

Práctica 13. BARÓMETRO DE MERCURIO Y PSICRÓMETRO

OBJETIVOS

- Medida de la presión atmosférica.
- Determinación de la humedad relativa y de la presión de vapor de agua atmosférico.

MATERIAL

- Barómetro de Mercurio.
- Psicrómetro.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Barómetro de mercurio

La masa de aire que envuelve a la Tierra, la atmósfera, determina, a causa de su peso, una presión sobre todos los objetos situados sobre su superficie. En un lugar determinado el valor de la presión atmosférica experimenta variaciones que están relacionadas, en parte, con los cambios que sufre el estado del tiempo. Sobre la superficie terrestre y a nivel del mar, la presión atmosférica varía alrededor de un valor de 1013300 dyn/cm^2 (o barías) = 1013 mb. Este valor de presión puede tomarse como unidad de medida y recibe el nombre de atmósfera.

La presión atmosférica puede medirse utilizando el barómetro de mercurio (ver figura 1), con la célebre experiencia de Torricelli: un tubo de vidrio cerrado por un extremo, de unos 100 cm. de longitud, se llena completamente de mercurio y evitando que éste se vierta, se invierte e introduce el extremo abierto en el mercurio contenido en una cubeta, situando el tubo en posición vertical. Torricelli llevó a cabo esta

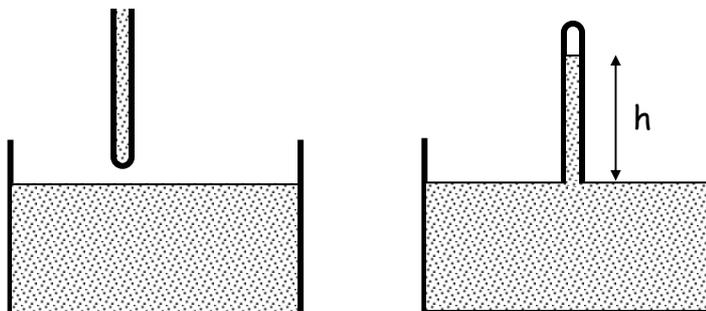


Figura 1

experiencia, en el año 1643, y observó que el nivel del mercurio descendía dentro del tubo, hasta quedar una columna (columna barométrica) de unos 76 cm sobre el nivel del mercurio en la cubeta. La diferencia de niveles, h , del mercurio en el tubo y en la cubeta nos permite calcular la presión atmosférica. El espacio que se forma sobre la columna barométrica (cámara barométrica) sólo contiene vapor de mercurio, cuya presión podemos pasar por alto por ser muy baja a las temperaturas ordinarias. Si es ρ la densidad del mercurio y g la aceleración gravitatoria, la presión atmosférica será $P = \rho gh$.

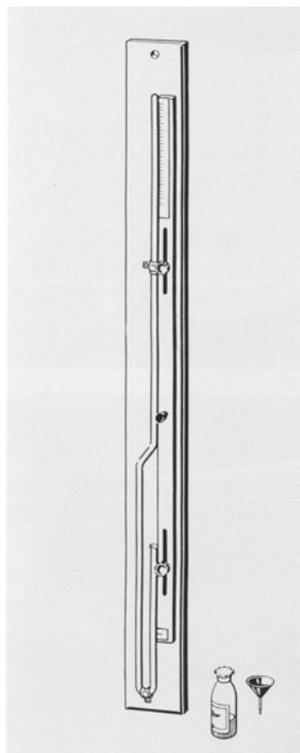


Figura 2

Adosando una escala graduada al tubo del dispositivo, se tiene el llamado barómetro de Torricelli.

Para conocer la longitud de la columna barométrica es necesario efectuar la lectura de dos niveles: los del mercurio en el tubo y en la cubeta. A fin de evitar esta última, se recurre a diversos artificios. Así, en el barómetro de Fortin, se hace coincidir siempre el cero de la escala con el nivel del mercurio en la cubeta, lo cual se consigue abollando en mayor o menor grado el fondo de la cubeta, que es de piel, mediante un tornillo de regulación. De este modo se modifica el volumen de la cubeta hasta conseguir que la superficie libre del mercurio en ella haga contacto con la punta de un índice de marfil, colocado de manera que, en estas condiciones, la superficie libre del mercurio de la cubeta coincida con el cero de la escala graduada.

Existen también otros barómetros llamados normales y de control, basados en el principio del llamado "barómetro de sifón y cubeta" y cuyo esquema se presenta en la figura 2. Estos barómetros tienen la ventaja de que, debido a la igualdad de los diámetros de los dos tubos de medición, no es preciso hacer la corrección de capilaridad.

