

## PRÁCTICA 4b

### PROCESOS ADIABÁTICOS EN GASES

#### OBJETIVO

---

Estudio de la compresión y expansión adiabáticas de varios gases, midiendo la presión, temperatura y volumen iniciales y finales para el proceso. Determinación del trabajo adiabático y de la constante adiabática  $\gamma$ .

#### MATERIAL NECESARIO

---

- ✓ Aparato de la ley adiabática PASCO TD-8565, provisto de un cilindro con émbolo móvil y sensores de presión, temperatura y volumen.
- ✓ *Interface 300* y cables auxiliares de conexión para los sensores de presión y temperatura.
- ✓ Software "*Scientific Workshop*" de PASCO para la recogida y tratamiento de las medidas.
- ✓ Ordenador
- ✓ Gases (aire, CO<sub>2</sub>, y Ar)

#### INTRODUCCIÓN TEÓRICA

---

Un proceso es adiabático cuando no se produce intercambio de calor entre el sistema y el ambiente. Esta situación se tendría cuando hubiera un aislamiento térmico perfecto del sistema, o cuando el proceso ocurriera tan rápido que no hubiera prácticamente transferencia de calor. Si consideramos que el sistema es un gas ideal, la combinación del primer principio de la termodinámica con la ecuación de estado proporciona una nueva ley, denominada a veces *ecuación adiabática*. Para su deducción supongamos un proceso adiabático, es decir,  $\delta Q = 0$ . Así, según el primer principio

$$dU = -\delta W = -pdV. \quad (1)$$

Si el gas es ideal, diferenciando la ecuación de estado  $pV = nRT$ , obtenemos

$$pdV + Vdp = nRdT. \quad (2)$$

Al ser un gas ideal,  $dU = nc_VdT$ , podemos obtener  $nRdT = -(Rp/c_V)dV$  de la ec. (1). Sustituyendo en la ec. (2),

$$pdV + Vdp = -\frac{Rp}{c_V}dV \quad \Rightarrow \quad p\left(1 + \frac{R}{c_V}\right)dV + Vdp = 0 \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que  $c_p - c_V = R$  y definiendo el *coeficiente adiabático*  $\gamma = c_p/c_V$ , se llega a

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0, \quad (4)$$

que puede integrarse fácilmente si  $\gamma$  es constante (lo que se cumple razonablemente bien para gases simples a temperaturas moderadas) para obtener la *ecuación adiabática*

$$\ln p + \gamma \ln V = \text{constante} \quad \Rightarrow \quad pV^\gamma = \text{constante}. \quad (5)$$

Combinando esta última ecuación y la ley de los gases ideales, también se puede obtener

$$TV^{\gamma-1} = \text{constante}. \quad (6)$$

Por otro lado, es fácil calcular el trabajo hecho por el gas en un procesos adiabático entre los estados 1 y 2. Teniendo en cuenta  $\delta W = p dV$  y que por la ley adiabática  $p = k/V^\gamma$ , siendo  $k = p_2 V_2^\gamma = p_1 V_1^\gamma$  constante,

$$W = k \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_1 V_1}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-\gamma} \quad (7)$$

Nótese que  $1-\gamma < 0$ , así que para compresiones adiabáticas ( $V_2 < V_1$ ), el trabajo hecho por el gas es negativo, es decir, se realiza trabajo sobre el sistema, como es lógico. Asimismo, como por el primer principio  $\Delta U = -W$ , entonces  $\Delta U > 0$  (el trabajo realizado sobre el gas hace que aumente su energía interna). Ello indica que en una compresión adiabática la temperatura del gas aumenta. Por el contrario, en una expansión adiabática ( $V_2 > V_1$ ),  $W > 0$  e  $\Delta U < 0$ . El gas realiza ahora trabajo a costa de su energía interna, que disminuye. Por ello, en una expansión adiabática disminuye la temperatura del gas.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

*El montaje del experimento debe ser verificado por el profesor antes de manipular el pistón y proceder a la toma de datos.*

### Montaje experimental

El dispositivo experimental se muestra en la figura 1. Consta de un aparato pistón-cilindro que contiene los sensores de presión, temperatura y volumen del gas encerrado dentro del pistón. Además se dispone de un ordenador para el registro y manipulación de los datos con el programa *Scientific Workshop* y de un *interface 300* analógico-digital para transferir las medidas desde los sensores al ordenador.

