

# PRÁCTICA 4A

## COEFICIENTE ADIABÁTICO DE GASES

### OBJETIVO

Determinación del coeficiente adiabático  $\gamma$  del aire, argón y del anhídrido carbónico utilizando un oscilador de gas tipo Flammersfeld.

### MATERIAL NECESARIO

- Oscilador de gas tipo Flammersfeld con cilindro de plástico
- Barrera fotoeléctrica con contador
- Bomba de acuario
- Botella decantadora con llave de regulación fina
- Cronómetro.
- Botellas de gas

Material común a ambas mesas:  
- Barómetro digital de precisión

- Lápiz de grafito
- Tornillo micrométrico

### INTRODUCCION TEÓRICA

Consideremos un cuerpo de plástico (oscilador) que se encuentra en el interior de un tubo abierto a la atmósfera por su parte superior y conectado a un recipiente de volumen  $V$  que contiene un gas a presión  $p_i$  por su parte inferior. Para que dicho oscilador estuviese en equilibrio, la presión  $p_i$  debería ser

$$(p_i)_{\text{equilibrio}} = P_{\text{atm}} + \frac{mg}{\pi r^2} \quad (1)$$

donde  $r$  es el radio y  $m$  la masa del oscilador. Una perturbación  $\Delta p$  de naturaleza oscilatoria en  $p_i$ ,  $p_i = (p_i)_{\text{equilibrio}} + \Delta p$  (término oscilatorio), provocará un movimiento también oscilatorio del cuerpo de plástico dentro del tubo. Dicho movimiento obedece a la ecuación:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \pi r^2 \Delta p \quad (2)$$

donde  $x$  es la coordenada de posición que describe el movimiento del oscilador respecto a su posición de equilibrio.

Puesto que la oscilación es relativamente rápida, podemos considerar que el gas experimenta un proceso adiabático en el que

$$p V^\gamma = \text{cte} \quad (3)$$

siendo  $\gamma = c_p / c_v$  el coeficiente adiabático del gas y  $V$  su volumen. Tomando logaritmos en la ecuación anterior, diferenciando, y aproximando los diferenciales por incrementos, obtenemos

$$-\Delta p = \frac{p \gamma \Delta V}{V} \quad (4)$$

Sustituyendo ahora la ec. (4) en (2), y teniendo en cuenta que  $\Delta V = \pi r^2 x$ , se obtiene la ecuación diferencial del movimiento:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\gamma \pi^2 r^4 p}{mV} x = \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad (5)$$

La frecuencia angular de este movimiento armónico simple es

$$\omega = \sqrt{\frac{\gamma \pi^2 r^4 p}{mV}} \quad (6)$$

Y, finalmente, el coeficiente adiabático se puede obtener como

$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 p r^4} \cong \frac{4mV}{T^2 p_L r^4} \quad (7)$$

donde  $T = 2\pi/\omega$  es el período de las oscilaciones. En el último paso se ha realizado la aproximación  $p \cong p_L$ , donde  $p_L$  es la presión del laboratorio, o sea, la presión atmosférica; lo cual implica despreciar el término debido al peso del oscilador en la ec. (1).

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Con el objeto de mantener una oscilación estable y no amortiguada, el gas que normalmente escapa a través del estrecho espacio entre el oscilador y el tubo de vidrio se repone al sistema oscilante a través del tubo de entrada (fig. 1). El débil flujo de gas entrante obliga el ascenso del oscilador y tan pronto como el oscilador destapa la ranura del tubo desaparece el exceso de presión, el oscilador desciende rápidamente y el proceso se repite continuamente. La oscilación viene así impuesta por una pequeña excitación producida por el flujo del gas entrante.

Si el experimento se realiza con aire como gas problema, la pequeña sobrepresión necesaria para mantener las oscilaciones se consigue con una bomba de acuario. Se coloca un frasco de vidrio entre la bomba y el oscilador, para amortiguar los impulsos de la bomba, y un tubo especial, en la conducción de acceso al oscilador, para atrapar cualquier impureza.

Cuando se utiliza  $\text{CO}_2$ , se toma directamente de la botella y una válvula de reducción de presión conectada entre la botella y el recipiente que contiene el oscilador. (Conexión en la tubería gris). Si se emplea argón se toma de la tubería pintada de amarillo, conectada a la botella de argón.

El flujo de gas deberá regularse de modo que la base del oscilador se desplace simétricamente por encima y por debajo del pequeño orificio existente en la pared del tubo. Los anillos azules pintados sobre el tubo pueden servir de referencia. Si el centro de oscilación está por encima del orificio y cuando se reduce ligeramente la presión del gas cesa la oscilación, es evidente que el tubo contiene polvo en su interior y debe procederse, de nuevo, a su limpieza (puede emplearse alcohol para ello). Una vez el oscilador efectúe su movimiento, procederemos a ajustar la altura del haz de luz de la barrera fotoeléctrica del contador de impulsos.

