

FISICA GRAL II – 2013
GUIA DE TRABAJO PRACTICO N° 4
TERMÓMETRO DE AIRE



Objetivos: Calibrar un termómetro de aire y utilizarlo para medir temperatura

Fundamentos Teóricos:

La presión, el volumen y la temperatura de un gas de un gas ideal están relacionados entre sí mediante una ecuación de estado, esta ecuación es

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

Donde P , V y T son la presión, volumen y temperatura (absoluta) del mismo, $R = 8.31283 \text{ J/Kmol}$ es la constante universal de los gases, y n el número de moles de gas. Si el gas es llevado a una temperatura inicial de referencia, por ejemplo, hielo fundente a la presión P_0 , la cual puede ser la presión atmosférica, ocupará un volumen V_0 de acuerdo a la ecuación (1) dado por

$$P_0V_0 = nRT_0 \quad (2)$$

A su vez, a partir de las ecuaciones (1) y (2) se obtiene

$$PV = P_0V_0 \left(1 + \frac{T - T_0}{T_0} \right) \quad (3)$$

Siendo P_0 y P , V_0 y V , la presión y el volumen del gas a temperatura T_0 y T , respectivamente, y $\alpha = T_0^{-1}$ es una constante llamada coeficiente de dilatación térmica del gas a presión constante. Teniendo esto en cuenta, se puede verificar que, a **volumen constante**, las variaciones de presión del gas pueden describirse mediante la ecuación

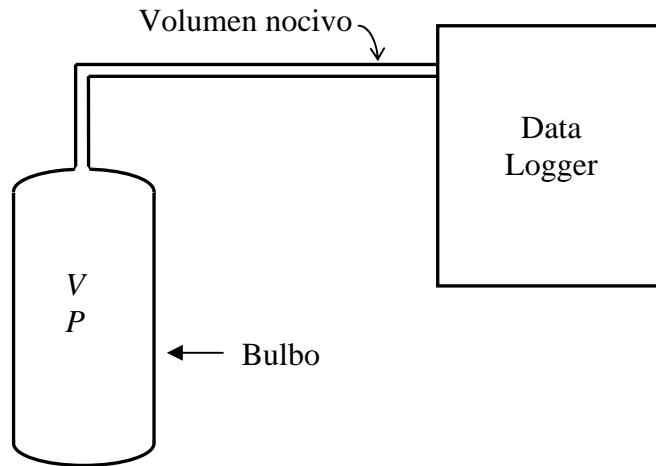
$$P = P_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (4)$$

y las variaciones de volumen de un gas a **presión constante** resultan

$$V = V_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (5)$$

El termómetro de Gas (aire):

El termómetro de gas es un aparato usado para medir saltos térmicos. Su conformación se muestra esquemáticamente en la siguiente figura:



A - El termómetro “ideal”

Sobre la base de lo expresado por la ecuación (4), se puede determinar una variación de temperatura (T), a volumen constante, conociendo la variación de presión (P) del volumen de aire en el bulbo

$$T - T_0 = \frac{P - P_0}{\alpha P_0} \quad (6)$$

Para lo cual se deberá previamente determinar α a partir de la medición de presiones en dos situaciones con temperaturas de referencia conocidas (por ejemplo: puntos de hielo fundente y ebullición del agua).

B - El instrumento

Como se muestra en la figura, el sensor del termómetro es un bulbo de vidrio de volumen V que contiene un gas que constituye la sustancia térmica del sistema. Acoplado con el bulbo se encuentra conectado un manómetro electrónico del Data Logger.

Antes de usar el termómetro, para realizar una medición, es necesario calibrar el manómetro electrónico, esto lo realizamos comparando su lectura con la presión atmosférica la cual podemos medirla con un manómetro de mercurio o tomar la lectura del valor reportado por FaMAF (www.famaf.unc.edu.ar). Para todos los fines prácticos supondremos que la diferencia de lectura entre la realizada con el manómetro del Data Logger y el patrón se mantiene constante en todo el rango de medición de presiones.

C - El termómetro “real”

Note que en lo tratado anteriormente se supuso que el volumen de gas, y por consiguiente el número de moles de dicho gas contenido en el bulbo, cuya presión mide el manómetro es el mismo para todas las temperaturas. Sin embargo esto no es así, ya que hay un volumen de gas entre el bulbo y el manómetro, llamado volumen

nocivo (v), que en general, no está a la misma temperatura del baño térmico y además hay que tener en cuenta que el vidrio del bulbo se dilata con la temperatura. O sea que nuestro termómetro de aire es un termómetro a número de moles constante y a volumen constante en orden cero si el volumen nocivo es pequeño con respecto al del bulbo.

Veamos la influencia de estos dos efectos por separado:

Primero, considerando el estado inicial del bulbo, con un volumen V de gas, el cual se encuentra sumergido en un baño de hielo fundente (temperatura T_0) y a presión atmosférica (P_a), y el volumen nocivo se encuentra a la misma presión pero a temperatura ambiente (T_a). En estas condiciones las dos partes del gas que constituyen el sistema de medición se encuentran en equilibrio mecánico pero no en equilibrio térmico, en este estado el número de moles de gas contenido en cada volumen es constante. Resultando que, constantemente el gas del espacio nocivo le cede calor a una tasa constante al gas contenido en el bulbo. En estas condiciones y a partir de (1) tenemos en el bulbo

$$P_a V = N_0 R T_0 \quad (7)$$

y en el volumen nocivo

$$P_a v = n_0 R T_a \quad (8)$$

En el otro punto fijo, es decir, en el punto de ebullición

$$P_e V = N_e R T_e \quad (9)$$

$$P_e v = n_e R T_a$$

Y para toda temperatura, tal que $T_0 \leq T \leq T_e$, se verifica que el número total de moles (N_T) de gas contenidos en el bulbo y el espacio nocivo es constante, es decir

