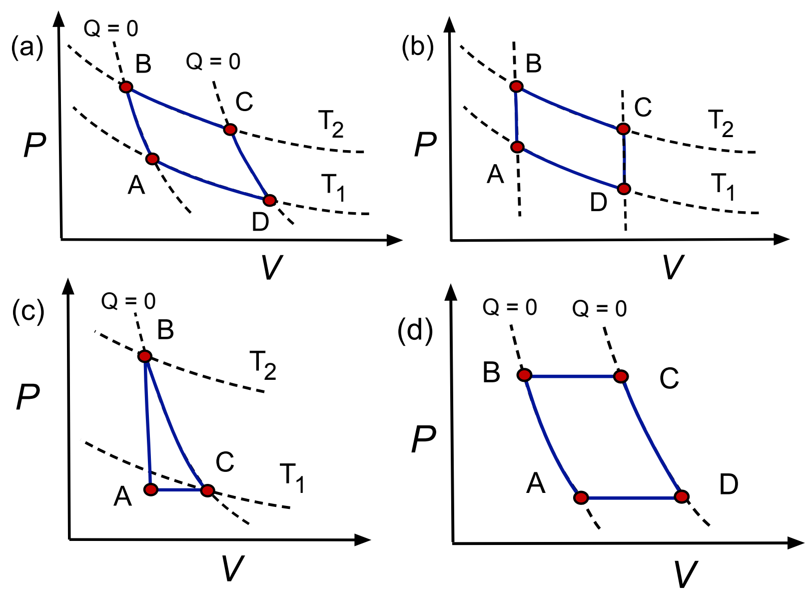
10.- Termodinámica

- **Problema 10.1**

La figura representa cuatro procesos cíclicos en un diagrama presión-volumen (pV) para un gas ideal. Describir sus procesos básicos (identificando isotermos, adiabáticos, isóbaros e isócoros) y el calor y trabajo intercambiados en los mismos en los siguientes casos:

1. Cuando el ciclo se recorren en sentido horario.
2. Si se recorren en sentido antihorario.



Solución :

a) Cuando se recorren en sentido de las agujas del reloj:

   a) AB proceso adiabático; $W > 0$, $Q = 0$; BC isotermo $W < 0$, $Q > 0$; CD adiabático, $W < 0$; $Q = 0$ y DA isotermo $W > 0$, $Q < 0$.

   b) AB proceso isócoro; $W = 0$, $Q > 0$; BC isotermo $W < 0$, $Q > 0$; CD isócoro, $W = 0$; $Q < 0$ y DA isotermo $W > 0$, $Q < 0$.

   c) AB proceso isócoro; $W = 0$, $Q > 0$; BC adiabático $W < 0$, $Q = 0$ y CA isóbaro, $W > 0$; $Q < 0$.

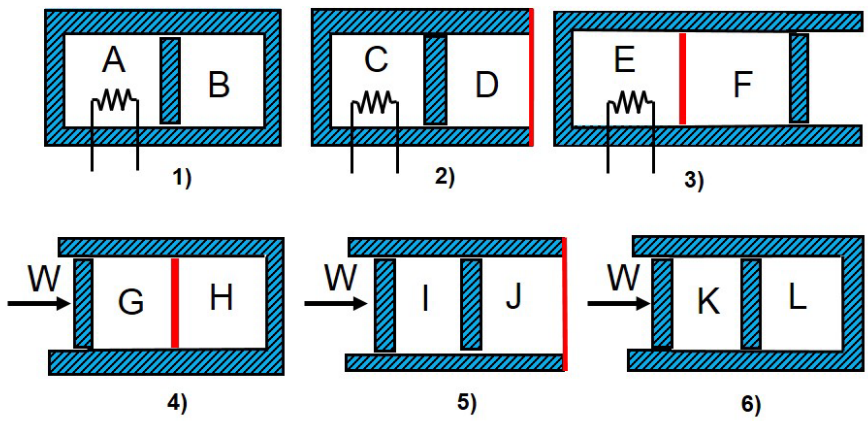
   d) AB proceso adiabático; $W > 0$, $Q = 0$; BC isóbaro $W < 0$, $Q > 0$; CD adiabático, $W < 0$; $Q = 0$ y DA isóbaro $W > 0$, $Q < 0$.

b) Si se recorren los ciclos en el sentido antihorario, cambia todo de signo.

- **Problema 10.2**

Las cámaras de la figura, cuyas paredes interiores son móviles, contienen un mismo gas ideal, inicialmente en equilibrio a la temperatura T_o, volumen V_o y presión p_o, que son iguales a las del medio exterior. En los casos (1-3) la resistencia eléctrica transfiere una cantidad de calor Q al gas y en (3) la pared exterior derecha puede desplazarse. En (4-6) se realiza un trabajo externo W sobre el gas encerrado en uno de los compartimientos.

Se pide describir el proceso que realiza el gas en cada uno de los sistemas (1-6) y dibujar el correspondiente diagrama presión-volumen.



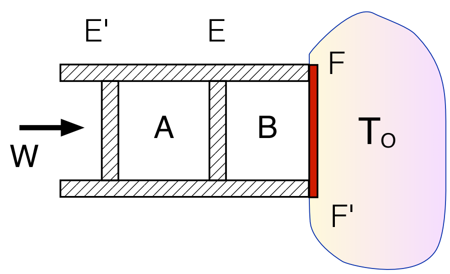
Solución :

1. En B proc. adiabático, $p_A = p_B$ y $V_A + V_B$ constante.
2. $T_D = T_o, p_C = p_D$ y $V_C + V_D$ constante.
3. $T_E = T_F, p_E = p_F = p_o$.
4. $T_G = T_H, P_G = p_H, Q_G + Q_H$ = 0.
5. $T_J = T_o, p_I = p_J$ y el proceso en I es una compresión adiabática.
6. $p_K = p_L$ y los proceso en K y L son compresiones adiabáticas.

