

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

## CONSIDERACIONES GENERALES

El carácter ideal y divino atribuídos en la antigüedad al aire, envoltura gaseosa de la Tierra, se fué perdiendo paulatinamente en el transcurso del tiempo; se abandona poco a poco esta tendencia desde la época de Pitágoras y sus discípulos, preparando el terreno a las ideas de Platón, y ya Aristóteles únicamente se ocupa de las propiedades físicas del aire, considerándolo como elemento natural.

El aire es una mezcla de elementos gaseosos, de los cuales los más abundantes son el oxígeno y el nitrógeno que ocupan el 21 por 100 y el 78,06 por 100 de su volumen en las capas inferiores de la atmósfera. El 0,94 por 100 restante lo conservan los demás cuerpos, entre los que figuran el gas carbónico, vapor de agua, ozono, amoníaco, gas sulfídrico, yodo, hidrocarburos,

etcétera, los que, en su mayor parte, provienen de las descomposiciones orgánicas, de la vida misma de los seres, de las combustiones, etc.

Además de estos elementos citados se halla comprendido en ese tanto por ciento las cantidades correspondientes a los gases raros: argón, helio, neón, criptón y xenón.

Por consideraciones teóricas, y en la hipótesis de que el aire esté en equilibrio, varios eminentes Meteorólogos han determinado la composición que debe tener la atmósfera a distintas altitudes, y el que fué Director del Bureau Central de Meteorologie de Francia, Mr. Alfredo Angot, calculó la composición de la atmósfera partiendo de la ley de Dalton y valiéndose de la fórmula barométrica de Laplace.

Por otra parte, Wegener halla para los 100 kilómetros primeros la composición atmosférica siguiente:

ALTITUD — Kilómetros.	Nitrógeno.	Oxígeno.	Argón.	Helio.	Hidrógeno.	Geocoronio.
0.....	0,781	0,209	0,00937	0,000005	0,000033	0,000058
20.....	0,85	0,15	»	0,00	0,00	0,00
40.....	0,88	0,10	»	0,00	0,01	0,00
60.....	0,77	0,06	»	0,01	0,12	0,04
80.....	0,21	0,01	»	0,04	0,55	0,19
100.....	0,01	0,00	»	0,04	0,67	0,29

Y tanto en las hipótesis de Wegener como en las de Angot, Hann e Hinrichs, se ve que a partir de unos 80 kilómetros predominan de modo extraordinario los gases ligeros y, en particular, el hidrógeno; así como, hasta llegar a ese altura, el nitrógeno es el gas preponderante.

A pesar de que la teoría suministra estos elementos de juicio en cuanto a la composición de la atmósfera se refiere, para sentarlos como verdaderos se han hecho lanzamientos de globos y

recogido aire de alturas hasta de 15.000 metros; de los análisis correspondientes no se deduce hasta ahora la veracidad concluyente de los datos teóricos, lo cual no es de extrañar si se tiene en cuenta que el aire no está en reposo y, por lo tanto, se verifica una constante mezcla de sus capas, que da lugar a la constancia de la composición atmosférica, al menos en las capas estudiadas.

La composición de la atmósfera a raíz del

suelo varía poco de unos puntos a otros, pero se aprecia bien la irregularidad en la cantidad de gas carbónico, amoníaco, hidrocarburos, etcétera, así se observa en las regiones antárticas que el primero de estos gases es menos abundante, tal vez debido, como supone Schloëimg, a que las descomposiciones de los carbonatos disueltos en las aguas del mar son menos activas donde la temperatura es menor.

El aire atmosférico, como elemento gaseoso, está sujeto a las leyes físicas de los gases y le son aplicables, por lo tanto, las teorías fundamentales de su constitución. Así, pues, conviene recordar que, si en un gas se prescinde de las fuerzas exteriores, sus moléculas están animadas de velocidad constante, y la trayectoria elemental que siguen en su movimiento se considera rectilínea. Cuando en el camino de cada molécula se interpone otra, ocurre un choque que varía generalmente la dirección de la trayectoria de ambas. Estos choques entre sí producen la temperatura del gas, y los que naturalmente se producen sobre las paredes de la vasija que los contiene dan origen a la tensión gaseosa.

Conocemos que el calor exterior aviva el movimiento molecular, y como la experiencia nos enseña que, a volumen constante, las presiones de un gas sobre las paredes de la vasija que lo contiene son prácticamente en el aire proporcionales a la temperatura, se comprende que el número de choques de las moléculas contra las paredes debe aumentar con el calor, y que su medida será la suma de los choques en la unidad de superficie y tiempo. Esto supone además que la velocidad media en las moléculas aumentó, y si ésta fuera doble, la tensión aumentaría según el cuadrado, pues la molécula llegaría en la mitad del tiempo al mismo lugar. Si partimos de 0° C. y aumentamos la temperatura, se observa que a los 273° la presión se duplica y, por lo tanto, el aumento de la presión que tenía ha sido, por cada grado, de  $\frac{1}{273}$ , lo que nos dice también que a 273° bajo cero se anula por completo dicha tensión del gas, y esto supone al mismo tiempo anulación de calor. Así queda explicado por la teoría cinética la ley de Gay-Lussac.

Permaneciendo constante la velocidad media de las moléculas en el seno del gas (temperatura constante), es claro que si se duplica, triplica, etc., su volumen, disminuirán proporcionalmente los choques en sus paredes y, por lo tanto, en igual proporción quedará reducida la tensión gaseosa (ley de Mariotte).

Por último, se explica de modo sencillo la propiedad de la difusión de los gases en todo el espacio disponible, por la de sus movimientos intermoleculares y, del mismo modo, el reparto uniforme de las moléculas en el volumen que ocupan.

Por medios de experimentos sencillísimos se prueba prácticamente, como puede verse en cualquier tratado de Física, que el peso del aire no es cantidad despreciable y que son aplicables a los flúidos gaseosos los principios de Arquímedes y Pascal, los cuales, por otra parte, tienen perfecta explicación por medio de la teoría cinética de los gases. Esto nos demuestra, además, que las moléculas aéreas, en sus múltiples movimientos, estando sometidas a las leyes de los gases, no dejan de obedecer a la de la gravedad, la cual impide que se alejen indefinidamente de la Tierra, pues suponiendo que alguna de ellas tuviese la trayectoria vertical, la velocidad iría disminuyendo hasta anularse, volviendo después a caer. Considerando de modo tan sencillo el problema se podría saber la altura de atmósfera (1)

Pero como la composición del aire no es igual en toda su altitud, sino que se va desdoblando en sus elementos, no es fácil determinar el límite, ni aun considerar éste, pues nada impide que una molécula tenga velocidad superior a la que es preciso para anularse por efecto de la gravedad y que, por lo tanto, continúe su trayectoria sin límite determinado, habiendo una pérdida constante de materia gaseosa, del mismo modo que hay absorción de ésta procedente del espacio (2).

Es evidente que estando el aire sometido al efecto de la gravedad en iguales términos que cualquier otro cuerpo de la Tierra, este efecto no ha de ser constante, sino que estará sometido a las leyes generales que lo regulan en nuestro planeta, y puesto que aumenta del ecuador a los polos, una misma presión atmosférica está equilibrada por columnas de mercurio de diferente

(1) Eliminando  $t$ , entre las conocidas fórmulas de la caída de los cuerpos

$$\left. \begin{aligned} V &= g t \\ a &= \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \right\} a = \frac{v^2}{2g}; \quad v^2 = 2ga,$$

y como  $v$  está determinada y equivale a unos 485 metros por segundo no habrá más que sustituir los valores para determinar  $a$  = altura.

(2) La altura de la atmósfera es, según los siguientes autores: Biot, 60 kilómetros; Bravais, 115; R. J. Maun, 130; Callandreaux, 160; Kerber, 189; Schiaparelli, 200; Marié-Davy, de 280 a 320; Liais, de 300 a 350, y Ritter, 350.

altura, según se considere el lugar de la observación. Es, pues, necesario al querer que sean comparados unos datos barométricos con otros de la misma índole hallados en lugares diferentes, el tomar una posición geográfica como punto de reducción, a cuyo efecto desde el año 1885 se estableció la latitud geográfica de 45° como latitud normal por Norte América y en la Conferencia meteorológica de Munich en 1891, se tomó el acuerdo de recomendar que se diesen las lecturas barométricas reducidas a la latitud normal, lo más tarde en 1.º de Enero de 1901.

## I

### RESEÑA HISTÓRICA

A los sabios florentinos del siglo XVII, instigados por la curiosidad del Gran Duque de Toscana, Cosme II, se debe el descubrimiento del aparato más útil de la Meteorología.

Se usaban en aquella época las bombas aspirantes para elevar agua, y con objeto de aumentar el riego de sus jardines, ordenó el Gran Duque la instalación de poderosas máquinas de esta índole; así se hizo, pero al hacerlas funcionar, el agua no llegó a mayor altura que la de 32 pies.

No pudiendo explicar este fenómeno, recurrió a Galileo (1), y este eminente sabio dió como causa de ello el horror de la Naturaleza al vacío; por la *fuga vacui* y el *non datur vacuum in rerum natura*, razón suprema que entonces se

(1) Galileo nació en Pisa el 15 de Febrero del año 1564; desde niño demostró su portentoso talento y sus aptitudes para el estudio de las matemáticas y de las ciencias físicas. Como los grandes genios, estaba al tanto de toda la cultura de su tiempo. Inventor del anteojo y telescopio que llevan su nombre, de la balanza hidrostática, del termómetro, del compás de proporción; descubridor de las leyes del movimiento de la caída de los cuerpos, de la teoría de la aceleración, del movimiento de algunos planetas, de las fases de Venus, del anillo de Saturno, de las manchas del Sol, de los cuatro satélites más brillantes de Júpiter, llamados los Astros de Médicis, etc., etc. Siguió las teorías de Copérnico, pero no sólo no pudo conseguir que fuesen reconocidas como fundadas en las Sagradas Escrituras, sino que por este intento fué primero obligado a no divulgar sus teorías, y más tarde, en 1632, cuando publicó en sus diálogos la afirmación de que el Sol permanece quieto mientras que la Tierra gira alrededor de él, fué condenado y sus ideas declaradas absurdas, contrarias a la Fe y a las Sagradas Escrituras.

Ya a muy avanzada edad pidió perdón de rodillas y ante los Evangelios, declarando su error, pero al levantarse pudo más su convicción, y golpeando la tierra con el pie pronunció (según se cuenta) la conocida frase «*E pur si movet!*»

Murió Galileo en Arcetri, cerca de Florencia, en el año 1641.

alegaba al estudiar los fenómenos semejantes al de las bombas, y en cuanto a que el agua no pasaba de los 32 pies, era debido a que dicho horror al vacío cesaba a la precitada altura.

No es verosímil que hombre de talento tan extraordinario creyese lo afirmado por él, máxime cuando por sus escritos se viene en conocimiento de que estaba estudiando ya el problema por aquel entonces.

Toricelli (1), discípulo suyo y conocedor de todos los trabajos del maestro, tuvo la suerte de dar la verdadera explicación al fenómeno de las bombas en el año 1643, poco tiempo después de la muerte de Galileo.

La materialidad del experimento que ha inmortalizado el nombre de Torricelli, correspondió realmente a Viviani (2), discípulo también de Galileo, realizado del siguiente modo: En el extremo de un tubo de vidrio de unas dos varas de largo hizo soplar una esfera y después de llenar de mercurio todo ello, lo invirtió, tapando con el dedo la parte abierta e introdujo en una vasija, que también contenía el mismo metal, la mano que tapaba al tubo; al retirar el dedo observó el fenómeno del descenso de la columna mercurial, que deja libre el espacio de la parte superior.

Inmediatamente fué consultado Torricelli, y éste, si dudar, afirmó que era el peso del aire quien sostenía al mercurio, quedando así inventado el barómetro y dada la explicación a tantos fenómenos hasta entonces sin causa conocida.

Descartes (3) ya presumía en el año 1638 cuál era la fuerza que obligaba a subir al agua en las

(1) Evangelista Torricelli nació el 15 de Octubre de 1608, en Romigliana. Discípulo en Roma del P. Benito Castelli, quien hizo que conociese a Galileo, el cual, al tener noticias del libro del joven Torricelli, *Tratado del movimiento*, lo llamó a Florencia para que le ayudase en sus trabajos y le sucediese en la cátedra, lo que tuvo lugar a la muerte del ilustre sabio, quedando como matemático del Gran Duque de Toscana, Fernando II. Murió en el año 1647 y le sucedió Viviani.

(2) Vicente Viviani nació en Florencia el 5 de Abril de 1622 y murió en 1703. Fué discípulo predilecto de Galileo, con quien vivió y al que profesaba entrañable cariño; después de la muerte del maestro dedicó su ingenio preferentemente a los estudios geométricos, con los cuales alcanzó gran fama por toda Europa.

(3) Renato Descartes, físico, filósofo y matemático, nació en Turenna en 1596 y murió en Estocolmo en 1650; más conocido por su sistema filosófico llamado *cartesianismo* que por sus trabajos científicos, no dejó, sin embargo, de contribuir poderosamente al progreso de las ciencias con la publicación de varias obras importantes de dióptrica, geometría y biología. Su principal fama estriba en haber aplicado el Algebra a la Geometría.

bombas, pues afirmaba que si en vez de agua se utilizase mercurio había de elevarse unas catorce veces menos.

En una carta escrita por Torricelli el 11 de Junio de 1644, poco tiempo después de haber efectuado Viviani su famoso experimento, dirigida al padre Ricci, de Roma, dice que el aire en la superficie de la tierra es más pesado y se hace más ligero cuanto más se eleve uno sobre las montañas:

«Gli Autori poi de' Crepuscoli anno osseruato che l'aria vaporosa, e visibile si alza sopra di noi intorno a 50 ouero 54 miglia; ma io non credo tanto, perche mostrerei, che il Vacuo douerebbe far molto maggior resistenza, che non fà, se bene vi è per loro il ripiego, che quel peso scritto dal Galileo, s'intenda dell' aria bassissima doue praticano gli uomini, e gli animali, ma che sopra le cime delgli alti monti l'aria cominci ad esser purissima, e di molto minor peso che la quattrocètesima parte del peso dell' acqua (1).»

Sin tener Pascal (2) noticias de estas ideas de Torricelli y sí sólo de sus experimentos, trató de repetirlos y ampliarlos, lo que no pudo hacer hasta más tarde por carecer de tubos de vidrio de suficiente longitud, pues por aquella época sólo los artistas venecianos y florentinos trabajaban el vidrio con la necesaria perfección. Los tubos de Pascal tenían 46 pies de largo y estaban cerrados a la lámpara por un extremo; los llenó de vino, agua, aceite y algún otro líquido, colocando luego un tapón en el otro extremo; los elevó por medio de cuerdas y poleas hasta dejarlos en posición vertical, sumergiendo los extremos tapados en cubas apropiadas llenas de los líquidos correspondientes a los contenidos en los tubos; quitó después los tapones y verificó la desigualdad de altura alcanzada por los líquidos y la relación de estas alturas con las densidades de los cuerpos empleados en el experimento. Este trabajo lo llevó a efecto en Rouen.

(1) Por la importancia del documento hemos conservado la ortografía antigua.

(2) Blas Pascal nació en Clermont el 19 de Junio de 1623. Genio matemático de primer orden, sin maestros ni libros, sólo por su propio esfuerzo llegó a descubrir hasta la 32ª proposición de Euclides y a los dieciséis años publicó su *Tratado de las secciones cónicas*. Dió solución a gran número de problemas matemáticos hasta entonces desconocidos, e inventó varias máquinas para calcular. Descubridor de principios fundamentales de Física, fué también— como dice el abate Bossut— un escritor elocuente y profundo. Pascal murió en París el 19 de Agosto de 1662.

No contento con esta prueba, que demostraba una vez más cuál era la causa de sostenerse el líquido dentro de los tubos, ya fuera de vino, agua, aceite o mercurio, quiso Pascal determinar el influjo de una capa grande de aire sobre la altura de la columna de mercurio, haciendo el experimento al pie de una montaña y en su cima. Con este fin escribió a su cuñado Perrier (1), funcionario de Hacienda, muy instruido en los estudios físicos, que residía accidentalmente cerca del monte Puy de Domme, cuya altura es de 1.467 metros. Del célebre experimento narrado por Perrier, así como de la carta de Pascal a su cuñado puede juzgar el lector por las traducciones que siguen:

*Carta de M. Pascal, el Joven, a M. Perrier (15 de Noviembre de 1647) (2).*

«Señor: No interrumpiría el trabajo continuo en que ocupáis vuestras energías, para distraeros con mediciones físicas, si no supiera que os proporcionan un entretenimiento en vuestras horas de descanso, y que así como otras os producirían fastidio, con éstas tendréis agrado: hallo en esto tanta menos dificultad, cuanto que sé el placer que recibe usted en esta clase de ocupaciones; esta no será más que una continuación de las que hemos tenido los dos en lo referente al vacío. Usted conoce cuáles son las opiniones que los filósofos han sostenido con respecto á esta materia. Todos han tenido como máxima que la Naturaleza aborrece el vacío, y casi todos, llegando más allá, han sostenido que no lo puede admitir y que se destruiría antes que sufrirlo. Las opiniones han estado divididas. Unos se han contentado con decir que lo aborrece solamente; otros han mantenido que no lo podría sufrir. He trabajado en mi Manual, que trata sobre el vacío, por destruir esta última opinión, y creo que los experimentos que refiero son suficientes para hacer ver manifiestamente que la Naturaleza puede sufrir, y sufre en efecto, un espacio tan grande como se quiera, vacío de todas las materias que nosotros conocemos y que caen bajo nuestros sentidos. Trabajo ahora para examinar la verdad de la primera, y por buscar experimentos que hagan ver si los efectos que se atribuyen al horror del vacío deben ser verdaderamente atribuídos á este horror del vacío, ó si

(1) Floriano Perrier estaba casado con la hermana mayor de Pascal y había presenciado los experimentos de Rouen, estando al tanto de las cuestiones físicas que se debatían y trataban de esclarecer.

(2) Se ha conservado la mayor fidelidad en la traducción.

lo deben ser á la gravedad y presión del aire. Porque para mostrarle francamente mi pensamiento me cuesta trabajo creer que la Naturaleza, que no es animada ni sensible, sea susceptible de horror, puesto que las pasiones presuponen un alma capaz de sentirlas, y me inclino más bien á imputar todos estos efectos a la gravedad y presión del aire, porque no los considero más que como casos particulares de una proposición universal del equilibrio de los líquidos, que formará la mayor parte del Tratado que he prometido. Esto no quiere decir que no tuviese esos mismos pensamientos, antes de la producción de mi Compendio, pero siempre, falto de experimentos convincentes, no osaba entonces (y no intento todavía) separarme de la máxima del horror del vacío, y lo he empleado aún como máxima en mi Compendio, á pesar de no tener otro deseo que el de combatir la opinión de aquellos que sostienen que el vacío es absolutamente imposible y que la Naturaleza sufriría mejor su destrucción que el menor espacio vacío; en efecto, no estimo que nos sea permitido separarnos con ligereza de las máximas que tenemos desde antiguo, si no estamos obligados á ello por pruebas indudables e invencibles; pero en estos casos creo que sería de extrema debilidad poner el menor escrúpulo, y que en fin, debemos tener más veneración por las verdades evidentes que obstinación por las opiniones recibidas. No sabría testimoniar á usted mejor la circunspección que pongo, antes de alejarme de las antiguas máximas, que recordarle el experimento que hice estos días pasados en su presencia con dos tubos, uno en el otro, que enseña aparentemente el vacío en el vacío. Usted vió que el mercurio del tubo interior permaneció á la altura en que se sostiene por el experimento ordinario cuando está contrarrestado y comprimido por el peso de la masa entera del aire, y que por el contrario, cayó enteramente, sin que le quedase ninguna altura ni suspensión, desde el momento en que por medio del vacío de que estuvo rodeado no era comprimido del todo ni contrarrestado con aire alguno, habiéndolo quitado por todos lados. Usted vió á continuación que esta altura ó suspensión de mercurio aumentaba ó disminuía á medida que la presión del aire aumentaba o disminuía, y que, por último, todas estas alturas ó suspensiones del mercurio se encontraban siempre proporcionadas á la presión del aire.

»Realmente, después de este experimento, había motivo para persuadirse de que no es el

horror al vacío, como creemos, el que causa la suspensión del mercurio en el experimento ordinario, sino el peso y presión del aire, el cual contrarresta el peso del mercurio. Pero puesto que todos los efectos de este último experimento de los dos tubos que se explican tan naturalmente por la sola presión y peso del aire, pueden aún ser explicados bastante bien por el horror al vacío, yo me atengo a la antigua máxima, resuelto, sin embargo, á buscar el esclarecimiento completo de esta dificultad por un experimento decisivo. He imaginado, para esto, uno que podrá él solo bastar para darnos la luz que buscamos, si puede ejecutarse con exactitud: consiste en hacer el experimento ordinario del vacío, varias veces en el mismo día, con el mismo tubo, el mismo mercurio, tanto abajo como en la cumbre de una montaña elevada cuando menos quinientas o seiscientas toesas, para probar si la altura del mercurio suspendido en el tubo es semejante ó diferente en estos dos lugares. Veis ya, sin duda, que este experimento es decisivo en la cuestión y que si sucede que la altura del mercurio es menor arriba que abajo de la montaña (como tengo muchas razones para creerlo, aunque todos los que han meditado sobre esta materia sean contrarios a este sentimiento), se deducirá necesariamente que el peso y presión del aire es la única causa de esta suspensión del mercurio y no el horror del vacío, puesto que es muy cierto que hay mucho más aire que gravita sobre el pie de la montaña que no sobre su cumbre, ya que no se podría decir que la Naturaleza aborrece al vacío del pie de la montaña más que sobre su cumbre.