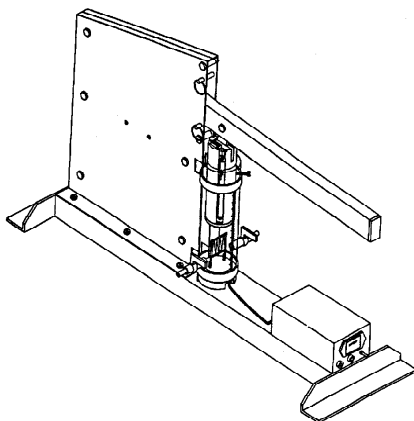


Figura 1. Dispositivo experimental

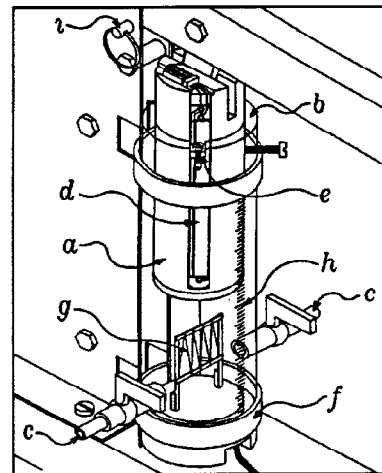


Figura 2. Detalle del cilindro

El aparato (figura 2) consta de un pistón de plástico (a) que se puede mover manualmente dentro de un cilindro transparente (b) que contiene un gas, introducido y extraído a través de las dos válvulas metálicas (c). Montado a lo largo del pistón hay un divisor lineal de tensión (d) alimentado por una fuente de tensión interna de 5 V que se usa para determinar la posición del pistón (y con ello el volumen de gas encerrado) mediante la medida del voltaje en la conexión (e). En la base del cilindro (f) se encuentran el sensor de presión y el de temperatura. Sellado a la parte inferior de la base, el sensor de presión es un elemento piezo-resistivo. El sensor de temperatura (g) está montado sobre la base y es un fino alambre de níquel con un coeficiente de resistencia muy alto. Ambos sensores están conectados a un montaje en puente, alimentado por una fuente externa de 9 V, con sendos amplificadores. Los amplificadores dan la medida de los sensores en voltios, proporcionales a la presión y temperatura respectivamente.

Sobre el cilindro se encuentra una escala milimétrica (h) que permite determinar la posición del pistón con el objeto de calcular el volumen (esto es necesario para la calibración, como se verá más adelante).

Dos topes móviles (i) limitan el movimiento de la palanca del pistón. Cuando no se utilicen, los topes se guardan en los dos agujeros situados encima de la etiqueta central del aparato.

En la base del aparato se encuentra un compartimento con la pila de 9 V que alimenta el montaje en puente de los sensores de presión y temperatura. El interruptor debe estar en la posición ON para la pila. El cable del sensor de volumen (fijo al aparato) está conectado al canal A del *interface*. Los cables auxiliares conectan el sensor de temperatura al canal B y el de presión al canal A. En el ordenador, iniciad el programa "*Scientific Workshop*". Aparecerá una pantalla como la figura 3. Arrastrad el icono "cable de conexión" hasta uno de los canales y seleccionar el tipo de sensor correspondiente. Repetir para cada uno de los canales restantes. En cualquier caso, las salidas de los tres sensores son voltajes, con una relación lineal bastante aproximada entre el voltaje y la magnitud medida ( $V, T, p$ , según el caso).

