscilación: de suerte que el cronómetro atrasa. En cambio, adelanta cuando la temperatura está bajo el punto para el cual se ha regulado. Puede efectuarse la compensación con unas planchuelas fijas en el contorno de la rueda y que llevan pequeñas masas metálicas, porque al dilatarse estas planchas adquieren mayor curvatura; las masas se acercan al centro, lo cual contrabalancea el efecto de crecimiento del radio.

II

MEDICIÓN DE LAS LONGITUDES: CORRECCIONES EXIGIDAS POR LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA

Cuando se necesita medir con gran precisión la distancia entre dos puntos ó la longitud de la línea que los reune, es indispensable tener en cuenta los efectos de la temperatura en los instrumentos de que se hace uso, y especialmente en las reglas que sirven para este objeto y que por lo común son metálicas. Por escaso que, á primera vista, parezca el efecto de la dilatación en una varilla metálica de algunos metros de longitud, dista mucho de ser despreciable cuando se repite gran número de veces. En este caso se hallan las delicadísimas operaciones de la geodesia, cuando se ha de medir una base que debe servir de punto de partida en una complicada triangulación. En el curso de una operación de este género, la temperatura del aire puede variar un número notable de grados en un mismo día ó en muchos días consecutivos. La regla empleada sufre, pues, las dilataciones ó contracciones sucesivas que resultan de dichas variaciones; aparte de que el contacto de las manos de los operadores ó la proximidad de sus cuerpos puede también modificar su temperatura. Por consiguiente, si no se hiciese caso de las temperaturas, se anotarían longitudes, ó mayores ó menores que la de la regla tomada como unidad, y la incertidumbre que resultara de estas desigualdades quitaría todo su valor al número definitivo, obtenido como medida de la base requerida.

Esto es lo que han comprendido perfectamente los sabios que, en varios países y en diferentes épocas, han acometido la medición de arcos de meridiano ó de paralelo que debían servir para determinar la figura y dimensiones del globo terráqueo. Borda, Delambre y Mechain, Biot y Arago en Francia, Roy en Inglaterra, Plana y Carlini en Italia, y otros muchos geodestas han tomado todas las precauciones exigidas por semejantes determinaciones, introduciendo en sus resultados las correcciones formuladas primeramente por Borda en lo que á la influencia de la temperatura se refiere.

El metal escogido para las reglas era el platino á causa de su poca dilatabilidad. Cada regla de platino, de dos ó tres toesas de longitud, estaba cubierta de otra regla de cobre, algo más corta que la primera y fija sobre ella por uno de sus extremos solamente. El otro extremo podía correr libremente sobre la doble toesa de platino, por efecto de un aumento de temperatura que dilataba el cobre en proporción mucho mayor que el otro metal. Esta disposición tenía por objeto formar con la doble regla un aparato termométrico capaz de marcar su propia temperatura. He aquí cómo:

Para graduar este termómetro, ó este *pirómetro*, como se le ha llamado, Borda introdujo sucesivamente la regla en hielo fundente y en un baño de agua hirviendo. Marcó con dos trazos los puntos á que el extremo libre de la regla de cobre llegó sobre el platino, y dividió en 100 partes iguales el intervalo que los separaba, correspondiendo cada una de las divisiones á un grado centígrado.

Suponiendo realmente efectuada esta división, bastaba sin duda, en la serie de las operaciones, leer con el anteojo la división en que se encontraba el índice así formado para tener en grados centígrados la temperatura de las dos reglas en el momento de la lectura. Conociendo el coeficiente de la dilatación lineal del platino, era fácil entonces calcular la corrección que se debía hacer en la longitud de la regla, ó si se quiere, referir siempre esta longitud á una temperatura constante.

Partiendo de los números que expresan las dilataciones absolutas del cobre y del platino, entre 0° y 100°, vese que la dilatación aparente del primer metal con relación á la del segundo es próximamente la 1200.^a parte de su longitud. Suponiendo que la total de la regla de cobre á 0° es de 10 pies ó 1,440 líneas, el intervalo de los dos puntos fijos debía ser sensiblemente igual á 1 línea y 2 décimas, ó sea algo más de 2^{mm},7. Este pequeñísimo intervalo es el que hubiera habido que dividir en 100 partes iguales para poder apreciar, como hemos dicho antes, una variación de un grado centígrado en la temperatura. Limitábase á efectuar una división real, ya sea en 5 ó bien en 10 partes, y luego á adaptar al extremo de la regla de cobre un nonio, merced al cual se podía leer con el microscopio las vigésimas ó las décimas de las divisiones trazadas (1).

