

La ley de Boyle, el análisis de dos experimentos

EDVCATIO PHYSICORVM



Carlos García Torres¹ y Ma. Sabina Ruiz Chavarría²

¹Escuela Nacional Preparatoria No. 2, Universidad Nacional Autónoma de México, Churubusco y Tezontle, C.P. 08040, México D. F.

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, C.P. 04510, México, D.F.

E-mail: carlosg200@yahoo.com.mx, msrsc@hp.fciencias.unam.mx

(Recibido el 9 de Febrero de 2010; aceptado el 25 de Septiembre de 2010)

Resumen

Este trabajo está dirigido para el nivel medio superior (bachillerato) para encontrar la relación entre la presión y el volumen de un gas ideal: la ley de Boyle. Primero, usando materiales fáciles de conseguir como son: una jeringa y varios pesos (libros) y el segundo usando: una jeringa, un sensor de presión y una computadora, para comparar los resultados obtenidos al variar la presión como función del volumen. Se pretende que los estudiantes comprendan los siguientes conceptos: gas ideal, gas real, presión, presión atmosférica, fuerza de fricción, entre otros. Por otra parte, en el primer caso para obtener la relación matemática entre la presión y el volumen, se tiene que hacer un cambio de variable para obtener una relación lineal, además de interpretar correctamente las gráficas correspondientes, las cuales pueden trazarse en papel o bien a través de una hoja de cálculo. En el segundo caso, los estudiantes tienen que comprender el concepto de transductor como lo es un sensor de presión, además de las limitaciones del mismo cuando se analizan los datos a través de una computadora. La manera en que se presenta el trabajo permite que pueda ser usado como guía para una actividad experimental, que pueden desarrollar los estudiantes de este nivel en el laboratorio.

Palabras clave: Ley de Boyle, sensores, experimento para bachillerato.

Abstract

This work is directed to high school to find the relation between pressure and volume of an ideal gas: Boyle's law. First, using readily available materials such as: a syringe and various weights (books) and the second using: a syringe, a pressure sensor and a computer to compare the results obtained by varying the pressure as a function of volume. It is intended that students understand the following concepts: ideal gas, real gas, pressure, atmospheric pressure, frictional force, among others. Moreover, in the first case to obtain the mathematical relation between pressure and volume, you have to make a change of variable to obtain a linear relation, in addition to correctly interpret the corresponding graphs, which are available on paper or through a spreadsheet. In the second case, students need to understand the concept of transducer such as a pressure sensor, as well as its limitations when analyzing data through a computer. The way it presents the work permits that can be used as a guide for experimental activity that can develop at this level students in the lab.

Keywords: Boyle's law, sensors, experiment to high school.

PACS: 07.05.-t, 06.60.Mr, 01.50 Pa, 01.50 Lc.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades experimentales en cualquier nivel educativo, en este caso el bachillerato, brindan a los estudiantes la posibilidad de observar, registrar datos, analizarlos, discutir, explicar y comprender de manera directa los conceptos de física relacionados con un fenómeno determinado. Brindan la posibilidad del trabajo en equipo, asimismo la discusión a todos los niveles de ideas y procedimientos.

Este trabajo tiene una doble finalidad:

1.- Obtener la ley de Boyle con dos métodos diferentes para la medición de las variables, presión y volumen, y comparar los resultados obtenidos.

2.- Ser una guía que pueda ser usada por los estudiantes de bachillerato para obtener la ley de Boyle con esos dos métodos y que puedan comparar sus resultados con los reportados en este artículo.

Se propone determinar la relación entre el volumen de cierta cantidad de aire contenido en una jeringa y la presión a la que está sometido a través de dos formas para obtener los datos de presión y volumen:

1.- Directa, con materiales de bajo costo, como una jeringa y varios libros.

2.- Automatizada, con una jeringa, un sensor de presión y una computadora.

El procesamiento y las gráficas de datos en ambos casos pueden hacerse de manera directa o a través de una hoja de cálculo en la computadora.

Para construir la relación entre volumen y presión en el primer experimento es necesario que el alumno entienda los conceptos de presión, presión atmosférica y fuerza de fricción, para que al usar el sensor de presión, en el segundo, comprenda cómo y qué es lo que está midiendo.

Para iniciar la discusión se proponen las siguientes preguntas:

¿Qué es un gas?

¿Cómo se puede cambiar la densidad en un gas?

¿Qué es un gas ideal?

