

MANUAL

De los barómetros Aneroides y de Mercurio,
por Jhon Henry Belville,
del observatorio real de Greenwich.

DE LA ATMÓSFERA.

El barómetro es un instrumento que sirve para apreciar la pesantez de la atmósfera; y fué inventado en 1643 por Torricelli. Indagando este sabio la causa de la ascension del agua en las bombas hasta la altura de 32 piés, y nunca hasta una altura mayor, hizo el experimento siguiente: Tomó un tubo de cristal de 4 piés próximamente de longitud, cerrado por uno de sus extremos y abierto por el otro, y despues de llenarlo de mercurio, tapó el extremo abierto con un dedo: invirtió en seguida el tubo colocándolo verticalmente con el extremo cerrado hácia arriba, y despues de sumergir el opuesto en un recipiente con mercurio, retiró el dedo. Entonces observó que la columna líquida subia en el tubo hasta la altura de 27,5 pulgadas, contadas desde el nivel del mercurio en el recipiente; y comparando es-

ta altura con la de la columna de agua en las bombas, notó que eran inversamente proporcionales con las gravedades específicas del agua y del mercurio, de donde dedujo que la ascension del líquido procedia siempre de la misma causa. Continuando sus investigaciones, y teniendo en consideracion que el nivel superior de las columnas líquidas no estaba en comunicacion con el aire exterior, y que el nivel inferior era el que estaba en contacto directo con la atmósfera, se convenció de que la causa verdadera de la ascension de las columnas líquidas en los tubos, era la pesantez del aire atmosférico.

La accion que ejerce el aire atmosférico por efecto de su gravedad, puede ensayarse del modo siguiente: Tómese un tubo de cristal, abierto por sus dos extremos, y cuya capacidad interior sea perfectamente cilíndrica; adáptesele un corcho atravesado longitudinalmente por un alambre, con lo cual quedará establecido un émbolo en el tubo; y colocado éste verticalmente, sitúese el émbolo en el extremo inferior: sumergiendo entonces dicho extremo en el depósito de mercurio, oblíguese al corcho á ascender por el ánima del tubo, y se observará que el mercurio va llenando inmediatamente el espacio que deja tras de sí el émbolo al verificar su ascension. Es, pues, el peso del aire, obrando sobre la superficie del mercurio en el depósito, la fuerza que obliga al líquido á ascender tras el émbolo, hasta que el peso de la columna mercurial equilibra la presion atmosférica exterior, en cuyo caso el líquido permanece estacionario; y si se continúa subiendo el piston corcho, quedará entre la base inferior de éste y

el nivel del mercurio en el tubo, un espacio que se llama vacío.

En 1646 repitió Pascal en Rouen las esperiencias de Torricelli, y obtuvo resultados semejantes. Generalizó mas sus operaciones, haciendo uso de líquidos de diversas gravedades específicas, y siempre encontró que sus pesos eran inversamente proporcionales con las alturas á que ascendian por el tubo; pero negando todavía sus contemporáneos la condicion de *pesantez* al fluido invisible que nos rodea, determinó aquel sabio continuar sus esperimentos en la montaña llamada Puy de Dome, cerca de Clermont en Auvernia, repitiéndolos de una manera que confirmase plenamente la evidencia de sus anteriores conclusiones. Al efecto llevó al pié de la montaña dos tubos preparados con mercurio, cuyo nivel superior marcaba en ambos la altura de 28 pulgadas; dejó allí uno de ellos, y principiando á subir con el otro observó que el nivel del líquido iba bajando gradualmente hasta marcar en la cima la altura de 24,7 pulgadas; y al descender de la montaña subia de la misma manera el nivel del mercurio, de tal modo que cuando volvió á colocar juntos los dos tubos, la columna líquida marcaba en ambos la misma altura de 28 pulgadas. Como ya Pascal habia anunciado, al ascender por la montaña, el peso de una columna atmosférica igual á la altura que se recorria, dejaba de gravitar sobre la supercie del líquido en el depósito exterior, y por lo tanto con ese esfuerzo menos era obligado el mercurio á ascender por el tubo. Recíprocamente, al tiempo de descender, el peso de la columna atmosférica se iba au.

mentando gradualmente con el de la porcion equivalente á la vertical de descenso; y este exceso de fuerza debia producir un incremento proporcional en la columna líquida del tubo para que el equilibrio entre ambas fuerzas pudiera subsistir.