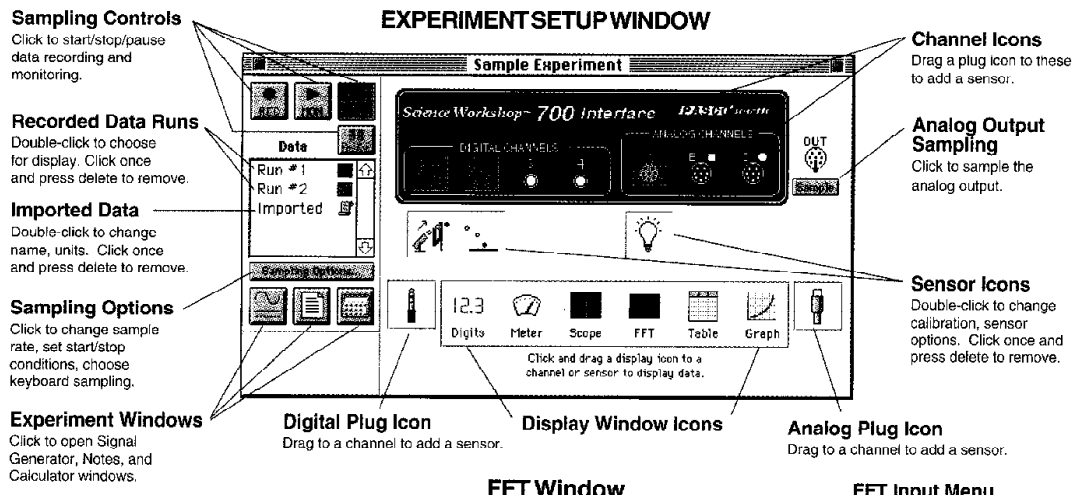


Figura 3. Pantalla inicial del *Scientific Workshop*

Para comprobar si los sensores funcionan correctamente y el montaje está bien realizado, arrastrad el icono "*graph*" (gráfica) sobre los canales A, B y C. Con ello tendremos una representación gráfica de la salida de cada uno de los canales en función del tiempo. Ahora podemos activar el modo "*MON*" (*monitor*, para visualizar los datos sin grabarlos) mientras movemos el pistón arriba y abajo, con las válvulas cerradas. En las gráficas deben aparecer las señales de los tres canales, que cambian según comprimimos y expandimos el gas. Una vez comprobado que los sensores responden adecuadamente, presionad "*STOP*" para detener la visualización de los datos.

### Calibración de los sensores

Cuando se ha verificado el funcionamiento del aparato, se procede a la calibración de los sensores. Es decir, la conversión de la salida en volts de los sensores en las magnitudes correspondientes. Haciendo doble "click" en el icono que representa un sensor, se activa la pantalla de calibrado del mismo.

(i) *Volumen*: Situamos el pistón en la posición más alta (con los topes quitados). Cuando la lectura en voltios se ha estabilizado, presionad "*read*" y calculad el volumen correspondiente a partir de la medida de la posición del pistón en la escala milimétrica del cilindro y del radio del pistón (cuya medida figura en la etiqueta central del aparato). Debido a las válvulas, hay que añadir  $1 \text{ cm}^3$  a los volúmenes calculados. Introducir el valor de volumen calculado en la casilla correspondiente. A continuación repetid todo el proceso para la posición más baja del pistón.

(ii) *Temperatura*: Cada aparato proporciona una ecuación lineal de calibrado ( $T$  en función del voltaje) en la etiqueta central. Con el pistón levantado, presionad "*read*" para tomar el voltaje correspondiente al primer punto de calibrado, e introducid la temperatura calculada por la ecuación de calibrado para ese voltaje. Para obtener el segundo punto de calibrado, comprimid el gas (con las válvulas cerradas) y rápidamente presionad "*read*" para obtener una lectura de voltaje elevada. Calculad e introducid la temperatura correspondiente. Téngase en cuenta que en este procedimiento, la primera lectura corresponde a la temperatura baja, y la segunda (tras la compresión) a la temperatura alta.