¿Cómo se relaciona la presión con el volumen para un gas "ideal" contenido en un recipiente?

¿Qué es un transductor?

¿Cómo puede utilizarse para medir variables físicas, como son la presión y el volumen?

II. LEY DE BOYLE

A. Antecedentes

En 1659 Robert Boyle fabricó una bomba de vacío motivado por la lectura sobre los experimentos de Von Guericke sobre el vacío. Con este dispositivo conocido como motor de Boyle mostró que el sonido se transmitía como una vibración en el aire, verificó la afirmación de Galileo sobre la caída libre independiente del peso, mostró que la columna de mercurio en el barómetro de Torricelli se reducía a cero cuando se ponía en una cámara de vacío [1].

Los experimentos que hizo sobre el vacío lo llevaron al estudio de los gases lo que le permitió en 1662 establecer la dependencia entre la presión y el volumen de cualquier gas.

B. El gas

A los líquidos y gases se les conoce como fluidos porque tienen la capacidad de fluir [2], en este sentido los líquidos y gases son parecidos. Sin embargo tienen sus diferencias, una de las más importantes es que la distancia entre las moléculas es menor en los líquidos y experimentan fuerzas que ejercen otras moléculas circundantes.

En un gas las moléculas están muy alejadas unas de otras y pueden moverse libremente entre cada choque. Asimismo los choques entre las moléculas de un gas son elásticos, lo cual significa que si una de ellas gana energía en el choque, la otra la pierde de modo que la energía cinética del conjunto de moléculas no cambia. En la figura 1 se ilustra la diferencia entre un gas y un líquido tomando en consideración las distancias intermoleculares

C. El gas ideal

Sean p , V y T , la presión, el volumen y la temperatura de un gas contenido en un recipiente; estas variables se encuentran vinculadas entre sí y a la ecuación que las relaciona se le llama ecuación de estado que por lo general es muy complicada. Pero en el caso de que el gas se mantenga a

bajas presiones lo que significa baja densidad, se encuentra experimentalmente que la ecuación de estado es muy simple [3].

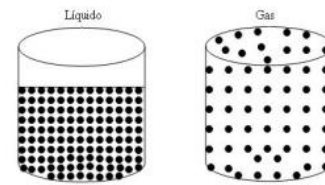


FIGURA 1. En un líquido las moléculas están más juntas que en un gas.

A los gases en los que se cumple con esta condición (su ecuación de estado es simple) se les conoce como gases ideales. La mayor parte de los gases a temperatura ambiente y presión atmosférica se comportan como si fueran gases ideales [4].

D. Ley de Boyle

La presión dentro de un balón de básquetbol, inflado y listo para jugar, es mayor que la presión atmosférica. Así también la densidad del aire que se encuentra dentro del balón es mayor que la densidad del aire de afuera. ¿Existe entonces alguna relación entre la densidad y la presión? Efectivamente, para explicar esa relación se considera que el aire está compuesto por moléculas que se mueven continuamente al azar de manera que chocan con las paredes del balón, estos impactos producen una fuerza que da la impresión de un empuje constante. Esta fuerza promedio por unidad de área es la que proporciona la presión del aire encerrado en el balón.

Entonces tenemos que si hay el doble de moléculas en el mismo volumen, la densidad del aire será el doble, y si las moléculas se mueven con la misma rapidez promedio, es decir, se encuentran a la misma temperatura, entonces el doble de moléculas chocará con la superficie del balón, lo cual significa que la presión aumenta al doble. Si aumentamos al triple el número de moléculas en las mismas condiciones que antes entonces la presión también se triplica, etc. Así pues tenemos que la presión (P) es directamente proporcional a la densidad (ρ), $P \propto \rho$.

Otra forma de duplicar la densidad es reduciendo el volumen del aire a la mitad, para lo cual se pone el aire en una jeringa de manera que se pueda cambiar el volumen fácilmente. En este caso se tiene el mismo número de moléculas pero aumenta el número de choques pues las distancias se reducen de manera que la presión también aumenta al doble. Si el volumen disminuye a la tercera parte entonces la presión crece tres veces etc.

Entonces, se tiene que si la densidad es pequeña la presión es inversamente proporcional al volumen para una masa de gas que se mantiene a temperatura constante. A esta

observación se le conoce como la ley de Boyle y simbólicamente se puede escribir como $P \propto \frac{1}{V}$; o bien $PV = K$, donde K es una constante, P es la presión y V es el volumen ocupado por el gas.