Creemos que bastará lo que precede para dar una idea del ingenioso método merced al cual se ha podido tener en cuenta la influencia de la temperatura sobre la longitud, durante el curso de las operaciones necesarias para medir bases geodésicas. Añadiremos á esto el párrafo siguiente, tomado de Delambre, y que demuestra las minuciosas precauciones que han de adoptar los operadores cuando quieren evitar las causas de error y cerciorarse de la precisión de sus medidas. Las reglas de que se

(1) En muchas ocasiones hemos tenido que hablar del uso del nonio para medir pequeñas partes de una línea recta ó curva, cuando la longitud de estas partes es menor que la de una de las divisiones de la regla empleada. Para conocimiento de aquellos de nuestros lectores que ignoren el uso de este medio de valuación y aproximación, diremos en qué consiste.

Pengamos por ejemplo el caso en que se quiera medir la longitud buscada con un *décimo de diferencia* de

valía aquel célebre geómetra eran como las que acabamos de describir: pero como su espesor (casi una línea) era demasiado reducido para que se las pudiera emplear solas y sin guarnición, estaban puestas cada una sobre una pieza de madera perfectamente acoplada, en la cual estaba contenida entre pequeñas monturas que las mantenían sin

la división menor de la regla. Sea LL' (fig. 707) esta regla, y 0, 1, 2, ..., las divisiones trazadas en su arista. El nonio VV' es una regla más pequeña cuya longitud total abarca nueve divisiones de la primera, y que está dividida exactamente en diez partes iguales, de suerte que una de sus divisiones equivale á los $\frac{9}{10}$ de una división de la otra.

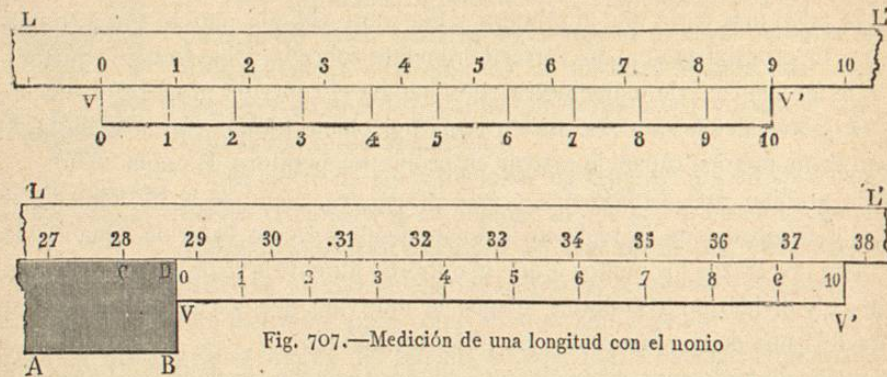


Fig. 707.—Medición de una longitud con el nonio

Sea AB el extremo de la línea que se trata de medir, y sobre la cual se ha puesto la regla grande LL' ; por hipótesis, la división 28 no llega más que hasta C , quedando aún por medir la porción CD , menor que una de las divisiones. Para valuarla, se llevará el nonio VV' más allá de los puntos B ó D y se examinará (con la lente si es necesario, porque aquí se han agrandado adrede las dimensiones de las divisiones de las dos reglas) qué trazo del nonio coincide con uno de la regla grande. En el grabado es el 7.º. De aquí se de-

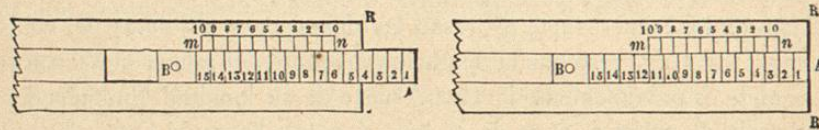


Fig. 708.—Medición de una longitud con el nonio

ducirá que la parte no medida CD vale 0,7, y por consiguiente, que la línea total que se trataba de medir tiene por longitud 28,7. Fácil es comprenderlo así, por cuanto el trazo 6 del nonio está 0,1 á la derecha del trazo 34, 0,2 á la del trazo 33, y así sucesivamente. El trazo 0 del nonio está, pues, 0,7 á la derecha de la división 28.