»Pero como la dificultad se halla de ordinario unida á las grandes cosas, veo muchas en la ejecución de este deseo, puesto que es necesario para esto escoger una montaña excesivamente alta, cercana de una ciudad, en la cual se encuentre persona capaz de aportar á esta prueba toda la exactitud necesaria, porque si la montaña estuviese lejos, sería difícil llevar á ésta las vasijas, el mercurio, los tubos y otras muchas cosas necesarias y emprender estos viajes penosos, tantas veces como fuesen necesarios, para encontrar arriba de estas montañas el tiempo sereno y cómodo, lo que allí no ocurre frecuentemente; y como es tan raro encontrar personas fuera de París que reúnan aquellas cualidades, como lugares que tengan estas condiciones, he estimado mucho la suerte de haber encontrado en esta ocasión lo uno y lo otro, puesto que nuestra  
(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación).

ciudad de Clermont está al pie de la alta montaña del Puy de Domme, y espero de vuestra bondad que me concederéis la gracia de querer hacer en ella vos mismo el experimento; con esta certeza lo esperan todos nuestros aficionados de París, y entre otros el R. P. Mercenne, que ya por cartas está interesado y que ha escrito á Italia, Polonia, Suecia, Holanda, etc., dando cuenta á los amigos que tiene allí adquiridos por su mérito. No trato de los medios de ejecutarlo porque sé bien que vos no omitiréis ninguna de las circunstancias necesarias para hacerlo con precisión.

»Os ruego únicamente que ello sea lo más pronto posible, y que excuséis esta libertad á que me obliga la impaciencia que tengo por saber el resultado sin el cual no puedo dar la última mano al Tratado que tengo prometido al público, ni satisfacer con ello el deseo de tantas personas que lo esperan y que os quedarán por lo mismo infinitamente agradecidos; esto no es que yo quiera disminuir mi reconocimiento por el número de los que lo compartirán conmigo, puesto que deseo por el contrario, tomar parte en el que os tendrán, permaneciendo en él mucho más.

»De París, 15 de Noviembre de 1647.

»Señor: Vuestro muy humilde y muy obediente servidor.—*Pascal*.»

Esta carta la recibió M. Perrier en Moulins, donde estaba con un cargo que le privaba de la libertad para disponer de sí mismo; de suerte que por mucho deseo que tuviese de hacer prontamente el experimento, no lo pudo efectuar antes del mes de Septiembre del año 1648.

*Carta de Perrier a Pascal (22 de Septiembre de 1648).*

«Señor: Por fin hice el experimento que desde hace tanto tiempo usted deseaba. Hubiera dado a usted esta satisfacción antes, pero me lo impidió no tanto el trabajo que he tenido en Bourbonnois, como que desde mi llegada, las

nieves y nieblas han cubierto de tal modo la montaña de Puy de Domme donde debía hacerlo que, aun en esta época que es aquí la más hermosa del año, he tenido dificultad para encontrar un día en que se pudiera ver la cumbre de la montaña, la cual se encuentra ordinariamente dentro de las nubes y algunas veces por encima, aunque á la vez haga buen tiempo en la campiña; de suerte, que no he podido unir mis facilidades con las de la estación hasta el 19 de este mes. Pero la suerte con que lo hice este día me ha compensado plenamente del pequeño disgusto proporcionado por tanto retraso que no pude evitar.

»Doy á usted aquí amplia y fiel relación, donde verá la exactitud y cuidados que pude aportar, á los cuales estimé unir la presencia de personas tan ilustradas como irreprochables, con el fin de que la sinceridad de su testimonio no dejase duda alguna de la certeza del experimento.»

*Relación hecha por Perrier a Pascal del experimento en Puy de Domme.*

«El sábado último, 19 de este mes, fué muy inconstante, á pesar de que el cielo parecía bastante claro á las cinco de la mañana, y mostrándose al descubierto la cumbre del Puy de Domme, resolví marchar allá para efectuar el experimento. A este efecto avisé á varias personas notables de esta ciudad de Clermont, las que me habían rogado les advirtiera el día en que iría; entre ellas figuraban eclesiásticos y seglares; entre los eclesiásticos se hallaba el T. R. P. Bannier, uno de los Padres Mínimos de esta ciudad, que ha sido varias veces Corrector (es decir, Superior) y M. Mosnier, canónigo de la Iglesia Catedral de esta ciudad y entre los seglares los Sres. La Ville y Begon, consejeros de *La Cour des Aides* (1) y el Sr. La Porte, doctor en medici-

(1) *La Cour des Aides*.—Tribunal soberano que juzgaba en última instancia los asuntos contenciosos relativos a los impuestos.

na, con ejercicio aquí, todas personas muy capaces, no sólo en sus cargos, sino aun en toda clase de conocimientos, con cuyas personas hice entusiasmado esta hermosa expedición; fuimos, pues, todos juntos, sobre las ocho de la mañana, al jardín de los Padres Mínimos, que es casi el lugar más bajo de la ciudad, donde comenzó el experimento de esta forma.

»Primeramente, vertí en una vasija 16 libras de mercurio, que había rectificado durante los tres días precedentes y habiendo tomado dos tubos de cristal de espesores semejantes y largos de cuatro pies cada uno, cerrados herméticamente por un extremo y abiertos por el otro, hice en cada uno de ellos el experimento ordinario del vacío, en la misma vasija y aproximando los dos tubos uno contra el otro sin sacarlos fuera de su vasija, se encontró que el mercurio que había quedado en cada uno de ellos permanecía al mismo nivel y que había en cada uno de ellos, por encima de la superficie del mercurio de la vasija veintiséis pulgadas, tres líneas y media; repetí este experimento en el mismo lugar, en los mismos dos tubos, con el mismo mercurio, y en la misma vasija, dos veces más, y se encontró siempre que el mercurio de los dos tubos llegaba al mismo nivel y a la misma altura que la primera vez.

»Esto hecho hice permanecer uno de estos dos tubos sobre su vasija en experimento continuo; marqué en el cristal la altura del mercurio, y habiendo dejado este tubo en su mismo lugar rogué al R. Padre Chastin, uno de los religiosos de la casa, hombre tan piadoso como capaz y que razona muy bien en estas materias, que se tomase el trabajo de observar a cada instante, durante todo el día, si ocurría algún cambio, y con el otro tubo y una parte de este mismo mercurio fuí yo con todos los señores á hacer los mismos experimentos en lo alto del Puy de Domme, elevado por encima de los Mínimos, aproximadamente 500 toesas, en donde se encontró que en el tubo no quedaba más que á la altura de veintitrés pulgadas dos líneas de mercurio, en lugar de las 26 pulgadas 3 líneas y media que en este mismo tubo había alcanzado la altura en los Mínimos, y así entre las alturas del mercurio de estos dos experimentos hubo tres pulgadas una línea y media de diferencia, lo que nos llenó de admiración y de asombro y nos sorprendió de tal suerte, que para nuestra satisfacción propia quisimos repetirlo; por esto lo hice aun cinco veces más, muy exactamente, en diversos lugares de la cumbre de la montaña,

unas veces á cubierto en la pequeña capilla que hay allí, otras á descubierto, resguardado del viento y al aire libre, con cielo claro ó con lluvia y niebla que allí nos llegaba de vez en cuando, habiendo cada vez purgado muy cuidadosamente de aire al tubo, se ha encontrado siempre la misma altura de mercurio de 23 pulgadas 2 líneas, lo que hacen las 3 pulgadas una línea y media de diferencia con las veintiséis pulgadas tres líneas y media que se habían encontrado en los Mínimos, lo que nos satisfizo plenamente.

»Después, al descender por la montaña, rehice en el camino el mismo experimento, siempre con el mismo tubo, el mismo mercurio y la misma vasija, en un lugar llamado *Lafon de l'Arbre*, muy por encima de los Mínimos, pero mucho más bajo del vértice de la montaña, y allí encontré que la altura del mercurio que quedaba en el tubo era de 25 pulgadas.

»Rehice el experimento por segunda vez en este mismo lugar y el referido señor Mosnier, uno de los nombrados anteriormente, tuvo la curiosidad de hacerlo por sí mismo; lo hizo pues, en el mismo lugar, y se encontró siempre la misma altura de veinticinco pulgadas, que es menor que la que se había encontrado en los Mínimos, de una pulgada tres líneas y media, y mayor que la que acabábamos de encontrar en lo alto del Puy de Domme de una pulgada 10 líneas y media, lo que no aumentó poco nuestra satisfacción, viendo la altura del mercurio disminuir, con la altura de los lugares.

»En fin, habiendo llegado a los Mínimos, encontré la vasija, que había dejado en experimento continuo, en la misma altura donde la había dejado de 26 pulgadas 3 líneas y media, á cuya altura el R. P. Chastin, que había permanecido allí para la observación, nos dijo que no había ocurrido ningún cambio durante todo el día, á pesar de que el tiempo había sido muy inconstante, tan pronto de cielo despejado como lluvioso, tan pronto lleno de niebla como ventoso.

»Rehice allí el experimento con el tubo que había llevado al Puy de Domme, y en la vasija en que estaba el tubo en experimento continuo, encontrando que el mercurio alcanzaba el mismo nivel en los dos tubos, y á la misma altura de 26 pulgadas, 3 líneas y media, como se había encontrado por la mañana en este mismo tubo y como había permanecido durante todo el día en el tubo de experimento continuo.

»Lo repetí aún por última vez, no solamente en el tubo en que lo había hecho sobre el Puy  
(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación).

de Domme, sino aun con el mismo mercurio y en la misma vasija que había llevado allí, y encontré siempre el mercurio á la misma altura de 26 pulgadas y 3 líneas y media, que se había encontrado durante la mañana, lo que nos acabó de confirmar la certeza del experimento.

»Al día siguiente el T. R. P. de la Mare, Prelado del Oratorio y Teólogo de la Iglesia Catedral, que había estado presente á lo que había sucedido en la mañana del día precedente en el jardín de los Mínimos, y á quien yo había enterado lo que había sucedido en el Puy de Domme, me propuso hacer el mismo experimento al pie y en lo alto de la más alta de las torres de Nuestra Señora de Clermont para probar si allí había diferencia. Para satisfacer la curiosidad de un hombre de tan gran mérito y que ha dado á toda Francia prueba de su capacidad, hice el mismo día el experimento ordinario del vacío en una casa particular, que está en el lugar más alto de la población, elevada por encima del jardín de los Mínimos de diez á siete toesas, y al nivel del pie de la torre. Encontramos allí el mercurio á la altura, aproximadamente, de 26 pulgadas y 3 líneas, que es menor que la que se ha encontrado en los Mínimos, aproximadamente, media línea.

»A continuación he hecho el experimento en lo alto de la misma torre, elevada por encima de su pie 20 toesas, y por encima del jardín de los Mínimos, aproximadamente, 26 ó 27 toesas, encontré allí el mercurio á la altura de 26 pulgadas y una línea, que es menor que la que se había encontrado al pie de la torre, aproximadamente 2 líneas, y de la que se había encontrado en los Mínimos 2 líneas y media.

»De suerte, que para tomar y comparar en

conjunto las diferentes elevaciones de los lugares, donde los experimentos se han hecho, con las diversas alturas de mercurio que ha quedado en los tubos se encuentra:

»Que en el experimento hecho en el lugar más bajo, el mercurio permanecía á la altura de 26 pulgadas 3 líneas y media.

»En la que ha sido efectuada en un lugar elevado por encima del más bajo, aproximadamente 7 toesas, el mercurio permaneció á la altura de 26 pulgadas 3 líneas.

»En la que ha sido hecha en un lugar elevado por encima del más bajo, aproximadamente 27 toesas, el mercurio se encontró a la altura de 26 pulgadas una línea.

»En la que se efectuó en lugar por encima del más bajo, aproximadamente 150 toesas, el mercurio se encontró á la altura de 25 pulgadas.

»En el que se hizo en un lugar elevado por encima del más bajo, aproximadamente 500 toesas, el mercurio se encontró á la altura de 23 pulgadas y 2 líneas.

»Se encuentra, por tanto, que aproximadamente siete toesas de elevación dan de diferencia de altura en el mercurio, media línea.

»Aproximadamente 27 toesas, 2 líneas y media.

»Aproximadamente 150 toesas, quince líneas y media, que hacen una pulgada 3 líneas y media.

»Y aproximadamente 500 toesas, 37 líneas y media, que hacen 3 pulgadas una línea y media.

»He aquí la verdad de todo lo que ha pasado en este experimento, del cual todos los señores que han asistido, le firmarán la relación cuando usted lo desee.

»Además, tengo que decirle, que las alturas del mercurio han sido tomadas muy exactamente, pero las de los lugares donde los experimen-

tos se han hecho, lo han sido bastante menos.

»Si yo hubiese tenido tiempo y facilidades las hubiese medido con más precisión y aun hubiese marcado sitios en la montaña de 100 en 100 toesas, en cada uno de los cuales hubiese hecho el experimento y marcado las diferencias que se encontrasen de la altura del mercurio en cada una de estas estaciones, para darle con exactitud la diferencia que hubiesen producido las primeras cien toesas, las que hubiesen dado las segundas cien toesas, y así las otras, lo que podría servir para sacar de aquí una tabla, continuando la cual, los que quisieran tomarse el trabajo de hacerla, podrían tal vez llegar al perfecto conocimiento de la magnitud exacta del diámetro de toda la esfera del aire.

»No desespere de enviarle cualquier día estas diferencias de cien en cien toesas, tanto para nuestra satisfacción como por la utilidad que el público podrá recibir de ello.

»Si encuentra alguna oscuridad en esta nota podré aclararla de viva voz dentro de pocos días, por estar á punto de hacer un corto viaje á París, donde yo le aseguraré que soy su muy humilde y afectuoso servidor, *Perrier*.—De Clermont, el 22 de Septiembre de 1648.»

Repitió Pascal, más tarde, el experimento utilizando la torre de Santiago, en París, cuya altura es de 49 metros, comprobando la pequeña depresión de la columna mercurial al elevarse a aquella altura.

Aun cuando, en realidad, el barómetro estaba inventado por el sólo hecho de utilizar el tubo de Torricelli o tubo florentino, hasta que los Académicos del Cimento idearon la colocación de índices de esmalte, soldados exteriormente al tubo de vidrio, y le dieron una forma que permitía su manejo continuo sin tener que repetir cada vez la ya mencionada prueba del vacío, puede decirse que no constituyó un aparato meteorológico, pues las pequeñas fluctuaciones de la longitud de la columna no eran observables con facilidad por carecer de puntos de referencia.

En la carta a que antes nos referimos, de Torricelli al P. Ricci, se manifiesta claramente que el tubo de Torricelli podía servir para conocer cuándo el aire se hacía más ligero o más pesado, siendo ésta la primera indicación que tenemos de la aplicación del instrumento a la Meteorología.

»Le accennai già che si staua facendo non sò che esperienza filosofica intorno al vacuo, non per fare semplicemente il vacuo, ma per fare vno

strumento, che mostraste le mutazioni dell'aria ora più graue, e grossa, &, ora più leggiera, e sottile.

.....  
.....  
.....

»La mía intenzione principale poi non è potuta riuscire, cioè di conoscere quando l'aria fosse più gróssa, e graue, e quando più sottile, e leggiera con lo strumento EC, perche il liuello AB si muta per vn'altra causa, che io non credeua mai, cioè per il caldo, e freddo, e molto sensibilmente, appunto come se il vaso AE fusse pieno d'aria.»

Divulgados los experimentos y repetidos profusamente por todos los físicos del tiempo, pronto se notó la variabilidad de la longitud de la columna dentro del tubo, y vino de aquí la necesidad de las mediciones y la aplicación de una escala para facilitarlas; Borelli (1) parece que fué el primero en introducir esta mejora, y al físico inglés Boyle (2) se debe tal vez el nombre de baroscopio y de barómetro que hoy lleva el tubo de Torricelli, nombre aplicado allá por los años 1665 ó 1666, para indicar que con este aparato se mide el peso del aire.

Barómetros construídos, basándose solamente en los experimentos anteriormente expuestos, se hallaban por todas partes, y observados con mayor escrupulosidad dieron a conocer un fenómeno sin explicación satisfactoria, cual era, que aparatos hechos y colocados en condiciones al parecer iguales no daban alturas exactamente idénticas; muchos años pasaron hasta llegar a saber el influjo del aire contenido dentro de la masa mercurial en la longitud de la co-

(1) Juan Alfonso Borelli nació en Nápoles en el año 1608, fué Profesor de Filosofía y Matemáticas en Florencia y Pisa; murió en Roma el año 1679. Parece que fué el primero en dar carácter demostrativo a los conocimientos fisiológicos para fundar una medicina científica. Hizo la traducción de los cuatro últimos libros de las *Secciones Cónicas* de Apolonio, que encontró en la Biblioteca de Médicis en el año 1658 y los comentó.

(2) Roberto Boyle nació el 25 de Enero de 1626 en Lismore (Irlanda); viajó mucho por Italia y Francia, estudiando Física y Matemáticas. Fijó su residencia en Oxford, edificando a sus expensas un Observatorio. Hombre rico y de arraigadas creencias cristianas, dedicó mucho dinero a fomentarlas en América y las Indias. Inventor de una bomba neumática, es el precursor también de la Química moderna, y llegó a hacer pensar a Newton que había descubierto el procedimiento para hacer oro. Hombre sencillo, de ameno trato y gran bondad, supo rehuir toda clase de pompas y vanidades que la posición social le creaba. Murió en Londres el año 1691.

lumna barométrica, tanto que sólo por casualidad y para buscar otros efectos se hacía hervir el mercurio dentro de los tubos de Torricelli; en efecto, en el año 1675 el azar hizo que Picard<sup>(1)</sup> observase cierta fosforescencia dentro de la cámara que quedaba libre en la parte superior al invertir el tubo florentino dentro de su cubeta, cuando agitaba el mercurio, fenómeno llamado por él *fósforo mercurial*, y dado a conocer, muchos físicos dedicaron sus estudios y experimentos a obtener barómetros fosforescentes, no consiguiéndolo más que rara vez; Dufay<sup>(2)</sup> indicó que si se hervía el mercurio utilizado para la construcción de estos aparatos y se agitaban, la fosforescencia era notable, y desde entonces empezó a tomarse esta precaución, pero sólo con objeto de obtener la luminosidad de la cámara barométrica. Después de un siglo de inventado el aparato más útil de la Meteorología, en el año 1740, Le Monnier<sup>(3)</sup> y Cassini<sup>(4)</sup> reconocieron que las series de observaciones hechas con barómetros, en los cuales se había hecho hervir el mercurio, eran comparables y de muy poco valor las obtenidas por medio de otros a los cuales faltaba esto, pero sin dar explicación alguna a la particularidad, que quedó sin ella aún durante veintidós años más, hasta que Deluc<sup>(5)</sup> pudo darla.

(1) Juan Picard, astrónomo francés nacido en 1620, sustituyó los anteojos a las pínulas en los instrumentos, dando así gran exactitud a las observaciones; en unión de Auzout inventó el micrómetro, midió un grado de meridiano, fijó la longitud del péndulo de segundos, descubrió, sin explicarlos, los fenómenos de nutación y aberración. Murió en 1683.

(2) Carlos Dufay, nació en París en 1698 y murió en 1739; habiendo abandonado el servicio militar se dedicó exclusivamente a la Química y la Botánica. Hizo descubrimientos de fenómenos eléctricos, principalmente las dos clases de electricidad que él llamó *vitrea* y *resinosa*.

(3) Le Monnier, astrónomo famoso, nacido en París el año 1715 y muerto en la misma ciudad el año 1799; tomó parte principal en la medida del arco de meridiano de las regiones polares; determinó los cambios de la refracción del verano al invierno y se ocupó de otras muchas cuestiones de Astronomía, Meteorología y Pilotaje; creyó reconocer cierto influjo de la Luna en la atmósfera. Fué maestro de Lalande, con el que sostuvo luego polémicas muy vivas.

(4) César Francisco Cassini de Thury, de una familia de eminentes astrónomos, nació en París en 1714 y murió en 1784. De gran capacidad para los estudios matemáticos calculó a los diez años las fases del eclipse total de Sol de 1727; a los veintiún años ingresó en la Academia de Ciencias; fué Director del Observatorio de París e iniciador del mapa detallado de Francia.

