

## EL EXPERIMENTO PROYECTADO SIMULTÁNEO CON UN SISTEMA FÍSICO TRADICIONAL DE BAJO COSTO PARA COMPROBAR LA LEY DE BOYLE-MARIOTTE

### A SIMULTANEOUS PROJECTED EXPERIMENT WITH A TRADITIONAL PHYSICAL SYSTEM OF LOW COST TO CHECK THE LAW OF BOYLE-MARIOTTE

Lorenzo Pérez Milanés<sup>1</sup> ([lorenzop@ucp.lt.rimed.cu](mailto:lorenzop@ucp.lt.rimed.cu))

#### RESUMEN

El artículo aborda la problemática del uso de los medios tradicionales o caseros en el trabajo experimental de la disciplina Física General para propiciar el desarrollo de las actividades experimentales en los estudiantes de la carrera universitaria Matemática-Física, las cuales se basan en la realización de experimentos físicos, problemas experimentales, prácticas de laboratorio. Se presenta un experimento realizado en clase, donde se comprueba la ley de Boyle-Mariotte mediante el empleo de un sistema físico tradicional de bajo costo y se obtienen resultados satisfactorios dentro del rango de errores permisibles para este tipo de experimentos.

**PALABRAS CLAVES:** Experimentos tradicionales de bajo costo, medios tradicionales, recursos caseros, tecnología educativa, medios de enseñanza.

#### ABSTRACT

The article approaches the problem of the use of the traditional means or landlords in the experimental work in the General Physical discipline to facilitate and to propitiate the development of the experimental activities of the students of the career Mathematical-physics, which are made in the educational laboratories, starting from the realization of physical experiments, experimental and practical problems of laboratory, like part of the process of teaching-learning. In the same one an experience is shown, carried out recently, of an experiment in class where is proven the law of Boyle-Mariotte using a traditional physical system of low cost, obtaining you satisfactory results inside the range of permissible errors for these types of experiments in the educational laboratories of university institutions.

**KEY WORDS:** Traditional experiments of low cost, traditional means, homemade resources, educational technology, teaching means.

La realización de experimentos de laboratorio es un elemento fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física General. Entre los objetivos de estas clases prácticas está: proporcionar una formación experimental amplia y general, al iniciar a los estudiantes en el trabajo del laboratorio y servir de demostración o comprobación de la teoría estudiada.

Dentro de estas actividades experimentales, la utilización de los recursos “caseros” y/o los tradicionales del laboratorio constituyen un importante potencial didáctico, por cuanto permiten a los profesores y estudiantes la comprobación de

---

<sup>1</sup> Licenciado en Educación. Especialidad Física y Astronomía. Máster en Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones en Educación. Departamento Matemática-Física. Universidad de Ciencias Pedagógicas “Pepito Tey”. Las Tunas, Cuba.

fenómenos físicos antes mencionada.

Sin embargo, a nivel mundial existe una gran preocupación por el déficit en el equipamiento de los modernos equipos técnicos y medios para la enseñanza, lo cual se ha dejado sentir desde hace mucho tiempo, aunque en las últimas décadas se ha incrementado en la mayoría de los países de la región latinoamericana y caribeña. Cuba no está exenta de ello, fundamentalmente, en sectores como el de la educación y la investigación científica.

Si se logra reconocer que el diseño de prototipos de equipos y medios de enseñanza y su construcción no es privativa de las naciones desarrolladas, sino de todas, de acuerdo con sus particularidades, puede encontrarse solución al problema. Los países que no tienen posibilidades financieras para importarlos ni capacidad tecnológica suficiente para su producción a escala nacional, con el consiguiente ahorro de recursos, pueden también producirlos a nivel local en los talleres de las escuelas y en los laboratorios de las instituciones universitarias, a partir de la utilización de materiales de fácil adquisición en la comunidad.

