

1. DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE UN SOLIDO IRREGULAR A PARTIR DE LA LEY DE BOYLE

1.1. Objetivo

El propósito de esta práctica es determinar la densidad de un material sólido de forma irregular y masa conocida sin necesidad de sumergirlo en un líquido. Para ello, el material se coloca dentro de una jeringa con embolo movable, la cual tiene un sensor que permite medir la presión del aire dentro de la jeringa. La lectura en mili voltios del sensor es directamente proporcional a la presión. Al realizar el experimento a temperatura constante y usar la ley de Boyle de los gases ideales se determina el volumen del sólido y por tanto su densidad.

1.2. Materiales

- Una jeringa de 60 ml.
- Un sensor de presión cuyas características son: rango de medición entre 0 y 2 Bar¹. La lectura del sensor en milivoltios es proporcional a la presión manométrica, es decir, a la diferencia entre la presión real a medir menos la presión atmosférica.
- Un multímetro en modo de voltímetro.
- Un sólido irregular.
- Una balanza.
- Cables de conexión

1.3. Resumen teórico

La Ley de Boyle-Mariotte (o Ley de Boyle) es una de las leyes de los gases ideales que relaciona el volumen V y la presión p de una cierta cantidad de gas mantenida a temperatura constante. La ley establece que el volumen es inversamente proporcional a la presión:

$$p = \frac{k}{V} \quad (1)$$

donde k es constante. Expresado de otra manera, la ley de Boyle establece que para un gas ideal el producto pV permanece constante siempre y cuando la temperatura y cantidad de gas permanezcan constantes.

1.4. Descripción del problema

Consideremos el sistema mostrado en la figura 1, el cual consta de una jeringa cuyo extremo se encuentra conectado a un sensor de presión. La conexión entre el sensor y la jeringa es tal que la cantidad de aire dentro de la jeringa permanece constante durante el movimiento del embolo y además lo consideramos como un gas ideal. La lectura del sensor U en milivoltios es directamente proporcional a la presión manométrica, es decir, es proporcional a la diferencia entre la presión del aire p en el interior de la jeringa y el valor de la presión atmosférica p_{atm} . Matemáticamente esto lo escribimos como

$$\Delta p = p - p_{atm} = a + bU \quad (2)$$

donde a y b son constantes desconocidas. La anterior ecuación se puede reescribir como

$$\frac{p}{p_{atm}} = \frac{p_{atm} + a}{p_{atm}} + \frac{b}{p_{atm}} U \quad (3)$$

¹ 1 bar = 1×10^5 Pa

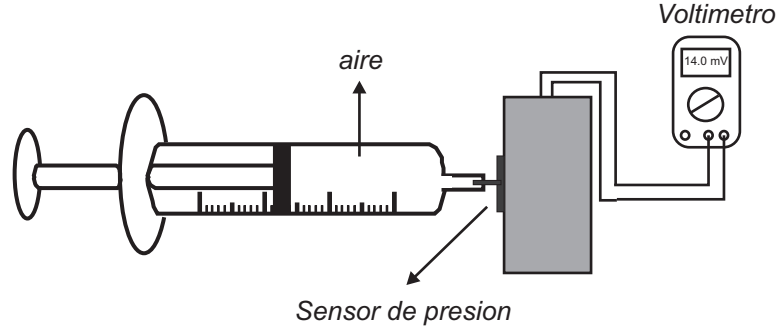


Figura 1: Arreglo experimental para determinar para calibrar el sensor de presión.

reagrupando constantes

$$\frac{p}{p_{atm}} = A + BU \quad (4)$$

donde $A = \frac{p_{atm} + a}{p_{atm}}$ y $B = \frac{b}{p_{atm}}$. Procedamos ahora a determinar los valores de A y B . Si asumimos que la temperatura del aire dentro de la jeringa permanece constante durante el movimiento del embolo, entonces de la ley de Boyle se cumple

$$\frac{p}{p_{atm}} = \frac{V_0}{V} \quad (5)$$

donde V_0 y V representan los volúmenes del aire a las presiones p_{atm} y p respectivamente. De las ecuaciones (4) y (5) resulta

$$\frac{V_0}{V} = \frac{p}{p_{atm}} = A + BU \quad (6)$$

De esta ecuación se sigue que la relación entre $\frac{V_0}{V}$ y U es lineal y por tanto los valores de A y B se obtienen del intercepto de la recta con el eje $\frac{V_0}{V}$ y su pendiente respectivamente como indica la figura 2.

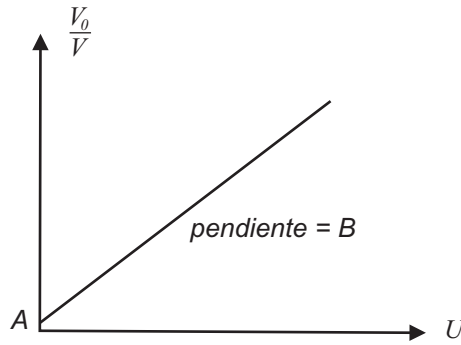


Figura 2: Determinación de las constantes A y B de la ecuación (4).