(5) Juan Andrés Deluc nació en Ginebra en 1727 y murió en 1817 cerca de Londres. Pasó la mayor parte de su vida en Inglaterra y fué lector de la Reina; publicó un libro importante sobre Meteorología y muchas Memorias sobre la misma ciencia.

El estudio, allá por la mitad del siglo XVIII, de las lecturas barométricas regulares efectuadas desde 1654 en Italia y de las que se hicieron en Inglaterra, dió a conocer también la necesidad de introducir una corrección debida a la temperatura.

## II

### BARÓMETROS MODERNOS

*Descripción del barómetro y procedimientos de construcción.*—No es posible entrar en detalles constructivos de la infinidad de modelos de barómetros que la industria ha producido, ni es necesario para nuestro objeto, ya que los empleados en las estaciones meteorológicas se reducen a contado número de ellos, entre los cuales descuellan por sus buenas condiciones los del tipo Fortin, los de cubeta fija y los de sifón, llamados también de Gay-Lussac, y, por último, los utilizados para hacer observaciones en el mar.

*Barómetros Fortin* (1).—Este barómetro desde su aparición adquirió gran fama, debida a que por su fácil manejo y precisión pasaba a ser un instrumento manejable por personas no especializadas en trabajos de observatorio.

Para construirlo se necesita ante todo disponer de un tubo que debe tener un diámetro interior no menor de siete milímetros, ser de vidrio blanco, sin faltas; es decir, sin burbujas, puntos negros, manchas ni señales, de un metro aproximadamente de largo y perfectamente recto y cilíndrico. En el comercio se adquieren tubos de esta clase ya preparados, con una ampolla de vidrio soldada a la lámpara, antes de salir de la fábrica, en unos de sus extremos. Esta ampolla o ensanchamiento del tubo sirve para facilitar la entrada del mercurio y debe cortarse luego valiéndose de una lima. Para esto es suficiente hacer una pequeña señal, por la que se partirá el tubo al hacer presión para romperlo. No hay que confundir la ampolla o ensanchamiento de que nos ocupamos con otra pequeña de forma esférica que lleva cerca del final del tubo, la cual tiene, como veremos, otros fines.

De cualquier modo, no cabe confundirlas por estar una de ellas, la que hay que cortar, al extremo del tubo y sirve de embudo, y la otra, colocada cerca del final, es muy pequeña y redondeada; aunque se suponga el tubo lavado interiormente por los procedimientos usuales,

(1) Juan Fortin, físico e ingeniero francés, nació en 1750 y murió en 1831.

debe procederse a su limpieza completa, empleando los líquidos siguientes, por su orden: solución de potasa cáustica, agua destilada; ácido nítrico, agua destilada; amoniaco, agua destilada; alcohol de 90° y éter sulfúrico, teniendo después de estas operaciones tapado el tubo barométrico con algodón hidrófilo.

Preparado el tubo se procederá a disponer el mercurio, para lo cual hay que purificarlo si procede del comercio, porque, generalmente, suele estar adulterado con estaño, plomo, hierro, cinc, azufre y bismuto, metales que se disuelven en el mercurio, los cuales no sólo perjudican la movilidad del fluido, haciéndole menos sensible a las variaciones de la presión atmosférica, sino que modifican la altura de la columna barométrica en atención a la distinta densidad, dando como resultado que la altura leída en un barómetro construído con mercurio adulterado es mayor que la correspondiente a uno hecho con mercurio puro; la razón de esto es sencilla, recordando que el peso específico de los elementos adulterantes es menor que la del mercurio, que es 13,57 en estado líquido y 14,39 en estado sólido (plomo = 11,35, bismuto = 9,82, estaño = 7,29, cinc = 7,19, etc.) ...

La mayor parte de las impurezas que contiene el mercurio del comercio desaparecen agítándolo dentro de un frasco de cristal que contenga arena lavada o azúcar de pilón machacada; de vez en cuando se abre el frasco y se expulsa el aire contenido, con un fuelle; la operación se termina filtrando el mercurio con un embudo o un cucurucho de papel fuerte, como el de los naipes, al que se le deja un agujero en el vértice lo más pequeño posible (del calibre de un alfiler).

Otro procedimiento consiste en lavarlo, dentro de un frasco, con ácido sulfúrico o acético diluídos, que disuelven las impurezas; para esto hay que tener presente que debe agitarse durante bastante tiempo; luego, valiéndose de un embudo capilar de vidrio, se introduce el mercurio en otro frasco que contenga ácido nítrico diluído, volviendo otra vez a agitarlo con violencia para que haya mucho contacto del ácido con las partículas del mercurio; se pasa después a un tercer frasco que contenga ácido sulfúrico concentrado donde sufre la misma operación, y, por último, en un cuarto frasco se repite el procedimiento, habiendo introducido terrones de potasa cáustica. Este último frasco tiene un grifo en la parte inferior, por la cual se extrae el mercurio purificado.

La prueba mejor que puede hacerse, hablando en términos industriales, para cerciorarse de la bondad del mercurio consiste en tomar un tubo capilar de termómetro y llenarlo de este metal; si después de haber extraído el aire del tubo, corre el mercurio libremente a lo largo de él, debe considerársele puro para el objeto que se le destina y no hay inconveniente en llenar con él tubos de barómetros de cualquier calibre, aunque tengan cinco centímetros de diámetro.

Pero el mejor medio de purificar el mercurio, y el único empleado por los buenos constructores para llenar los barómetros científicos, es el de la destilación; a tal fin se coloca el mercurio en una retorta de gres, o mejor de hierro, cuyo tubo abductor termina en una cuba de loza llena de agua fría; como la temperatura de ebullición del mercurio (350°) es más baja que la de cualquier otro metal, se convierte pronto en vapor, mientras que los demás cuerpos que lo impurifican permanecen todavía en estado líquido o sólido.

Obtenido el mercurio puro y bien limpio el tubo de vidrio, hay que proceder a llenarlo, que no es operación tan sencilla como a primera vista pudiera parecer. El mercurio como cualquier otro fluido absorbe el aire y se mezcla con él de un modo íntimo; aunque por procedimiento mecánico, interpuesto entre las moléculas del líquido, no puede escaparse fácilmente a causa de la presión atmosférica. Si con este mercurio llenásemos el tubo que ha de constituir el barómetro resultaría que, al cesar la actuación de la presión atmosférica en el extremo en que queda hecho el vacío de Torricelli, el aire se escapa y asciende formando burbujas, que revientan al llegar a la superficie libre del mercurio, y sobre ésta se establece una atmósfera con tanta o mayor tensión cuanto mayor es la cantidad de aire acumulado, lo que produce el efecto físico de rebajar la altura de la columna mercurial, dado que la presión atmosférica en este caso ha de equilibrar a la del mercurio, más la tensión referida del aire contenido en la cámara de Torricelli.

Para obviar el inconveniente reseñado, bueno es, antes de proceder a llenar el tubo del barómetro, hervir o calentar, al menos, en una vasija el mercurio, cuidando que se enfríe antes de verterlo en el tubo.

No basta esta operación para considerar eliminada esta causa de error, puesto que si observamos un tubo recién lleno de mercurio se notan a lo largo del cristal infinidad de burbu-

jas, unas grandes y otras muy pequeñas, debidas a partículas de aire y de vapor acuoso; se debe esto a que en las paredes del tubo hay siempre adherida fuertemente una capa de estos gases, que se unen a la que envuelve a cada gota de mercurio que cae dentro del tubo. Por las mismas razones expuestas anteriormente, si se deja sin corregir este defecto, van poco a poco ascendiendo a la cámara del vacío, donde revientan y forman la atmósfera ya dicha, que hace del barómetro que la contiene un instrumento completamente inútil.

El único medio eficaz para conseguir que desaparezca el aire y el vapor acuoso del mercurio, consiste en hervirlo dentro del mismo tubo, operación delicada que requiere práctica y habilidad manual, sin que esto quiera decir que no puede hacerlo cualquiera persona si pone en ello esmero y cuidado.

Cuando el vidrio se calienta y se rompe, débese a que se dilató desigualmente o porque no recibió el calor de un modo uniforme, a causa de la desigualdad del espesor de las paredes o debido a ambas cosas a la vez, pues si el calor fuese uniforme, y uniforme también el espesor del vidrio, éste se ablandaría pero no saltaría. Así, pues, a lo que hay que atender al hervir el mercurio dentro del tubo es a que el calor se reparta por igual y sea suministrado lentamente, con objeto de dar lugar a que el vidrio se caliente sin brusquedades y por igual.

La operación puede llevarse a efecto de dos modos: o llenando por completo el tubo o haciéndole hervir por partes, que es lo más recomendable. Tanto en un caso como en otro se coloca en una especie de caja de hierro, larga, del tamaño del barómetro, que tiene unos cuantos trozos de hierro transversales para contener los carbones encendidos, sin que se amontonen abajo, pues hay que colocarla, cuando contiene el tubo, un poco inclinada para facilitar la expulsión de los vapores y gases que se forman; si se deja demasiado inclinado el tubo tendrán los gases que levantar, para salir, toda la columna de mercurio que está sobre el lugar en que se formaron, y al caer la masa metálica puede romper el tubo.

Si se sigue el procedimiento de empezar el hervido con poco mercurio, deben tomarse como unos diez centímetros, calentar con brasas esta cantidad hasta que hierva; se observará, como ya se ha dicho, que al salir los vapores de mercurio, el aire y el vapor de agua levantan bruscamente la columna metálica que, al caer

sobre el fondo del tubo, da un golpe seco como el del martillo de agua o martillo filosófico; no es necesario prolongar mucho esta operación, basta con que haga unos cuantos borbotones. Es preciso, al echar nuevo mercurio, calentarlo previamente y, una vez en el tubo, correr las brasas al nuevo trozo, procediendo del mismo modo hasta recorrer toda la longitud y tener el tubo lleno de mercurio. Desde luego, la última porción de mercurio no puede hervirse dentro del tubo, porque saldría fuera, sin que bastara a evitarlo la ampolla de protección. Es de rigor operar en una habitación grande o con las ventanas abiertas a causa de ser nocivos los vapores mercuriales.

Si el operador es hábil, puede hacer todas las manipulaciones reseñadas valiéndose de una lamparilla de alcohol, teniendo cuidado de no operar *al aire* sino apoyando sobre madera el extremo cerrado del tubo cuando esté en parte hervido, haciéndole girar para el gradual calentamiento.

Cuando está hervido el mercurio, el aspecto del tubo barométrico ha cambiado, sus paredes parecen completamente uniformes, no se ven burbujas, todo semeja a una barra metálica pulida, y el extremo libre del mercurio está como un intachable espejo. Córtese después con la lima la ampolla que sirvió de embudo, tápese herméticamente con un corcho la boca, y por encima póngase la gamuza atada con un hilo para evitar por completo la entrada de aire y polvo; así preparado el tubo debe colocarse en posición vertical, con la boca hacia arriba, hasta que llegue el momento de utilizarlo.

Para construir el barómetro bastará ahora colocar el tubo, invertido, en una vasija con mercurio purificado, introduciendo su punta algunos centímetros debajo de la superficie, destaparle y colocar una regla dividida en centímetros y milímetros, que servirá para medir la distancia que haya desde el nivel del mercurio en la vasija hasta el extremo libre de la columna de mercurio en el tubo, y este será, salvo ciertas correcciones indispensables, la altura barométrica; pero un barómetro construido con arreglo a estos principios y bien ejecutado, sería forzosamente un instrumento fijo, que no podrá transportarse ni con mediana comodidad, y el ideado por Fortin, además de conservar la exactitud de un barómetro como el que ligeramente hemos descrito, permite manejarlo con toda facilidad y aun transportarlo a la cima de las montañas cuya altitud, por ejemplo, quisiéramos averiguar.

El tubo de cristal ha de estar protegido contra cualquier golpe que pudiera sufrir; para ello se le cubre con una vaina o funda de latón de longitud suficiente, que en su parte inferior lleva atornillada una vasija compuesta de varias piezas de vidrio, madera o gamuza, llamada cubeta, llena de mercurio y con una protección metálica; la parte superior de la vaina va cortada en una longitud de unos 30 centímetros para que se vea el tubo, y en uno de sus bordes se graba la escala.

La cubeta está formada:

1.º Por una tapa de boj, embutida en un aro de latón y provista de un agujero central para dejar paso al tubo barométrico.

2. Por un tubo de vidrio cilíndrico, de paredes gruesas y de bastante diámetro, cuando menos unos tres o cuatro centímetros, aprisionado entre el aro en que va la tapa y otro semejante, los cuales van sujetos por tres columnitas de latón que atraviesan el primero y se atornillan en el segundo.

3.º Por otro anillo de boj de diámetro aproximadamente igual al de cristal de que antes hicimos mención, que se compone de dos partes atornilladas entre sí. Una ajusta al aro inferior de metal y la otra lleva atada con bramante encerado, seda fuerte o hilo, una bolsita de gamuza que forma el fondo de la cubeta y sostiene al mercurio (cuando el barómetro está funcionando). Unida a esta gamuza, en su centro y exteriormente, va una piececita de madera que sirve de apoyo al tornillo que enrosca en el fondo de una caperuza cilíndrica de latón; funda protectora a la vez de toda esta parte de la cubeta. Esta envoltura metálica se atornilla en el aro inferior de los dos que sujetan al anillo de cristal.

Se concibe fácilmente que atornillando o desatornillando el vástago subirá o bajará el fondo móvil de la cubeta formado por la gamuza y que la piececita de madera que ésta lleva tiene por objeto que no se rompa la gamuza por el roce del tornillo con ella.

La tapa de la cubeta, pieza de boj, de que ya hemos hablado, lleva en su cara inferior, o sea la que está mirando hacia abajo dentro de la cubeta, una puntita de marfil, punto de referencia en que comienza a contarse la escala del barómetro.

El tubo barométrico va unido a la cubeta del siguiente modo: por encima de la ampollita próxima a su extremo libre se ata fuertemente un trozo de gamuza y esta misma gamuza debe de atarse a la tapa de boj de la cubeta, para

lo cual lleva ya una escotadura o sitio donde debe colocarse el hilo o bramante que sirve para unirlos. La ampollita del tubo ha de quedar apoyada a esta parte de la tapa, evitándose así deslizamientos tanto hacia fuera como hacia dentro de la cubeta.

Por último, el aro metálico superior de la cubeta tiene rosca en la región central y a ésta se atornilla la funda protectora del tubo barométrico que, como se ha dicho, en su parte alta, donde estará el límite de la columna mercurial, lleva cortada una ventana de unos 30 centímetros de larga, en cuyos bordes está grabada la escala.

Puesto el tubo barométrico en posición vertical, con el extremo abierto hacia arriba, quitado el tapón que se le puso al limpiarlo y hervirlo, atada la gamuza por encima de la ampollita, se procede a unirlo, como se ha dicho, a la cubeta; después se introduce con cuidado en su funda y se atornilla ésta a la cubeta, cuidando de que llegue hasta el aro primero. Una vez esto hecho, se echa mercurio limpio, puro y hervido, en la cubeta, para lo cual habrá sido preciso desatornillar el anillo de boj que lleva el fondo de ella. El mercurio debe tapar completamente todo el trozo de tubo que queda dentro de la cubeta, y éste debe llegar casi al borde (un centímetro menos) del anillo de boj. Atornílese la segunda porción de anillo que lleva el fondo de gamuza, apriétese con el dedo este fondo hasta que toque al mercurio y enfúndese luego con la tapadera que lleva el tornillo, el cual debe hacerse girar hasta no dejar espacio libre y esté todo el mercurio de la cubeta aprisionado. Estas circunstancias cumplidas, no hay peligro de poner el barómetro en su posición normal, colgarlo en su tabla y en el lugar donde ha de quedar definitivamente instalado.

Hecho todo esto se procede a desatornillar el tornillo inferior hasta que, descendiendo el mercurio, quede libre la puntita de marfil. Al hacer esto, el mercurio, que llenaba completamente el tubo barométrico, habrá descendido, y se verá su mercurio por la ventana donde está la escala.

Fácilmente se comprende ahora cómo debe operarse al hacer las mediciones, pues para leer las alturas sólo habrá que llevar el nivel del mercurio en la cubeta al punto cero de la escala, representado por la punta de marfil, lo que se consigue con el tornillo inferior ya mencionado. Hecho esto bastará hacer las lecturas en la escala.

En estos barómetros va marcado, generalmente, con un trazo en la funda del tubo y con otro en el aro en que se atornilla, la posición en que deben quedar al atornillarlos, pues si por algún accidente hay que desmontarlo, puede variar la distancia de la punta de marfil o las divisiones de la escala, y falsearía por completo las lecturas.

Teniendo presente que las oscilaciones barométricas en una misma localidad no suelen pasar de unos cuantos centímetros, no hay necesidad de dividir la escala desde la parte superior de la funda hasta la punta de marfil, lo cual, además, quitaría protección al tubo, puesto que, siendo preciso agrandar las hendiduras o ventanas para que se viese la columna, debilitaría la armadura. Por esto sólo se deja ver el tubo barométrico a través de dos cortaduras opuestas en la porción donde va tallada la escala, la cual está generalmente plateada, y sus divisiones son los milímetros o fracciones de milímetros que hay desde allí hasta la punta de marfil.

Pudiéndose deslizar a lo largo de la escala, en la parte donde se halla la hendidura por la cual se ve el tubo del barómetro, llevan estos instrumentos una reglita pequeña, que se mueve por medio de una cabeza de tornillo con piñón engranando en una cremallera. Esta escalita, llamada *nonio* (1), sirve para apreciar fracciones de división de la primitiva escala barométrica.

El *nonio* es un instrumento que se aplica siempre que es necesario apreciar con determinada precisión la longitud en que excede la cantidad que se trata de medir de la última división de la regla con la cual se mide, y que no llega, naturalmente, a la división siguiente, es decir, cuando se trata de hallar la longitud comprendida entre las dos últimas divisiones de la escala que comprenden el límite del objeto medido.

(1) El nombre de nonio, en latín *nonius*, se le dió al instrumento que sirve para determinar subdivisiones de una longitud cualquiera, en honor de Núñez, a quien se atribuye erróneamente su invento, que corresponde, en realidad, a Vernier. Pedro Núñez nació en Alcázar de la Sal, villa portuguesa, en 1492; estudió en la Universidad de Lisboa Filosofía y Medicina, recibíendose de doctor; aplicóse también a las Matemáticas, llegando a ser maestro de ellas en la Universidad de Coimbra, donde murió en 1577. Escribió obras de astronomía, navegación y matemáticas, que se tradujeron a otros idiomas. Pedro Vernier, capitán y gobernador del castillo de Ornans, en el Franco Condado, donde nació en 1580, compuso un tratado de artillería y obras de matemáticas, entre ellas la titulada *Construcción, uso y propiedades del cuadrante nuevo de matemática*, impresa en Bruselas en 1631, en la que describe su invento, que primero aplicó a mediciones de arco de círculo; murió en 1637.

Tomemos una regla de 9 centímetros de longitud, y dividamos este espacio en 10 partes iguales, es evidente que cada uno de ellos será una décima de centímetro, o sea, un milímetro más corto que el centímetro. Si las divisiones de esta regla están hechas en el borde, se podrá hacer coincidir la primera de ellas con una cualquiera de las señaladas en un metro como centímetros, y se verá que las de los siguientes centímetros no coinciden con las de la regla auxiliar hasta la que representa el centímetro 9. Al partir del punto inicial en que naturalmente hicimos coincidir las divisiones de las dos reglas, se verá que las primeras difieren en un milímetro, quedando la del nonio o regla auxiliar retrasada, las siguientes diferirán en dos milímetros, las otras, tres, etc., hasta llegar a la última que, por coincidir con la 9 de la regla estará separada de la que le sigue 10 milímetros.

Supongamos ahora que deseamos medir la longitud de un objeto, y que aplicada la regla de centímetros hallamos que, por ejemplo, tiene 45 centímetros y una fracción; apliquemos el nonio haciendo coincidir su primera división, o división 0, con el borde último del objeto, y busquemos después qué división de las del nonio coincide con alguna de la regla grande. Si de esta inspección resulta que la séptima del nonio es la primera que coincide, diremos que la medida exacta será de 45 centímetros y 7 milímetros, pues ya hemos visto que desde las divisiones coincidentes, cada una de las del nonio se separa un milímetro más que la precedente del punto de origen.

Naturalmente el razonamiento hecho se basa en que tomamos 9 centímetros para dividirlos en 10 partes, que resultan  $1/10$  de centímetro más chicas que las de la regla primitiva, pero fácilmente se comprende que este método es aplicable para determinar la vigésima, la centésima o la fracción que se quiera y admita el objeto que se desee medir, y que así mismo este procedimiento se aplica no sólo a la medida de longitudes sino a las mediciones angulares.

*Termómetro unido al barómetro.*—La escala del barómetro se supone dividida por el constructor a la temperatura de  $0^{\circ}$ , y a cualquiera otra temperatura sus divisiones son de distinto tamaño; si es más baja, las divisiones son más pequeñas y si la temperatura es superior a  $0^{\circ}$  las divisiones son mayores. Estas variaciones se deben a la dilatación del metal con que está hecha la escala, por la acción del calor, pues si

es de latón a 1° de aumento en el termómetro centesimal, el crecimiento de la unidad de longitud es de 0,000019. Si la escala está hecha de platino, metal que sólo se emplea en los barómetros de laboratorios, sería de 0,000009. En raras ocasiones se halla el barómetro a la temperatura de 0°; lo más corriente es que la temperatura sea superior, por lo cual la altura de la columna barométrica por este concepto sería más baja de lo debido.