Esta constante K es la que se calcula través de dos formas diferentes de obtener los datos de presión y volumen.

III. EXPERIMENTOS

A. La ley de Boyle comprimiendo aire con una jeringa

La relación entre la presión y el volumen para una masa de gas se puede encontrar capturando una masa de aire dentro de una jeringa como se muestra en la figura 2.



FIGURA 2. Con el aire encerrado en una jeringa puede obtenerse la ley de Boyle.

Para que el aire no se escape de la jeringa se le adapta un tapón, éste se construye quitándole la aguja al soporte de plástico de la aguja y tapando el hoyo que deja quemando esa parte y comprimiendo un poco de manera que se cubra esa salida con el mismo material.

En este caso, se tienen que realizar dos actividades para obtener los datos de presión y volumen del aire encerrado en la jeringa.

Actividad 1

La fricción entre el émbolo y la pared de la jeringa

Para determinar la presión del aire dentro de la jeringa es necesario tomar en cuenta la fuerza de fricción debida al rozamiento entre el émbolo y la pared de la jeringa.

Para medirla se quita el tapón que se había colocado en uno de los extremos de la jeringa y se hace un pequeño agujero en el émbolo, en el que se inserta un dinamómetro, quedando un dispositivo como el que se muestra en la figura 4.

Enseguida se sujeta el cilindro de la jeringa y se aplica una fuerza al émbolo de manera que éste se mueva con velocidad constante. En estas condiciones las fuerzas que se están aplicando al émbolo son fuerza de fricción (f) y la fuerza que aplica el dinamómetro (F) en sentidos opuestos y

La ley de Boyle, el análisis de dos experimentos de acuerdo a la segunda ley de Newton $f + F = 0$, ya que el émbolo se mueve con velocidad constante. Así que la fuerza de fricción y la que aplica el dinamómetro son iguales sólo difieren en el sentido, de esta manera la fuerza de fricción se puede leer en el dinamómetro y es de 3.1 N en este caso.



FIGURA 4. Con un dinamómetro es posible medir la fuerza de fricción entre émbolo y las paredes de la jeringa.

Actividad 2

Variación de la presión y el volumen

Posteriormente se reduce el volumen del aire que se encuentra dentro de la jeringa colocando libros sobre el émbolo de ésta como se muestra en la figura 3.



FIGURA 3. Variación de la presión y el volumen usando varios pesos (libros).

El volumen del aire se mide directamente en la jeringa y la presión (P) se calcula con la expresión:

$$P = P_0 + \frac{w - f}{A},$$

donde:

$P_0 = 78300$, es la presión atmosférica en la Ciudad de México.

w es el peso del libro (medido en cada caso)

$f = 3.1$ N, es la fuerza de fricción entre el émbolo y la pared de la jeringa.

$A = 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, es el área del émbolo de la jeringa.

Después de colocar varios libros sobre el émbolo, podemos construir dos tablas como la que se muestra enseguida.

TABLA I. Datos obtenidos al variar los pesos (libros).

w (N)	$w-f$ (N)	$\frac{w-f}{A}$ (Pa)
9.40	6.3	23333.3
21.16	18.1	67037.0
32.00	28.9	107037.0
42.40	39.3	145555.6
54.10	51.0	188888.9

TABLA II. Presión total, volumen e inverso del volumen.

P (kPa)	V (cm ³)	$Z = \frac{1}{V}$
101.6333	15.0	0.067
145.3370	11.0	0.090
185.3370	8.5	0.120
223.8556	7.0	0.140
267.1889	6.0	0.170

Actividad 3

Gráficas

Para ver la relación entre presión y volumen del aire encerrado en la jeringa se hace una gráfica, en el eje vertical graficamos la presión y en el eje horizontal el volumen como se muestra en la figura 5.

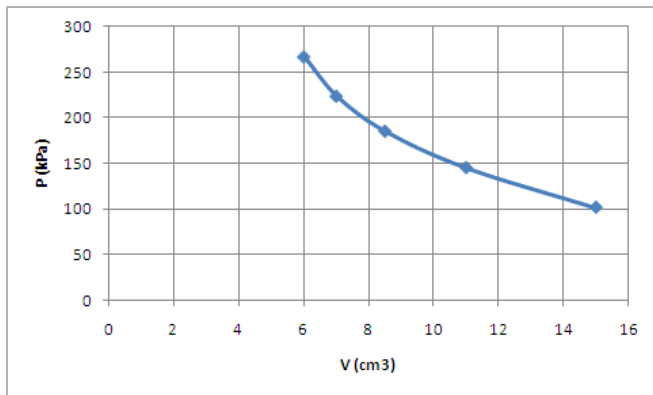


FIGURA 5. Gráfica de presión contra volumen.