Además, se encuentran las universidades, desde donde pueden desarrollarse el diseño y construcción de medios de enseñanza, por cuanto:

- Son necesarios en los procesos de enseñanza-aprendizaje en las diferentes áreas del conocimiento.
- Proporcionan una orientación realista a la solución de problemas, con lo cual se estimula el aprendizaje y se confiere significado al trabajo de los estudiantes.
- Contribuyen a cumplimentar el principio del carácter politécnico de la enseñanza, a la formación laboral de los estudiantes y al desarrollo de sus habilidades comunicativas y manuales.

Como afirmara el desaparecido pedagogo y filósofo G. J. García: "... es deseable que, maestros y alumnos, confeccionen todos aquellos medios de enseñanza posibles, por sus propias manos" (1983, p.156).

En la disciplina Física General se expresa la vinculación del trabajo experimental contemporáneo, en términos académicos, con la universidad pedagógica cubana. Su presencia en el diseño curricular de la carrera Matemática-Física se desdobra en seis asignaturas: Física I, Física II, Física III, Física IV, Física V y Física VI.

La primera abarca los contenidos referentes a la mecánica clásica de Newton; la segunda, a la molecular y termodinámica; la tercera, el electromagnetismo de Maxwell; la cuarta, las oscilaciones y ondas; la quinta, la óptica y la sexta, la física atómica y nuclear.

Esto explica la necesidad de renovar constantemente el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta disciplina, pues resulta de vital importancia para alcanzar uno de los objetivos priorizados de la educación superior en Cuba: egresar un profesional que sea capaz de aprender continuamente, un individuo con habilidades para mantenerse actualizado y enfrentar los retos de la educación cubana.

Sin embargo, como resultado de la experiencia y de las observaciones preliminares realizadas por el autor, el uso de estos medios en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la disciplina Física General es muy pobre, de poca calidad, diverso e improvisado, solo por un reducido grupo de profesores, y con la tendencia al empleo de los modernos o equipos técnicos importados que no están en consonancia con las disponibilidades actuales de los laboratorios docentes de las instituciones pedagógicas, lo cual limita la calidad de la impartición de la disciplina.

De ahí que el objetivo de este artículo sea presentar el experimento realizado en clase, para comprobar la ley de Boyle-Mariotte, a partir de la utilización de un sistema físico tradicional de bajo costo. Con ello se busca perfeccionar y elevar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de esta disciplina en la carrera Matemática-Física e incidir en el cambio de actitud del profesorado ante esta problemática pedagógica actual.

### **La tecnología educativa de bajo costo: los recursos “caseros” y/o los “tradicionales” del laboratorio de Física**

Según López (1998), se entiende por tecnología educativa el acercamiento científico basado en la teoría de sistemas que proporciona al educador las herramientas de planificación y desarrollo, así como la tecnología, busca mejorar los procesos de enseñanza y de aprendizaje a través del logro de los objetivos educativos y buscando la efectividad y el significado del aprendizaje.

Además, se pone en evidencia:

...lo útil que resulta elaborar y ejecutar en la práctica las llamadas tecnologías de la instrucción, que cuando se procede en tal sentido, la atención y los procedimientos a ejecutar se dirigen en lo fundamental, a los métodos y medios utilizados en la imprescindible transferencia informativa y las ventajas inmediatas que brinda, sobre todo, al lenguaje técnico y aseverativo que utiliza. (Arrieta y Espinosa, 2011, p. 3)

La tecnología educativa vista desde su papel en el perfeccionamiento de los medios de enseñanza y como alternativa de bajo costo, posibilita la optimización del proceso de enseñanza-aprendizaje, en tanto ofrece al proceso docente, a partir del uso de materiales reciclables al alcance de las diversas instituciones educacionales del país, un importante conjunto de medios con el propósito de hacer más objetivo lo que se enseña y que el sujeto que aprende sea objeto de su propio aprendizaje.

Es por ello que: “Los docentes en formación tienen que dominar las nuevas tecnologías: la informática, la televisión educativa y el video, no solo para obtener ellos información para impartir sus clases, sino para promover y educar a su alumnado en la capacitación sistemática desde estos importantes medios de enseñanza” (Vázquez, Reyes y Guerra, 2009, p. 6).