Al mismo tiempo que el aumento de la temperatura dilata la escala, también dilata la columna de mercurio encerrada en el tubo barométrico y ciertamente en una porción mucho mayor, pues el coeficiente de dilatación del mercurio es igual a 0,000181. De esto se infiere que es necesario conocer perfectamente la temperatura a que está el barómetro y muy especialmente el mercurio del tubo para poder aplicar las correcciones debidas a las lecturas efectuadas. A tal objeto llevan todos los barómetros un termómetro embutido en la funda de latón; su cubetilla o depósito está en contacto con el tubo barométrico, cuya temperatura se trata de averiguar suponiendo que está a la misma que el mercurio encerrado dentro de él.

Por regla general, los barómetros corrientes, se suspenden de un gancho colocado en una tabla que, a su vez, se cuelga de la pared; en aquella, además del gancho para colgar, hay un espejito en la parte superior para facilitar la visión del límite del mercurio y poder adaptarle el nonio.

La tabla lleva además, a la altura de la cubeta, un anillo de latón que la rodea, que tiene tres tornillos horizontales para dejar el instrumento perfectamente vertical y fijo. Cuando el barómetro se destina a hacer excursiones, en vez de la tabla se adapta a un trípode, que lleva suspensión Cardano para colgar de ella el barómetro.

En los laboratorios y los observatorios, donde no es necesario mudar de sitio el barómetro, y donde necesitan una gran precisión de las mediciones, suele hallarse aparatos de este tipo, de dimensiones más grandes que el descrito, aunque en un todo igual en cuanto a sus elementos esenciales. Así, el tubo es de gran diámetro para disminuir el efecto de la capilaridad; la cubeta es también de mayores dimensiones para hacer el enrase de la punta de marfil con la superficie de la cubeta con toda exactitud. Hay un antejo

en el sitio preciso, y la tabla de suspensión se sustituye por una caja de cristales que lo preservan, además, del polvo.

*Transporte del barómetro Fortin.* Cuando hay necesidad de transportar el barómetro a otro sitio, por ejemplo, para hacer observaciones en el campo, para limpiarlo o para cualquier otra cosa, debe efectuarse siempre la operación con sosiego y con la mayor precaución; se principia por atornillar lentamente el tornillo situado en la parte inferior de la cubeta, y se observa cómo va subiendo poco a poco el mercurio en ésta y en el tubo; al desaparecer por la parte superior y perderse de vista porque lo oculta la funda de metal, hay que proceder aún con más cautela, dando vueltas al tornillo con mayor prudencia que antes, hasta que se experimenta la pequeña resistencia causada por el mercurio al llegar al extremo del tubo de vidrio y que también ha llenado por completo la cubeta, desapareciendo de la vista la punta de marfil, que señala el cero de la escala. No conviene apretar más el tornillo porque podría el mercurio atravesar la piel de gamuza que forma el fondo de la cubeta, ni dejarlo tampoco muy apretado para evitar este mismo inconveniente por dilatación del mercurio al subir la temperatura. Efectuado lo dicho, puede transportarse el barómetro sin peligro, conduciéndolo inclinado unos 45 grados, y mejor aún invertido, poniendo la cubeta hacia arriba. De este modo, si alguna burbuja estaba cerca del tubo no podrá ascender dentro de él. Es una precaución conveniente coger siempre el tubo con la mano provista de un paño para evitar las manchas ocasionadas por el sudor.

*Limpieza del barómetro Fortin.*—Como todos los instrumentos de física, el barómetro debe conservarse siempre en perfecto estado de limpieza externa e interna. Su funda de latón, la escala, su cubeta y la tabla de suspensión deben de estar continuamente brillantes y exentas de polvo y de manchas, para lo cual nunca deben de tocarse con las manos húmedas; es preciso limpiarlas frecuentemente con un lienzo fino o mejor con una piel de gamuza; sobre todo, hay que tener especial cuidado de que tanto el nonio como la escala se conserven brillantes y sin señales de moscas que hagan difíciles las lecturas.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación).

Algunas personas cuidadosas envuelven los barómetros corrientes en una funda de gasa después de cada observación. Pero estos cuidados exteriores no impiden que al cabo del tiempo se oxide por la acción del aire el mercurio de la cubeta, perdiendo el brillo la superficie y haciendo muy difícil el enrase de la punta de marfil, lo que obliga a limpiar el mercurio, para lo cual hay que desarmar gran parte del instrumento. Pero antes, y con objeto de que se le pueda manejar hay que proceder como si se fuera a transportarlo; esto es, se atornilla, como queda dicho, el tornillo del fondo de la cubeta hasta llenar ésta y el tubo, y cuando se experimenta la resistencia antes indicada se desengancha el barómetro después de haber aflojado los tornillos del aro de nivelación y se invierte el aparato con cuidado, colocando la cubeta hacia arriba y depositándolo apoyado en una almohadilla o pieza de corcho, que se habrá preparado de antemano, en lugar conveniente donde no haya riesgo de que resbale y caiga.

Luego se van desmontando, según el orden que indicamos, las diferentes piezas que forman la cubeta, representadas en la figura 1.<sup>a</sup>

Se desatornilla, suavemente y sin sacudidas como deben hacerse todas las operaciones, la caja o manguito *EFG* que forma la parte exterior de la cubeta y sirve de protección con el tornillo *Q* que se emplea para hacer subir o bajar el mercurio; entonces aparece la bolsa de piel de gamuza de que hemos hablado y que sirve de fondo a la cubeta. Se desatornilla el aro de boj, *NN* en que está atada la gamuza y entonces queda a la vista el mercurio de la cubeta, el cual es necesario sacar; para esto se envuelve el dedo índice con gamuza, y así protegido se apoya fuertemente sobre el extremo *O* del tubo barométrico y con ambas manos se inclina todo el aparato sobre una cápsula preparada al efecto. El mercurio cae en ella, pero no todo, porque no es prudente inclinarlo más de 45 o 50 grados; el poco que

queda se vierte sobre la cápsula, en una segunda operación, después de desatornillar las columnetas que unen los dos aros metálicos, entre los cuales va el tubo ancho de cristal, parte superior de la cubeta. Al hacer esto hay que tomar la precaución de envolver bien la funda metálica en que está grabada la escala, porque una gota de mercurio la mancha y estropea por amalgamarse con la plata que la recubre; como la funda y la tapa de la cubeta donde va la punta de marfil forman un todo, que no debe variar y de cuya disposición depende la exactitud de la escala, hay que tener gran cuidado de no desatornillar *absolutamente nada* la funda de latón que resguarda el tubo barométrico, *ni tocar a la punta de marfil*. Destorníllanse luego por completo los tres pilares que aprisionan el manguito de vidrio de la cubeta y se retira ésta limpiándola con un lienzo fino y muy seco; de igual modo que se procede a limpiar la tapa de boj de la cubeta, y cuando está se vuelve a colocar el manguito en su sitio, procediéndose a continuación a colocar el aro inferior de latón y las columnas correspondientes que lo fijan. Es precaución conveniente ir atornillando los tres pilares a la vez y poco a poco, en vez de hacerlo separadamente, con cada uno en su posición final; con esto se evita que se raje el manguito de vidrio por recibir presiones desiguales.

El mercurio se debe filtrar antes de verterlo en la cubeta, lo que se consigue, como ya se ha dicho, pasándolo por un cucurucho de papel de naipes, enrollado de modo que tenga un agujerito muy fino, tanto que obligue a salir gota a gota el mercurio; esta operación puede repetirse más de una vez limpiando siempre el papel antes de proceder a cada pasada, o empleando papel nuevo. Al llegar el mercurio en la cubeta a la punta del tubo del barómetro hay que buscar la manera de calentar el que se encuentra dentro del tubo, bien frotando cuidadosamente el barómetro con una franela caliente, o acer-

cándolo al fuego para conseguir la dilatación del mercurio hasta formar en la boca del tubo una gota grande, así se tendrá la seguridad de no haber dejado aire dentro y puede seguir llenándose la cubeta por completo. Colóquese después la otra parte del manguito de boj, que lleva el fondo de la cubeta, y con el dedo se aplasta la gamuza hasta tocar al mercurio de la cubeta, y, por último, se atornilla la funda *E F G* hasta el final de su rosca, apretando el tornillo *Q* con precaución hasta cerciorarse de que comprime el fondo de la cubeta, habiendo entrado en la *cama*, que lleva la piececita de boj unida a dicho fondo. Estando todo así dispuesto no hay peligro en dar la vuelta al barómetro y colgarlo suavemente, aflojando de seguida el tornillo *Q* para dejar libre la punta de marfil a la vista del observador.

**Barómetro de Renau o de cubeta ancha.** — El enrase de la punta de marfil con la superficie de mercurio es una operación que exige cierta habilidad manual y buena vista; en algunos grandes instrumentos hay, como se ha dicho, un microscopio simple sujeto a la cubeta para que facilite la determinación del contacto, mucho más difícil si la superficie del mercurio está oxidada o si la pared del vidrio de la cubeta está sucia; bien es verdad que estas condiciones no deben presentarse en instrumentos destinados a observaciones científicas. Por otra parte, la lectura de la columna de mercurio y el enrase de la punta

de marfil, son dos fenómenos de distinto carácter, pero que cada uno en sí puede ocasionar errores en las observaciones. Para obviar estos inconvenientes en los barómetros de observación corriente y limitar la lectura barométrica al ajuste del nonio con el vértice de la columna de mercurio sin que haya que ocuparse del enrase

del nivel de la superficie del mercurio de la cubeta con la punta de marfil, se ha acudido a varios procedimientos, uno de los cuales consiste en el empleo de la cubeta ancha, debido a Renau (1).

Este instrumento de cubeta fija, sólo se diferencia del de Fortin en esto y en que el diámetro de ésta es mucho mayor que el del tubo, lo que permite desprestigiar en unos casos el error cometido al considerar constante el nivel del mercurio de la cubeta o determinar perfectamente este error al conocer la relación entre las secciones del tubo y de la cubeta. En el ideado por Renau y construido por Tonnelet, que es el modelo adoptado actualmente en las Estaciones del Servicio Meteorológico Español, la razón de las secciones es de 100, y, por tanto, al

variar la columna en milímetros el nivel de la cubeta experimentará un descenso o una eleva-

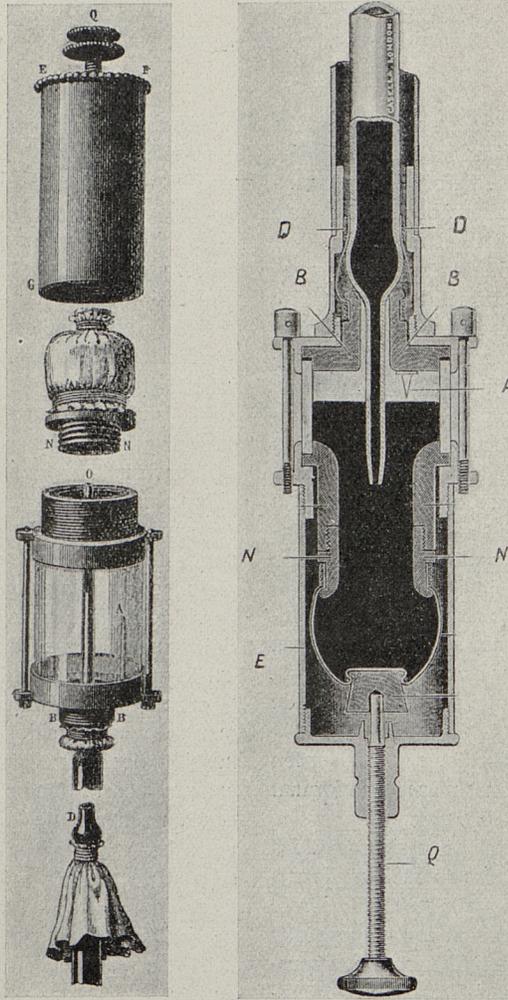


Figura 1.<sup>a</sup>

(1) Emiliano Renau, ingeniero de Minas francés, se consagró casi por completo a la Meteorología, inventando y perfeccionando instrumentos y métodos de observación y de reducción de observaciones; su preocupación constante fué la exactitud.

Murió en el Observatorio Meteorológico del Parque de Saint Maur, del que fué director, en 1902, a los ochenta y siete años de edad.

ción de una centésima de milímetro. Al ser invariable la escala, fácilmente se comprende que habrá solamente un punto de ella, que será la medida exacta de la columna barométrica, medida de la diferencia entre el nivel de la cubeta y el borde del menisco en el tubo. A partir de este punto llamado *neutro*, determinado por comparación con otro barómetro, de cuya exactitud pueda responderse (barómetro fijo o normal), las lecturas directamente hechas diferirán de las verdaderas y habrá que hacer las correcciones, de que se hablará en otro lugar.

El barómetro Tonnelot viene de la fábrica perfectamente embalado y debe procederse del siguiente modo para su instalación:

1.º Se coge con cuidado, llevando las manos provistas de un paño para no ensuciarlo, y se cuelga en una tabla puesta de antemano en el lugar conveniente; esta tabla es semejante a la de los barómetros Fortin, y lleva, por consiguiente, su espejo o un cristal blanco, arriba, a la altura donde quedará la escala y los tornillos en el aro de sujeción en la parte inferior.

Colgado el instrumento y flojos los tornillos del referido aro de la tabla, queda el aparato suspendido y libre para tomar la posición vertical.

2.º Desatornillar suavemente el cubillo inferior del aparato, donde va un muelle fuerte que, al terminar de desenroscar, hay que quitar y guardar aparte, pues no sirve más que en caso de transporte del instrumento.

3.º Quitado el cubillo, se ve la cabeza de un gran tornillo de latón, el cual está bastante apretado; al desatornillar lentamente descende el mercurio dentro del tubo barométrico, como en el caso de aflojar el tornillo del barómetro Fortin. Esta operación se termina cuando llega al tope puesto por el fabricante, y claramente apreciable al ir a terminar su carrera el tornillo.

4.º Vuélvase a encapilar el cubillo protector de que se hizo mención antes.

5.º Al dejar de oscilar el aparato, cuando está vertical, apriétense los tornillos del aro de la tabla, y estará el barómetro para servir. Si el mercurio, por su adherencia con el cristal, no bajó a la posición que normalmente le corresponde, basta con dar un golpe en la funda del latón con la yema de los dedos, para que la ocupe.

El barómetro Tonnelot (fig. 2.<sup>a</sup>) tiene, como todos, un termómetro unido y nonio correspondiente en la escala.

El fondo de la cubeta es aquí de boj, y las

paredes laterales las constituye la piel de gamuza. Esta disposición permite que para manejar el barómetro se pueda subir el fondo de la cubeta, aplastarlo contra la tapa y dejar lleno de mercurio el tubo y la cubeta, evitando el posible ascenso de aire dentro de la columna.

Como protección de la cubeta tiene el aparato la segunda envoltura de latón, donde va el tornillo de la cabeza grande, que sirve para empujar el fondo de la primera al atornillar, o para dejarlo descender al poner el instrumento en estación. No siendo necesario ver la superficie del mercurio dentro de la cubeta, importa menos que en el barómetro Fortin su limpieza, operación mucho más delicada, y sólo aconsejable en casos extremos; siempre es preferible que esta operación se haga por manos de un artista hábil. Por lo demás, conocidas sus partes esenciales, habrá que proceder con el orden ya dicho al hablar del Fortin, con las mismas precauciones y sólo variar en pequeñas manipulaciones detalles fácilmente comprensibles.

Para el transporte es necesario, como en el Fortin, apretar hasta que se oiga el golpe seco característico del mercurio en la parte alta del tubo, el tornillo que levanta el fondo de la cubeta; colocar el cubillo protector e invertir el aparato, llevándolo siempre con la cubeta hacia arriba.

*Barómetros marinos.* — Los movimientos, en ocasiones violentos, que el mar comunica a cuantos objetos se encuentran a bordo, no permite usar cómodamente los barómetros terrestres, pues la columna barométrica sufre tales oscilaciones, que es imposible hacer su enlace con el nonio, y, por lo tanto, efectuar ninguna lectura; así es que ha sido necesario modificar la construcción del barómetro, adaptándolo, en lo posible, a las condiciones del elemento donde tiene que funcionar. Esto se ha conseguido, en una gran parte, estrechando la sección del tubo, toda la

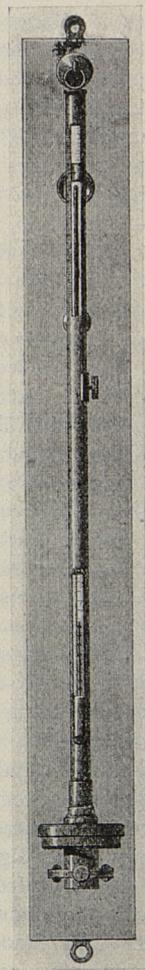


Figura 2.<sup>a</sup>

que no comprende la escala, hasta hacerla poco menos que capilar; luego vuelve a ensancharse poco menos en su calibre normal, y termina otra vez en diámetro muy reducido, para penetrar otra vez en la cubeta. La figura 3.<sup>a</sup> representa un barómetro marino y la sección del mismo.

En la porción superior se ve la parte ancha del tubo, y en la intermedia la contraída hasta el calibre casi capilar; para evitar que en la cámara barométrica pueda entrar humedad o aire, en su ensanchamiento, cerca de la cubeta, se ha colocado un artificio que, en principio, se debe a Gay-Lussac (1), que se llama pipeta. Consiste en un repliegue del tubo, de tal forma hecho, que queda la punta auxiliar del tubo rodeada de una envoltura, como se ve, *cb*. Si por cualquier evento llegase a penetrar alguna cantidad de aire en el tubo subiría por las paredes y se quedaría en la campana que forma la pipeta, sin llegar a la cámara barométrica. Todos los buenos barómetros marinos están provistos de este artificio.

El estrechamiento del tubo hasta hacerlo casi capilar evita en gran parte las oscilaciones de mercurio, que los marinos ingleses llaman *pumping*, pero tienen, en cambio, el inconveniente de hacer el instrumento perezoso y algo inerte, así que la lectura efectuada no es la que corresponde a la presión existente, sino la que había en cierto momento antes; se puede, no obstante, compensar la inercia barométrica, determinándola por comparaciones con un instrumento normal, pues el intervalo de tiempo que representa la inercia es, por lo

común, tres o cuatro minutos, y permanece constante para cada barómetro.

A bordo, para disminuir en lo posible las oscilaciones que los movimientos del mar imprimen al instrumento, que tan penosas hacen las lecturas, el barómetro se coloca en una suspensión Cardano o Cardano (1) (fig. 3.<sup>a</sup>), a fin de que se conserve siempre casi vertical, sea la que quiera la posición del barco; la suspensión va unida a un lazo metálico, de longitud suficiente para que en los balanceos no tropiece el barómetro con las paredes del barco, y que se sujete fuertemente a un mamparo. El empleo de resortes, cuerdas y otros procedimientos que no dejen en libertad perfecta al aparato deben proscribirse enteramente, pues de todo punto es preciso que el barómetro esté vertical.

La suspensión Cardano consiste en un aro de algún mayor diámetro que la funda del barómetro para que se pueda meter dentro. En el sentido de su diámetro se colocan dos tornillos cuyos extremos, sin rosca, sirven de eje y entran libremente en agujeros efectuados en la envoltura metálica del barómetro. El brazo que se sujeta al mamparo tiene también una escotadura, donde entra a su vez el aro de referencia; esta escotadura lleva otros dos tornillos de la misma forma que los del aro, que sirven de eje y entran dos agujeros hechos en aquél, en línea perpendicular a la que determinan sus tornillos. Así, cuando el barómetro está suspendido, queda

como si sólo estuviese de un punto colgado y, por tanto, en libertad de tomar toda clase

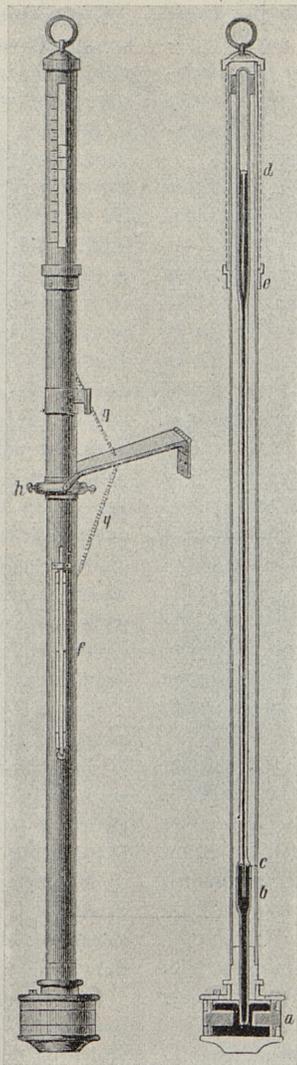


Figura 3.<sup>a</sup>

(1) Nicolás Gay-Lussac, célebre físico y químico francés, que nació en 1778 y murió en 1850, autor de muchos trabajos fundamentales que han quedado como clásicos en la ciencia, fué uno de los primeros exploradores aéreos, y efectuó observaciones de mayor interés a 7.000 metros de altura en 1804. Sus descubrimientos minuciosos y sus investigaciones en los estudios higrométricos, son en extremo notables.

