

## Experimento 12

### LEY DE CHARLES

#### Objetivos

1. Montar un modelo de máquina térmica,
2. Poner a funcionar el modelo para verificar la ley de Charles,
3. Describir y explicar la ley de Charles a la luz de los resultados obtenidos

#### Teoría

(NOTA: Esta teoría es la misma que vimos en el experimento 11, relacionado con el modelo del Gas Ideal)

La termodinámica es una de las ramas de la física que, entre otras cosas, estudia las propiedades de los gases. El modelo más sencillo que nos permite explicar cómo se comportan los gases es el llamado *gas ideal*. Las propiedades del gas ideal se describen a través de la llamada *ecuación general del gas ideal*, o *ecuación de estado* del gas. Esta ecuación establece una relación funcional entre las variables físicas presión,  $p$ , volumen,  $V$ , y temperatura absoluta,  $T$ . La ecuación es válida para cualquier masa constante de gas en equilibrio térmico, es decir, con una temperatura uniforme, y se expresa matemáticamente como:

$$pV = nRT$$

Donde  $n$  es el número de moles del gas y  $R$ , la *constante molar de los gases*, con un valor de  $8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ , en el Sistema Internacional de unidades. Esta ecuación de estado fue descubierta experimentalmente analizando el comportamiento del gas en tres condiciones diferentes, al mantener constante una de las tres variables mientras se permitía que las otras dos variables cambiaran. Los gases reales no se comportan exactamente como lo establece el modelo del gas ideal pero se pueden manejar como si lo fueran, si lo que nos interesa es una aproximación

1. La ley de Boyle-Mariotte relaciona a la presión con el volumen a temperatura constante (proceso *isotérmico*) en un proceso en el cual el gas está inicialmente a una presión  $p_1$  y un volumen  $V_1$  y termina con una presión  $p_2$  y un volumen  $V_2$ , asegurándose de que la temperatura no cambia. Esto se escribe matemáticamente como:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

#### Ejemplo 1

Tenemos un litro de aire (representaremos los litros con la letra  $\ell$ ) a 1.0 atm, es decir, a una atmósfera, de presión dentro de un cilindro similar al de la máquina térmica que usaremos en este experimento. Ver la figura 1. Aplicamos presión sobre el émbolo del cilindro hasta duplicar la presión original. El proceso se lleva a cabo a temperatura constante. Calcular el volumen final del gas. Use el modelo del gas ideal

*Solución:*

**Datos:**  $V_1 = 1.0 \ell$ ,  $p_1 = 1.0 \text{ atm}$ ,  $p_2 = 2p_1 = 2.0 \text{ atm}$ , y  $T_1 = T_2 = T = \text{constante}$

**Desconocida:**  $V_2$

**Fórmula:**  $V_2 = V_1 (p_1/p_2) = (1.0 \ell) (1.0 \text{ atm}/2.0 \text{ atm}) = \frac{1}{2} \ell$

Vemos que al duplicar la presión reducimos el volumen a la mitad, esto significa que el gas se comprime. El volumen de un gas ideal a temperatura constante es inversamente proporcional a la presión.

### Ejercicio 1

Tenemos una masa de gas, a temperatura constante, confinada dentro de un cilindro de volumen variable. Movemos el émbolo del cilindro y obtenemos los valores de presión y volumen mostrados en la siguiente tabla. Observe los datos y complete los lugares que están en blanco. Note que no permitimos que cambie la masa de aire dentro del cilindro. (Sugerencia: la ley de Boyle-Mariotte requiere que el producto  $pV$  sea el mismo en cada caso)

Tabla 1. Datos de presión y volumen

No	$p$ (atm)	$V$ ( $\ell$ )	$pV$ (comprobación)
1	4.0	0.3	
2	2.0		
3		0.5	
4	0.6		

2. La ley de Charles y Gay-Lussac, en donde se mantiene la presión constante (proceso isobárico) mientras cambian el volumen y la temperatura, establece que:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### Ejemplo 2:

Tenemos  $0.5 \ell$  de H a  $20^\circ\text{C}$ . Aumentamos la temperatura hasta  $60^\circ\text{C}$ . Encuentre el volumen del gas a la nueva temperatura si durante este proceso mantuvimos la presión constante.

*Solución:*

**Datos:**  $V_1 = 0.5 \ell$ ,  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 60^\circ\text{C}$

**Desconocida:**  $V_2$

**Fórmula:**  $V_2 = V_1(T_2/T_1)$

Antes de hacer las sustituciones correspondientes debemos notar que las temperaturas dadas,  $t_1$  y  $t_2$ , están expresadas en grados Celsius, o centígrados, y que la ley de Charles y Gay-Lussac se refiere a la temperatura absoluta, por lo tanto, debemos convertir las temperaturas de grados Celsius a Kelvins. Esto se hace añadiendo 273.15 a la temperatura en Celsius, así,  $T_1 = t_1 + 273.15 = 20 +$

273.15 = 293.15 K. Del mismo modo,  $T_2 = t_2 + 273.15 = 60 + 273.15 = 333.15$  K. Entonces,

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 0.5 \ell \frac{333.15 \text{ K}}{293.15 \text{ K}} = 0.57 \ell$$

Notamos que al calentar el gas, manteniendo su presión constante, aumenta su volumen

### Ejercicio 2:

Tenemos una masa de gas, a presión constante, confinada dentro de un cilindro de volumen variable. Cambiamos la temperatura del gas y obtenemos los valores del volumen mostrados en la siguiente tabla. Observe los datos y complete los lugares que están en blanco. Note que no permitimos que cambie la masa de aire dentro del cilindro. (Sugerencia: la ley de Charles y Gay-Lussac requiere que el cociente  $V/T$  sea el mismo en cada caso)