La realización de experimentos sencillos o complejos, mediante la utilización de los medios “tradicionales” de los laboratorios de Física o recursos “caseros” de fácil adquisición juega un importante papel en el proceso de adquisición de sólidos

conocimientos y en el desarrollo de habilidades generales para el trabajo experimental.

Por supuesto, esta actividad también se enriquece notablemente al asociarla con el procesamiento de los datos experimentales, cuando resulta necesario, con el apoyo de las computadoras y mediante el uso de hojas de cálculo de Microsoft Excel o analizarlos en otros procesadores al alcance de los estudiantes.

Al respecto, es conveniente señalar, que con pocos recursos se puede desarrollar un fecundo trabajo experimental, lo cual resulta favorable, aunque se disponga de otro tipo de recursos para ello.

La necesidad de producción de los medios de enseñanza de bajo costo se sustenta también con los siguientes argumentos psicopedagógicos expresados por López (1998):

- Se aprovechan, en mayor grado, las funciones de los órganos sensoriales.
- Se puede transmitir mayor cantidad de información en menor tiempo.
- Se reduce el tiempo dedicado al aprendizaje.
- Se logra una mayor permanencia de los conocimientos en la memoria.

Por otra parte, los medios de enseñanza:

- Elevan la efectividad del sistema educacional
- Motivan el aprendizaje
- Activan las funciones intelectuales para la adquisición del conocimiento
- Garantizan la asimilación de lo esencial.

Varios investigadores, entre los que se incluyen Charles F. Hoban, James D. Finn y Edgar Dale (citado por Soto, 2012), descubrieron que los medios y recursos didácticos en general, pueden aportar las siguientes ventajas:

Proporcionan una base concreta para el pensamiento conceptual donde todo no es realmente cierto.

- Tienen un alto grado de interés para los estudiantes.
- Hacen que el aprendizaje sea más permanente.
- Ofrecen una experiencia real que estimula la actividad por parte de los alumnos, desarrollan la continuidad de pensamiento.
- Contribuyen al aumento de los significados.
- Proporcionan experiencias que se obtienen mediante materiales y medios.

Una mejor y más acabada comprensión de lo antes planteado se puede hacer patente mediante el experimento que se propone.

### **Experimento**

Con él se pretende demostrar la relación que existe entre la presión y el volumen de un gas a temperatura constante (Delgado, 1986). De ahí que sus objetivos son:

1. Comprobar experimentalmente la ley de Boyle-Mariotte en un gas real (aire) que se encuentra bajo las condiciones del laboratorio.

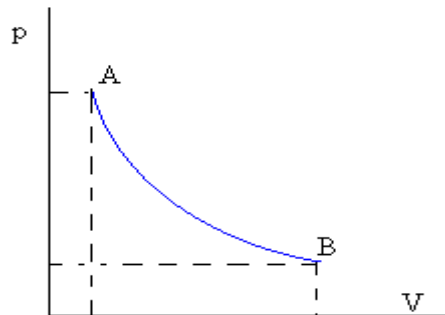
- Determinar el número de moles encerrado en el interior de un depósito de cristal con aire.

### Fundamentación teórica

Si el gas permanece a temperatura constante, y su masa también, el producto de su presión por el volumen en que está confinado es constante, de modo que si el volumen disminuye, por ejemplo, por el movimiento de un émbolo en un pistón donde esté confinado el gas, la presión aumenta en la misma proporción en que disminuyó el volumen.

Esta "ley" fue descubierta en el siglo XVIII, experimentalmente, por el físico inglés Robert Boyle y por el francés E. Mariotte, cuyas investigaciones estaban dirigidas a resolver la problemática siguiente: ¿Cuál es la relación entre las variaciones de presión y las correspondientes variaciones de volumen en un gas a temperatura constante?

Nótese que la dependencia entre la presión y el volumen es hiperbólica. La curva  $p = \text{cte}/V$  que representa la transformación en un diagrama p-V es una hipérbola cuyas asíntotas son los ejes coordenados, a la cual con frecuencia se le llama Isoterma, a temperatura constante.



