

# Procesos termodinámicos



## Objetivo

El objetivo de esta propuesta es el estudio experimental de distintos procesos termodinámicos simples para un gas ideal (aire). En particular se estudiarán procesos adiabáticos, isotermos e isocóricos.

## Introducción

Si sobre un sistema se realiza un proceso termodinámico de modo tal que no haya intercambio de calor (energía) con el medio circundante, se lo denomina *proceso adiabático*. Este tipo de proceso tiene lugar si el sistema estuviera perfectamente aislado térmicamente o bien si se lo realiza suficientemente rápido como para que no haya tiempo suficiente para que se produzca un intercambio de calor con el medio circundante.

Si el sistema puede intercambiar energía con su medio y el proceso se realiza lentamente, de modo que el sistema tenga tiempo de entrar en equilibrio térmico con el medio circundante, el proceso es *isotérmico*. Cuando el proceso es intermedio entre estos dos extremos (adiabático e isotérmico) el proceso se denomina *politrópico*.

A presiones moderadas,  $P \leq 3 \text{ bar}$ , casi todos los gases pueden ser considerados como ideales. Esto significa que, entre otras propiedades, ellos se comportan siguiendo la ecuación de estado:

$$P.V = n \times R \times T, \quad (1)$$

donde,  $P$  es la presión absoluta del gas,  $V$  su volumen,  $T$  la temperatura absoluta,  $n$  el número de moles del gas y  $R$  la constante universal de los gases. Es importante considerar que para estudiar las propiedades de un gas es crucial evitar la presencia de vapores (agua) en el mismo, ya que los vapores no siguen la misma ley.

Cuando a un gas se lo somete a distintos procesos termodinámicos, el mismo sigue trayectorias en un diagrama PV que son características del tipo de proceso al que es sometido.

El cuadro siguiente indica algunos procesos usuales con sus ecuaciones características:

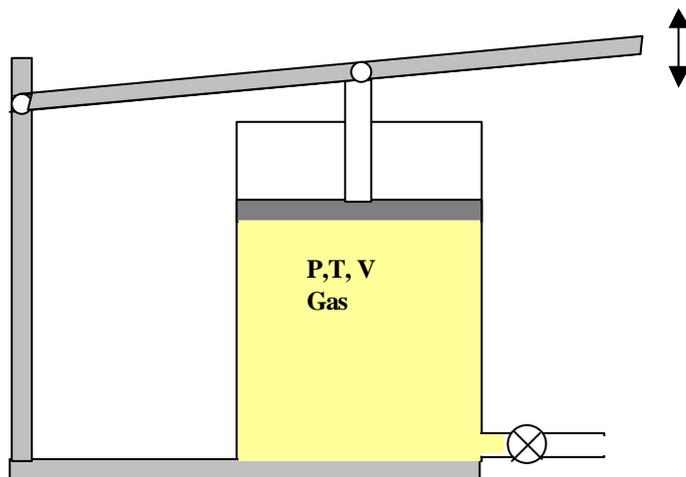
Proceso	Ecuación característica
<i>Isotérmico</i>	$P \cdot V = \text{constante}$
<i>Isocórico</i>	$V = \text{constante}$
<i>Isobárico</i>	$P = \text{constante}$
<i>Adiabático</i>	$P \cdot V^\gamma = \text{constante}$
<i>Politrópico</i>	$P \cdot V^k = \text{constante}$

Aquí  $\gamma (= c_p / c_v)$  es el coeficiente adiabático del gas y  $k$  una constante que depende del proceso y cuyo valor está comprendido entre  $1 \leq k \leq \gamma$ . Para gases ideales con  $\nu$  grados de libertad (activos) por molécula se tienen:  $\gamma \cong (1 + 2/\nu)$ .

## Diseño experimental

Para este experimento es necesario disponer de un aparato que permita medir simultáneamente la presión, el volumen y la temperatura de gas simultáneamente. También es necesario disponer de un sistema de toma de datos por computadora (u otro modo automático de adquisición de datos) que pueda medir estos parámetros a una frecuencia de por lo menos 30 Hz. El dispositivo descrito en la referencia [1], como los equipos de compresión de gases provistos por firmas comerciales (Leybol, Pasco (Adiabatic Gas Law Apparatus - TD 8565), etc.) son adecuados para estos experimentos. Desde luego, otras realizaciones también son posibles.

En esencia, el equipo necesario para este experimento consiste de un cilindro con un pistón que puede operarse manualmente para comprimir (o descomprimir) un gas, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 1. El mismo dispone de sensores rápidos de medición de presión  $P$ , temperatura  $T$  y volumen  $V$ , capaces de ser conectados a una interface de conversión analógica-digital conectada a una PC. También se debe disponer de válvulas de entrada y salida del gas.