(1) Jerónimo Cardano, Médico, matemático y filósofo italiano, nació en Pavia en 1501 y murió en Roma el año 1576; gran adepto de la Astronomía, desempeñó cátedra de Matemáticas en Milán. Se distinguió en esta ciencia inventando fórmulas que llevaron su nombre; como médico adquirió mucha reputación. Creyendo haber averiguado por sus estudios de Astrología la hora de su muerte, se dejó morir de hambre para que se cumpliera la profecía.

de posiciones compatibles con estas ligaduras.

Después de colocar el barómetro en la suspensión, se observa que el mercurio, que llenaba todo el tubo (se transporta llevándolo inclinado unos 45°) empieza a descender lentamente, pudiendo hacer lecturas después de varias horas, o mejor al día siguiente.

Es prudente desatornillar el termómetro unido, mientras se hacen todas las manipulaciones anteriores, y volver a colocar después cuidadosamente.

Pudiera ocurrir que el mercurio descendiese con dificultad a causa de haber entrado algo de aire; para expulsarlo se descuelga el barómetro con las mismas precauciones que se tomaron al ponerlo en su soporte, se va inclinando poco a poco hasta llegar a invertirlo, colocando la cubeta hacia arriba; hecho esto, se le imprime un movimiento pendular o cónico, más o menos rápido, según parezca, pero sin ser nunca excesivo. Hecho esto, se coloca en su posición normal para cerciorarse del buen funcionamiento. En general basta la operación descrita, pero si aún no quedase bien, puede repetirse varias veces.

Teniendo en cuenta la lentitud con que el mercurio se mueve dentro del tubo barométrico, la operación de invertir el barómetro marino para el transporte o para tratar de sacarle el aire, si por acaso había entrado, requiere se haga lentamente, dando lugar al paso del mercurio hasta llenar todo el tubo.

**Barómetro de sifón o de Gay-Lussac.**— Estos barómetros son más delicados para el uso corriente en las Estaciones meteorológicas; su nombre se debe a que el tubo barométrico tiene la forma de un sifón invertido; es decir, doblado en forma de cayado, cuya rama larga es de un metro aproximadamente de larga y la corta de unos 30 centímetros. Tanto el extremo de la rama larga como el de la corta deben ser del mismo diámetro, aunque el resto del tubo difiera de ellas. Cuando el tubo está

lleno de mercurio debe ocupar un tercio aproximadamente de la capacidad de la rama corta. Los constructores de esta clase de aparatos dejan cerrado el extremo de esta rama, pero abren un agujerito lateral bastante arriba para dejar paso libre al aire. Fácilmente se comprende que el mercurio de la rama corta y el peso del aire que actúa sobre ella compensan el del mercurio de la rama larga, y que, por consiguiente, la altura que mide la presión atmosférica es la diferencia entre los extremos libres del mercurio de ambas ramas del sifón.

El tubo barométrico de esta clase de instrumentos es difícil de llenar y de hervir no siendo por artistas profesionales, por lo cual hay que tener mucho cuidado al transportarlo de un sitio a otro para evitar la entrada de aire. Además, al andar se producen sacudidas violentas que pueden romper el vidrio con el choque del mercurio con las paredes superiores de la cámara barométrica, así, pues, es precaución indispensable al tratar de manejarlo, el invertirlo, haciendo en sentido de la rama larga a la corta, hasta conseguir que ésta quede en la parte superior. Para evitar posibles entradas de aire en el tubo llevan estos barómetros el artificio ya detallado al hablar de los barómetros marinos, que en éstos suele hacerse de mayores dimensiones, estrechando primero la rama larga en el tubo casi capilar e introduciendo esta parte en otro más ancho soldado al primero hasta cerca del recodo inferior y llenando el conjunto de mercurio. Si por cualquier causa pasara una burbuja de aire se depositaría en

la parte alta del tubo exterior y no afectaría a la buena marcha del instrumento. En la figura 4.<sup>a</sup> puede verse el tubo en la posición normal, la dirección del giro para invertirlo y la parte inferior del barómetro donde va el dispositivo, antes mencionado, para que no pueda entrar aire en la cámara barométrica.

(Se continuará.)

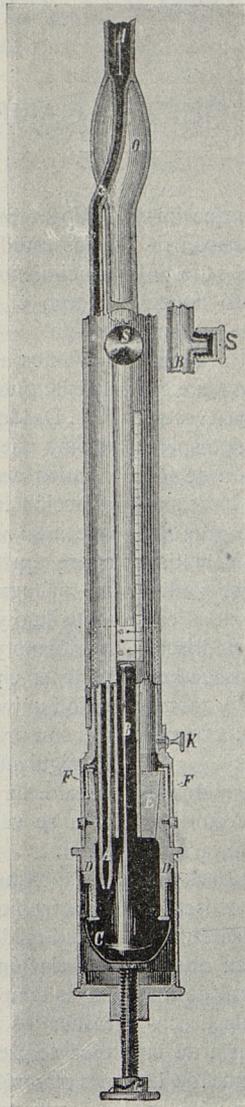


Figura 4.<sup>a</sup>

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

Los barómetros sencillos de este tipo se completan colocando el tubo de referencia sujeto con unas grapas a su tabla correspondiente, en la cual va también el termómetro y la escala. El cero de ésta se coloca aproximadamente en el centro de la rama larga, prolongándose hacia un lado y hacia otro hasta rebasar el límite probable donde puede llegar el mercurio de ambas ramas. Si la disposición de la escala ha sido tal como se indica, la altura de la columna de mercurio es la suma de las dos alturas hechas en cada rama. Para mayor aproximación en las medidas van provistos los barómetros de sifón de dos nonios, uno en cada extremo de la escala, cuyo manejo es el mismo que ya se explicó anteriormente. En la figura 4.<sup>a\*</sup> se representa el barómetro de Gay-Lussac, en su tipo más sencillo.

Como estos instrumentos resultaban muy embarazosos para trabajos de campo y aun para el manejo diario, los constructores modernos adoptan disposiciones especiales que lo hacen tan práctico como el de tipo Fortin o el de cubeta ancha. Entre ellos merecen citarse los contruídos por Fuess, de Berlín, y adoptados como normales en muchos Observatorios. Constan estos instrumentos de una caja cilíndrica de fondo movable, como las cubetas de Fortin, gracias al tornillo *G* (fig. 4.<sup>a\*</sup>); de la caja arranca el tubo ancho *C*, que tiene un tabique a cierta altura, más arriba del cual se ensancha formando la ampolla *O*, en cuya parte superior se suelda al tubo *A* que forma la rama larga del barómetro.

Esta rama, al entrar en la ampolla *O*, se adelgaza y tuerce para salir de ella formando un tubo delgado que marcha paralelamente al primero, hasta entrar en la misma caja *C*, de donde arranca el primero. Esta disposición de las dos ramas del sifón permite que ambas formen un conjunto poco voluminoso, y que se pueda meter en la funda metálica cilíndrica protectora, como en un barómetro de los otros sistemas, con sólo al-

gún mayor diámetro. El mercurio llena la caja *C* de la rama larga *A* y la corta *B* hasta cierta altura. El botón metálico *S* sirve para cerrar el agujerito por donde la rama corta está en comunicación con el aire. Completan el aparato los nonios de las dos ramas y el termómetro unido. En estos instrumentos, el cero de la escala no suele estar hacia la mitad de la columna barométrica, sino que se halla en la rama corta, bien determinado por una especie de reglita que debe de ajustarse a la división cero de la escala;

Esta chapita lleva tres trazos señalados que deben de coincidir con tres divisiones de la escala, y el borde inferior de ella marca el cero de la graduación. Moviendo el fondo de la cubeta por medio del tornillo *G*, se levanta éste y sube el mercurio en *B*, hasta que su menisco esté tangente al lado de la chapita que sirve de índice. Esta operación, como se ve, es idéntica al enrase de la punta de marfil en los barómetros del tipo Fortin. Conseguido el enrase inferior falta sólo efectuar el de la rama larga y hacer la lectura por medio del nonio correspondiente.

En los aparatos Fuess, la envoltura exterior del tubo de cristal es una funda metálica de bastante diámetro, y el nonio se mueve a frotamiento con el casquillo *N* que lleva su mordaza, lo que permite fijarlo en la posición que se quiera. Para transportar o mover esta clase de barómetros conviene, como en los de Fortin y Renou llenar por completo de mercurio la rama larga, lo que se consigue de un modo semejante al explicado al hablar de aquéllos, moviendo el tornillo *G*. Cuando están llenas de mercurio ambas ramas, es necesario atornillar para tapan el agujero de comunicación del aire exterior con el tubo *B* del barómetro.

Cuando hay necesidad de enviar por ferrocarril el aparato y no se confía a una persona su cuidado en el transporte, se corre el riesgo de que se rompa el tubo, se derrama el mercurio y queda inutilizada la graduación y la funda a causa de las amalgamas que se forman con

\* Véase ANALES DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE METEOROLOGÍA, núm. 2, vol. II, pág. 65.

los otros metales; así, los constructores toman, al hacer las expediciones, grandes cuidados, y envían por separado el tubo de las demás piezas. Colocan aquél perfectamente envuelto en algodones, y si es de tipo de Gay-Lussac le adicionan a la rama corta un trozo de tubo de goma bien ajustado y atado, lleno de mercurio, con lo que forman una U de ramas iguales.

Al montar el instrumento es necesario tomar la precaución de quitar este tubo poco a poco, verter sobre una cápsula el mercurio que contiene e ir inclinando al mismo tiempo el barómetro para que no se derrame el que debe quedar dentro de la rama corta. Con la pipeta se va secando luego poco a poco el mercurio hasta dejarlo al nivel conveniente.

**Barómetros normales.**—En los laboratorios y en los establecimientos centrales de meteorología y pesas y medidas se hallan los barómetros llamados normales, que sirven para determinar con toda exactitud la presión atmosférica en medidas absolutas; con éstos se comparan los demás barómetros y se determinan sus errores instrumentales.

Es evidente que estos instrumentos deben reunir las condiciones esenciales de todo barómetro, pero además, es necesario que todas las correcciones puedan llevarse a extremos innecesarios cuando se trata, por ejemplo, de un barómetro destinado al servicio meteorológico. Por esto el normal debe construirse de modo que:

a) Las lecturas partan siempre de la superficie libre del mercurio de la cubeta.

b) Los enrase hechos en las dos superficies se efectúen en las mismas condiciones.

c) La temperatura del mercurio sea conocida exactamente.

d) La ídem de la escala debe conocerse igualmente.

e) La regla dividida debe ser de una pieza y desmontable.

f) Su material perfectamente conocido y determinado su coeficiente de dilatación.

g) Se deben poder medir con exactitud los meniscos.

h) Las paredes del tubo deben ser paralelas o, al menos, conocerse las desviaciones de los rayos visuales al atravesarlas.

j) Es preciso poder medir la tensión del aire que pueda quedar dentro de la cámara barométrica, ya que el vacío absoluto no puede hacerse.

k) Debe cuidarse de la verticalidad cuando esté colocado para usarlo.

En general, el sistema que mejor se adapta a

estas condiciones es el barómetro de sifón adicionado de catetómetro y termómetro debidamente colocado, unos en la escala, y otros, o bien tocando al tubo barométrico si está con la funda metálica, o separado de él cuando aquél presente el tubo aislado, pero construido el depósito de unos 20 centímetros con un trozo del mismo tubo, para tener la seguridad de que la temperatura señalada en él es la del mercurio de la columna barométrica.

La escala, además de ser desmontable para que se pueda contrastar tantas veces como se quiera, es movable por medio de tornillos y cremalleras, para llevar su cero al hilo medio del retículo del anteojo inferior del catetómetro, con el que se hace el enrase del menisco de la rama corta, quedando luego por hacer la lectura con el anteojo alto después de hacer el enrase en el otro extremo de la columna; completan estos aparatos los niveles y tornillos de nivelación necesarios para buscar la verticalidad.

La rama larga suele ser algo mayor de lo que estrictamente se necesita para disminuir la tensión del aire que pueda ir llenando de burbujas contenidas en la masa de mercurio, y para poder medir por el procedimiento siguiente, debido a Aragó (1), expresado en la fórmula

$$x = \frac{H - H'}{R - I},$$

en que  $x$  es la fuerza elástica del aire en el tubo,  $H$  la altura barométrica inicial,  $H'$  la altura leída después de echar en la rama corta del barómetro un volumen determinado de mercurio, el cual debe hacer subir el nivel en la cámara barométrica

Aun teniendo en cuenta las indicaciones que preceden, adaptables a los tipos más corrientes de barómetros, deben seguirse las instrucciones que envían los constructores con cada aparato, cuando se trata de montar un nuevo instrumento de esta clase, porque cada artista introduce alguna modificación que, sin ser esencial, puede influir en el funcionamiento, o ser causa, de no seguir las indicaciones, de algún percance serio.

(1) Domingo Francisco Aragó, notable físico y astrónomo francés, nació en Estagell, cerca de Perpignan, y murió en París, en el año 1853.

Pertenció al Bureau des Longitudes, fué director del Observatorio de París, continuó midiendo el arco del meridiano desde Dunkerque a Barcelona, comenzando por Delambre y Machain, prolongándolo a Formentera. Se le deben grandes descubrimientos en óptica y muchos procedimientos de investigación, principalmente en física y astronomía. Fué un excelente maestro.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

*Instalación del barómetro.*— El barómetro debe instalarse en una habitación donde no puedan producirse cambios violentos de temperatura, y, por tanto, donde no se encienda fuego, ni de chimenea, ni de estufa, ni de ninguna clase; es mejor una habitación de planta baja que en los pisos superiores, porque en aquélla la temperatura suele ser más regular; también conviene que no sea de mucho tránsito, que en ella sólo se penetre para hacer la observación, y que no haya humedad. El barómetro debe colocarse a buena luz, pero de modo que nunca lleguen los rayos del Sol, ni directamente ni reflejados, y si se cuelga en la pared, ésta debe ser de las llamadas de carga para evitar, en lo posible, las trepidaciones. La altura puede variar según la clase de instrumento, si es de tipo Fortin o de Gay Lussac debe colocarse a una elevación tal que se pueda hacer el enrase de la punta de marfil con la superficie de mercurio de la cubeta o la lectura en la escala inferior cómodamente, ya que esta operación es fundamental; es bueno colocar debajo del aparato una tarima de unos 12 o 15 centímetros de alto, para que el observador pueda sentarse; esta operación resulta muy conveniente cuando hay que usar luz artificial para iluminar la cubeta o la escala. Con barómetros de cubeta ancha y marinos, como no hay que tomar posiciones violentas, se puede colocar el barómetro más bajo, quedando la escala a la altura de la vista del observador. Es una operación recomendable la de poner al aparato una gasa que lo envuelva, para evitar suciedades de moscas, etc., y todos los días, después de quitar el polvo, se debe pasar la piel de gamuza por el aparato.

El barómetro no debe cambiarse de lugar sino por causa muy justificada, y dando cuenta siempre a los Centros con que esté en correspondencia la estación barométrica a que pertenece.

*Lectura del barómetro.*— Esta debe de efectuarse lo más rápidamente que se pueda, a fin de que el calor del cuerpo no ejerza acción sobre el instrumento, pero sin precipitación.

Primero se lee el termómetro unido, en grados y medios grados, pues no se necesita mayor aproximación, estos últimos estimados a ojo si no están marcados, apuntando seguidamente las indicaciones, no confiándolas nunca a la memoria. Luego se procede a hacer el ajuste de la punta de marfil con la superficie del mercurio de la cubeta, para lo cual se mueve el tornillo inferior hasta que la punta de marfil y la de su imagen, vista en el mercurio, *se toquen*. Si el mercurio de la cubeta está bajo, queda un espacio entre la superficie y la punta, que se percibe perfectamente por la claridad que se vislumbra cuando la punta de marfil y su imagen se van aproximando uno al otro; si se pasa del contacto, se forma una pequeña depresión en el mercurio, por lo cual habría que desatornillar para traer otra vez el mercurio a la punta de marfil y proceder luego a subirlo hasta hacer el enrase como se ha dicho antes.

Debe ponerse gran cuidado en la exactitud de la operación que vamos reseñando, y la punta de marfil debe *tocar* a su imagen sin quedar alta ni baja; pero entre dos males, preferibles es que la punta esté sumergida, porque, probablemente, el observador se acostumbrará a hundirla siempre la misma cantidad, lo que no ocurriría con tanta facilidad si quedara un intervalo entre la punta y el mercurio. Si el mercurio está perfectamente limpio y no hay adherencia entre éste y el marfil, puede hacerse el enrase en sentido inverso, es decir, sumergir *un poco* la punta e ir desatornillando y haciendo bajar el mercurio hasta que desaparezca el círculo oscuro, que por sombra en la depresión del círculo se produce alrededor de la punta de marfil. Al desaparecer éste se ve la superficie unida y brillante, y es la señal de haber llegado al límite que se desea.

Esta operación se contrae únicamente al barómetro Fortin, puesto que los demás tipos no necesitan este ajuste del cero de la escala.

Entonces se dan unos golpecitos suaves con la yema de los dedos a la funda de latón; conviene ver a una persona experimentada hacer

esto para evitar que los golpes sean demasiado fuertes. No es fácil que cambie con esto el nivel de la cubeta, pero conviene cerciorarse de ello y aun volver a efectuar el ajuste de nuevo.

Se gira el botón que mueve el nonio y se sube éste hasta ponerlo por encima de la columna de mercurio tres o cuatro milímetros y se baja poco a poco hasta que diste cosa de medio milímetro del menisco, y se dirige la vista de tal

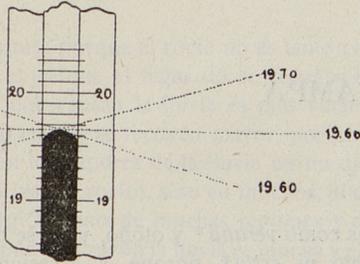


Figura 5.ª

modo que por este intervalo se vea distintamente la superficie oscura e interior del anillo del nonio, situado del otro lado del tubo; se eleva la vista hasta que no se vea la parte interna de referencia por quedar tapada con la escalita del nonio y entonces se acaba de correr hacia abajo hasta que parezca tocar al menisco de la columna. Entonces deben estar ambos bordes, el vértice de la columna y el ojo del observador, en línea recta y horizontal. Si está bien hecho el

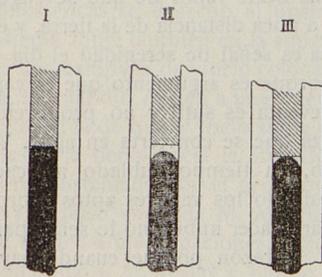


Figura 6.ª

enrase no debe verse luz entre los bordes del anillo y el vértice del menisco y solamente debe pasar por los dos triangulitos laterales, los cuales deben *tocarse* en el vértice de la columna del mercurio, como puede verse en la figura 5.ª y esquemáticamente en la figura 6.ª, en la que se aprecia cómo son defectuosas las lecturas hechas colocando el ojo más alto o más bajo de la horizontal. Para facilitar la visión de la tangencia del nonio con el borde del menisco es para lo que llevan los barómetros a la altura deseada una chapita A de cristal opalino, que hace el efecto

de espejo. Si el aparato careciera de este detalle (figura 7.ª) es suficiente poner en su lugar una hoja de papel blanco.

En las observaciones nocturnas se coloca la linterna a la altura del nonio, dejando el resto del barómetro en la sombra. El canto del nonio, aparentemente tangente al vértice de la columna, indica la altura barométrica. La escala, como sabemos, está dividida por regla general en milímetros y la línea trazada a continuación del canto inferior del nonio marca el cero de éste; hay que tener presente que algunos nonios suelen llevar uno o dos trazos por debajo del cero, lo cual puede inducir a error. La línea de la escala que se halla inmediatamente debajo de la del cero del nonio indica el número entero de milímetros de la columna barométrica o de pulgadas, si el instrumento es inglés.

Suele ocurrir que a veces dos líneas o rayas consecutivas del nonio parece que coinciden con las divisiones de la escala; pongamos por caso las divisiones 7 y 8 y entonces la fracción será el promedio de las indicaciones de esas dos líneas, es decir, de 0,75 milímetros; también suele ocurrir que la coincidencia no se efectúa con ninguna división del nonio o intervalo entre las rayas, y en este caso una de las líneas del nonio está por encima de la raya de la escala y la otra por debajo; entonces se toma como medida la que esté más cerca de la línea de la escala.