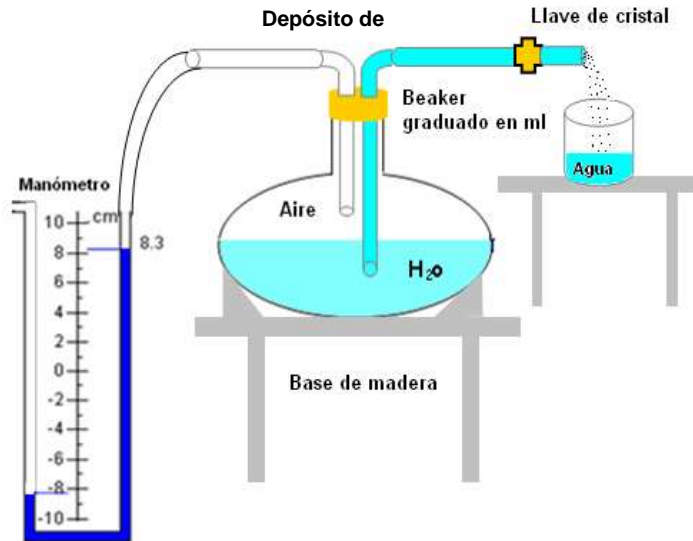
### Descripción del sistema experimental de bajo costo

Para efectuar la comprobación de la ley de Boyle-Mariotte, del aire en este caso, se utiliza el equipo representado en la figura 1.



**Figura 1**

En la figura 2 se muestra el esquema del equipo.



**Figura 2**

### Componentes

- Depósito de cristal (se utilizó un tubo de pantalla de televisión desechado), el cual en una parte contiene el gas o aire a estudiar y en la otra el agua.
- Manómetro para determinar las diferencias de presión del líquido manométrico y conocer la presión del aire en los diferentes estados.
- Beaker de cristal graduado en ml para recolectar y medir el volumen de agua que sale del depósito en un tiempo para provocar un cambio de estado.
- Base de madera para soportar el depósito.
- Bases de hierro, varillas de metal y su soporte.
- Llave de cristal para regular la salida del agua.

### Volumen y presión del gas

Cuando se abre la llave y sale una cantidad de agua del depósito, la presión del gas disminuye y aumenta el volumen que ocupará dentro del depósito, es decir, ahora su nuevo volumen es la suma del inicial más el que corresponde al que sale del agua del depósito.

Para la primera medición:

$$V_1 = V_0 + V_1' \quad (1)$$

$V_0$ : volumen del gas al comienzo del experimento sometido a la presión atmosférica.

$V_1'$ : volumen recolectado con el beaker en un tiempo  $t$  en  $\text{cm}^3$ ; para esta primera medición es igual a cero.

De forma general:

$$\boxed{V_n = V_{n-1} + V_n'} \quad (2)$$

Siendo  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Para medir la presión en cada estado se utiliza la expresión:

$$P_n = P_{\text{atm}} - \Delta h_n \quad (3)$$

Siendo:

$P_{\text{atm}}$ : presión atmosférica en el laboratorio en  $\text{cmH}_2\text{O}$ .

$\Delta h$ : diferencia de altura del líquido manométrico en  $\text{cmH}_2\text{O}$ .