Pascal concibió, pues, la idea de medir alturas observando las variaciones del barómetro; pero tropezó desde luego con una dificultad. Comparó la atmósfera con un monton de lana, cuyas capas inferiores experimentan una presion mayor que las superiores; y su sagacidad le hizo comprender que no siendo uniforme la densidad del aire, no podian corresponder á iguales espacios verticales, iguales alturas en la columna mercurial. Aquí terminaron las investigaciones filosóficas de aquel ilustre sabio: en lo sucesivo se entregó esclusivamente á la teología.

En 1666 demostró Boyle que la atmósfera era elástica y compresible; y hácia la misma época probó Mariotte que su densidad era proporcional á la presion ejercida sobre el fluido. La capa inferior de la atmósfera, esto es, la mas próxima á la superficie terrestre, sufre el peso total de la masa fluida y por consiguiente es la mas densa; y á proporcion que van estando menos cercanas á la tierra, va disminuyendo su densidad, porque la presion que experimentan va siendo sucesivamente menor. Père Cotte encontró que á decrementos de densidad en progresion geométrica corresponden alturas en progresion aritmética; de modo que siendo como 1 la densidad á la altura de 1 milla, y como $\frac{1}{2}$ á la altura de 4 millas, tendremos que á las 7 millas será la

densidad $\frac{1}{8}$, á las 10 será $\frac{1}{6}$, á las 13 será $\frac{1}{5}$ &c., porque se verifican estas dos proporciones:

— 1 . 4 . 7 . 10 . 13 . 16 . 19 . alturas de las capas.

— 1 : $\frac{1}{2}$: $\frac{1}{4}$: $\frac{1}{8}$: $\frac{1}{16}$: $\frac{1}{32}$: $\frac{1}{64}$: densidades correspondientes.

Esta relacion, sin embargo, se ve continuamente alterada por los cambios que experimenta la temperatura en las diferentes elevaciones. Dilatándose el aire por efecto del calor, se vé obligado á ocupar mayor volúmen; de modo que 1000 piés cúbicos de aire, por ejemplo, á los 32° de Fahrenheit, ocupan un volúmen de 1054, 34 piés cúbicos si se eleva la temperatura hasta 60° del mismo termómetro. El calor, pues, es causa de que á incrementos iguales de alturas verticales, no correspondan decrementos iguales de las alturas barométricas. Sir George Shuckburgh hizo numerosos experimentos relativos á la accion de la temperatura, sobre el aire atmosférico; y á su laboriosidad se debe una tabla que manifiesta en piés las variaciones de los espacios por efecto de la temperatura, en un decremento de 0,1 de pulgada de la columna de mercurio, suponiendo que la altura natural sea de 30 pulgadas. Por medio de estos trabajos hemos ya logrado medir la altura de las montañas con el barómetro, tan precisa y exactamente como pudiera conseguirse por un procedimiento geométrico.

Existe constantemente en la atmósfera una cierta cantidad de vapor, que, segun las diferentes circunstancias, ejerce una influencia determinada sobre la columna de mercurio: este vapor procede de la continua y espontánea evaporacion del agua en la superficie de la tierra, y por esta razon se llama vapor