Para encontrar la relación entre esas variables se hace un cambio de variable $Z = \frac{1}{V}$ y se traza la gráfica de la presión en función de Z , la cual se muestra en la figura 6.

Actividad 4

Obtención de K

Como se puede observar en la gráfica 5 los datos pueden ajustarse a una recta cuya ecuación es:

$$P = mZ + b,$$

donde: m es la pendiente de la recta con respecto al eje horizontal, b es la ordenada al origen (punto de cruce del eje vertical y la recta).

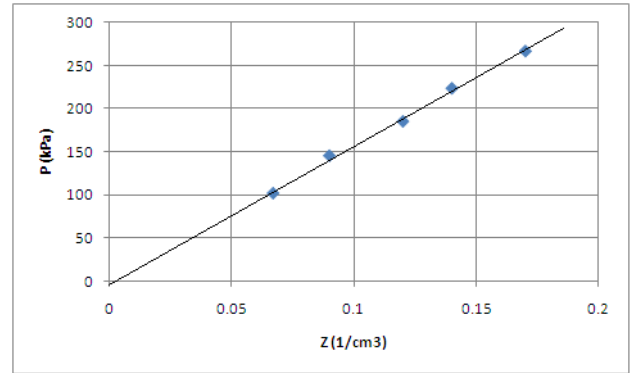


FIGURA 6. Gráfica de presión contra Z ($1/V$).

Al realizar el ajuste por mínimos cuadrados se tiene que la pendiente es $m = 1.59 \times 10^6$ y b es próxima a cero. Sustituyendo en la expresión anterior tenemos que la relación entre la presión y el volumen es:

$$P = 1.59 \times 10^6 \left(\frac{1}{V} \right),$$

Por lo que $K = 1.59 \times 10^6$,
Entonces $PV = K = 1.59 \times 10^6$.

Tanto la gráfica como el ajuste de los datos pueden realizarse en una hoja de cálculo.

B. La ley de Boyle con sensores

En vez de calcular la presión como se hizo en el experimento anterior se puede medir directamente con un sensor de presión de gas que tiene integrada una jeringa, la interfase Lab Pro, una computadora que tiene el programa Logger Pro [5] para registrar y graficar los valores de presión y volumen del aire dentro de la jeringa.



FIGURA 7. Dispositivos para medir de manera automatizada presión y volumen dentro de la jeringa.

El sensor de presión es un transductor que transforma cambios de presión en voltajes, este sensor está acoplado a

una jeringa graduada en la que se pueden registrar los diferentes volúmenes.



FIGURA 8. El sensor de presión tiene integrada una jeringa, como se muestra en la figura.

Actividad 1

Al aplicar diferentes fuerzas sobre el émbolo de la jeringa (presiones) se cambia el volumen del aire dentro de la jeringa, los datos obtenidos se muestran en la tabla 3.

TABLA III. Datos de presión y volumen obtenidos con el sensor.

P (kPa)	V (cm ³)	Z = $\frac{1}{V}$
85.98	20	0.050
90.76	19	0.053
95.30	18	0.055
100.89	17	0.059
106.67	16	0.062
114.00	15	0.067
120.31	14	0.071
130.71	13	0.077
139.85	12	0.083
156.35	11	0.090
166.24	10	0.100
183.63	9	0.111
204.74	8	0.125
220.46	7	0.143

Actividad 2
Gráficas

La gráfica que le corresponde a esta tabla se muestra en la figura 9.

Se propone como en el caso anterior el cambio de variable $Z = \frac{1}{V}$ y se traza la gráfica de presión en función de Z como se muestra en la figura 10.

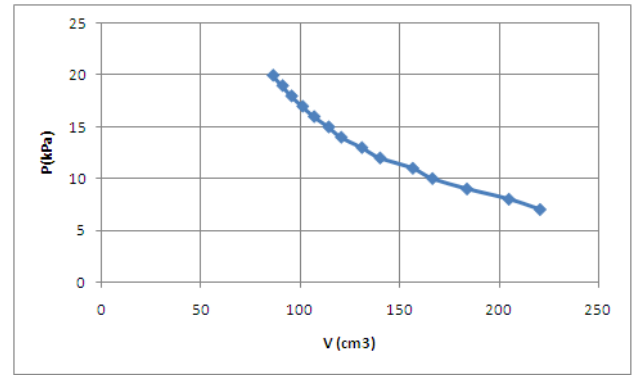


Figura 9. Gráfica de presión contra volumen.