**Figura 1.** Equipo de compresión con válvula y sensores de medición de P,T y V..

## Actividad 1

### Calibración de los sensores de P,T y V

- Como primer paso para el estudio de los procesos termodinámicos a analizar, es preciso calibrar el equipo, de modo que los datos que se registren en la computadora puedan ser convertidos a valores de presión, volumen y temperatura en unidades estándares. En el caso del volumen del sistema, esto se puede lograr por medio del conocimiento de la geometría del sistema, es decir midiendo (o conociendo) los valores del diámetro interno del cilindro y la altura del pistón. Para calibrar el sensor de presión se puede usar un manómetro calibrado de mercurio o preferentemente uno tipo Bourdon. Conectando el manómetro calibrado al aparato, se realiza la calibración en condiciones estáticas, es decir, se comprime el gas con el pistón, se deja equilibrar el sistema y se miden el valor de presión en el manómetro y la tensión que produce en estas condiciones el transductor de presión. A partir de estos datos se realiza la calibración del transductor. En el caso de la temperatura, se puede partir de la temperatura ambiente y hacer circular por el aparato un flujo de gas (aire) a distintas temperaturas. Esto puede lograrse usando una serpentina metálica (cobre preferentemente) sumergida en un baño de agua colocado en un termostato. En todo los casos debe evitarse el flujo de aire demasiado grande que pueda perjudicar a los sensores del aparato. Tenga mucha precaución en el manejo del equipo y discuta con su instructor el esquema de calibración antes de llevarlo a cabo. Si posee una calibración confiable del sensor de temperatura, esta última calibración puede obviarse.

### Procesos termodinámicos simples

- *Proceso isotérmico*: Comprima el gas lentamente, controlando que en todos los casos la temperatura permanezca lo más constante posible.
  - Grafique los valores de  $P$  versus  $V$  y  $(P.V)$  versus  $V$ .
  - Compare sus resultados con los que predice la ley de Boyle.
- *Proceso adiabático*: Comprima el gas rápidamente, pero sin brusquedad, de modo de no dañar el equipo en uso. Registre los valores de  $P, V$  y  $T$ .
  - Grafique  $P$  versus  $V$  y  $T$  versus  $V$ , tanto en escala lineal como en escalas semilogarítmicas y logarítmicas.
  - ¿Qué tipo de relación encuentra entre las variables  $P$  y  $V$  y entre  $P$  y  $T$ ?
  - Determine  $\gamma$  a partir de sus resultados y compare con los valores de  $\gamma$  tabulados para el gas usado.
- *Proceso Politrópico*: Comprima el gas a una rapidez intermedia entre las realizadas anteriormente. Registre los valores de  $P, V$  y  $T$ .

- Grafique  $P$  versus  $V$  y  $T$  versus  $V$ , tanto en escala lineal como en escalas semilogarítmicas y logarítmicas.
  - ¿Qué tipo de relación encuentra entre las variables  $P$  y  $V$  y entre  $T$  y  $V$ ?
  - Determine  $\kappa$  a partir de sus resultados y compare con el valor de  $\gamma$  encontrado exteriormente.
- *Proceso Isocórico:* Partiendo del gas a temperatura ambiente y en el menor valor de volumen, expanda el pistón rápidamente hasta su valor máximo. A continuación, manteniendo el volumen fijo (pistón inmóvil), espere hasta que la temperatura del gas vuelva a su valor de equilibrio. Finalmente, comprima el gas isotérmicamente hasta su volumen original.
- Grafique  $P$  versus  $V$  y  $T$  versus  $P$ , tanto en escala lineal como en escalas semilogarítmicas y logarítmicas.
  - Para el tramo en que el volumen es contante, grafique la relación entre las variables  $P$  y  $T$ . Compare sus resultados con las expectativas de la Ley de Charles y Gay-Lussac.

## Actividad 2

### Procesos termodinámicos con otros gases

- Si dispone de otros gases distintos que el aire, por ejemplo Helio, Argón, gas natural, etc., cargue el gas en el aparato de la figura 1, teniendo la precaución de que el contenido del cilindro contenga el nuevo gas en forma lo más pura posible. Para esto se puede utilizar el émbolo para purgar varias veces el recipiente. Una vez logrado el llenado con el nuevo gas, repita el procedimiento realizado en la propuesta 2. Compare sus resultados con los valores obtenidos para  $\gamma$  con el valor correspondiente para el aire.

## Bibliografía

1. *Aparatus to measure adiabatic and isothermal processes*, D. W. Lamb and G.M.White, Phys. Teach. **34**, 290 (1996).
2. *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968).
3. *Fundamento de termodinámica*, Octave Levenspiel, Prentice Hall, México (1996).

4. *Curso superior de física práctica*, B. L. Worsnop y H.T. Flin, EUDEBA, Buenos Aires (1964); Original Inglesa de Ed. Fethuen Co., Ltd. London (1957).