$$N_T = N_0 + n_0 = N_e + n_e = N + n \quad (10)$$

De las ecuaciones (7) y (8) se deduce la siguiente relación entre el volumen del bulbo y el nocivo

$$v = \left[\frac{(P_a T_e - P_e T_0)}{T_e T_0 (P_e - P_a)} \right] V \quad (11)$$

y

$$N_T = N_0 + n_0 = \frac{P_a}{R} \left(\frac{V}{T_0} + \frac{v}{T_a} \right) \quad (12)$$

$$N_T = \frac{P_a V}{R T_0} \left[1 + \frac{(P_a T_e - P_e T_0)}{T_e T_a (P_e - P_a)} \right]$$

Con el bulbo a cualquier otra temperatura tal que $T_0 \leq T \leq T_e$ se tiene

$$N_T = N + n = \frac{P}{R} \left(\frac{V}{T} + \frac{v}{T_a} \right) \quad (13)$$

$$N_T = \frac{PV}{RT} \left[1 + \frac{T}{T_0} \frac{(P_a T_e - P_e T_0)}{T_e T_a (P_e - P_a)} \right]$$

Definiendo la constante β como

$$\beta = \frac{(P_a T_e - P_e T_0)}{T_e T_a (P_e - P_a)} \quad (14)$$

Y de las ecuaciones (12) y (13) se obtiene

$$T = \frac{1}{P_a} \left[\frac{T_0 + \beta T}{1 + \beta} \right] P \quad (15)$$

Esta relación muestra que podemos medir T en función de P y T . Note que el corchete involucra el efecto del volumen nocivo en la medición, es decir si el volumen nocivo es cero entonces $\beta = 0$. A los fines de evaluar la influencia del volumen nocivo calculamos la magnitud aproximada de β teniendo en cuenta que para un número de moles n fijo de gas y a volumen constante V , se tiene que a presión atmosférica y presión de ebullición

$$P_a V = nRT_a \quad (16)$$

$$P_e V = nRT_e$$

de donde

$$P_e = \frac{T_e}{T_a} P_a \cong \frac{373}{300} P_a \cong 1.2 P_a \quad (17)$$

Y teniendo en cuenta (14) y (17) evaluamos la diferencia relativa

$$\Delta = \frac{T(\beta) - T(\beta = 0)}{T(\beta)} = \frac{\beta T}{T_0 + \beta T} \quad (18)$$

y considerando que $T_0 \leq T \leq T_e$ se tiene

$$\beta \cong \frac{\beta}{1 + \beta} \leq \Delta \leq \frac{\beta T_e}{T_0 + \beta T_e} \cong \frac{T_e}{T_0} \beta \cong 1.4 \beta \quad (19)$$

O sea que $0.2\% \leq \Delta \leq 0.3\%$.

Otra consideración a tener en cuenta es que el coeficiente volumétrico de dilatación lineal del vidrio Pyrex a presión constante y a una temperatura de 20°C es $k = 0.97 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Dado que los efectos de dilatación actúan sólo sobre el bulbo y son más significativos a T_e , y sabiendo que

$$PV(T) = nRT \quad (20)$$

$$V(T) = V_0 [1 + 3k(T - T_0)]$$

de donde con y sin efecto de dilatación

$$P_e V [1 + 3k(T_e - T_0)] = nRT_e \quad (21)$$

$$P_e V = nRT_e$$

y la diferencia máxima de presión debido al cambio de volumen es

$$\Delta P = \frac{nRT_e}{V} - \frac{nRT_e}{V[1 + 3k(T_e - T_0)]}$$

$$= \frac{nRT_e}{V} \left[\frac{3k(T_e - T_0)}{1 + 3k(T_e - T_0)} \right]$$
(22)

Teniendo en cuenta que $3k(T_e - T_0) \cong 3 \cdot 10^{-3}$, resulta

$$\frac{\Delta P}{P_e} \cong 3k(T_e - T_0) \cong 3 \cdot 10^{-3} \approx 0.3\%$$
(23)

D - Procedimiento Experimental:

1).Mida la presión atmosférica con el barómetro de fortín y compare su valor con el reportado por FaMAF. Calcule la temperatura de ebullición del agua, sabiendo que

$$T_E = 100 \text{ }^\circ\text{C} + [0,0368 \text{ mm}^{-1}(H - 760 \text{ mm})] \text{ }^\circ\text{C}.$$

2) Se rodea el bulbo con hielo fundente y a presión atmosférica, al cabo de unos conecte el manómetro del Data Logger.

3) Comience a calentar la cuba lentamente tal que el gas en el bulbo se encuentre en equilibrio mecánico y mida P y T .

4) Grafique P vs. T y .

5) Evaluar la propagación de errores experimentales de las dos magnitudes determinadas en el punto anterior y realice un ajuste de la curva $P(t)$.

6) Si le queda tiempo repita el experimento tomando como condición inicial el bulbo a presión atmosférica y a temperatura de ebullición.

7) Del gráfico, determine el valor de la temperatura en que la presión del gas es cero.

$$\rho(Hg) = 13.57904 \frac{gr}{cm^3} \quad ; \quad \frac{T_1}{T_2} \equiv \lim_{P \rightarrow 0} \frac{P_1}{P_2} = \lim_{P_0 \rightarrow 0} \frac{P_e}{P_0} = \frac{T_e}{T_0} = 1.36609 \pm 0.000004$$