acuoso. El aire seco, los vientos, la disminucion de presion y el calor, son las causas que estimulan dicha evaporacion; pero la *cantidad evaporada* depende directamente de la temperatura, porque dilatándose por efecto del calor la porcion gaseosa de la atmósfera, se aumenta la capacidad de los espacios que separan á las moléculas, y en los cuales se aloja la humedad. El vapor acuoso es esencialmente elástico, y su elasticidad, que aumenta con la temperatura, ha sido determinada por Dalton: su fuerza tiene por medida la altura de la columna mercurial, cuyo peso equilibra. A los 32° de Fahrenheit, por ejemplo, ejerce sobre el mercurio una presion igual á 0,2 pulgadas: á los 80° la ejerce de 1,03 pulgadas, á los 180° de 15,00 pulgadas: y á los 212° de 30,00 pulgadas, esto es, igual á la total presion atmosférica al nivel del mar. La cantidad de vapor que contiene la atmósfera, se conoce por medio del instrumento llamado *higrómetro*: el mas generalmente usado ahora se compone de dos termómetros, en uno de los cuales se rodea la ampolleta con lienzo bien humedecido: en este termómetro, y segun la *cantidad evaporada* durante la observacion, será distinta la altura de la columna de Mercurio respecto de la que indique el otro termómetro, espuesto libremente á la accion del aire; y conocida la diferencia de alturas en ambos termómetros, podemos averiguar muy sencillamente aquel grado del termómetro á que debe encontrarse la temperatura del aire, para que la atmósfera quede saturada con la cantidad de vapor que en ella existe en aquel momento.

Supongamos el ejemplo siguiente:

63° Temperatura natural del termómetro.

54° Id. en el termómetro humedecido.

9° Diferencia.

1,8° . . Factor por el que se multip. la diferenc.

16,2° . . Número de grados que debe restarse de los que marca el termómetro al aire libre.

63°

16,2°

46,8° temperatura á que debia encontrarse el aire para que en aquel momento estuviese completamente *saturado* de humedad con la porcion existente en la atmósfera. Buscando en la tabla de Dalton la fuerza elástica correspondiente al vapor acuoso en aquella temperatura, veriamos que era igual á una presion de 0,337 pulgadas.

Si los dos termómetros marcasen la misma graduacion, la temperatura del aire y la de *saturacion* serian iguales; lo cual querria decir que la atmósfera en aquel momento estaba completamente saturada de humedad.

En las noches especialmente, y en las madrugadas de los meses invernales, es cuando la atmósfera se satura de humedad, y cuando este vapor llega á adquirir su máxima elasticidad. En nuestro clima jamas sucede esto con una temperatura elevada, porque si bien en los meses de verano la atmósfera aparece saturada de humedad algunas veces, es por efecto de cierta disminucion de calórico, que contrayendo los espacios que separan á las moléculas de

aire, concentra el vapor contenido en dichos espacios, y le hace adquirir la máxima elasticidad correspondiente á la temperatura de la atmósfera en aquel momento. El Dr. Hutton fundó su teoría de las lluvias en la observacion de los cambios de temperatura de la atmósfera: considera la lluvia como producida por la mezcla de dos capas atmosféricas con diferente temperatura, y saturadas ambas de humedad. La cantidad media de vapor que contienen las dos capas antes de la mezcla, resulta mayor que la que corresponde á la temperatura media de dichas capas despues de la combinacion, por consiguiente la diferencia es la humedad que de alguna manera se ha precipitado.

Sea, por ejemplo:

Temperatura de una capa. 65°	Su tension....	0,617	} Segun las tablas.
Temperatura de la otra... 41°	Id.....	0,274	
		<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
	$\frac{2}{106}$	$\frac{2}{0,891}$	
Temp. media de la mezcla. 53°... Tension media. 0,446 pulgadas.			

Pero segun las tablas, la tension del vapor á los 53° es igual á 0,414 pulgadas; luego la cantidad de vapor correspondiente á la diferencia 0,032 pulgadas entre dichas tensiones, es la que se ha precipitado en forma de nubes, nieblas, ó lluvia.

El calor y la humedad son las causas principales de las variaciones que experimenta el peso de la atmósfera, y por consiguiente de las que marca la columna mercurial en el barómetro. Considérase que la luna obra tambien en el mismo sentido; pero si bien es verdad que aquel astro ejerce alguna influencia, produciendo una especie de mareas en la atmósfera, su accion sobre el barómetro (calculada en $\frac{1}{100}$

de pulgada) es tan insignificante, que aun con los aparatos mas delicados y observaciones mas escrupulosas, seria muy difícil demostrarla satisfactoriamente.