### Técnica operatoria

1. Se mide la presión atmosférica en  $\text{cmHg}$  mediante el barómetro aneroide que se encuentra en el laboratorio, convirtiendo la lectura en unidades de  $\text{cmH}_2\text{O}$ . Anotar en la tabla su error de exactitud ( $1\text{mmHg} = 1.36\text{ cmH}_2\text{O}$ ).
2. Se mide la temperatura al inicio y al final del experimento en el laboratorio, mediante termómetro de mercurio. Anotar en la tabla su error de exactitud.
3. Debe asegurarse, antes de comenzar a medir, que la diferencia de altura se mantiene constante, para lo cual es necesario no menos de tres minutos desde el momento en que se termina de regular la salida de agua.
4. Se necesita abrir la llave lentamente y regular una salida de agua en que su nivel en el depósito disminuya o baje lo menos rápido posible, para garantizar que la temperatura del aire se mantenga constante. Inmediatamente se deben medir entre  $30\text{-}50\text{ cm}^3$  volúmenes de agua que halla recolectado el beaker y anotar en la tabla su error de exactitud inmediatamente al cerrar la llave de salida del agua.
5. Debe tenerse en cuenta que durante cada medición las diferencias de alturas del líquido en ambas ramas del manómetro no deben variar en más de  $10\text{ cmH}_2\text{O}$ , para lo cual se espera alrededor de un minuto después que se cierra la llave para que se establezca el equilibrio y hacer las lecturas en el manómetro. Anotar en la tabla su error de exactitud.
6. Se anota la presión del aire ( $\Delta h_1 = 0\text{ cmH}_2\text{O}$ ) al comenzar por  $V_1' = 0\text{ cm}^3$  y se estima su error de exactitud. La determinación del volumen  $V_1$  se hace por la ecuación (1), de lo cual resulta que  $V_1 = V_0$ , pero este volumen inicial en el experimento se tendrá que determinar después de hacer el primer cambio de estado u otro que se quiera, a partir de la aplicación de la ley y el logro de que la temperatura se mantenga constante, es decir:

$$P_1 V_0 = P_2 V_2$$

$$P_1 V_0 = P_2 (V_0 + V_2')$$

Se despeja a  $V_0$  en este primer cambio de estado y queda que:

$$V_0 = P_2 V_2' / (P_1 - P_2) \quad (4)$$

7. Se repite el procedimiento varias veces para determinar el volumen, mediante la ecuación (2) y la presión por la ecuación (3). Se anotan los resultados en la tablas que se sugieren (opcional):

Errores de instrumentos

$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$   $\Delta V(\text{cm}^3)$   $\Delta T(0_c)$

---

---

Nro.	$\Delta h(\text{cmH}_2\text{O})$	$P(\text{cmH}_2\text{O})$	$V'(\text{cm}^3)$	$V(\text{cm}^3)$	$PV(\text{cmH}_2\text{Ocm}^3)$	$PV(\text{aprox.})$
1						
2						
3						
4						
Promedio						

---

### Construcción gráfica

- Se construye una gráfica de la presión del aire, en función del volumen. Analizar física y matemáticamente la curva obtenida.
- Se debe responder la interrogante: ¿Qué relación puede suponerse que exista entre la presión y el volumen del gas? Se debe hacer una transformación gráfica para verificar su suposición.
- Se recomienda determinar el número de moles  $n$  de aire que se encuentra en el depósito, por la expresión:

$$PV = nRT \text{ en la que: } n = PV/RT \text{ (5)}$$

$\overline{PV}$ : promedio o valor medio de los productos de  $PV$  que se recomienda que aparezcan en la tabla.

### Errores (Pérez, 2013)

- Se recomienda valorar los errores cometidos en las mediciones de la presión y volumen, así como discutir las fluctuaciones en los valores de  $PV$  que aparecerán en la tabla y el cumplimiento de la ley.
- Se deben propagar las cotas de errores de la ecuación (5), con el empleo de las reglas de propagación de errores conocidas en cursos anteriores y obtenidas con la aplicación del álgebra.
- Se deben aplicar métodos de propagación de cotas de errores y el cálculo diferencial, como el logaritmo, el de la diferencial total.
- Se debe reportar la exactitud y precisión de la medición de  $n$ .

