PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Cuando escuchamos el informe del estado del tiempo muchas veces recibimos la información sobre la presión atmosférica. ¿Qué es este parámetro y a qué se debe su existencia?

Ya se ha mencionado el hecho de que todo fluido ejerce presión sobre los cuerpos que estén inmersos en él. Para el caso de los líquidos obtuvimos una expresión que nos permite calcular el valor de la presión en dependencia de la profundidad. Los gases, que también son fluidos, ejercen una presión sobre los cuerpos inmersos en ellos. Sin embargo la expresión para el cálculo de la presión en el interior de un gas es diferente de la de los líquidos, debido a que la densidad del gas depende muy fuertemente de la presión. A ésto se debe el hecho de que los gases se consideran compresibles, o sea que se pueden comprimir aplicándoles una presión.

Por ello no vamos a dar una expresión para el cálculo de la presión en el interior de los gases, pues obtenerla requiere de determinados conocimientos matemáticos.

La Tierra se encuentra rodeada de una capa de gas, a la que llamamos atmósfera. En realidad es una mezcla de gases, pero se comporta como uno solo, al que llamamos aire.

La composición de la atmósfera es: 78 % de Nitrógeno, 20 % de Oxígeno, 1 % de Argón y el resto tiene gases como el dióxido de Carbono, Neón, Helio, vapor de agua, etc.

Es decir que todos nosotros nos encontramos constantemente en el interior de un fluido, la atmósfera, que ejerce una presión sobre nosotros, a la que llamamos presión atmosférica, debido a su peso. Esta enorme capa de aire "pesa" sobre nosotros y si no sentimos su acción en una dirección determinada se debe a que, como ya se dijo, los fluidos ejercen su presión en todas direcciones. O sea que de abajo hacia arriba también se ejerce igual presión.

Como ya se ha mencionado la densidad de los gases depende de la presión. Así para el aire, considerándolo como un gas, su densidad depende de la presión a la que esté sometido. En las capas inferiores de la atmósfera la presión es mayor que en las capas superiores, por ello la densidad del aire en la superficie de la Tierra es mayor que en las capas superiores, como puede verse en la tabla de la densidad del aire en función de la altura sobre la superficie terrestre:

Tabla No. 2. Densidad del aire.

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (km)	DENSIDAD DEL AIRE (kg/m^3)
O	1.23
10	0.41
20	0.09
30	0.018

Otros factores que hacen complicado el cálculo de la presión atmosférica son: la diferencia

de temperaturas en las distintas capas, el hecho de que la mezcla de gases atmosféricos no es uniforme y el hecho de que no es exacto el límite superior de la atmósfera.

La presión atmosférica normal, a nivel del mar, es igual a 760 mm de Hg. En otras unidades:

$$760 \text{ mm de Hg} = 1\,013 \text{ mbar} = 14.7 \text{ psi} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Con la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye, entre otras causas, como consecuencia de la disminución de la densidad del aire ya señalada. Por ejemplo en la ciudad de México, situada a aproximadamente 2250 m, sobre el nivel del mar, la presión atmosférica tiene valores típicos de 586 mm de Hg. Esta variación de la presión con la altura sirve para determinar la altura midiendo la presión atmosférica, pero debe tenerse en cuenta que ésta puede depender de otros factores como el estado del tiempo.

Esto puede verse en la siguiente tabla de dependencia de la presión atmosférica con la altura sobre el nivel del mar.

Tabla No. 3. Altura-Presión atmosférica

ALTURA (m)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (mm de Hg)
0	760
500	717
1000	676
1500	638
2000	602
3000	536

La medición de la presión atmosférica tiene gran importancia para la predicción del estado del tiempo. Por ejemplo en el centro de un huracán la presión atmosférica tiene valores por debajo de los valores normales y mientras más bajos quiere decir que más fuerte es el huracán. Generalmente valores bajos de presión atmosférica indican la proximidad de la lluvia y valores altos indican buen tiempo, aunque pueden haber excepciones pues las condiciones en las atmósfera son en extremo complejas y dependen de otros muchos factores además de la presión atmosférica.