Tabla 2. Datos de temperatura y volumen

No	$t$ (°C)	$V$ (ℓ)	$T$ (K)	$V/T$ (comprobación)
1	70	3.0		
2	120			
3		5.0		
4	-40			

3. Por último, cuando se mantiene el volumen constante (proceso isocórico), mientras cambian la presión y la temperatura, obtenemos una relación que se escribe como:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

### Ejemplo 3:

Sea una masa constante de gas a una presión de 1.5 atm y 50 °C de temperatura. Aumentamos su temperatura a 200 °C a volumen constante. Calcular su nueva presión

*Solución:*

**Datos:**  $p_1 = 1.5$  atm,  $t_1 = 50$  °C,  $t_2 = 200$  °C

**Desconocida:**  $p_2$

**Fórmula:**  $p_2 = p_1(T_2/T_1)$

Antes de hacer las substituciones correspondientes debemos notar que las temperaturas dadas,  $t_1$  y  $t_2$ , están expresadas en grados Celcius, o centígrados, y que esta ley se refiere a la temperatura absoluta, por lo tanto, debemos convertir las temperaturas de grados Celsius a Kelvins. Esto se hace añadiendo 273.15 a la temperatura en Celsius, así,  $T_1 = t_1 + 273.15 = 50 + 273.15 = 323.15$  K. Del mismo modo,  $T_2 = t_2 + 273.15 = 200 + 273.15 = 473.15$  K. Entonces,

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 1.5 \text{ atm} \frac{473.15 \text{ K}}{323.15 \text{ K}} = 2.2 \text{ atm}$$

Notamos que al calentar el gas, manteniendo su volumen constante, aumenta su presión.

Ejercicio 3:

Tenemos una masa de gas, a volumen constante, confinada dentro de un cilindro. Cambiamos la temperatura del gas y obtenemos los valores de la presión mostrados en la siguiente tabla. Observe los datos y complete los lugares que están en blanco. Note que no permitimos que cambie la masa de aire dentro del cilindro. (Sugerencia: la ley de volumen constante requiere que el cociente  $p/T$  sea el mismo en cada caso)

Tabla 3. Datos de temperatura y presión

No	$t$ (°C)	$p$ (atm)	$T$ (K)	$p/T$ (comprobación)
1	70	5.0		
2	120			
3		2.0		
4	-40			

En este ejercicio de laboratorio usaremos un modelo de máquina térmica para observar los cambios en el volumen del aire como función de la temperatura. Ver la figura 1. Debemos notar que la masa del gas no cambia en este proceso. En el siguiente enlace de Internet aparece una animación del experimento que vamos a efectuar en esta sesión de laboratorio. Entre al portal, vea la figura y oprima los botones virtuales que desee para ver la animación. No olvide que debe esperar unos minutos para que el video baje completo antes de poder correrlo <http://physics.gac.edu/~mellema/Aapt2001/Charles%27%20Law.htm>



Figura 1 Aparato para verificar la ley de Charles

### **Materiales**

Máquina térmica  
Vaso de pirex con agua caliente  
Calentador eléctrico  
Hielo  
Vaso vacío  
Termómetro

### **Procedimiento**

1. Coteje que en su mesa de trabajo se encuentra el equipo de la figura 1 y los materiales que aparecen en la lista anterior
2. Tape la cámara de aire con el tapón de hule de un sólo agujero
3. Conecte la cámara de aire con la máquina térmica, con un tubo de plástico libre de válvulas
4. Cierre la válvula del tubo que no se está usando en la base de la máquina térmica
5. Asegúrese de que el émbolo de la máquina térmica se encuentra descansando en la base del cilindro, totalmente hundido
6. Acueste la máquina térmica sobre la mesa de laboratorio, de tal forma que la escala roja del cilindro quede hacia arriba
7. Ponga agua caliente en el vaso hasta la mitad de éste
8. Introduzca la cámara de aire en el vaso con agua caliente. Espere a que el émbolo suba
9. Tome la temperatura del agua y lea la posición del émbolo en la escala roja de la máquina térmica
10. Permita que el agua caliente en el vaso se enfríe y tome la temperatura y la posición del émbolo periódicamente. Si el proceso ocurre con lentitud, añada un poco de hielo al agua
11. Repita el paso 10 hasta que el émbolo alcance se altura mínima
12. Note que el procedimiento corresponde a lo que usted vio en el “video clip”, excepto que empezamos con agua caliente y terminamos con agua fría.

### **Preguntas**

Contestar correctamente antes de hacer el experimento

Atención: No hay examen corto para este experimento. La nota que usted obtenga en el examen corto de Gas Ideal se va a considerar también para este experimento. Es decir, los dos experimentos tienen el mismo examen corto, el cual se tomará solamente una vez, por lo tanto las preguntas de este experimento son las mismas que las del 11



**Informe del Experimento 12. Ley de Charles**

Sección \_\_\_\_\_ Mesa \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Estudiantes:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

1. Escriba las temperaturas y posiciones del émbolo en la tabla 4. Asegúrese de convertir las temperaturas a K (kelvins). Calcule los volúmenes correspondientes a cada posición del émbolo sabiendo que el diámetro del cilindro es de 32.5 mm

Tabla 4. Datos del experimento de ley de Charles

Medición	Temperatura (°C)	Temperatura (K)	Posición del émbolo (cm)	Volumen del cilindro (cm <sup>3</sup> )
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

2. Haga una gráfica de volumen vs. temperatura y añádala al informe

## Conclusiones