### Resultados del experimento

Mediciones y equivalencias en el laboratorio:

$$P_{\text{atm}} = 757 \text{ mmHg} = 1030.16 \text{ cmH}_2\text{O}$$



$T_i = 300\text{K}$  y  $T_f = 301\text{K}$ , por tanto  $T = 300.5\text{ K}$

$1\text{mmHg} = 1.36\text{ cmH}_2\text{O}$

$1\text{ cmH}_2\text{O} = 97.97\text{ Pa}(\text{N/m}^2)$

$1\text{ cm}^3 = 10^{-6}\text{ m}^3$

$R = 8.31\text{ J/molK}$

$V_0 = P_2 V_2' / P_1 - P_2 = 7418.3\text{ cm}^3$

Errores de instrumentos

$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$\Delta V(\text{cm}^3)$	$\Delta T(\text{K})$
0.1	10	0.1

Nro.	$\Delta h(\text{cmH}_2\text{O})$	$P(\text{cmH}_2\text{O})$	$V'(\text{cm}^3)$	$V(\text{cm}^3)$	$PV(\text{cmH}_2\text{Ocm}^3)$	$PV_{\text{aproxim.}}(\text{cmH}_2\text{Ocm}^3)$
1	0	1030.16	0	7418.3	$7.642035928 \times 10^6$	$7.6 \times 10^6$
2	3.5	1026.70	25	7443.3	$7.642036110 \times 10^6$	$7.6 \times 10^6$
3	7.5	1022.66	50	7493.3	$7.663098178 \times 10^6$	$7.7 \times 10^6$
4	7.8	1022.40	100	7593.3	$7.763389920 \times 10^6$	$7.8 \times 10^6$
Promedio					$7.675 \times 10^6$	$7.7 \times 10^6$

En el sistema internacional de unidades

Resultados de hoja Excel

$V(\text{m}^3)$	$P(\text{Pa})$
0.0074183	100924.7752
0.0074433	100585.799
0.0074933	100190.000
0.0075933	100164.528

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple -0.840593344

Observaciones 4

Errores de instrumentos

$\Delta P(P_a)$	$\Delta V(m^3)$	$\Delta T(K)$
9.797	10e-6	0.1

Nro.	P(Pa)	V (m <sup>3</sup> )	PV(P <sub>a</sub> m <sup>3</sup> )	PV <sub>aproxim.</sub> (P <sub>a</sub> m <sup>3</sup> )
1	0.1009247752e6	7418.3e-6	748.69	7.5e2
2	0.100585799e6	7443.3e-6	748.69	7.5e2
3	0.100190000e6	7493.3e-6	750.75	7.5e2
4	0.100164528e6	7593.3e-6	760.57	7.6e2
		Promedio	752.175	7.53e2

