

# PRÁCTICA 1

## TERMÓMETRO DE GAS

### OBJETIVO

Comprobación de las leyes de los gases ideales. Verificación del funcionamiento del termómetro de gas a presión constante. Estimación del de cero absoluto de temperaturas.

### MATERIAL NECESARIO

- Termómetro de gas.
- Bomba de vacío con manómetro.
- Camisa de vidrio conectada con el baño.
- Termómetro digital.
- Baño termostático con termómetro de contacto.

### INTRODUCCIÓN TEÓRICA

#### Ecuación de estado de los gases ideales

A presiones inferiores o del orden de la presión atmosférica (y si las temperaturas son del orden del ambiente o mayores), las variables de estado de los gases están relacionadas entre sí de una manera simple. Esta relación, obtenida inicialmente en forma experimental, pero que se obtiene también teóricamente en Física Estadística se denomina *ecuación de estado de los gases ideales*, y se puede escribir como

$$pV = nRT \quad (1)$$

donde  $n$  es el número de moles,  $R = 8,314 \text{ J/mol K}$  es la constante universal de gases,  $T$  la temperatura termodinámica o absoluta (medida en kelvin),  $V$  el volumen y  $p$  la presión. Por tanto, medidas de presión (a  $V$  cte) o volumen (a  $p$  cte) permiten determinar la temperatura absoluta o termodinámica. Ambas relaciones son lineales en la temperatura, como puede comprobarse de la ec. (1).

Si  $V_0$  es el volumen del gas a  $0^\circ\text{C}$ , dividiendo la ec. (1) por  $pV_0 = nRT_0$ , donde  $T_0 = 273.15 \text{ K}$ , obtenemos la expresión

$$T = T_0 \frac{V}{V_0} \quad (2)$$

que constituye el fundamento del termómetro de gas ideal a presión constante.

#### Ley de Boyle-Mariotte

En procesos a temperatura constante, o isoterms, la ecuación de estado (1) se reduce a

$$pV = \text{cte} \quad (3)$$

que también se conoce como *ley de Boyle-Mariotte*. Ésta es una de las leyes experimentales que condujo a la ec. (1). La primera parte de la práctica consiste en comprobar que el gas contenido en el capilar se comporta de acuerdo con la ec. (3) a temperatura ambiente.

## El cero absoluto de temperaturas. Coeficiente de dilatación de los gases

En procesos a presión constante, o isobaros, la ec. (1) se reduce a  $V \propto T$ . Esta relación de proporcionalidad es válida también aún cuando la temperatura se exprese en la escala Celsius, de modo que una gráfica de  $V$  frente a  $t$  es una recta. Si utilizamos como referencia la temperatura ambiente  $t_a$ , y denotamos por  $V_a$  el volumen del gas a la misma, la ecuación de esta recta es

$$V = V_a (1 + \alpha' \Delta t) \quad (4)$$

donde  $\Delta t \equiv t - t_a$  es el incremento de temperatura respecto a la ambiente y  $\alpha'$  es una constante de proporcionalidad. Despejando de la ec. (4), el punto de intersección de la recta  $V(t)$  con el eje de temperatura ( $V = 0$ ) nos permite obtener que la temperatura más baja alcanzable (es decir, el cero absoluto de la temperatura termodinámica) en la escala Celsius es

$$t_{0K} = t_a - \frac{1}{\alpha'} \quad (5)$$

A modo de comentario final, cabe recordar que el coeficiente de dilatación se define como

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (6)$$

y no es constante. En concreto, en el caso de los gases se puede comprobar de la ec. (1) que  $\alpha = 1/T$ . La integración aproximada de la ec. (6) suponiendo  $\alpha$  cte. conduce a  $V \approx V_a (1 + \alpha \Delta t)$  que es la expresión empleada habitualmente para dar cuenta de la dilatación térmica de los cuerpos y que sólo es válida en un pequeño rango de temperaturas. La ec. (4), sin embargo, es exacta para gases ideales y el significado de  $\alpha'$  puede deducirse integrando exactamente la ec. (6).