Estas variaciones ú *oscilaciones* del barómetro, son menos considerables en los trópicos que en las zonas templadas y polares: difieren en paises de una misma latitud, y son muy considerables en las islas y territorios montañosos. En el Perú son ordinariamente de $\frac{1}{3}$ de pulgada, en Lóndres de $2\frac{1}{2}$, y en San Petersbugo pasan de 3.

El peso absoluto de la atmósfera al nivel del mar (marcando la columna barométrica 30 pulgadas) es de 15 libras sobre cada pulgada cuadrada, que hacen 2160 libras, ó lo que es lo mismo, cerca de una tonelada, sobre cada pié cuadrado. No deben, pues, sorprendernos los efectos producidos por un cuerpo tan elástico y compresible como el aire, cuando una causa extraordinaria lo pone en movimiento: las suaves brisas del verano y los furiosos huracanes del invierno son una muestra de dichos efectos, segun la diferente velocidad de las corrientes atmosféricas.

CONSTRUCCION Y USO DEL BARÓMETRO DE MERCURIO.

Se conocen varias especies de barómetros; pero el mas á propósito para hacer observaciones meteorológicas consiste en un tubo de 33 pulgadas próximamente de longitud, cuya estremidad abierta se sumerge en una bombeta ó pequeño recipiente lleno de mercurio, con un tornillo en el fondo, cuyo objeto es obligar al nivel del líquido á permanecer

siempre en el mismo punto, esto es, en el cero de la escala. Algunos constructores ponen tambien una especie de flotador para que el observador pueda ver lo que baja ó sube el mercurio en las grandes variaciones barométricas.

Sea *ab* (fig. 1.^a) el tubo de cristal sumergido en el mercurio de la bombeta *C* y *D* la superficie de nivel del líquido correspondiente al cero de la escala: cuando el mercurio sube en el tubo, toda la cantidad que se eleva abandona la bombeta, y por consiguiente la superficie de nivel baja hasta *e*; mas como desde *D* hemos contado la altura de la columna de mercurio, quedaria muy mal apreciada la variacion ocurrida en la atmósfera; pero apretando entonces el tornillo *f* hasta que el flotador *h* vuelva á su posicion inicial, es decir, hasta que el nivel del líquido en la bombeta vuelva á *D*, la altura de la columna nos dirá exactamente la alteracion que ha experimentado la atmósfera. La misma correccion debe hacerse con el tornillo *f* cuando el mercurio baje en el tubo, y suba por consiguiente en la bombeta hasta la línea *g*, por ejemplo.

En los barómetros que no tienen flotador debe conocerse la relacion entre las capacidades del tubo y de la bombeta, lo mismo que la altura de la columna en su *estado neutral*. En este caso, cuando el mercurio suba en el tubo, el exceso de altura deberá dividirse por la relacion de capacidades, y suma-

Fig. 1.^a



do el cociente con la altura observada nos dará la altura verdadera. Cuando el mercurio baje en la columna, la diferencia tambien debe dividirse por la relacion de las capacidades, pero el cociente debe restarse de la altura observada para obtener la altura verdadera.

Supongamos que la relacion entre la capacidad del tubo y la de la bombeta sea de 0,025, y resolvamos la cuestion en ambos casos:

	Pulgadas.	Pulgadas.	
Altura observada...	30,400	Altura observada... 29,500	
Altura neutral.....	30,000	Altura neutral..... 30,000	
Diferencia.....	0,400	Diferencia 0,500	
Cociente de la division por 0,025.. }	0,010	Cociente de la division por 0,025.. }	0,013
Altura verdadera...	30,410	Altura verdadera... 29,487	

La escala del barómetro ordinario que se usa en los observatorios fijos, es movable, y termina en una punta de marfil que llega hasta la superficie del mercurio: cuando esta punta y su imágen aparecen en contacto, la altura indicada es la verdadera. Esta clase de barómetros no necesitan correccion.