Representación gráfica

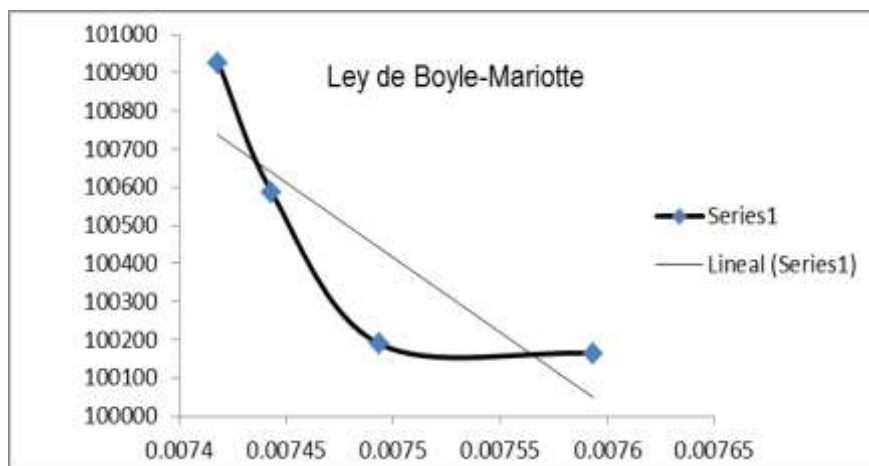


Figura 3

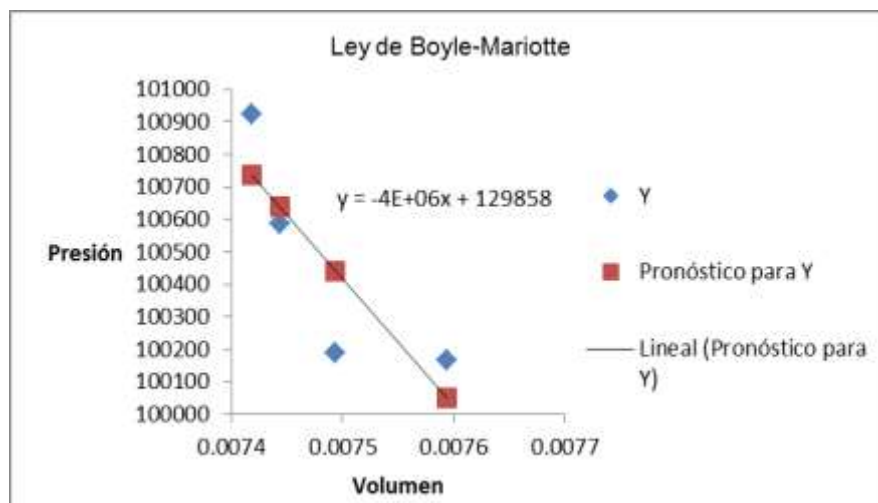


Figura 4

Cálculo del número de moles

$$n = PV/RT = 0.30 \text{ moles}$$

Errores

$$\Delta n/n = \sqrt{(\Delta P/P)^2 + (\Delta V/V)^2 + (\Delta T/T)^2} = 0.001361809$$

$$\Delta n = 0.000408543 \text{ moles}$$

$$(n \pm \Delta n) = (0.3000 \pm 0.0004) \text{ moles}$$

### Sugerencias

Aumentar el número de mediciones u observaciones, como mínimo diez, y en una práctica de laboratorio independiente obtener mayor precisión en el cálculo del número de moles  $n$  a partir del cálculo de la pendiente de la gráfica  $P \sim V$ , con la aplicación del método de mínimos cuadrados ordinarios. Puede utilizarse el tabulador Excel del paquete Office o el procesador Statgraphics V 2,1.

Encontrar la expresión donde figure el número de moles  $n$  mediante la utilización del cálculo diferencial. Según la ley estudiada  $PV=C$ , siendo  $C$  una constante y cumpliéndose que  $P=V^{-1}C$ , así que si se deriva a  $P$  con respecto a  $V$  se puede obtener la pendiente de la curva ajustada:

$$dP/dV = m', \text{ siendo } m' \text{ la pendiente}$$

$$-V^{-2}C = m'$$

pero  $C=nRT$ , quedando que

$$-V^{-2}nRT = m'$$

despejando a  $n$  queda finalmente la expresión:

$$n = -m'V^2/RT \quad (5)$$

siendo  $T=(T_i+T_f)/2$ , en la que  $T_i$  y  $T_f$  son las temperaturas al inicio y al final del experimento,  $R$  la constante universal de los gases y  $V=V_0$  en el punto de inicio del experimento.

### Análisis de los resultados

Se han obtenido productos de  $PV$  muy aproximados, con un ligero error de una décima de discrepancia con respecto a los demás valores que aparecen tabulados de la medición # 4. De manera que, desde el punto de vista analítico se ha

comprobado la validez de la ley estudiada, a pesar de la temperatura haber variado entre el inicio y el final del experimento en 1 0c.

Se pudo apreciar, a partir de la figura 3, que la curva corresponde matemáticamente a una hipérbola, llamada físicamente isoterma del gas estudiado (en este caso del aire contenido en el depósito). La figura 4 representa la pendiente de la curva obtenida, lo cual evidencia la relación inversa entre la presión del gas y su volumen para este tipo de proceso.

Se determinó el coeficiente de correlación entre la presión y el volumen, para medir la intensidad o la fuerza de asociación entre estas variables medidas en el experimento, resultando ser  $r = - 0.840593344$  y si se compara con los valores de la siguiente tabla, la cual corresponde al criterio empírico estadístico para valorar resultados de correlaciones entre variables como la estudiada, se puede observar que se clasificaría esta relación como muy fuerte. El signo negativo indica que cuando aumenta una de ellas la otra disminuye de forma inversa, lo que demuestra la comprobación y validez de la ley de Boyle-Mariotte.