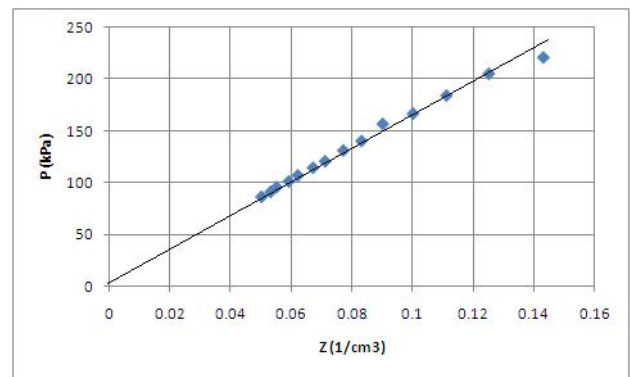


FIGURA 10. Gráfica de presión contra Z (1/V).

Actividad 3
Obtención de K

Haciendo el ajuste usando el método de mínimos cuadrados se obtiene:

$$P = 1.51 \times 10^6 \left(\frac{1}{V} \right),$$

es decir $K = 1.51 \times 10^6$.

Entonces:

$$PV = 1.51 \times 10^6$$

IV. RESULTADOS

La relación matemática entre la presión y el volumen para el aire que se encuentra en la jeringa está dada por la expresión: $PV = K$, donde en cada experimento se obtuvieron los siguientes valores:

$PV = 1.51 \times 10^6$, para la forma directa, con la jeringa y los libros.

$PV = 1.59 \times 10^6$, de la forma automatizada con el sensor de presión de gas.

Como se puede notar tienen mismo orden de magnitud, lo cual muestra que el experimento con los libros es correcto al proporcionar resultados muy parecidos.

Este trabajo propone que el estudiante realice los dos experimentos para que a través de la manera directa comprenda mejor cómo se obtienen los datos de la forma automatizada y las variables que están involucradas.

El estudiante obtiene la relación entre la presión y el volumen usando conocimientos adquiridos en matemáticas, dando un sentido a las variables involucradas.

V. CONCLUSIONES

1. Con este trabajo se obtiene una mejor comprensión de las fuerzas, ya que está considerada la fuerza de fricción con el émbolo de la jeringa y el cilindro donde se mueve éste.
2. También puede comprender mejor el concepto de presión ya que para obtener la ley de Boyle tiene que calcular la presión a la que se encuentra sometido el aire contenido en la jeringa.
3. La presión atmosférica también juega un papel importante en el experimento y se debe analizar cómo influye ésta al realizar la actividad primero con los libros y luego con el sensor.
4. Para obtener la relación matemática, el estudiante tiene que hacer un cambio de variable de manera que los datos se puedan ajustar a una recta por lo

que tiene que trabajar con la ecuación de una recta y tiene que hacer e interpretar gráficas.

5. De esta manera el estudiante trabaja tal como lo hacen los científicos: realizando mediciones, haciendo gráficas, interpretando resultados, discutiendo métodos y resultados.
6. Por todo lo anterior consideramos que las actividades que estamos proponiendo pueden ayudar a motivar a los alumnos al estudio de disciplinas como física o matemáticas ya que al realizar estas actividades encuentran que las disciplinas mencionadas no son aburridas ya que ellos entienden los conceptos y los pueden usar para dar explicaciones científicas de algunos fenómenos que ocurren en la naturaleza. Por ejemplo, el estudiante podría usar sus conocimientos para explicar situaciones de su vida cotidiana.

REFERENCIAS

- [1] Hecht, E., *Física en perspectiva*, (Addison-Wesley Iberoamericana, México, 1987).
- [2] Hewitt, P. G., *Física conceptual*, (Pearson Educación, México, 1999).
- [3] Resnick, R. y Halliday, D., *Física*, (Compañía Editorial Continental, S. A. México, 1977).
- [3] Serway, A. R. y Faughn, J. S., *Física*, (Pearson Educación, México, 2001).
- [4] Manual de Logger Pro, Lab Pro y sensor de presión de gas. (Ed. Vernier, Madrid, 2003).