Las dimensiones de los tubos para los barómetros varian: ordinariamente se prefieren los de mayor diámetro, porque en éstos se mueve el líquido con mas libertad, y su rozamiento contra las paredes es casi inapreciable; mientras que los tubos de poco diámetro requieren la *correccion capilar*, por la alteracion que sufre la altura de la columna á causa de la adherencia del líquido á las paredes.

Como el intervalo entre la máxima y mínima altura del mercurio en los barómetros no suele pasar

de 3,5 pulgadas, no es necesario graduar la escala desde la parte inferior del tubo, sino que comienzan las divisiones á las 27 pulgadas y terminan á las 31. —La graduacion en el barómetro de Tronhlon para medir grandes elevaciones, comienza en las 15 pulgadas y termina en las 33. Cada pulgada se divide en 10 partes iguales, y cada una de éstas en centésimas por medio de un Vernier (llamado así por su inventor). Este instrumento (fig. 2 y 3) es una regla movable que tiene de longitud una pulgada mas un décimo de pulgada, es decir, $\frac{11}{10}$ de pulgada: estos once décimos se dividen en diez partes iguales, cada una de las cuales será igual por consiguiente á $\frac{11}{100}$, ó lo que es lo mismo, á un décimo de pulgada mas un décimo de un décimo. Cuando el índice del Vernier coincide con una de las divisiones de la escala (fig. 2), cada una de las divisiones del Vernier excederá á la correspondiente de la escala en una fraccion que tendrá por numerador 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ó 10, segun el lugar que ocupe, y por denominador el número de partes que hay desde *a* hasta *b*; por consiguiente, este exceso será $\frac{1}{10}$ de pulgada ó $\frac{1}{100}$; $\frac{2}{10}$ de pulgada ó $\frac{2}{100}$; $\frac{3}{10}$ de pulgada ó $\frac{3}{100}$; y así sucesivamente.

Cuando el índice no coincide con una division de la escala del barómetro (fig. 3), obsérvese cuál de las divisiones del Vernier es la que coincide, y el número colocado enfrente de dicha division, indica el de centésimos que es preciso agregar á las pulgadas y décimos de pulgada. Perfeccionada la graduacion del Vernier, se puede apreciar hasta $\frac{1}{500}$ de pulgada en los barómetros de montaña.

Fig. 2ª

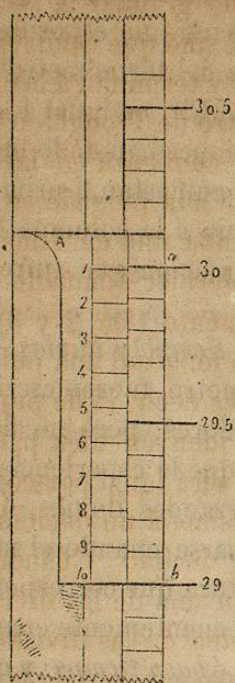
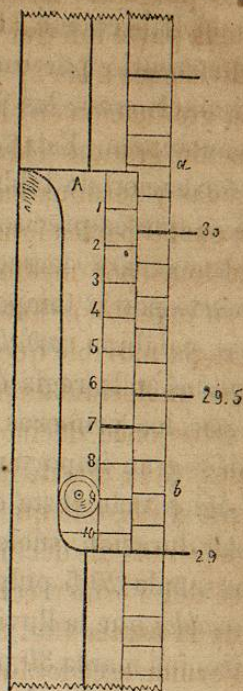


Fig. 3ª



Para indicar la temperatura del mercurio en la bombeta, se hace uso de un termómetro que se adapta al instrumento. Todos los cuerpos se dilatan por medio del calor y se contraen por el frio; y este fenómeno se observa perfectamente en el mercurio sujetando un termómetro al calor del fuego, ó sumergiéndolo en un baño de agua caliente, á medida que el calor aumenta, el mercurio se dilata y asciende por el tubo; y por el contrario, cuando disminuye el calor, el líquido se contrae y descende. Si se introduce el termómetro en una mezcla de hielo y sal comun, el frio desarrollado por la conversion del hielo en agua es tan intenso, que el mercurio baja