Valor de r	Correlación
0	No hay correlación
0 – 0,3	Poca
0,3 – 0,5	Considerable
0,5 – 0,7	Fuerte
<u>0,7 – 0,9</u>	<u>Muy Fuerte</u>
1	Perfecta

El valor calculado del número de moles dentro del depósito se considera bastante aceptable si se analiza con la exactitud que fue medido para las condiciones de un laboratorio docente y la precisión de la medición de alrededor de un 0.14%. Las cotas de errores propagadas, al tener en cuenta la exactitud de los instrumentos utilizados fueron:

$(\Delta P/P)^2$	$(\Delta V/V)^2$	$(\Delta T/T)^2$
9.42303E-09	1.73436E-06	1.10742E-07

Como se observa, el mayor error se comete al medir el volumen con la exactitud de la escala del beaker utilizado.

Otros errores cometidos en las mediciones, a considerar en próximos experimentos, son los introducidos por la humectación del agua en el vidrio y el menisco que se forma dentro del tubo del manómetro al fijar la medición.

### Recomendaciones generales

El sistema físico de bajo costo presentado puede ser usado como demostración o problema experimental en conferencias y clases prácticas de Física II,

correspondientes al estudio de las leyes de los gases ideales, con un número reducido de mediciones y con el empleo de las hojas Excel para simplificar los resultados, previamente haber empleado la simulación sobre la ley, disponible en la Web Física General en la pc del laboratorio de Física.

Para ser usado como práctica de laboratorio de la asignatura se tendrá que aumentar el número de mediciones, como mínimo diez observaciones, usar instrumentos más exactos, reducir errores antes mencionados, utilizar el método de mínimos cuadrados ordinarios y hacer la propagación de las cotas de errores mediante el cálculo diferencial.

Con este experimento, aplicado en la Universidad de Ciencias Pedagógicas de Las Tunas, quedó demostrado que con un sistema físico de bajo costo se puede elevar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de la disciplina Física General, con un adecuado nivel científico-técnico, sin tener que usar equipamientos y materiales costosos para nuestro país, que ni siquiera están disponibles.

Por ejemplo, posibilita el ahorro de materiales como el mercurio, en estos momentos en déficit en los laboratorios docentes. De esta forma se contribuye a la formación de profesores de ciencias que puedan enfrentar los retos y dificultades de la educación cubana actual.

Esta experiencia posee alcance para todas las carreras técnicas de la Educación Superior, en las que se imparten asignaturas como Física. No obstante, el éxito de su aplicación dependerá de la preparación del profesorado y de los estudiantes.

## REFERENCIAS

- Arrieta, M. Y. y Espinosa, A. (2011). Tecnología educativa: tendencia pedagógica de actualidad. *Opuntia Brava*, 3(4). Recuperado de <http://www.opuntibrava.rimed.cu>
- Delgado, C. y otros (1986). *Folleto de prácticas de laboratorio de Física Molecular*. La Habana: Pueblo y Educación.
- García, G. J. (1983). Los medios de enseñanza a la luz de la dialéctica materialista. *Revista Varona*, 5(11), 149-157.
- López, J. (1998). *Algunas consideraciones acerca de la tecnología educativa*. Recuperado de: <http://biblat.unam.mx/es/revista/islas-santa-clara/articulo/algunas-consideraciones-acerca-de-la-tecnologia-educativa>
- Pérez, L. (2013). *La teoría de errores en el desarrollo del método experimental de la disciplina Física General en la carrera de Matemática-Física*. [CD-ROM] Las Tunas: Universidad V.I. Lenin.
- Soto, P. (2012). *La tecnología educativa y los medios y recursos didácticos. Materiales didácticos*. Recuperado de: <http://www.eduteka.org/me/post.php?id=833&tp=6>
- Vázquez, G., Reyes, J. I. y Guerra, S. (2009). La globalización y la formación en ciencias pedagógicas y en las tecnologías educativas. *Opuntia Brava*, 1(3). Recuperado de <http://www.opuntibrava.rimed.cu>