Cuando se mide la presión con respecto a la presión atmosférica se le llama presión manométrica. Muchos instrumentos para medir presión están calibrados de tal forma que indican esta presión, o sea que cuando están abiertos al aire indican en su escala cero. Este es el caso de los instrumentos para medir la presión en el interior de las llantas de los automóviles, que normalmente debe ser de 25 a 30 lbf/plg^2 (psi). Esto quiere decir que en el interior de la llanta hay 25 o 30 psi por encima de la presión atmosférica.

De manera que:

$$P_{man} = P - P_{atm}$$

Como se observa aqui la presión manométrica puede tener valores positivos (si $P > P_{atm}$), negativos (si $P < P_{atm}$) o cero (si $P = P_{atm}$).

Por otra parte cuando se mide la presión total, teniendo en cuenta la presión atmosférica, se dice que se tiene la presión absoluta. O sea que:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

Ejemplo No. 6
Calcule la presión absoluta, que sobre el fondo de la cisterna, del ejemplo No. 4, ejerce el petróleo, si la presión atmosférica es 1.013 x 10^5 Pa.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{hidrost}$$
$$P_{abs} = P_{atm} + \rho gh$$
$$P_{abs} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} + 78\,400 \text{ Pa} = 179\,700 \text{ Pa}$$

Ejemplo No. 7
¿Cuál será la presión absoluta en el fondo de la fosa de las Marianas, descrita en un problema anterior, si la presión atmosférica es de 1.013 x 10^5 Pa?

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{hidrost}$$
$$P_{abs} = P_{atm} + \rho$$
$$P_{abs} = 1.013 \times 0^5 \text{ Pa} + 110\,024\,600 \text{ Pa}$$
$$P_{abs} = 110\,125\,900 \text{ Pa}$$

¿Cuántas veces mayor que la presión atmosférica, es esta presión?

$$\frac{P}{P_{atm}} = \frac{110\,125\,900\ Pa}{101\,300\ Pa}$$

$$\frac{P}{P_{abs}} = 1\,087.12\ veces$$

O sea que a esa profundidad la presión es más de mil veces la presión atmosférica.

Si la presión absoluta en un recipiente es menor que la presión atmosférica, tendremos una presión manométrica negativa y a este estado se le denomina vacío. El vacío absoluto, que siginificaría una presión absoluta cero, es un estado ideal, pues no se ha logrado, hasta ahora, en ningún lugar. En los laboratorios se han logrado estados de vacío, con presiones absolutas de hasta 10^{-12} Pa. En el espacio cósmico también existe vacío con valores muy bajos de presión.

El cuerpo humano, así como el de los animales terrestres, está acostumbrado a funcionar bajo la acción de la presión atmosférica. Los fluidos internos del cuerpo, que ejercen una presión compensadora hacia afuera, hacen posible que el cuerpo no se comprima bajo la acción de la presión atmosférica. Los astronautas, en el espacio cósmico, llevan una escafandra que sirve no sólo para suministrarles el oxígeno para la respiración, sino también para mantenerlos a una presión externa similar a la de la Tierra.

La presión atmosférica hace posible el funcionamiento de muchos aparatos en la industria y la vida doméstica. Un ejemplo de ello puede ser el simple popote con el que tomamos líquidos de recipientes. Cuando aspiramos en el popote logramos que la presión en el interior del popote disminuya; como sobre el líquido, en el recipiente está actuando la presión atmosférica, ésta "empuja" el líquido para el interior del popote y por ello lo podemos tomar. De la misma forma podemos mencionar los goteros, que consisten en un tubo con un extremo afinado y en el otro extremo se le superpone una membrana de caucho. Al oprimir la membrana el aire que está en el interior del tubo sale al exterior, provocando que la presión

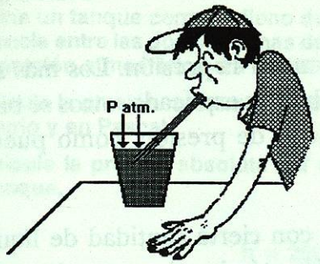

Figura No. 10

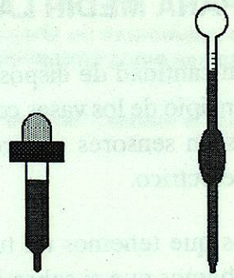

Figura No. 11

en el interior sea menor que la atmosférica; si ahora se sumerge el extremo del tubo en un líquido y se libera la membrana, el líquido penetrará en el tubo bajo la acción de la presión atmosférica. Un instrumento similar es utilizado en los laboratorios de Química, para depositar gotas de líquidos o volúmenes determinados.