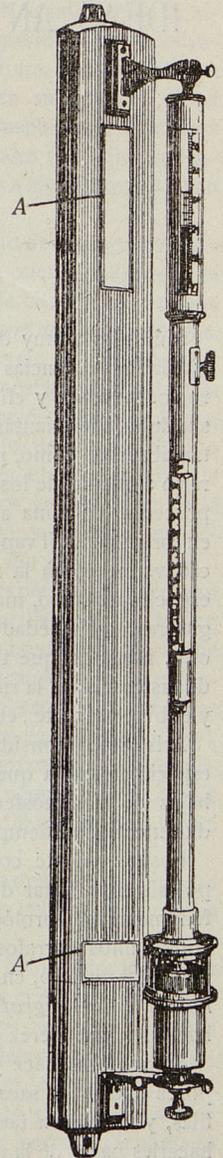


Figura 7.ª

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

La práctica permite apreciar bien hasta las 0,02 en barómetros, cuyo nonio dé la décima de milímetro.

La operación previa indispensable es averiguar el grado de apreciación del nonio, pues es corriente que en vez de estar dividida en 10 partes se divida en 20 y aun en 100 en los aparatos de gran precisión. De todos modos cuando ocurre esto se hacen las rayas del nonio unas mayores que las otras para facilitar las lecturas. En los barómetros de estaciones meteorológicas es corriente el caso en que esté dividido el nonio en 20 partes. Los trazos pares son más largos y dan las décimas y los pequeños las cinco centésimas.

La regla para determinar el grado de aproximación de un nonio es la siguiente: Hágase coincidir el cero con una división determinada de la escala, milímetros, por ejemplo, y véase en el nonio qué división es la primera que coincide con una de la escala, y véase qué representa el espacio entre ésta y la inmediata en la escala. Después se cuentan las divisiones del nonio desde el cero a la coincidencia, y la precisión del nonio resultará de dividir el espacio de la escala en tantas partes como indica el número de rayas contadas en el nonio del cero a la coincidencia. Como por lo común no suelen prolongarse las divisiones del nonio más allá de la primera coincidencia, haciendo engrasar el cero, resulta que el número de divisiones representa la aproximación con respecto a lo que indican las divisiones de la escala. Por ejemplo, si la escala está hecha en milímetros, y haciendo coincidir el cero del nonio, el número 10 de éste es la primera que coincide con la división de un milímetro de aquélla, querrá decir que el milímetro está dividido en diez partes por el nonio; si en las mismas circunstancias son 20 las divisiones del nonio, desde el cero hasta la primera coincidencia, el milímetro estará dividido por el nonio en 20 partes, etc.

Las lecturas en aquellos barómetros que no necesitan el engrase de la punta de marfil, se hacen atendiendo solamente a las in-

dicaciones hechas respecto a escala y nonio.

*Errores de lectura.*—Queriendo llegar al máximo de exactitud en las lecturas habrá que tener en cuenta el error personal, o ecuación personal, debido a las condiciones especiales de cada individuo como observador; este error es casi siempre constante y del mismo sentido, así es que cuando se conoce debe aplicarse, y cuando se teme que pueda ser de consideración, dado el fin que se persiga con las observaciones, es de necesidad determinarlo por comparación de lecturas hechas, eliminando esta causa de error; por ejemplo, las que se hacen con los barómetros de Gay Lussac, que están exentos de esta falta y, por tanto, puede emplearse el procedimiento de leer en este aparato y seguidamente en uno Fortin o de Renou, comparando los resultados.

Los errores debidos a la refracción de la luz al atravesar las paredes del tubo de vidrio que, naturalmente, no guardan el debido paralelismo, es insignificante y completamente despreciable para los usos meteorológicos de las observaciones barométricas.

*Error de capacidad.*—En los barómetros de cubeta fija hay una posición en que la distancia de un punto determinado de la escala a la superficie del mercurio de la cubeta representa exactamente los milímetros de altura barométrica que la misma escala indica y que se llama *punto neutro*. Si la presión aumenta, baja el nivel del mercurio en la cubeta y sube en el tubo, y la distancia entre ambas superficies no es la que marca en la escala, siendo la lectura hecha menor que aquélla; en el caso en que la presión disminuye de la que corresponde al punto neutro, el nivel de la superficie del mercurio en la cubeta aumenta al disminuir la longitud de la columna barométrica y, por tanto, la lectura hecha en la escala es mayor que la que realmente existe. Así, pues, aunque la cubeta de los barómetros llamados de cubeta fija, suelen tener superficie de cien veces la de la sección del tubo, adolecen de la causa de error, llamada de capacidad, y que consiste en lo dicho anteriormente.

Es evidente que si, como ocurre en los barómetros Tonnelot, de nuestras estaciones, la superficie de la cubeta es cien veces mayor que la sección del tubo, al descender una cierta cantidad el mercurio dentro de su tubo, desde el punto neutro, el nivel de la cubeta habrá subido cien veces menos, y la corrección necesaria de las lecturas será, por tanto, de la centésima parte de lo que hubiera variado con respecto a aquel punto. Si, por ejemplo, el punto neutro está en los 760 milímetros y la lectura del barómetro fuera de 768,5, la diferencia de alturas indicada en la escala sería de 8,5 milímetros, y la corrección necesaria de — 0,085 o, mejor, — 0,09, y, por tanto, la lectura verdadera sería de 768,41 milímetros.

La determinación del punto neutro de los barómetros de cubeta fija es operación recomendada a los observatorios, en los cuales se compara el aparato con el normal del establecimiento.

Aunque la corrección debida al error de capacidad no da apenas trabajo, cuando hay que efectuarla tan frecuentemente como requieren las observaciones meteorológicas, no deja de ser pesada, y para simplificar la tarea se suele disponer una tabla en la que, a primera vista, se halla, no la corrección, sino la lectura corregida que corresponde a cada una de las fechas.

Como modelo de tabla de corrección de capacidad damos una en la que el punto neutro corresponde a 752 milímetros.

*Ejemplo de tabla de corrección para un barómetro de cubeta ancha.*

Punto neutro del barómetro: 752 milímetros.

ALTURA		ALTURA		ALTURA	
Observada.	Corregida.	Observada.	Corregida.	Observada.	Corregida.
770	777,18	760	760,08	750	749,98
769	769,17	759	759,07	749	748,97
768	768,16	758	758,06	748	747,96
767	767,15	757	757,05	747	746,95
766	766,14	756	756,04	746	745,94
765	765,13	755	755,03	745	744,93
764	764,12	754	754,02	744	743,92
763	763,11	753	753,01	743	742,91
762	762,10	752	752,00	742	741,90
761	761,09	751	750,99	741	740,89

La construcción de la tabla no tiene dificultad, pues si, como sucede en los barómetros Tonnelot, la superficie del mercurio de la cubeta

es cien veces mayor que la sección del tubo, tendremos que a cada milímetro de variación de altura en éste corresponderá una décima en aquélla, y, por tanto, anotando en columna la serie de milímetros a que puede llegar el mercurio según la estación donde esté instalado, fácil será escribir al lado la altura corregida, puesto que a 752 corresponderá la corrección 0, al núm. 753 corresponderá 753,01; a 754, 754,02; a 751 habrá que poner 750,99, etc. Construida la tabla, es facilísimo usarla: supongamos que la lectura hecha sea de 763,4. A 763 milímetros enteros la tabla da como altura corregida 763,11, y como la altura leída tiene 0,4 más de 763, habrá que sumar éstas a aquella cantidad, o sea a 763,11, lo que daría 763,51. Como se ve, aquí se ha despreciado la corrección referente a 0,4 milímetros, porque no afecta a las centésimas, ya que sería 0,004 milímetros.

*Barómetro de escala compensada.*— Aunque el error de capacidad, como hemos visto, se consigue fácilmente, se ha pensado que por medio de un artificio se podrían construir barómetros de cubeta fija, como los de cubeta ancha y los marinos, en los que no hubiera necesidad de efectuar corrección de ninguna clase por este concepto. Para ello se ha modificado la escala de modo que los espacios que hay de línea a línea no tengan de longitud un milímetro, sino divisiones en que esté compensado el error de capacidad, es decir, que cada división represente  $\frac{100}{101}$  de milímetro; cuando la presión atmosférica aumenta, sube el mercurio en el tubo, por ejemplo:  $n$  divisiones, pero al mismo tiempo baja en la cubeta  $\frac{n}{100}$  de milímetro (nos referimos al caso en que la sección de la cubeta, como ocurre generalmente, sea 100 veces mayor que la del tubo barométrico) y su variación total será:

$$n + \frac{n}{100} \text{ divisiones,}$$

que en milímetros representarán:

$$\left(n + \frac{n}{100}\right) \frac{100}{101} = n,$$

de suerte que el movimiento del mercurio, o el número de divisiones recorridas en la escala, representa con toda exactitud el número de milímetros en que ha variado la distancia entre los dos niveles, del menisco de la columna en el tubo y de la superficie del mercurio en la cubeta.

Los barómetros contruídos con arreglo a este principio, universalmente seguido hoy, se llaman de *escala compensada* y así lo llevan escrito para indicar que sus divisiones no representa milímetros, sino los valores que les corresponden según la relación que haya entre la sección del tubo y la de la cubeta.

El modo de observar con este instrumento en nada se diferencia del ya explicado al hablar de los otros similares.

*Error de índice.*—Como no hay instrumento perfecto, el barómetro se halla en este caso, y para que sus indicaciones merezcan confianza hay que aplicarle varias correcciones, siendo la primera la que proviene de los defectos de construcción, que son inevitables. Los buenos barómetros de los observatorios y de los establecimientos centrales de pesas y medidas, tienen la escala dispuesta de tal modo que se pueda separar del instrumento y colocarla en el comparador para determinar su longitud total y el trazado de sus divisiones; pero la mayor parte de los barómetros no están contruídos de esa manera, y para determinar su error de índice o error instrumental hay que contentarse con compararlos con un instrumento normal o magistral. Con más razón hay que seguir este procedimiento tratándose de barómetros de escala compensada, puesto que en este caso las divisiones no representan milímetros, sino otros valores, según hemos dicho.

Como las comparaciones han de efectuarse en todos los puntos de la escala, y es muy difícil que en el tiempo destinado a esta investigación suba y baje la columna de mercurio del barómetro a causa de las variaciones de presión que habrá de pasar bruscamente de lo que se llama vulgarmente buen tiempo fijo a violentísimo temporal, se ha acudido a un procedimiento que permita aumentar artificialmente la presión

que obra sobre la superficie del mercurio de la cubeta hasta un punto inverosímil en la práctica de las observaciones, y disminuyéndola en la misma o mayor proporción, hasta el punto que no ocurra ningún caso que deje de estar comprendido dentro de los dos extremos.

En los grandes establecimientos existen, con tal objeto, unos aparatos llamados vacuómetros, consistentes en cajas metálicas de diferente forma, según el constructor, que llevan a la altura de las escalas dos grandes ventanas con lunas perfectamente limpias y de caras paralelas, desmontables, por lo común, y por las que se introducen en la caja los barómetros que hay que cotejar y uno normal. Debidamente suspendidos todos, se cierran las ventanas y se ajustan valiéndose de tornillos y ajustes de goma preparados al efecto. Una bomba de compresión inyecta aire y se van haciendo lecturas en los barómetros situados en el interior, tanto en el normal como en los otros, y así se procede hasta el límite conveniente. Se quita la bomba y se hace salir aire lentamente, volviendo otra vez a repetir la operación de las lecturas conforme va descendiendo el mercurio. Al llegar al punto de partida se saca el aire con otra bomba, repitiendo el procedimiento de lecturas, tanto al bajar como al subir la columna barométrica.

Los nonios se mueven por medio de tenazas dispuestas a los lados de la caja del vacuómetro, y el enrase de la punta de marfil en los barómetros del tipo Fortín se efectúan también por medio de otras piezas situadas en la parte inferior de la caja. Por lo común, las diferencias de las lecturas entre el barómetro que está en observación y las del normal son casi iguales, por lo cual se acostumbra a hallar el promedio de estas diferencias y anotar este valor medio como error instrumental.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

La figura 8.<sup>a</sup> representa un vacuómetro del tipo corriente.

Las lecturas hechas a través de las lunas, a distancia considerable, moviendo los nonios por medio de piezas que forzosamente no giran bien a causa de tener que ajustar de modo perfecto para impedir las fugas de aire, etc., son defectuosas; por esta razón, en los observatorios se hacen las lecturas valiéndose de los aparatos conocidos con el nombre de catetómetros, consistentes en una barra perfectamente recta colocada sobre un trípode que forma cuerpo con ella, provisto de tornillos de nivelación para poderla colocar en posición vertical; a lo largo de la columna graduada se desliza un antejo con su nivel y nonio. Un juego de mordazas y tornillos de aproximación facilitan los movimientos lentos y el ajuste de las punterías.

Con el catetómetro se mide la altura de la columna de cada barómetro conforme se va inyectando aire o sacando de la caja de comparaciones; si el catetómetro careciera de escala se coloca una regla dividida o un barómetro a la misma distancia y elevación a que se encuentran los de la cámara y en ella se hacen las lecturas. El antejo del catetómetro lleva dos hilos, uno de los cuales está fijo y el otro puede moverse por medio de un tornillo micrométrico, de modo que la diferencia entre la altura de la columna de mercurio y la división más próxima de la escala del

barómetro normal y las de todos los demás barómetros que se hayan colocado en la cámara para cotejarlos, se puede medir o con la escala vertical y el nonio o con el tornillo micrométrico. De esta suerte se ponen los medios necesarios de comprobar el error de índice en cualquier punto de la escala. Este error puede ser aditivo o sustractivo y así se hace constar en el certificado que los establecimientos centrales expiden.

*Error de capilaridad.*—Debido a que la cohesión del mercurio o atracción molecular es menos enérgica que la de adhesión al vidrio, está la columna en el tubo más baja que la que correspondería a la presión atmosférica, y en tanto mayor grado cuanto menor sea el diámetro de aquél, de modo que, despreciable en la cubeta, tiene la capilaridad mucha importancia en las lecturas que se efectúan de la altura de la columna dentro del tubo, por lo tanto, hay que aplicar una corrección que se llama de capilaridad. La depresión capilar es función del calibre del tubo y de la altura del menisco de mercurio, así que para aminorarla lo más posible

suelen tener los barómetros normales de los establecimientos centrales unos 20 milímetros o más de diámetro; pero aunque de esta manera el error de capilaridad se reduce a algunas centésimas de milímetro, en cambio aumenta la inseguridad de la lectura a causa de la dificultad de poder hacer un buen enrase con el nonio

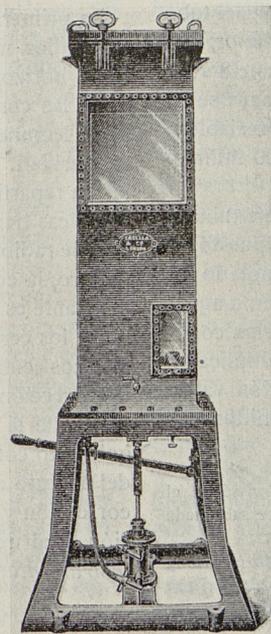


Figura 8.<sup>a</sup>

sobre un menisco casi plano. Para medir la altura del menisco se hace el enrase con el vértice y se lee la altura que señale la escala con la exactitud que permita el nonio; después se baja éste hasta colocarlo en la base del mercurio, es decir, donde empieza la curvatura, repitiendo la lectura en la escala y nonio. La diferencia de las dos lecturas nos proporciona el dato buscado. Si se trata de un barómetro Fortin o de sifón en que haya que llevar al cero la columna del mercurio, debe procederse antes de efectuar estas lecturas a que el mercurio esté más bajo de lo debido, con objeto de que al mover el fondo de la cubeta haya tenido que moverse dentro del tubo en sentido ascendente. Por esto es recomendable dar después de cada observación unas vueltas al tornillo que mueve el fondo de la cubeta en el sentido necesario para que baje el mercurio y quede bastante libre, por ejemplo: hasta la punta de marfil si se trata de un barómetro Fortin, quedando así dispuesto para la lectura siguiente.

Si no se conoce el diámetro interior del tubo se le deduce aproximadamente del exterior, restandole 2,3 milímetros cuando éste tiene 8 a 10, y 2,5 milímetros si llega a 10 o 12; como se ha dicho, el error de capilaridad es despreciable si el diámetro interior del tubo es de 20 milímetros, y nulo cuando tiene 30.

Conocido el diámetro del tubo, y determinada la altura del menisco del modo ya expuesto, se acude a una tabla en que se hayan anotado las correcciones aditivas que corresponden a aquellos datos; suelen disponerse en la forma conocida con el nombre de tablas de multiplicar o de Pitágoras (1). La que a continuación va, es la hecha con numerosos datos obtenidos por Bouvard (2).

(1) Pitágoras, famoso filósofo griego que vivió en el siglo VI, antes de J. C., de cuya vida apenas se sabe nada cierto.

(2) Alejo Bouvard, astrónomo francés, nacido en 1767 y muerto en 1843; fué director del Observatorio de París; se le deben muchos trabajos de investigación y cálculo.

Radio del tubo en milímetros.	ALTURA DEL MENISCO EN MILÍMETROS						
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
2,0	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6	2,7	2,8
2,4	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,0	2,1
2,8	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6
3,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,2
3,6	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
4,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8
4,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
4,8	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
5,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4
5,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
6,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
6,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
6,8	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2

La primera columna de la izquierda contiene los radios interiores de los tubos, la primera línea horizontal las alturas del menisco y las otras las correcciones que es necesario aplicar a las lecturas para corregirlas del efecto de la capilaridad. Como los barómetros de cubeta ancha repartidos por nuestras estaciones meteorológicas tienen por regla general cinco milímetros de radio y la altura de su menisco de un milímetro, la corrección que debe aplicarse como constante es de 0,3 milímetros.

En los certificados que expiden los establecimientos centrales del error del barómetro, como la corrección de capilaridad puede considerarse constante si se tiene la precaución de dar un golpecito con la yema del dedo en la armadura del aparato del modo ya indicado, se unen esta corrección y la de índice, dando como corrección total un número que se llama *corrección instrumental o constante del aparato A.*

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

*Corrección de temperatura.*—Todos los cuerpos modifican sus dimensiones con el calor; cuando éste aumenta se dilatan y si disminuye se contraen. A esta ley no se sustraen ni el mercurio ni la escala, por lo cual es necesario tenerlo en cuenta si se quiere hacer comparables las lecturas barométricas consigo mismas o con otras efectuadas de estaciones distintas. Para efectuar estas comparaciones se establece como temperatura tipo la de 0°, y por esto cuando a la altura barométrica se le ha aplicado la corrección debida se dice que está reducida a 0°.

*Tensión de los vapores de mercurio.*—Los vapores mercuriales que se desprenden en la cámara barométrica, evidentemente comprimen la columna mercurial tanto más cuanto mayor es la temperatura, pero de los estudios hechos se deduce que no hay que tener en cuenta el efecto de esta causa de error en las observaciones meteorológicas, puesto que el valor más verosímil de la depresión mercurial por efecto de la tensión de los vapores no llega a 0,03 milímetros cuando la temperatura es de 30°.

*Compresibilidad del mercurio.*—Se ha determinado con medidas de toda precisión la compresibilidad del mercurio y, por tanto, se ha determinado lo que una columna de 760 milímetros disminuye por efecto de su propio peso; de estos trabajos se deduce que el error cometido, si se prescinde de éste, es también despreciable para los trabajos de meteorología, pues el valor de la corrección es de 0,0027 milímetros en la columna de 760.

Pocas serán las ocasiones en que el barómetro esté sometido a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua; en este caso la corrección será aditiva; por lo común, la observación barométrica se hará con temperaturas

mayores que cero grados y entonces la corrección ha de ser sustractiva.

Para determinar la corrección que hay que aplicar por el efecto de la temperatura, se debe tener en cuenta que así como por el efecto de la dilatación del mercurio a temperaturas superiores a 0° las lecturas son mayores que lo que les correspondería si la lectura fuese hecha a 0°, en cambio, por el mismo efecto de la dilatación, las divisiones de la escala serían mayores y el mercurio aparecería más bajo que lo debido. Así, pues, ha sido preciso estudiar todas estas causas, y de este trabajo se ha deducido que la variación de la altura del mercurio por efecto del calor es mayor que las variaciones correspondientes al metal de la escala y es preponderante el efecto del mercurio al de los otros elementos reunidos. Fácilmente se comprende que así como la altura barométrica a 0° tiene longitud determinada, cuando se observa a 5° sobre cero, esta longitud será mayor que aquella en cierta medida, y que a su vez la de la columna a 0° también será mayor en la misma cantidad a la de la columna a 5° bajo cero; de suerte que si queremos reducir las alturas al tipo de 0°, habrá que restar en el caso primero la cantidad en que excede y sumar en el segundo caso la que le falta.

Está determinada con toda exactitud, como sabemos, la fórmula que expresa la ley de variación de la columna barométrica en función del calor, teniendo en cuenta la dilatación del vidrio, el mercurio y el metal de la escala, pero como resulta muy molesto tener que hacer en cada caso especial los cálculos necesarios, se tabulan los valores en la forma que puede verse en tablas adecuadas, también de doble entrada.