En los llamados barómetros de escala compensada o de Tonnelot, que son los más empleados, las divisiones de la escala no son verdaderos milímetros, sino longitudes algo menores, calculadas de modo que, sin necesidad de efectuar el enrase del mercurio en la cubeta, se pueda realizar directamente la lectura barométrica en milímetros. Éstos tienen el inconveniente de que una pérdida fortuita de mercurio produce un error sistemático, por defecto, en las lecturas.

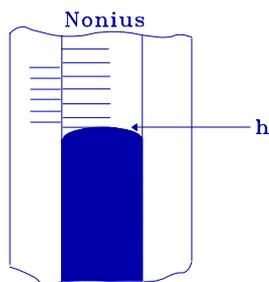


Figura 3

Lectura del barómetro. La lectura de la altura h de la columna barométrica se efectúa, en el caso de los instrumentos de precisión normales en los laboratorios de Física, sobre una escala graduada en milímetros, grabada sobre un cilindro de latón que rodea y protege el tubo de vidrio. En este cilindro hay dos ventanas, en posición anterior y posterior que permiten observar el extremo de la columna de mercurio cuya posición se puede precisar mediante un nonius corredizo accionado mediante un tornillo. La lectura se realiza como se indica en la figura 3. La envuelta de latón lleva adosado un termómetro, en el que se leerá la temperatura a que se encuentra el instrumento en el momento de efectuar la lectura.

Correcciones barométricas. Para determinar el valor de la presión atmosférica a partir de la lectura del barómetro deben aplicarse varias correcciones:

1. **Corrección de temperatura.** Es la corrección más importante y en muchos casos es la única que es necesario hacer. El objeto de esta corrección es tener en cuenta la dilatación que experimenta, por aumento de temperatura, tanto la columna barométrica como la escala graduada. Se debe reducir la lectura a 0°C y así, si es h la lectura barométrica y t la temperatura del instrumento, la corrección de temperatura será:

$$\Delta t = \frac{(\alpha - \beta)t}{1 + \alpha t} h = -0.000163th \quad (13-1)$$

donde $\alpha = 181.5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ es el coeficiente de dilatación cúbica del mercurio, $\beta = 18.4 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ es el coeficiente de dilatación lineal del latón que está fabricada la escala.

Con los valores obtenidos tabulando la expresión (13-1) se ha construido la Tabla I del apéndice, que nos proporciona directamente el valor de la corrección a aplicar para distintas temperaturas y lecturas barométricas.

2. **Corrección de gravedad.** El valor de la aceleración gravitatoria, g , depende de la latitud geográfica del lugar donde se opere y de la elevación, h , sobre el nivel mar. El valor de g viene dado por la ecuación de Helmert,

$$g = \left[1 - 0.002644 \cos(2\lambda) + 7.04 \cdot 10^{-5} \cos^2(2\lambda) - 3.15 \cdot 10^{-9} h \right] g_{45} \quad (13-2)$$

expresándose h en cm y la aceleración gravitatoria en cm/s^2 . En esta expresión $g_{45} = 980.616 \text{ cm/s}^2$ es la aceleración gravitatoria a 45° de latitud y al nivel del mar. λ es la latitud en grados ($^{\circ}$).

Si a la lectura barométrica corregida de temperatura, la llamamos h_0 , y llamamos h_0' a la altura barométrica en condiciones de gravedad normal $g_n = 980,665 \text{ cm/s}^2$, será

$$h_0 g = h_0' g_n \quad (13-3)$$

y teniendo en cuenta (13-2) entonces $h_0' = h_0 + \Delta$, con

$$\Delta = \left[\frac{980.616}{980.665} (1 - 2.644 \cdot 10^{-3} \cos(2\lambda) + 7.04 \cdot 10^{-6} \cos(2\lambda) - 3.15 \cdot 10^{-9} h) - 1 \right] h_0 \quad (13-4)$$

También se han construido tablas que facilitan la aplicación de esta corrección y que se encuentran en el Apéndice de este manual.

3. **Corrección de capilaridad.** Esta corrección depende del diámetro del tubo, y es prácticamente constante para un barómetro dado. Es consecuencia de la depresión que experimenta la columna de mercurio en el tubo, debido a las fuerzas de tensión superficial. El menisco es convexo, ya que el mercurio no moja el vidrio y en consecuencia la altura de la columna barométrica es algo inferior a la que tendría si no existiese el fenómeno de capilaridad. El valor de la corrección, que suele ser pequeño, debe sumarse siempre a la lectura barométrica, y se obtendrá del diámetro interno del tubo y de la altura del menisco. Diámetro del tubo = $+0.05 \text{ mm}$ (Mirar Tabla correspondiente en el Apéndice).