La respiración de nuestro cuerpo se realiza por un principio similar. Aspiramos el aire cuando aumentamos el volumen de nuestros pulmones, lo cual provoca que la presión en el interior disminuye con respecto a la presión atmosférica, por lo que el aire penetra al interior. Al expulsar el aire lo hacemos disminuyendo el volumen de nuestros pulmones, con lo cual aumenta la presión, con respecto a la presión atmosférica haciendo que el aire salga al exterior. Es por ello que en las alturas es más difícil respirar, pues aunque aumentamos el volumen de nuestros pulmones y la presión interna disminuye, la presión externa es pequeña y no es suficiente para que el aire penetre.

Lo mismo ocurre en las profundidades del agua; supongamos que un hombre está sumergido en el agua, a 10 metros de profundidad, y tiene en la boca una manguera que lo une al aire en la superficie del agua. Debido,a que sobre su cuerpo está actuando una presión absoluta de alrededor de 2 atm (la atmosférica más la presión hidrostática del agua) no puede con su fuerza muscular hacer que el volumen de los pulmones aumente lo suficiente, para que la presión atmosférica sea mayor que la presión interna y provoque que el aire penetre en los pulmones. Por ello los tanques de aire para los buzos contienen aire a una presión muy grande (por ejemplo a 2 atm), de forma que sea mayor que la presión a la que está sometido el cuerpo del buzo y el aire penetre en los pulmones fácilmente.

EQUIPOS PARA MEDIR LA PRESIÓN

Existen gran cantidad de dispositivos que permiten medir la presión. Los más simples se basan en el principio de los vasos comunicantes, que ya hemos explicado, otros se basan en un resorte y otros en sensores que reaccionan a diferencias de presión, como puede ser un material piezoeléctrico.

Supongamos que tenemos un tubo en forma de U, con cierta cantidad de líquido en el interior. Ya sabemos que si sobre las dos ramas de la U actúa la misma presión el nivel del líquido será el mismo. Supongamos ahora que una de las ramas se deja abierta al aire, por lo que en ella actuará la presión atmosférica, y la otra rama se conecta a un recipiente donde hay un gas cuya presión queremos medir. Si la presión en el recipiente es mayor que la atmosférica el gas empujará al líquido y provocará que el nivel ya no será igual en ambas ramas. De manera que ahora la presión en una rama es la que queremos medir y en la otra será la presión atmosférica más la producida por la capa del líquido que excede al nivel de la otra rama, en una altura **h**. De esta forma midiendo la diferencia de altura de líquido en las dos ramas del tubo podemos conocer la presión en el recipiente:

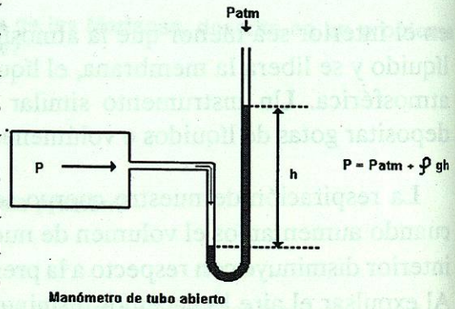

Figura No. 12

$$P = Patm + \rho g h$$

Donde ρ es la densidad del líquido.
g es la aceleración de la gravedad.
h es la diferencia de alturas entre las dos ramas del tubo.

Esta es la misma expresión de la presión en el interior de un líquido, que ya habíamos obtenido.

El dispositivo descrito se denomina manómetro y por cuanto tiene una rama abierta a la atmósfera se le llama manómetro de tubo abierto.

En la mayoría de los casos el líquido utilizado es el mercurio, pues por tener una densidad muy grande (13 600 kg/m^3) permite medir presiones grandes. Puede en principio utilizarse cualquier líquido, pero está claro que si la densidad es menor, la altura **h** tendría que ser mayor, para poder medir iguales presiones.

Como se ve, la presión queda determinada por la altura que tenga el líquido, por lo cual algunas unidades de presión se han tomado como si fueran unidades de longitud. Tal es el caso de la unidad mm de Mercurio (mm de Hg), de la que ya hablamos anteriormente.