Se busca en la línea primera la presión que más se aproxime a la leída en el barómetro; de

# REDUCCIÓN DEL BARÓMETRO A 0°

Alturas barométricas.

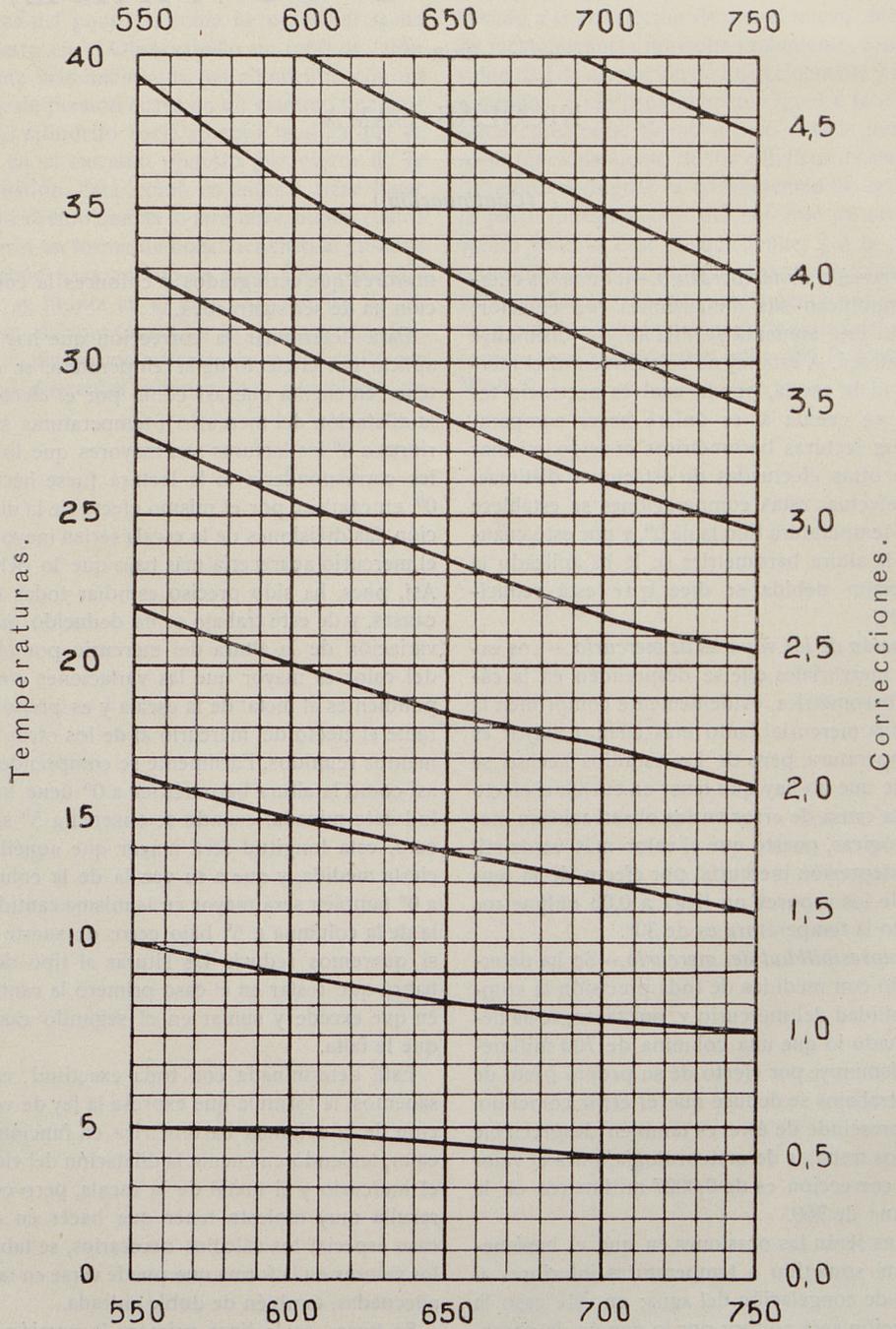


Figura 9.ª

igual modo se procede en la primera columna, hasta llegar a la temperatura que menos se difiere de la del termómetro unido al barómetro; la corrección se encuentra en la fila correspondiente a esta temperatura y en la columna de la presión primeramente buscada.

*Ejemplos.*

1.º Temperatura del termómetro unido al barómetro superior a 0º.

Altura leída en el barómetro.....	708,3
Temperatura del termómetro del barómetro.....	15,6
Corrección para 710 mm. y 15º,5..	= 1,8
	708,3
	- 1,8
	= 706,5

2.º Temperatura del termómetro unido al barómetro inferior a 0º.

Altura leída en el barómetro.....	693,7
Temperatura del termómetro del barómetro.....	4,2
Corrección para 690 mm. y - 4º..	= 0,5
	693,7
	+ 0,5
	= 694,2

*Ábaco de reducción.*—En vez de la tabla de reducción se puede hacer uso del cuadro gráfico o ábaco adjunto; como se indica, las columnas representan las alturas barométricas corregidas de error de índice y de capilaridad, empezando por la presión de 550 milímetros y siguiendo las restantes hasta la de 750 de 10 en 10 milímetros, pero a la vista se puede hallar hasta la unidad. Las temperaturas se representan de grado en grado desde 0 hasta 40 en las filas, pudiendo también apreciarse fácilmente hasta la décima de grado. Las líneas curvas representan las correcciones de 5 en 5 décimas de milímetro y también fácilmente se pueden apreciar las décimas. El manejo del cuadro presenta mucha analogía con la tabla de doble entrada; se busca primero en la línea de la cabeza del cuadro la presión leída y corregida de error instrumental; se sigue la columna en que está hasta llegar a la fila correspondiente a la temperatura del termómetro unido, y al punto de encuentro corresponderá una línea curva que si no

está dibujada en el cuadro quedará comprendida entre dos de las dibujadas y a la cual fácilmente se le asignará el valor que le corresponde, pues las que están dibujadas llevan en el margen de la derecha la corrección que representan. Con algunos ejemplos quedará aclarado el manejo del cuadro:

h. Altura barométrica..... 709,7  
 t. Temperatura del termómetro unido + 21,4 corrección..... - 2,6

---

Altura barométrica corregida..... = 707,1

h. Altura barométrica..... 751,5  
 t. Temperatura del barómetro unido - 4,8 corrección..... + 0,5

---

Altura barométrica corregida..... = 732,0

Si no se dispone de las tablas ni tampoco tenemos a mano el cuadro gráfico que antecede, se puede recurrir en último grado a la fórmula empírica siguiente, fácil de retener en la memoria: Réstese del número que da la altura barométrica, después de aplicadas las correcciones de capilaridad y de índice, el número de grados que marca el termómetro dividido por ocho, considerado como milímetros, así por ejemplo:

1.º Presión observada..... 770,22  
 Temperatura 25º

$$\frac{25}{8} = 3,12$$

Corrección..... - 3,12

---

Altura corregida..... = 767,10

2.º Presión observada..... 732,07  
 Temperatura 18º

$$\frac{18}{8} = 2,25$$

Corrección..... - 2,25

---

Altura corregida..... = 729,82

Aunque esta fórmula es sólo exacta hacia 765 milímetros, puede admitirse como cierta para los trabajos meteorológicos, en que los nonios de las escalas no permiten mayores aproximaciones de  $\frac{1}{20}$  ó  $\frac{1}{5}$  de milímetros.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

*Otras correcciones.*—Las correcciones que anteceden pueden imputarse al aparato mismo y una vez aplicadas, sirven para determinar la presión atmosférica del momento de la observación en el lugar en que está el instrumento y a la altura sobre el nivel del mar a que se halla la cubeta. Puesto que la densidad del mercurio es constante, esta presión, por ser esencialmente variable con la posición geográfica y topográfica de la localidad donde se hace la medida, no sirve, como se ha dicho, para estudios de conjunto de la atmósfera, a no ser que se eliminen los efectos independientes de ella, es decir, que se reduzcan las lecturas a una misma capa horizontal y a una misma posición geográfica.

Se establece como posición geográfica normal la latitud de 45°, y como capa horizontal generalmente la del nivel del mar, la cual por no ser constante ha habido que adoptar una en

cada nación; en España se ha escogido el nivel medio del mar en Alicante.

Para no tener que hacer cada vez los cálculos que indica la fórmula, los Observatorios Centrales de Meteorología calculan las correcciones para todos los casos que puedan presentarse, disponiéndolos de tal modo que sea muy fácil encontrar esas correcciones o, mejor, hallar ya las lecturas corregidas. La disposición de las tablas es de doble entrada, y se usan como cualquiera de las ya expuestas con anterioridad. Las temperaturas de la primera columna de la izquierda son las observadas en el termómetro al aire libre, no las del termómetro unido al barómetro, y las alturas barométricas representadas en la primera fila son las lecturas ya corregidas de error instrumental y de capilaridad.

El modelo de tabla para reducir al nivel del mar y gravedad normal que sigue se da única-

T	ALTURAS BAROMÉTRICAS									
	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699
10,0	747,1	748,2	749,3	750,3	751,4	752,5	753,6	754,7	755,7	756,8
10,5	47,0	48,1	49,2	50,2	51,3	52,4	53,5	54,6	55,6	56,7
11,0	46,9	48,0	49,1	50,1	51,2	52,3	53,4	54,5	55,5	56,6
11,5	46,8	47,9	49,0	50,0	51,1	52,2	53,3	54,4	55,4	56,5
12,0	46,7	47,8	48,9	49,9	51,0	52,1	53,2	54,3	55,3	56,4
12,5	46,6	47,7	48,8	49,8	50,9	52,0	53,1	54,2	55,2	56,3
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....

mente para que se vea la posición en que deben encontrarse los distintos elementos de que consta.

La tabla que sigue, calculada para la temperatura de 0°, da las presiones reducidas al nivel del mar correspondientes a las altitudes que se anotan, tanto contando de derecha a izquierda como de izquierda a derecha del cuadro. La última columna sirve para facilitar los cálculos, y en ella se anotan las diferencias entre los valores de dos filas consecutivas. Esta tabla es de doble entrada, como se ve, y en la fila primera están las presiones leídas y corregidas de error de capilaridad e índice, de 10 en 10 milímetros, y las variaciones de altura están anotadas de 100 en 100 metros. Algunos ejemplos aclararán su manejo.

1.º Sea la lectura barométrica de 700 milímetros la altitud de la columna, supongámosle de 300 metros sobre el mar y la temperatura de 0°. Buscaríamos en la fila de las presiones la de 700, y en la columna de las alturas la de 300, y tendríamos que en el cruce de las dos líneas hallamos el número 728, como el valor de la presión reducida al nivel del mar.

Si la temperatura es distinta de 0° hay que hacer una corrección de un milímetro por cada 7,5 de variación de temperatura.

En general no se presentará el caso tan sencillo como el que acabamos de indicar, pero la interpolación, tanto en el sentido horizontal como en el vertical, es, como se ve, muy sencillo y facilitado por la columna de las partes proporcionales.

2.º Supongamos que se trata de hallar la presión de 719,4 observada en una localidad de 388 metros de altitud y temperatura de 21°.

La tabla da para 710 milímetros de presión 300 metros de altura y 0° de temperatura la presión al nivel del mar de 738 milímetros. Para 9 milímetros, 4 más de presión, corresponderá sumarle 9,4; para 88 metros más de altitud es necesario sumarle 8,8, y puesto que  $\frac{21}{7,5} = 2,8$

representa la corrección debida a la temperatura, habrá que restar esta cantidad de las precedentes. Dada la exactitud a que puede aspirarse con el uso de esta tabla debe considerarse 2,8 como 3. La presión reducida al nivel del mar sería  $738 \text{ mm.} + 9,4 + 8,8 - 3 = 753,2$ . El error que se comete utilizando esta tabla está dentro del milímetro, lo que es suficiente en muchos casos.

*Barómetro de cuadrante.*— Suele llamarse

así a los barómetros de mercurio del sistema Gay-Lussac, en los cuales se ha introducido una modificación sencilla para que el movimiento de ascenso o descenso del mercurio en la rama corta del tubo, debido a las variaciones en la densidad de la atmósfera, se transmitan a un índice que, haciéndolo más o menos largo, amplifique aquel movimiento. Por regla general, lo más sencillo es poner un flotador de madera de boj en la referida rama corta del tubo, y, por medio de un hilo de seda, unirlo a una polea que pueda girar y llevar al mismo tiempo el índice. Es evidente que si el hilo está tenso (lo cual se consigue con otro contrapeso algo menor que el flotador) las variaciones de nivel del mercurio harán girar la aguja, y sus indicaciones se pueden hacer bien apreciables si se adiciona un cuadrante donde se marquen divisiones que equivalgan a milímetros de variación en el barómetro. Para esto último se comparan los barómetros de cuadrante con un aparato tipo. Estos instrumentos no son recomendables para observaciones científicas, pues, a más de lo difícil de mantenerlos en perfecto estado, son de manejo embarazoso y las causas de error de mucha consideración. Sólo se usan estos aparatos en las casas, como elemento ornamental.

*Barómetros aneroides.*—La incomodidad y riesgo que supone el transporte de los barómetros de mercurio hizo pensar en la sustitución de estos aparatos por otros más manejables y de menos volumen. De la correspondencia entre Leibnitz y Bernoulli antes del siglo XVIII parece deducirse que al primero se debe la idea de medir la presión atmosférica por medio de un aparato metálico; pero hasta el año 1843 no se conoció el inventado por Vidi, que resolvía el problema, y más tarde, en 1851, Bourdon, por otro procedimiento, daba cima al mismo, con otro aparato metálico llamado barómetro holostérico.

Éstos barómetros, que en esencia no han variado desde su descubrimiento, se conocen con el nombre de barómetros aneroides, abrazando bajo este calificativo todos los que miden la presión atmosférica indirectamente, valiéndose de variaciones sensiblemente proporcionales a las de aquella, experimentadas en cuerpos elásticos debidamente acondicionados. Sin embargo, estas condiciones no pueden llegar al grado de perfección apetecibles a causa de que las láminas delgadas de que se compone el órgano sensible del aparato sufren con el tiempo cambios

Altitud .....	PRESIÓN REAL															Altitud .....	P. P.		
	760	750	740	730	720	710	700	690	680	670	660	650	640	630	620			610	
0	760	750	740	730	720	710	700										0	1,0	
100	770	760	750	740	730	720	710	700									100	0,9	
200	779	769	759	749	739	729	719	709									200	0,9	
300	788	778	768	758	748	738	728	718	708								300	0,9	
400		787	777	767	757	747	737	727	717	707							400	0,9	
500			786	776	766	756	746	736	726	716	706						500	0,9	
600				785	775	765	755	745	735	725	715	705					600	0,9	
700					784	774	764	754	744	734	724	714	704				700	0,9	
800						783	773	763	753	743	733	723	713	703			800	0,9	
900							782	772	762	752	742	732	722	712	702		900	0,8	
1.000								780	770	760	750	740	730	720	710	700	1.000	0,8	
1.100									788	778	767	758	748	738	728	718	708	1.100	0,8
1.200										786	776	766	756	746	736	726	716	1.200	0,8
1.300											784	774	764	754	744	734	724	1.300	0,8
1.400												782	772	762	752	742	732	1.400	0,8

de elasticidad, no sólo por la sustancia que se emplea, sino también por la forma de estar elaborada y construido el aparato; estas reacciones elásticas, que son por completo desconocidas, se unen a las deformaciones que sufre a cambio de las variaciones térmicas y, por último, los detalles de construcción y las múltiples palancas, muelles, poleas, ejes, etc., que llevan, introducen con sus roces defectos materiales, errores que se escapan a la más perspicaz atención. Por estas causas no pueden sustituir a los barómetros de mercurio en los trabajos científicos y

sólo tienen un papel secundario en ellos. El barómetro anerode, sin embargo, presta excelentes servicios cuando se compara asiduamente con un barómetro normal y se sigue la marcha de sus correcciones para poder aplicar a las lecturas aquellas que le convienen.

La caja de Vidi está hecha con metal elástico y poco oxidable; sus paredes onduladas aumentan la superficie y en su conjunto puede decirse que son cajas cilíndricas, cuyo interior está al vacío de aire, llevado éste a su grado máximo.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

Por efecto de la presión atmosférica las bases onduladas de la caja se aplastarían por el centro hasta tocarse, si no se les pusiera dentro o fuera de ellas unos muelles de acero que contrarresten el efecto de dicha presión. Si suponemos fija una de estas cajas por una de sus tapas o bases y libre la otra, se comprenderá que las variaciones de la presión harán que la base libre se comprima o dilate según que aquélla

de acero que atraviesa el pitón *D* en su parte alta. La cara inferior de la caja va atornillada a la platina *b*. El muelle, pues, sostiene separadas las dos caras de la caja *a* que por efecto de la presión atmosférica deberían estar tocándose por el centro. En *b'* del muelle se sujeta el trazo *K*, que se articula con el *l* y éste va unido al eje *O* y hace mover el sistema *mn* cuando la presión al variar obliga al trazo *K* a subir o bajar. Se ata al *n* una cadenita *u*, que se enrosca en el cilindro *q*, en cuya parte inferior hay un muelle en espiral, que hace estar en tensión a la cadena *u*. El muelle espiral y el tambor o polea donde se arroja la cadena, que es a su vez el que lleva el eje donde se coloca la aguja, está montado entre dos platinitas separadas por dos pilares; una de ellas, la *S*, se alarga en forma de brazo y se atornilla en *t* a la platina general *b*. Para ayudar a mantener la tensión de la cadenita se adiciona en el eje *O* el contrapeso *P*. El extremo de *e*, que no está unido al pilar *d*, se suelda a una barra fuerte de hierro *j*, que gira sobre dos puntos *h*. En uno de sus extremos se le deja una prolongación *g*, que apoya en un tornillo, cuya cabeza está embutida en la platina *b* y que al hacerla girar sube o baja, transmitiéndose el movimiento a *g* y a *f*, y, por consiguiente, aumentando o disminuyendo la tensión del muelle *e* hace variar la posición de *q* y, por tanto, la de la aguja. Con este tornillo, pues, se puede llevar el índice a la graduación correspondiente, a la que señale un barómetro de mercurio. Excusado es decir que los barómetros aneroides llevan un cuadrante graduado por comparación con el barómetro normal. El tornillo de corrección asoma la cabeza generalmente por la parte posterior de la caja del apa-

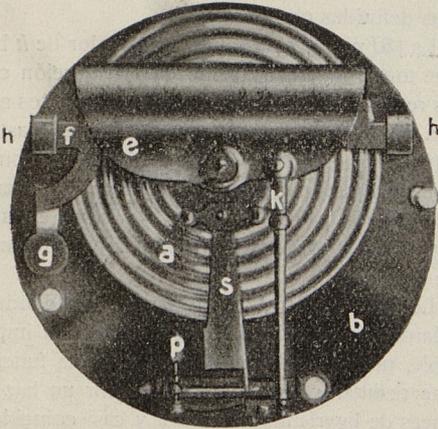


Figura 10.

aumente o disminuya y que estará equilibrada en cada momento por la elasticidad de la lámina metálica de que está hecha la caja y por el muelle adicionado. Una transmisión adecuada hace visible estas variaciones.

La caja de Vidi *a* (véanse las figuras 10, 11 y 12 del tiene soldada en su cara superior el pitón *d*, que a su vez aprisiona al muelle encurvado *e*, pasando por debajo de una varillita

rato, de modo que no es preciso desmontar nada para corregir la posición de la aguja.

Puede ocurrir que por efecto de haber trasladado el barómetro a gran altura o, por el contrario, haberlo llevado al nivel del mar o al foso de una mina, la aguja no señale bien por estar la cadenita completamente arrollada en el cubillo, o viceversa, no siendo suficiente la carrera del tornillo de corrección para dejarla en el sitio conveniente y que tenga aún margen para moverse en un sentido o en otro. Entonces conviene proceder del modo siguiente:

1.º Se quita el bisel que sujeta al cristal de la *esfera*, cosa que suele costar trabajo por su ajuste premioso.

2.º Se coge la aguja por su centro entre las uñas, y sin hacerla girar se tira de ella hacia arriba hasta sacarla de su eje.

3.º Se levanta cuidadosamente la esfera y se hace una señalita en el borde de la caja para tener luego un punto a que referirse para su colocación. Al hacer esto queda a la vista el mecanismo interior del aparato.

4.º Se hace girar el tornillo de corrección hasta que la cadenita esté arrollada hasta su mitad.

5.º Se presenta o coloca sin apretar la aguja, procurando que esté apuntando hacia la división aproximada que deba tener, según el lugar donde se esté.

6.º Se oprime un poco con el dedo la caja barométrica y se observa si obedece bien la cadenita al girar el tambor donde se enrosca.

7.º Se levanta con el dedo el muelle para obligar a la aguja a moverse en sentido opuesto.

Si de esta inspección queda satisfecho el operador puede procederse a colocar en orden inverso las piezas quitadas.