(iii) *Presión*: El sensor de presión está calibrado por el fabricante:  $1.00 \text{ V}$  equivale a  $100 \text{ kPa}$  (presión absoluta). Con el pistón en la posición superior, presionad "*read*" cuando la lectura de voltaje se haya

estabilizado. Introducid el valor correspondiente de presión (multiplicando la lectura en volts por 100 000). Mover el pistón hacia abajo, con las válvulas cerradas, y mantenedlo en la posición inferior. Cuando la lectura se estabilice, proceded como en el punto de calibrado anterior.

Los tiempos de respuesta de los sensores de volumen y presión son despreciables, pero debido a la inevitable inercia térmica del sensor de temperatura, sus medidas sufren un retraso de 30-50 ms.

### Realización de medidas

Para realizar medidas de compresión y expansión de gases es conveniente insertar los topes para limitar el movimiento del pistón. Para recoger y grabar los datos, operad el programa en el modo "REC" (*record*). Presionando el botón "sampling options", situad la frecuencia de muestreo en 50 datos por segundo.

(i) *Compresión*. Llenad el cilindro con aire a la presión atmosférica. Cerrad las válvulas y esperad unos segundos a que se alcance el equilibrio (activando el modo "MON" se puede comprobar que las lecturas de los sensores no cambian). En este momento activad el modo "REC" y comprimid rápidamente el gas manteniendo el pistón en la posición inferior hasta detener la adquisición de datos pulsando "STOP". En la pantalla principal, a la izquierda, aparecerá "run #1" indicando que la serie de datos ha quedado grabada bajo este nombre. Para sucesivas tomas de datos aparecerá "run #2", "run #3", etc. Activando "graph" en cada sensor, podemos visualizar la variación con el tiempo del volumen, presión y temperatura del gas durante el proceso.

(ii) *Expansión*. Mantened el pistón en la parte inferior con las válvulas cerradas hasta que se alcance el equilibrio. Activad el modo "REC" y llevad el pistón hasta la posición superior para producir una expansión, que debe efectuarse rápidamente. Mantened el pistón en la parte superior hasta pulsar "STOP". Visualizad los resultados obtenidos en "graph".

Los procesos de compresión y expansión para un gas dado pueden repetirse varias veces para obtener una serie de resultados que permite una comparación. Un factor determinante es el tiempo invertido en el proceso, pues el carácter adiabático del mismo depende de la rapidez con que se lleva a cabo.

(iii) *Cambio de gas*. En el cilindro se puede introducir distintos gases con el objeto de comparar los resultados en función del tipo de gas (mono-, di-, triatómico) empleado. Además del aire, podemos utilizar argón y dióxido de carbono. Estos se obtienen de las bombonas disponibles en el laboratorio, que están provistas de un manorreductor para disminuir la presión de salida a menos de 35 kPa (introducir el gas a una presión más elevada puede dañar el sensor de temperatura dentro del cilindro). Además, hay que purgar el cilindro para que no queden restos del gas anterior. Por ello, el cambio de gas debe ser supervisado por el profesor de laboratorio. El proceso a seguir es el siguiente:

1. Conectad la salida de la bombona (tubería amarilla para el argón y gris para el dióxido de carbono) a una de las válvulas del cilindro.
2. Quitad los topes del pistón para que éste pueda moverse libremente entre las posiciones extremas.
3. Con el pistón abajo y la otra válvula cerrada llenad el cilindro con el gas hasta el máximo volumen.
4. Cerrando la válvula de llenado, vaciad el gas por la otra válvula llevando el pistón hacia abajo.
5. Cerrad la segunda válvula y volved a llenar el cilindro con el gas.

Repetid este proceso al menos nueve veces, terminando con el cilindro lleno. Cerrad las dos válvulas y colocad los dos topes para limitar el movimiento del pistón. Con el nuevo gas en el cilindro, se puede proceder a tomar las medidas correspondientes a la compresión y expansión de la misma forma que en los apartados anteriores.

## 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  $p$  constante 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.