Ejemplo No. 8
Se tiene un tanque cerrado, lleno de oxígeno, que al conectarle un manómetro de tubo abierto la diferencia entre las dos columnas de mercurio fue de 250 milímetros como se muestra en la figura. Si la presión atmosférica era de 760 mm de mercurio:

a) Calcule la presión manométrica del oxígeno, dentro del tanque. Exprese el resultado en mm de mercurio y en Pascal.

b) Calcule la presión absoluta del oxígeno dentro del tanque.

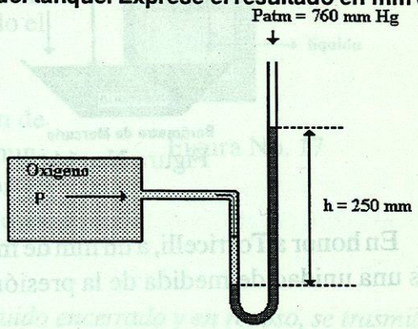

Figura No. 13

Datos:
h = 250 mm de Hg
P_{atm} = 760 mm de Hg
1 mm de Hg = 133.29 Pa

Solución:
a) P_{man} = 250 mm de Hg
P_{man} = 250 mm de Hg x 133.29 Pa/mm de Hg
P_{man} = 33 322.5 Pa

b) $P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$
P_{abs} = 760 mm de Hg + 250 mm de Hg
P_{abs} = 1 010 mm de Hg

En el caso de los manómetros que se utilizan para medir la presión en las llantas de los automóviles, su funcionamiento se basa en un resorte acoplado a una escala. Cuando el aire de la llanta actúa sobre el resorte lo mueve haciendo salir la escala, lo cual nos permite conocer el valor de la presión manométrica en el interior de la llanta. Recuerde que en este caso cuando el manómetro está al aire (presión atmosférica), su escala marca cero, o sea que lo que mide es la presión por encima de la atmosférica.

Normalmente la presión atmosférica se mide con el barómetro, que fue inventado por Evangelista Torricelli (1608-1647). En realidad el barómetro es un manómetro modificado. Se toma un tubo, cerrado por un extremo y abierto por el otro, lleno de mercurio y se sumerge en una cubeta, también llena de este líquido. Luego se saca de la cubeta el extremo cerrado del tubo y se situa en posición vertical. Se observará que el nivel del mercurio en el tubo disminuirá un poco, dejando un espacio vacío en la parte superior del tubo. Ello se debe a que la presión atmosférica está actuando sobre la superficie abierta del mercurio de la cubeta y "empuja" al mercurio en el interior del tubo, teniendo en cuenta que en el extremo superior del tubo no hay aire, pues en un inicio el tubo estaba lleno de mercurio. Para una presión atmosférica normal la altura del mercurio sobre el nivel del líquido, en la cubeta, debe ser de 760 mm. Por ello a la presión atmosférica normal se la ha dado el valor de 760 mm de mercurio (760 mm de Hg). Cuando la presión atmosférica dismimuye la altura de la columna de mercurio también disminuirá. Si se usara otro líquido, en lugar de mercurio, la columna que compensaría una presión atmosférica normal tendría mayor altura. Por ejemplo para el agua la altura sería de alrededor de 10.3 m. Esto se comprueba cuando sacamos un vaso invertido de una cubeta con agua y vemos que la misma no se sale del vaso. El mismo principio se aplica en los dispositivos para recolectar el agua de los garrafones de agua potable, donde el garrafón se mantiene invertido, pero el agua no se derrama pues está soportada por la presión atmosférica.

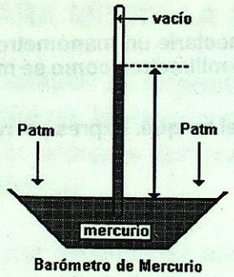

Figura No. 14

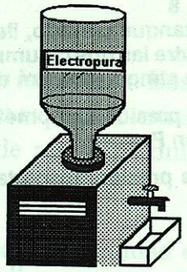

Figura No. 15

En honor a Torricelli, a un mm de mercurio se le conoce con el nombre de Torr, que también es una unidad de medida de la presión.

Otro tipo de barómetro es el llamado aneroide, que basa su funcionamiento en una cámara flexible sobre la cual actúa la presión atmosférica, haciendo que aumente o disminuya su volumen. Esta cámara flexible está acoplada a una aguja que se mueve por una escala indicando la presión atmosférica existente.