En el caso de no tener el valor en la tabla procédase de la siguiente forma: puede verse que para un valor del menisco fijo, la relación entre el diámetro del tubo (x) y la altura del menisco (y) es aproximadamente exponencial. Por tanto, en general será de la forma $y = B e^{Ax}$. Calculando el logaritmo neperiano en ambos lados se tiene que $\ln y = Ax + \ln B$. Entonces si se define $t = \ln y$, $A' = A$, $B' = \ln B$, tendremos $t = A' x + B'$. Entonces existe una relación lineal entre t y x . Procédase a ajustar por mínimos cuadrados los datos de x y t . Y con los valores de A' y B' , determinar la corrección que debe sumarse al valor medio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Psicrómetro:

En el aire existe vapor de agua en cantidades variables. Se denomina humedad absoluta a la masa de vapor de agua contenida en un m^3 de aire. A las temperaturas del ambiente, da la casualidad de que la humedad absoluta, en g/m^3 viene expresada, con aproximación suficiente, por el mismo número que mide, en tor, la presión P_v del vapor de agua existente en el aire. (Por ejemplo, si $P_v = 11 \text{ tor}$, en un m^3 de aire habrá 11 g de agua en estado de vapor). En general, el aire no está saturado de vapor: es decir, la presión P_v del vapor que contiene suele ser inferior a la presión de vapor saturante P_s a la misma temperatura. El cociente P_v/P_s , expresado en tanto por ciento, se denomina humedad relativa o estado higrométrico del aire U . Tenemos pues:

$$U = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \quad (13-4)$$

El valor de U representa, para nosotros, un dato mucho más importante que la humedad

absoluta. En efecto, si $P_v = P_s$, es decir si la humedad relativa vale 100% el aire está saturado de vapor, lo cual indica que el agua, y el sudor de nuestro cuerpo, no podrán evaporarse y que bastará que un cuerpo esté ligeramente más frío que el aire para que en su superficie se condense el vapor en forma de gotas (rocío). Lo contrario ocurrirá si P_v/P_s es muy inferior a la unidad; diremos entonces que el "aire es seco" porque la evaporación será rápida y los cuerpos higroscópicos no se humedecerán fácilmente. Si la temperatura del aire es alta, esto podrá ocurrir incluso con valores elevados de la humedad absoluta porque ya sabemos que P_s aumenta mucho con la temperatura. Puesto que el vapor de agua no saturante se comporta como un gas, la presión que ejerce es proporcional a la cantidad de agua existente en un volumen dado de aire, de modo que la relación P_v/P_s equivale al cociente entre la cantidad de vapor de agua que el aire contiene y la que contendría si estuviese saturado, a la misma temperatura. Es decir $P_v/P_s = m_v/m_s$.

El Psicrómetro es un instrumento constituido por un termómetro ordinario (termómetro seco) que nos da la temperatura t del aire, y por otro termómetro idéntico al anterior (termómetro húmedo), cuyo depósito se recubre de una muselina empapada en agua (ver Fig. 4). Si el aire estuviese saturado, la evaporación sería nula y la humedad relativa 100 %. En general, el aire no está saturado y el agua de la muselina al evaporarse, enfriará el termómetro húmedo, que señalará una temperatura $t' < t$. Evidentemente, la diferencia $t - t'$ aumenta si la humedad relativa disminuye. La presión de vapor P_v existente en el aire viene dada por:

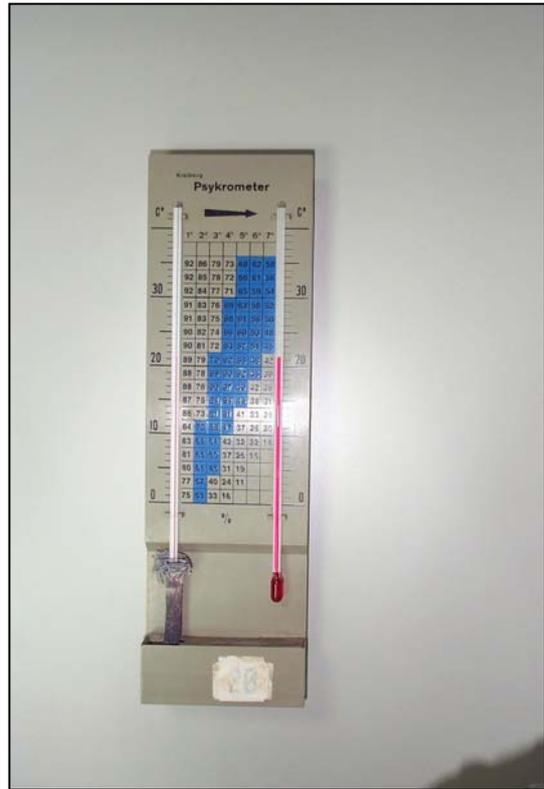


Figura 13-4

$$P_v = P_s' - \frac{P}{2K} (t - t') \quad (13-5)$$

donde P_s' , es la presión de vapor saturante del agua a la temperatura t' del termómetro húmedo; P es la presión atmosférica; t y t' son, como se ha dicho, las temperaturas seca y húmeda; y K es una constante del orden de 630° .

Mediante tablas que den la presión de vapor saturante del agua a cada temperatura deducimos P_s' (a partir de t') y P_s (a partir de t). Si calculamos ahora P_v con estos datos podemos calcular U .

En la práctica, se utilizan tablas que dan directamente P_v y U . A partir de t y t' confeccionadas mediante las fórmulas (13-5) y (13-6), y sustituyendo P por un valor medio de la presión atmosférica.

MÉTODO OPERATIVO

A. Barómetro

En primer lugar, averigüe de qué tipo es el barómetro del laboratorio. Si se necesita ajustar el fondo de la cubeta, esta operación la hará el profesor antes de comenzar la sesión de prácticas.

Si el barómetro es del tipo "de sifón y cubeta", hay que efectuar dos lecturas. Se comienza en el visor inferior y después se pasa al superior. Si es del tipo "escala compensada", sólo hay que hacer una lectura (en el único visor). En ambos casos se procede del siguiente modo:

- Se desplaza el nonio corredizo, por medio del tornillo correspondiente, hasta que su borde inferior sea tangente del menisco.
- Se efectúa la lectura: milímetros sobre la escala graduada y la fracción mediante el nonio. Anote el resultado.
- Lea y anote la temperatura en el termómetro del laboratorio.
- Efectúe las correcciones necesarias, utilizando las tablas que figuran en el Apéndice de este Manual.
- Expresé el resultado en mm Hg y en mb (milibares)

B. Psicrometro

- Asegúrese de que la muselina que envuelve el bulbo del "termómetro húmedo" está bien humedecida.
- Lea la temperatura t que marca el termómetro seco" y la t' que marca el "termómetro húmedo".
- Utilizando las tablas unidas al psicrómetro, determine la humedad relativa U .
- Consultando unas tablas de presión de vapor saturante a distintas temperaturas, determine las presiones de vapor saturante P_s y $P_{s'}$ a las temperaturas t y t' de los termómetros seco y húmedo, respectivamente.
- Efectúe la lectura, en el barómetro del laboratorio, de la presión atmosférica realizando las correcciones necesarias.
- Utilizando la expresión (13-5), calcule el valor de la presión del vapor de agua atmosférico y la masa del vapor de agua por m^3 de aire.
- Utilizando la expresión (13-6), determine el valor U de la humedad relativa.

CUESTIONES

1. Razone y deduzca la expresión (13-1).
2. Razone y deduzca las expresiones (13-3) y (13-4).
3. Exprese el valor de la presión atmosférica obtenido en esta práctica en Kg/cm^2 .
4. Haga una estimación de la superficie exterior del cuerpo humano y calcule la fuerza que hace la atmósfera sobre dicha superficie. ¿Por qué nuestro cuerpo no es aplastado por esa fuerza tan enorme?
5. ¿Por qué no sale libremente el líquido cuando se invierte repentinamente una garrafa?
6. Compare los valores obtenidos de la humedad relativa por consulta de tablas y por aplicación de la expresión (13-5). Justifique las diferencias.
7. En las condiciones experimentales de la práctica, qué cantidad de vapor de agua, por m^3 de aire, sería necesario para la saturación ($U = 100 \%$).
8. Cuando se hace funcionar largo tiempo la calefacción en un recinto cerrado, se dice que el aire se "re seca". ¿Significa esto que haya disminuido la cantidad de vapor de agua del aire del recinto?
9. Si la temperatura del aire es de 20°C y la temperatura del punto de rocío es de 8°C , ¿cuánto vale la humedad relativa del aire? ¿Cuántos gramos de vapor de agua hay por cada m^3 de aire? ¿Cuál es la presión parcial de dicho vapor de agua?