En la medición de las bases geodésicas se medían los intervalos de dos reglas sucesivas con el nonio mn (fig. 708), cuyas divisiones, trazadas en uno de los extremos, eran fijas. Una reglilla móvil de corredera llevaba las divisiones de la regla grande. Se corría esta reglilla hasta el punto requerido, y se leía fácilmente el número entero de estas divisiones en la parte situada más allá de RR ; aquí es el 3. Buscando entonces el trazo del nonio que coincide con otro de la reglilla, se encuentra el n.º 7, y por consiguiente la porción de intervalo medida era 3,7 con 0,1 de diferencia. En el grabado, es el trazo 2 de la reglilla el que coincidía primero con el cero del nonio y que ha avanzado á la derecha 3,7 divisiones. Lo propio sucede, pues, con el punto A .

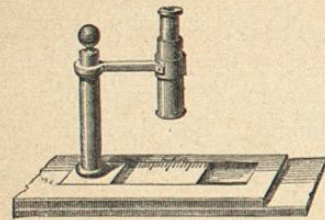


Fig. 709.—Uso del nonio en el aparato de Borda

La figura 709 presenta la colocación de las dos reglas de cobre y de platino en el aparato de Borda para valuar la dilatación aparente del cobre y de la temperatura correspondiente. Las divisiones estaban trazadas en una espiga fija en la regla de platino y móvil en una ranura practicada á lo largo de la regla de cobre. En el borde interior de la misma regla estaban trazadas las del nonio, cuyas indicaciones se leían con el microscopio fijo en la regla de cobre.

estorbar su dilatación. "Un techo cubría las piezas de madera, dice Delambre, con objeto de preservar las reglas de los rayos del sol, que hubieran producido en el cobre una dilatación rápida, al paso que el platino, guarecido por el cobre, se hubiera caldeado mucho más despacio; de suerte que la marcha del nonio habría indicado algunos instantes una dilatación absoluta y no una alongación relativa. Pero en aquel techo se habían practicado unos orificios para que el observador pudiera ver continuamente las reglas y advertir cualquier desarreglo que ocurriera en ellas. De esto resultaba un inconveniente, y era que, por mañana y tarde, cuando el Sol tenía poca altura, el techo no interceptaba los rayos demasiado oblicuos, y para impedir que dieran en las reglas, hacía extender, pero sólo á la parte del Sol, una tira de lienzo sujeta al tejadillo y que reflejaba ó detenía los rayos."

CAPÍTULO V

DESTILACIÓN.—EVAPORACIÓN

I

LA DESTILACIÓN

Hay dos fases en la operación á que se da el nombre de *destilación*, la cual tiene por objeto separar un líquido de las materias extrañas que contiene en disolución, ó de otro líquido con el cual se halla mezclado.

La primera fase consiste en reducir el líquido al estado de vapor por ebullición. Si contiene substancias extrañas en disolución, sales por ejemplo, como las hay en la mayoría de las aguas naturales, de fuente, de río ó de mar, la parte acuosa es la única que se vaporiza; las substancias extrañas quedan en el fondo de la vasija, y la separación efectuada. Si está mezclado con otro líquido de diferente naturaleza, la ebullición los separa también, en parte al menos, puesto que la temperatura de ebullición de líquidos diferentes no es la misma, y entonces uno de ellos se reduce á vapor antes que el otro.

Como el objeto que se persigue en ambos casos es obtener con mayor ó menor pureza el líquido en cuestión, es preciso, después de reducirlo á vapor, hacerle cambiar de estado ó volverlo á su estado primitivo. Este es el objeto de la segunda fase de la destilación, el cual se consigue fácilmente condensando por enfriamiento el vapor producido. La destilación es una operación industrial de muy antiguo conocida, que se lleva á cabo con un aparato llamado *alambique*.

Consiste en una caldera a llamada *cucúrbita*, sobre la cual hay una retorta bc á la que se da el nombre de *capitel* ó *montera*. Puesta sobre un hornillo y llena del agua que se ha de destilar, comunica por d con la parte del aparato llamada *serpentin* á causa de su forma espiral. El vapor que se forma por ebullición sobre el agua de la cucúrbita pasa al serpentin y se condensa en él por efecto de su contacto con las paredes, continuamente enfriadas, de una tina en la que está metido el serpentin. El *agua destilada* sale de la tina cayendo en una vasija g . La condensación incesante del vapor no puede efectuarse sino por el cambio del calor de vaporización y la elevación de