El oscilador es una parte importante del equipo experimental y debe ser tratado con cuidado. Colocad el oscilador en el interior del tubo **solamente después** de conectado el flujo de gas. Es conveniente también situar la mano encima de la boca del tubo de oscilación hasta que se haya conseguido una amplitud constante, con el fin de proteger el oscilador de un eventual

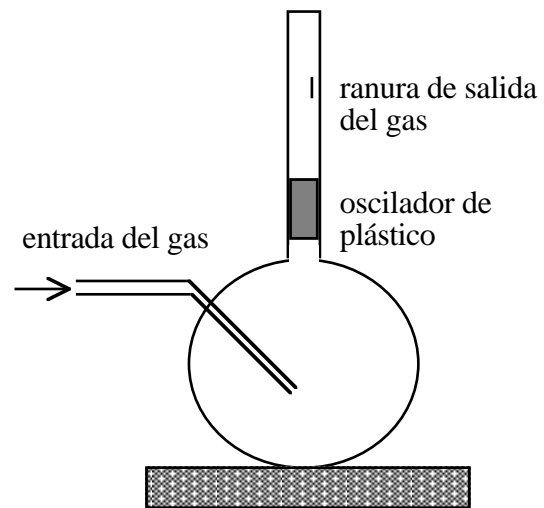


Figura 1. Oscilador tipo Flammersfeld.

“disparo”. Si el oscilador se atasca en la parte baja, extraedlo sujetándolo por el pequeño gancho.

El movimiento del oscilador de plástico puede producir cargas estáticas que distorsionan las medidas. Este efecto se ha eliminado aplicando una fina capa de grafito al oscilador, rayando simplemente su superficie con un lápiz blando.

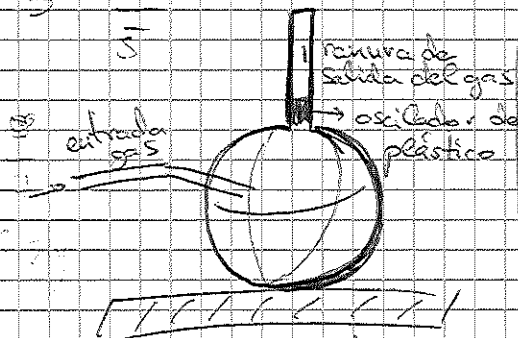
La masa del oscilador se obtiene por pesada en una balanza de precisión. El diámetro se mide cuidadosamente con el tornillo micrométrico y, si se considera conveniente, tomando el valor medio de medidas realizadas en diferentes puntos, ya que el resultado depende mucho de la exactitud de esta medida. La presión  $p_L$  se mide con el barómetro digital. El período  $T$  se determina a partir de la lectura del cronómetro para un número de oscilaciones fijado. De cinco a diez medidas, cada una de unas 300 oscilaciones, son suficientes. Por último, tómesese  $V = (1.12 \pm 0.01)$  L como volumen del gas.

### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

- a) Valor de la presión del laboratorio con su error. Tabla de valores de los periodos en cada caso, con sus errores correspondientes.
- b) Presentad los coeficientes adiabáticos calculados para el aire, el argón y el anhídrido carbónico con sus errores correspondientes.
- c) Comparad los resultados obtenidos con los valores de las tablas y los calculados teóricamente para los gases monoatómicos (argón), diatómicos (aire) y triatómicos ( $\text{CO}_2$ ).

# Coefficiente adiabático de gases

OBJETIVO: Determinación del coeficiente adiabático  $\gamma$  del aire, argón y del anhídrido carbónico utilizando un oscilador de gas tipo Flammersfeld.



PROCEDIMIENTO: La entrada de gas ejerce una fuerza en el oscilador que le obliga a subir hasta el punto de que el gas pueda salir por la ranura y el exceso de presión desaparece. De este modo se va a producir un MAVS dado por  $d^2 \frac{d^2}{dt^2} + \frac{4\pi^2 r^4}{mV} P_0 x = 0$

El coeficiente adiabático se obtiene a partir de la frecuencia angular:

$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 P_0 r^4}$$

$P_0$  = presión laboratorio,  $V$  = volumen frasco,  $r$  = radio oscilador,  $m$  = masa oscilador,  $T$  = periodo oscilador

Para calcular el periodo de una oscilación contaremos el tiempo que

Tabla 1. Tiempo de 300 oscilaciones para distintos gases

	Aire	CO <sub>2</sub>	Ar
$T_1$ (s)	104'03	107'19	94'67
$T_2$ (s)	100'62	107'54	94'34
$T_3$ (s)	100'22	107'35	94'47
$D$ (%)	0'8%	0'3	0'3
$\bar{T}$ (s)	100'60	107'36	94'49
$S(D)$ (s)	0'2	0'09	0'08

(no se le lleva)

tarda en hacer 300 ayudando de una célula fotoeléctrica.

Esta experiencia la repetiremos para el aire, el CO<sub>2</sub> y el Argón.