Recomiéndase con especial cuidado la limpieza con un plumerito fino el interior del aparato siempre que haya ocasión, pues es frecuente que entren por el agujero correspondiente al tornillo de corrección insectos o arañas que con sus telas o capullos interrumpen el buen funcionamiento del mecanismo. Debe prohibirse el uso del aceite en los ejes de estos aparatos, pues con la viscosidad que adquieren con el tiempo y el polvo, más entorpecen que facilitan los giros de las palancas.

Lo más grave que puede ocurrir en los barómetros aneroides es que se *pique* o agujeree la caja barométrica, y entonces, al entrar el aire y perder el muelle, el contrapeso de la presión

levante la parte superior de la caja, dejándola en forma de cúpula; no está demás recordar que al hacer el vacío interior en estas cajas sus paredes están deprimidas en el centro.

Si el percance se presenta, el aparato está inutilizado y lo mejor es no tratar de arreglarlo,

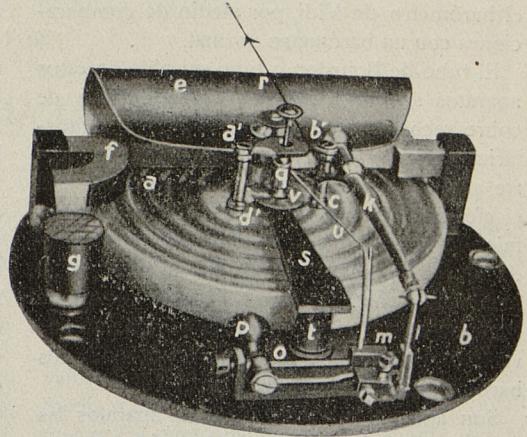


Figura 11.

pues aun suponiendo que se cuente con elementos y habilidad necesarios para hacer el vacío, soldar la caja y cerrarla después de extraído el aire, se tiene la duda de si está resentida y el temor de que se romperá por otro lado. Las averías de carácter mecánico que puedan ocurrir se corrigen fácilmente teniendo el mecanismo a la vista, pues sus palancas se ven y están generalmente dispuestas de modo que es fácil manipular en ellas sin peligro. El dar mayor ten-

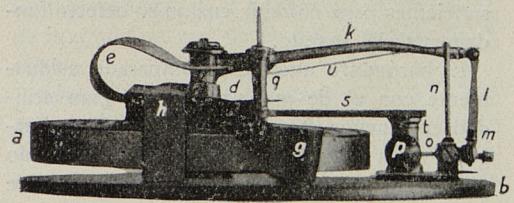


Figura 12.

sión al muelle espiral o para hacer que se arrolle o desarrolle bien, requiere la intervención de un relojero.

El barómetro de Bourdon está formado por un tubo de sección elíptica en el cual se ha hecho el vacío encorvado formando casi una circunferencia. Por el centro se sujeta a la platina y los dos extremos libres del tubo llevan

dos palancas articuladas que hacen girar a un sector metálico que en su borde tiene tallados dientes que engranan en el piñón central que conduce la aguja indicadora; según se mueva el sector en un sentido o en otro la hará girar también en direcciones opuestas:

La graduación de la *esfera* se hace, como en el barómetro de Vidi, por medio de comparaciones con un barómetro normal.

El tubo de Bourdon o tubo sensible de estos aparatos se construye de lámina delgada de cobre recocido; al aumentar la presión atmosférica obliga a encorvarse y lo contrario ocurre al disminuir. En ambos casos contrarresta el efecto de la presión la elasticidad del tubo, mientras que en la caja de Vidi está compensada aquella, no sólo por la de la caja, sino por el muelle adicional. El mecanismo de esta clase de barómetros suele estar a la vista y la caja en que va todo él encerrado es semejante a las de los barómetros anteriormente descritos.

Son aplicables a esta clase de aparatos las observaciones hechas con anterioridad, salvo, naturalmente, las particularidades diferenciales mencionadas.

No siendo posible entrar en detalles de todos los barómetros aneroides en uso, sólo nos hemos detenido en los de Vidi y Bourdon por ser los dos tipos fundamentales, y los demás son variaciones de disposición de los elementos de aquéllos para llenar un fin determinado (menos volumen, más o menos amplificación, variación en la forma de las lecturas, etc.) Al comparar uno de estos instrumentos debe pedirse la nota explicativa de su constitución, y por ella y las observaciones ya hechas se tendrán elementos suficientes para corregir cualquier defecto fundamental del aparato.

El barómetro aneroide, comparado asiduamente con el de mercurio, es de gran utilidad en muchos casos; las lecturas, sin embargo, no son precisas, ya que el error cometido por efecto de la paralaje, es grande, y siempre

debe de tomarse la precaución de dar un golpecito con la yema del dedo sobre el cristal para vencer las resistencias que pudiera haber y que retienen a la pluma en posición diferente de la que después del golpecito se observa. En casi todos los barómetros aneroides que se destinan a usos domésticos se ve en el centro una aguja de latón que puede moverse desde fuera; ésta no sirve más que para tener puntos de referencia y observar cómodamente si la aguja del barómetro se movió en un sentido o en otro.

Por las razones expuestas, a las observaciones hechas con estos instrumentos debían aplicarse las correcciones importantes, pero desgraciadamente poco se ha conseguido en este sentido.

Para compensar los efectos de la temperatura, que hace variar de longitud las palancas, de forma las cajas, etc., se han ideado varios procedimientos, entre los cuales los mejores son el de introducir una palanca bimetálica o dejar en el interior de las cajas un poco de aire; algunos constructores sustituyen el aire por hidrógeno o gas carbónico. Con estos procedimientos se consigue compensar algo los efectos de los cambios lentos de la temperatura, pero los rápidos surten los suyos sin atenuación, ya que cada elemento toma el calor desigualmente en tiempo y en intensidad.

#### *Correcciones de los barómetros aneroides.*—

A pesar de las consideraciones expuestas y queriendo, sin embargo, sacar el mayor partido posible de las lecturas hechas con un barómetro aneroide, puede determinarse el error instrumental y la corrección de temperatura teniendo en cuenta que la altura barométrica verdadera es igual a la observada, mas un término de corrección que depende del instrumento y de la temperatura, pudiendo expresarse en la fórmula  $H = A + a + bt$ . Las dos constantes  $a$  y  $b$  se deducen por comparación con las lecturas hechas en un barómetro de mercurio siguiendo las instrucciones del profesor Marini.

(Continuará.)

# EL BARÓMETRO Y SU MANEJO

POR

NICOLÁS SAMA

(Continuación.)

Sea, por ejemplo, la temperatura del barómetro aneroide  $21^{\circ},5$ , a la cual se leyó la altura barométrica  $757,0$  m/m. Al mismo tiempo la lectura reducida a  $0^{\circ}$  del barómetro de mercurio, colocado en las mismas condiciones de instalación que el aneroide, señala  $756,8$ . Una segunda lectura en el barómetro aneroide hecha, por ejemplo, al aire libre, nos da a  $30^{\circ}$  la lectura de  $758,25$  y la simultánea del de mercurio  $757,45$ . En el intervalo de tiempo transcurrido entre las dos observaciones, la presión varía  $757,45 - 756,8 = +0,65$ . Así, pues, si a la segunda lectura del aneroide le agregamos esta variación,  $0,65$ , tendremos  $758,25 - 0,65 = 757,60$ ; por tanto, la diferencia entre esta altura y la primitiva  $757,60 - 757,0 = 0,60$  se debe atribuir a la variación de la temperatura  $30^{\circ} - 21,5 = 9^{\circ},5$ . A cada grado corresponderá, pues,

$$\frac{0,60}{9^{\circ},5} = 0,063,$$

y por consiguiente, podremos reducir, aplicando este número, a cero grados la primera lectura del aneroide, obteniendo  $757,0 - (0,063 \times 21,5) = 755,65$ , que difiere en  $1,15$  m/m. de la lectura primera hecha con el barómetro de mercurio, después de reducida a  $0^{\circ}$ . Repitiendo la reducción a  $0^{\circ}$  con la segunda lectura del aneroide, se tendrá:

$$758,25 - (0,063 \times 30) = 756,36,$$

que se diferencia de la correspondiente del barómetro normal en  $1,09$ . Puede, pues, tomarse el promedio

$$\frac{1,15 + 1,09}{2} = 1,13$$

como corrección instrumental y, por tanto, sustituir los valores hallados en la fórmula primera, llegando definitivamente a  $H = A + 1,13 - 0,063 t$  para poder reducir las lecturas del barómetro de que se trata a las verdaderas.

En la compensación respecto a las variaciones de la elasticidad de los materiales de las cajas barométricas, ya hemos dicho que nada se conoce y aun está por estudiar tan importante problema. Sin embargo, se ha observado que existe un desplazamiento del cero con el tiempo, el cual adquiere valores que llegan a un milímetro de mercurio por año, acusándose cada vez menos esta variación, cuanto más antiguo se hace el instrumento. Esta variación lenta de las cajas metálicas tiende a dilatarlas y, por tanto, el efecto es el hacer variar el cero hacia las presiones débiles; en cambio, el efecto de la elasticidad de los muelles en la disposición más usual es el contrario.

*Instalación de los aneroides.*—La habitación donde se instale un aneroide de cualquier clase que sea debe estar acondicionada, según las mismas reglas que se dieron para el barómetro de mercurio; pero en la mayor parte de los casos hay que prescindir de toda condición de instalación, pues el fin primordial de estos aparatos es suplir las desventajas que presenta para observaciones, que requieran menos precisión a los barómetros de mercurio; sin embargo, siempre que sea posible hay que huir de los cambios bruscos de temperatura y amoldarse cuanto se pueda a las condiciones recomendadas para todo aparato delicado.

*Barómetros registradores.*—Los fenómenos de variación continua, como la presión atmosférica, no pueden estudiarse por completo, si no se tiene un registro también continuo de esas variaciones; así, pues, ha sido preciso tomar el procedimiento de registrar automáticamente las variaciones de la presión, ya que es imposible observar directamente con la asiduidad necesaria. El registrador nació de esta necesidad, y a esto debe aplicarse estrictamente, ya que, como veremos, no se llegó aún al perfeccionamiento necesario para que estos instrumentos puedan sustituir a la observación hecha con un barómetro de mercurio, de los que ya conocidos.

Todos los registradores están basados en un mismo principio, que es el de utilizar, para hacer patente las variaciones de la presión, las de un sistema de elementos generalmente mecánicos, ópticos o mixtos, de estos dos, con los cuales se obtengan otras proporcionales a las del elemento que se trata de registrar; esta proporcionalidad no existe por completo, y de aquí nacen las causas de error de estos instrumentos, errores además variables con el tiempo y que no pueden, por tanto, darse como constantes del aparato.

Los barómetros registradores, además del sistema que pudiéramos llamar barométrico, órgano esencial del aparato, tiene el registro, mecanismo de relojería que hace mover en sentido determinado la banda de papel, en la que se marcan las fluctuaciones de la presión atmosférica. Esta banda lleva grabada una cuadrícula, cuyas ordenadas representan las presiones, y las abscisas los tiempos. Con ser muchísimas las variedades de los barómetros registradores en uso, pueden agruparse en tipos fundamentales, y entre estos dedicaremos atención solamente a aquellos más perfectos y de uso corriente en las estaciones meteorológicas.

*Aparato de relojería.*—Todos los registradores tienen un aparato de relojería que mueve la banda de papel, como ya se ha dicho; por lo común va dentro de un cilindro metálico y sobre su platina inferior, a la que se une por medio de tornillos; la máquina tiene, engranado con el *barrilete* que lleva la *cuerda*, una rueda de eje largo que sobresale por la platina, en el cual va *ajustado* un piñón de latón que a su vez engrana en una rueda fija con un árbol gordo que atraviesa el cilindro y sobre el cual gira todo el mecanismo, apo-

yándose sobre la rueda fija. El reloj mueve el piñón *P* y éste, al girar, se apoya en la rueda fija *R*. Como todo el cilindro puede moverse sobre el eje *e*, y el piñón *P* está fijo en el suyo,

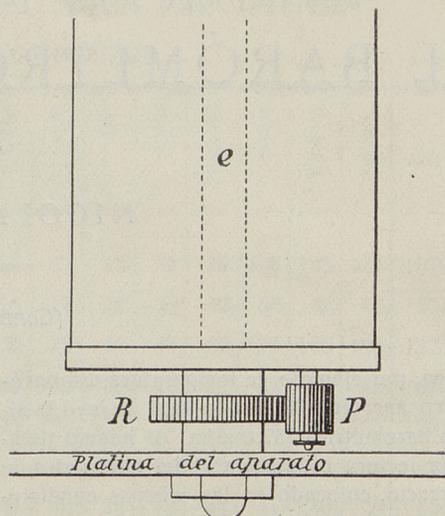


Figura 13.

pues así debe considerársele ya que el frotamiento debe impedir que gire sobre su eje, no queda libre más que el movimiento de rotación alrededor de *e*. El objeto de no fijar de modo permanente el piñón *P* en su eje, es el de poder mover el cilindro a voluntad sin tener que desengranarlo, ya que si con la mano se hace un poco de fuerza vencerá la resistencia del frotamiento para leer una observación, ver un trazo dudoso que no estaba a la vista, etc. Sin embargo, debe proibirse el abuso de esto, porque, naturalmente, si se repite con frecuencia, llega a desgastarse el piñón por dentro, y entonces gira su eje sin arrastrarlo y el cilindro no se mueve.

El aparato de relojería, propiamente dicho, lo compone la máquina de dentro, que va sujeta a la platina inferior por medio de tornillos, los cuales no deben quitarse más que cuando se ha de desarmar por completo el mecanismo, operación sólo encomendada a un relojero. Cuando sólo se desea inspeccionar la causa de algún defecto que se supone de poca importancia hay que proceder del siguiente modo:

1.º Desatornillense los tornillos pequeños que ajustan el *cilindro* metálico en que se enrolla el papel, y tirando hacia afuera se dejará al descubierto el reloj, cuyo rodaje se pue-

de ver con toda comodidad. El elemento más delicado de estos aparatos lo constituye el *escape*, que suele estar montado en platina independiente sujeta con cuatro tornillos, los cuales no se deben quitar a menos de tratarse de persona hábil y después de tomar algunas precauciones, que consisten: a) En meter la llave de dar cuerda en el eje del *cubo* bien apretada y empuñada. b) Con la otra mano se toma el reloj, también teniendo en cuenta que hay que vencer una resistencia fuerte, y con un dedo se levanta el trinquete, que está cerca del eje del *cubo*, y por tanto queda próximo de la embocadura de la llave. c) Déjese girar lentamente la llave, soltando (siempre que la mano que la lleva no pueda girar) el *trinquete* para poder variar la posición. Cuando ya la llave no gira más de por sí, conviene darle un poco de vuelta en el mismo sentido en que lo venía haciendo, para tener la seguridad que el muelle está completamente flojo. d) Antes de quitar la pequeña platina donde va montado el escape debe hacerse con un punzón una señal, recorriéndola toda, para poder colocar luego esta parte en la misma posición anterior. La precaución es esencial, pues de no hacerlo, y si no tiene práctica de relojero, es sumamente fácil dejar el engranaje o demasiado *cerrado* o más *abierto* de lo conveniente, con lo cual no marchará el reloj o pueden producirse desperfectos de importancia.

Al levantar el escape, quitando los cuatro tornillos que lo unen a la platina general, debe limpiarse con un paño y bencina, cuidando de poner un poco de aceite en los aceiteros, *nunca en los piñones*.

El escape suele ser de los llamados de *cilindro*, el cual, si bien es cierto que admite menos precisión en su marcha que los de *áncora*, en cambio es menos delicado y por tanto más *seguro* que los de otros sistemas. Si el operador es hábil, puede levantar el *punte del volante* y con él saldrá el volante y su espiral, sin desarmar las demás piezas, se introducen éstas en bencina limpia y se dejan un rato, después del cual se sacan y secan, pudiendo pasarles un cepillo fino. El aceite se colocará en los aceiteros donde van los ejes y solamente en éstos. Se exceptúa únicamente la *rueda de escape*, que se reconoce por ser de acero, en cuyos dientes se pondrá una gotita de un lubricante; no hace falta que todos ellos lo lleven, pues al estar en marcha se lo

reparten. Requiere especial cuidado al poner todas las piezas en su lugar y debe el operador cerciorarse de ello antes de proceder a dar cuerpo. No debe perderse de vista que todos los tornillos deben quedar *apretados*. Encima del puente del volante van grabadas las letras, que indican hacia dónde hay que correr la piececita que lleva encima, la *raqueta*, para hacer adelantar o retrasar la marcha del reloj, estas letras son: A (adelanto) o R (retraso); pero en los relojes construidos en países donde se habla inglés se sustituyen por las de F y S, que tienen igual significado. En los tambores o cilindros donde se arrolla el papel y dentro del cual va el reloj se suelen repetir estas letras y además indicar con una flecha el sentido en que hay que girar la llave al dar cuerda. Para esta operación se recomienda el contar las *vueltas* de llave que se precisa hasta llegar al final, al cual no debe llegarse en lo sucesivo, dejando una vuelta sin dar, evitándose así posibles roturas del *muelle real*. Todas las demás operaciones que son necesarias para poner el reloj en marcha, si ocurriera alguna avería, son de la exclusiva competencia del relojero.

En los Observatorios y establecimientos centrales se usan barómetros delicados, en que la banda de papel se mueve en un bastidor o en forma de cinta colgante; el aparato de relojería es a la vez un verdadero reloj con sus manecillas para indicar las horas. En estos aparatos el escape es de los llamados de *áncora* o de *clavijas*, y su escape va emplatado con los demás órganos del reloj, por lo cual debe recurrirse al relojero en caso de averías. El motor suele ser de *pesas* y la transmisión del movimiento a la banda de papel o al bastidor se hace por medio de cremalleras o por piñones en ángulo, siendo variables y especiales de cada constructor los detalles.

*Diagramas.*—En las hojas de papel destinadas a recibir el gráfico del aparato registrador se graba la cuadrícula, que sirve de referencia para determinar los valores de la curva representativa de los valores del elemento meteorológico que se trata de estudiar. En esta cuadrícula las abscisas representan los tiempos, horas, medias horas, cuartos o sextas partes de horas en general, y en algunos hasta van representados los cinco minutos. Las ordenadas representan los valores de la cantidad que se trata de medir, milíme-

tros en los barógrafos, grados centesimales en los termógrafos, grados higrométricos, litros por metro cuadrado, etc., etc. Las líneas que expresan los tiempos son unas veces rectas y otras curvas, pero en ambos casos deben poderse recorrer por la pluma o el estilete del aparato en cualquier momento; así, pues, para cerciorarse si está bien trazada la curva, teniendo seguridad de que el estilete no es defectuoso, bastará forzarlo para que tenga que moverse a lo largo de ella, y si constantemente marcha sin separarse estará bien dibujada. Las ordenadas dependen de la amplificación que se quiera dar a la escala, y, por tanto, bastará medir su separación con un doble decímetro. Los gráficos en que tanto las ordenadas como las abscisas son rectas, deben recomendarse sobre los demás, porque a más de ser mayor la facilidad y exactitud del grabado pueden superponerse unas bandas a otras, formando una cuadrícula uniforme, lo que no ocurre con las otras al tener que prolongar la escala y ser preciso colocar dos bandas o más, una al lado de la otra; además de que por no ser los arcos comprendidos entre dos líneas horizontales de igual longitud no se pueden tomar medidas sobre las líneas curvas, sino en las perpendiculares a las primeras, que no están trazadas.

La colocación de la banda de papel en los tambores corrientes de los aparatos se efectúa sencillamente, y sólo con ver el sistema de sujeción en cada aparato se comprende el procedimiento que debe seguirse; no obstante, recomendamos que se efectúe del modo siguiente:

1.º Separación de la pluma por medio de la varillita, que los aparatos llevan con este objeto.

2.º Rotación del tambor en el *sentido de su marcha* hasta poner a la vista y fuera del alcance de la pluma la laminita elástica que sujeta los dos extremos del papel.

3.º Levantar con cuidado esta lámina, teniendo presente que, como está forzada, al salir de la muesca inferior suelen saltar, causando sobresalto o algún desperfecto en los aparatos que están cerca.

4.º Como habrán quedado los dos bordes de la hoja en libertad, debe cogerse al que está del lado opuesto al estilete y tirar de él, mientras que con la otra mano se apoya ligeramente hasta que la hoja esté libre de poderse manchar con la pluma o tropezar en alguna parte del instrumento.

Para colocar la hoja nueva debe también recurrirse a la práctica siguiente:

1.º Cerciorarse de que está bien cortada, sobre todo en el límite inferior, que ha de adaptarse perfectamente al saliente de la platina.

2.º La hoja se tomará con las dos manos y se arrolla en el cilindro, cuidando que sus bordes queden situados enfrente de las escotaduras, en que se colocará la chapita elástica, que los sujetará.

3.º Es preciso que esté completamente adaptada al cilindro y tocando al borde de la platina inferior en toda su longitud, para cerciorarse de lo cual se necesita hacer girar al tambor, *en el sentido de su marcha*, para verlo.

4.º Por el mismo procedimiento se pondrá la aguja en la hora que corresponda al momento en que se hace la operación.

(Continuará.)