Así, determinados los valores de A y B , el valor de la presión relativa del aire $\frac{p}{p_{atm}}$ en la jeringa se mide indirectamente midiendo el cociente $\frac{V_0}{V}$ en función de U . Nuestro sensor de presión está calibrado ya!

Consideremos ahora el sistema de la figura 3. En este caso hemos insertado el sólido dentro de la jeringa. De nuevo, usando la ley de Boyle para el aire dentro de la jeringa

$$pV' = \text{const} \quad (7)$$

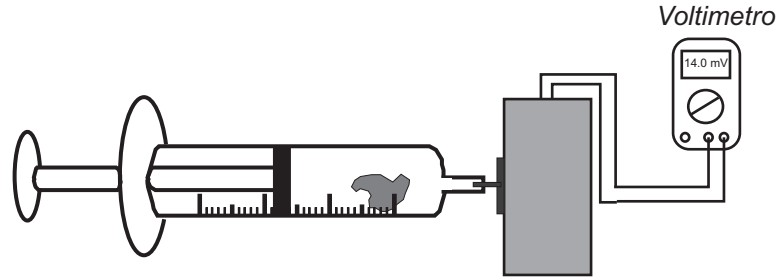


Figura 3: Determinación del volumen V_x del sólido irregular.

donde $V' = V - V_x$ es el volumen de gas en la jeringa, V es la lectura del volumen de la jeringa y V_x es el volumen desconocido del sólido. Realizando un procedimiento similar al hecho en la calibración del sensor se encuentra a partir de la ecuación (7)

$$\frac{p}{p_{atm}} V = c + V_x \frac{p}{p_{atm}} \quad (8)$$

donde $c = \frac{const}{p_{atm}}$. De la ecuación (8) es claro que la relación entre $\frac{p}{p_{atm}} V$ y $\frac{p}{p_{atm}}$ es lineal y por tanto el valor de la pendiente representa el valor de V_x .

1.5. Mediciones

Advertencia: cuando realice las mediciones asegúrese de no coger el cuerpo de la jeringa con la mano, pues al hacerlo modifica la temperatura del aire dentro de la jeringa.

■ Calibración del sensor de presión

Con la jeringa vacía realice las mediciones voltaje del sensor en función de la lectura de la escala de la jeringa. Registre sus datos en la tabla. Comience con un volumen inicial arbitrario, por ejemplo $V_0 = 10$ ml y expanda la jeringa hasta un volumen de 50 ml. Asegúrese que la conexión del voltímetro sea tal que su lectura sea negativa. Por qué ?

Volumen V (ml)	$\frac{V_0}{V} = \frac{p}{p_{atm}}$	Voltaje U (mV)
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		

Tabla 1: Datos experimentales para determinar A y B a partir de la ecuación (5).

A partir de los datos de la tabla grafique $\frac{p}{p_{atm}}$ en función de U . De la gráfica obtenida encuentre los valores de A y B (ver ecuación (4)).

■ Determinación del volumen del sólido suministrado.

Con el sólido dentro de la jeringa, realice las mediciones de voltaje del sensor en función de la lectura de la escala de la jeringa. Registre sus datos en la tabla 1. Comience con un volumen

inicial arbitrario, por ejemplo $V_0 = 20$ ml y expanda la jeringa hasta un volumen de 50 ml. Asegurese que la conexión del voltímetro sea tal que su lectura sea negativa. Por qué ?

Volumen V (ml)	Voltaje U (mV)	$\frac{p}{p_{atm}}$	$\frac{p}{p_{atm}} V$ (ml)
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			

Tabla 2: Datos experimentales y valores calculados de ecuación (8). para determinar V_x

A partir de los datos de la tabla 2 grafique $\frac{pV}{p_{atm}}$ en función de $\frac{p}{p_{atm}}$. De la gráfica obtenida encuentre los valores de c y V_x (ver ecuacion (8)). Nota: la columna 3 de la tabla 2 se obtiene de la tabla 1 Enontrado el valor de V_x , determine el valor de la densidad del sólido dado.

Discuta sus resultados. Observe que este método serviría para determinar por ejemplo la densidad del azúcar, sal o cualquier otra sustancia granulosa. Por supuesto que debemos tomar la precaución de no permitir que estas sustancias entren en el sensor. Para ello, podríamos colocar un pedazo de algodón en la entrada que bloquee el paso de cualquiera de las sustancias usadas.

Referencias

- [1] Tsutsumanova.G, *Physics Education*, 47(2) 1996.
- [2] Serway, R., *FISICA para ciencias e ingeniería*, McGraw-Hill, Tomo 2, México, 2000.