Datos del medio:

Humedad  $H = 20\%$

Temperatura  $T = 22.9^\circ\text{C}$

Presión  $P = 1022 \pm 1 \text{ hPa}$

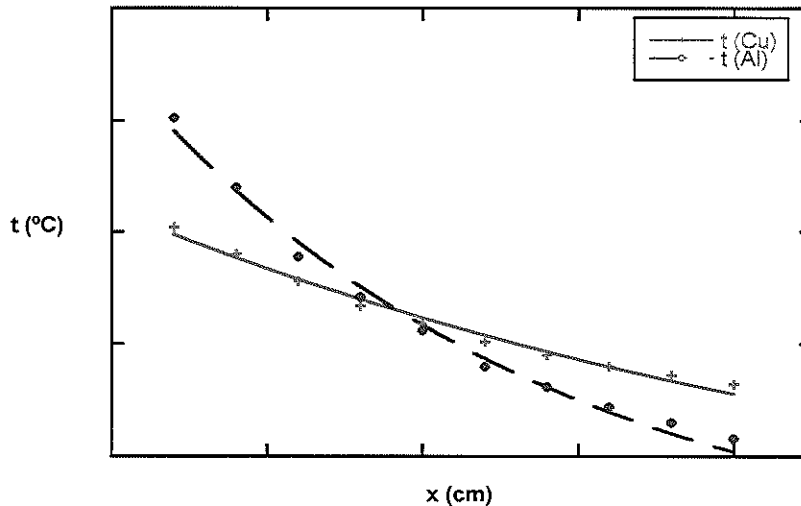
Sensibilidad cronómetro  $\pm 0.01 \text{ s}$

Diámetro del oscilador  $d = 11.88 \pm 0.01 \text{ mm}$

Masa del oscilador  $m = 4.556 \pm 0.002 \text{ g}$

## 9. FLUJO DE CALOR EN BARRAS METÁLICAS

- Adquisición de medidas de la temperatura de cada una de las barras en función de la distancia al foco ( $t_{Cu}$  y  $t_{Al}$ ).
- Caracterización de la temperatura ambiente ( $t_a$ ).
- Representación, para cada una de las barras, de  $\theta(x) \equiv t_i(x) - t_a$  en función de  $x$ .



- Ajuste de cada curva a la función dada por la ecuación 11,

$$\theta(x) = \theta(0) \exp(-p'x)$$

esto es,

$$y = m_1 * \exp(-m_2 * m_0)$$

siendo

$$m_1 = \theta(0) = t_i(0) - t_a$$

$$m_2 = p'$$

- Determinación del coeficiente  $N \approx \kappa R p'^2 / 2$  de la ley de enfriamiento de Newton sabiendo que  $\kappa_{Cu} = 385 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- Cálculo del coeficiente de conductividad térmica del aluminio suponiendo que  $N$  es el mismo para ambas barras.
- Discusión de los resultados comparándolos con datos tabulados. ¿Son correctas las hipótesis de trabajo?

Para calcular el periodo hemos realizado un total de tres medidas dejando ~~en~~ como mejor estimador el valor medio y como error el de dispersión.

$$T = \frac{\sum T_i}{300} \quad S_r(T) = \left( S_r\left(\frac{1}{f}\right)^2 + S_r(300)^2 \right)^{1/2}$$

El error de 300 lo estimamos en dos oscilaciones por algún posible error al comenzar a medir o propio del aparato.

$$f = \frac{4 \text{ mV}}{T^2 P r^4}$$

$$S_r(f) = \left( S_r(m)^2 + S_r(V)^2 + 2 S_r(T) + S_r(P_2) + 4 S_r(r) \right)^{1/2}$$

	Aire	CO <sub>2</sub>	Ar
T(s)	0'335 ± 0'002	0'358 ± 0'002	0'325 ± 0'002
γ	1'44 ± 0'02	1'26 ± 0'02	1'63 ± 0'03
γ (teórico)	1'40	1'29	1'67
Desviación relativa (%)	2'9	1'6	2'0

### CONCLUSIONES

El objetivo de determinar el coeficiente adiabático de tres gases se ha logrado <sup>exitosamente</sup> mediante el montaje experimental del oscilador tipo Flammersfeld. A partir del conteo de oscilaciones, la presión ambiental, la masa del oscilador, su radio y el volumen del gas encerrado hemos determinado  $\gamma$  y obtenido unos valores totalmente compatibles con los valores teóricos (desviaciones menores del 3% en todos los casos). Además, la dispersión en la medida de las oscilaciones ha sido muy baja en general.

~~Para~~ <sup>Por</sup> ~~esta~~ <sup>razón</sup> hemos aproximado el aire como gas diatómico ideal, y el valor obtenido está en el límite de la compatibilidad (a 2 barras de error). Al ser el aire mezcla de varios gases, ~~no~~ existe un error en el método teórico, que podría revisarse para obtener un valor que <sup>se</sup> corresponda más con el experimental. En todo, el error del método experimental podría ser mayor, y la precisión