PRINCIPIO DE PASCAL

Analicemos de nuevo la expresión de la presión en el interior del volumen de un líquido:

$$P - P_0 = \rho g h$$

de la cual podemos ver que la diferencia entre las presiones sólo depende de la densidad del líquido, de la aceleración de la gravedad y de la altura.

Consideremos dentro del volumen de un líquido dos puntos, A y B, situados a diferentes profundidades, de tal forma que la diferencia de las profundidades entre los dos puntos es h. (ver figura 16). La diferencia entre las presiones en A y en B, solo depende de la densidad del líquido, de la aceleración de la gravedad y de la altura h, por ello:

$$P_A - P_B = \rho g h$$

Si por alguna causa, la presión en A aumenta en un valor dP, la presión en B tiene que aumentar en un valor igual dP, pues si no fuera así la ecuación dada estaría incorrecta y sabemos que es correcta. O sea:

$$(P_A + d_P) - (P_B + d_P) = \rho g h$$

Observe que aquí se está suponiendo, que al aumentar la presión, la densidad sigue con el mismo valor, lo cual ya se había explicado, es válido para líquidos, pero no para gases.

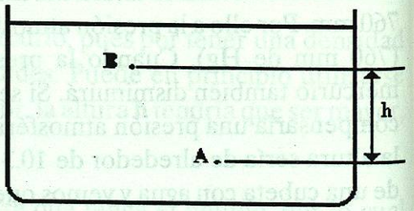

Figura No. 16

El aumento de la presión, en el punto A, puede ser provocado por cualquier causa. Por ejemplo puede que, si el recipiente es abierto, la presión atmosférica aumente; si es un recipiente cerrado, generalmente el aumento de la presión se debe al movimiento de un pistón oprimiendo el líquido (ver figura).

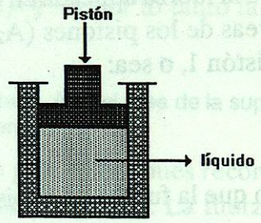

Figura No. 17

El análisis que hemos hecho, basado en la ecuación de la presión en el interior de un líquido, nos lleva al enunciado de un principio de la Hidrostática, conocido con el nombre de *Principio de Pascal* y que se formula de la siguiente forma:

Los cambios de presión, en cualquier punto en un fluido encerrado y en reposo, se trasmiten a todos los puntos del fluido y actúan en todas direcciones.

Este principio fue descubierto por Blaise Pascal(1623 -1662), matemático, físico y teólogo francés, en forma experimental. Ahora, como ya hemos visto, se puede obtener a partir de la aplicación de la ecuación de la presión en el interior de un líquido.

El principio de Pascal se aplica en muchos dispositivos que se utilizan en la vida diaria y en la industria. El ejemplo más típico es el de las máquinas hidráulicas como pueden ser los elevadores y prensas hidráulicas. En estos dispositivos se utiliza un sistema de pistones, llenos de líquido, para "multiplicar" la fuerza aplicada.

Así supongamos que tenemos 2 cilindros, con sus pistones. El cilindro 1 con un área A_1 y el cilindro 2 con un área A_2. Ambos están conectados y totalmente llenos de un líquido, generalmente aceite. Si sobre el pistón del cilindro 1 se ejerce una fuerza F_1, ésta provoca un aumento de la presión en el líquido de:

$$P = \frac{F_1}{A_1}$$

Como ya se ha dicho, según el principio de Pascal, el líquido trasmite la presión sin cambio, por lo que en el cilindro 2 existirá una presión igual, que actuará sobre el pistón del cilindro 2, haciendo que éste ejerza una fuerza igual a:

$$F_2 = P \cdot A_2$$

Sustituyendo aquí la expresión para la presión P, obtenemos:

$$F_2 = \left(\frac{F_1}{A_1}\right) \cdot A_2 = F_1\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

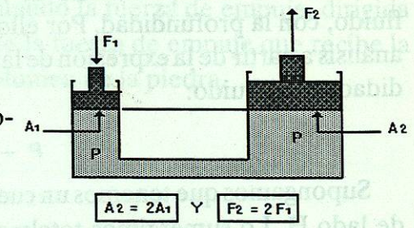

Figura No. 18

Como se puede ver la fuerza obtenida en el pistón 2 es