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Termómetro de gas

El termómetro de gas (a volumen o a presión constantes) es un termómetro primario ligado a la escala de temperaturas absolutas. El termómetro de la práctica consiste en un volumen de aire seco encerrado por una gota de mercurio, que actúa de émbolo, dentro de un capilar calibrado. (La gota de mercurio puede sacarse invirtiendo el termómetro, ya que un filtro de vidrio sinterizado impide que se salga del tubo. No está recomendado que esto lo realice el alumno).

En la parte superior del termómetro existe un abombamiento con silicagel, para secar el aire que penetra en el capilar. El tubo está abierto por la parte superior, por donde se conecta la bomba para variar la presión sobre el gas encerrado en el tubo (Figura 1). El montaje se completa con una camisa de vidrio llena de agua conectada con el baño termostático. Un termómetro digital conectado en uno de los laterales de la camisa permite conocer la temperatura del agua de la camisa y por tanto la del gas encerrado en el capilar.

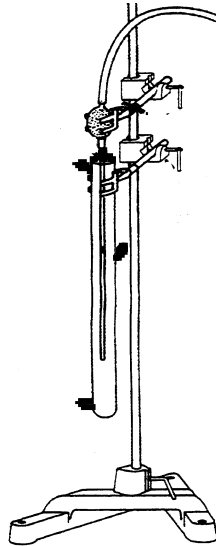


Figura 1. Termómetro de gas con camisa de vidrio.

El volumen del gas en el interior del capilar se determina simplemente mediante la lectura en la escala milimétrica de la altura que alcanza la gota de mercurio. El diámetro interior del capilar es  $2,7 \pm 0,2$  mm.

Por otro lado, la presión sobre el gas es

$$p = p_{\text{atm}} + p_{\text{Hg}} + \Delta p \quad (7)$$

donde  $p_{\text{atm}}$  es la presión atmosférica (a medir en el barómetro del laboratorio),  $p_{\text{Hg}}$  es la presión correspondiente al peso de la gota de mercurio que sella el gas, y  $\Delta p$  es la diferencia de presión (negativa) dada por el manómetro de la bomba. Para conocer  $p_{\text{Hg}}$  basta con medir la longitud de la gota (esta corrección es despreciable a presión atmosférica).

### Comprobación de la ley de Boyle-Mariotte

En este caso se mantendrá constante la temperatura, para lo cual se conectará la circulación del baño termostático, pero sin encender el calefactor. Cuando se haya estabilizado la temperatura medida por el termómetro digital en la camisa, se medirá el volumen ocupado por el gas en función de la presión, que se modifica con la bomba. Para empezar se determina el “volumen de reposo” del gas, es decir, cuando la bomba no está actuando sobre el gas ( $\Delta p = 0$ ). El volumen de reposo viene a ser aproximadamente  $2/3$  del volumen total del capilar. A continuación se empieza a reducir la presión accionando la bomba. La presión se reduce a intervalos de 50 mbar, hasta llegar a  $\Delta p = -500$  mbar aprox., y se anota cada vez la altura de la gota de mercurio. Al terminar se ha de volver a la presión atmosférica.

### Termómetro de gas a presión constante. Estimación del cero absoluto

El experimento a presión constante se realiza a la presión atmosférica, es decir, sin utilizar la bomba manual. El primer punto corresponderá a las lecturas del volumen y temperatura ambiente,  $V_a$  y  $t_a$ , con la circulación del baño activada. A partir de ese momento, se encenderá el calefactor del baño y se conectará el termostato para realizar sucesivas medidas incrementando la temperatura de 10 en 10 °C aprox. hasta obtener 7 u 8 puntos. Es importante no tomar la medida de volumen y temperatura hasta que la temperatura de la camisa se haya estabilizado (se mantenga constante la lectura del termómetro digital)

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- a) Tabla de valores de  $V$  y  $p$  (expresados en unidades del SI) obtenidos a  $T$  cte. Gráfica de  $\ln p$  frente a  $\ln V$ . Comprobad que se cumple la ley de Boyle-Mariotte verificando que el ajuste por mínimos cuadrados nos da una recta de pendiente  $-1$ .
- b) Gráfica de  $V/V_a$  frente a  $\Delta t$  para el proceso a  $p$  cte y ajuste por mínimos cuadrados. Valor de  $\alpha'$ .
- c) Valor obtenido para  $t_{0K}$  tras la extrapolación de la recta anterior a  $V/V_a \rightarrow 0$ . Comentario sobre este resultado.