• **Problema 10.3 :** En el interior de un recipiente se tienen dos recintos A y B con n_A y n_B moles del mismo gas ideal. Los émbolos E y E' son adiabáticos y pueden deslizar sin fricción. La pared fija FF' es diatérmica y está en contacto con un baño térmico a temperatura T_o. En el equilibrio inicial cada recinto tiene un volumen V_o. Luego, el émbolo E' se desplaza lentamente desde el exterior hacia la derecha hasta que el volumen de A se reduce a $V_o/2$.

Para el nuevo equilibrio, se pide:

a) Las temperatura inicial $T_A = T_{Ao}$ y final T'_A del gas en el recinto A.
b) La presión final p'_A del gas en A.
c) El volumen final V'_B del gas en B.
d) El trabajo realizado por el gas en A
e) El calor intercambiado por el gas en B con el foco térmico.



Solución :

(a) $T_{Ao} = T_o\,(n_B/n_A)$; $T'_A = 2^{(\gamma-1)}\,T_o\,(n_B/n_A)$

(b) $p'_A = 2^{\gamma}\,(n_B\,R\,T_o/V_o)$

(c) $V'_B = 2^{-\gamma}\,V_o$

(d) $W_A = -\dfrac{n_B\,R\,T_o}{\gamma-1}\left(2^{(\gamma-1)} - 1\right)$

(e) $Q = -\gamma n_B\,R\,T_o\,\ln 2 < 0$

• **Problema 10.4**

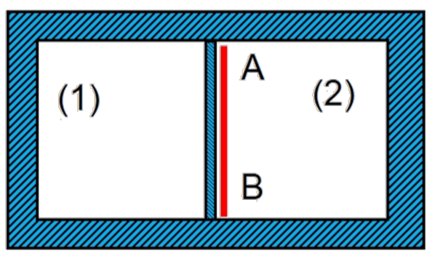
En el interior de un recipiente de volumen V_o y paredes adiabáticas se tienen una lámina adiabática y un émbolo diatérmico AB (en rojo en la figura) que pueden deslizar sin rozamiento y están sujetos inicialmente por topes. Inicialmente lámina y émbolo dividen el cilindro en dos recipientes iguales (1) y (2) que contienen respectivamente n_1 y n_2 moles un mismo gas ideal monoatómico a las temperaturas T_1 y T_2.

Se realizan los siguientes procesos consecutivamente;

a) Se retira la lámina adiabática, los topes y se espera a alcanzar el equilibrio.
b) Se desplaza lentamente el émbolo hasta que el volumen de (1) se reduce a $V_o/4$ mediante un mecanismo externo.

Se pide:

1. La temperatura T', presión p' y volúmenes (V_1', V_1') de los depósitos en el equilibrio final después del proceso (a).
2. El incremento de entropía de los dos recintos en el proceso (a).
3. Trabajo realizado en el proceso (b), basta dejar los cálculos de la temperatura indicados.



Solución :

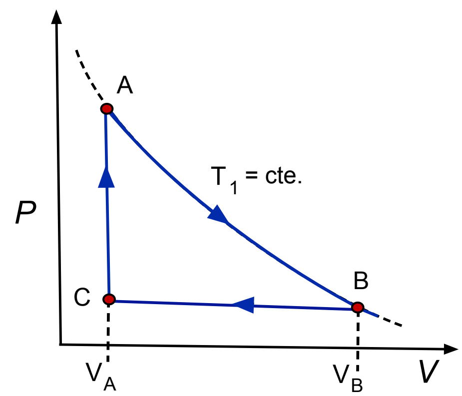
1) $$T' = \frac{n_1\,T_1 + n_2\,T_2}{n_1+n_2} \qquad p' = \frac{n_1\,R\,T_1 + n_2\,R\,T_2}{V_o} \qquad V_1' = \frac{n_1}{n_1+n_2}\,V_o \qquad V_2' = \frac{n_2}{n_1+n_2}\,V_o$$

2) $$\Delta S_1 = n_1\,R\left(\frac{1}{\gamma-1}\ln\frac{T'}{T_1} + \ln\frac{2\,V_1'}{V_o}\right) \qquad \Delta S_2 = n_2\,R\left(\frac{1}{\gamma-1}\ln\frac{T'}{T_2} + \ln\frac{2\,V_2'}{V_o}\right)$$

3) $$W = \frac{n_1+n_2}{\gamma-1}\,(T'' - T') \quad \text{donde,} \quad T'' = \frac{n_1\,T_1 + n_2\,T_2}{n_1+n_2}\left(\frac{4\,n_1}{n_1+n_2}\right)^{\frac{(\gamma-1)\,n_1}{(n_1+n_2)}}\left(\frac{4\,n_2}{3\,(n_1+n_2)}\right)^{\frac{(\gamma-1)\,n_2}{(n_1+n_2)}}$$

• **Problema 10.5**

En el ciclo termodinámico reversible de la figura, n moles de gas ideal experimentan una expansión isoterma en AB a la temperatura T_1, una compresión manteniendo la presión constante en BC, luego en CA se incrementa la presión manteniendo el volumen constante. Se conocen los volúmenes V_A y V_B, la temperatura T_1 y se pide el calor y trabajo intercambiados en cada proceso del ciclo.



Solución :

$$W_{AB} = n\,R T_1 \,\ln \frac{V_A}{V_B} < 0 \quad ; \quad Q_{AB} = -W_{AB} > 0$$

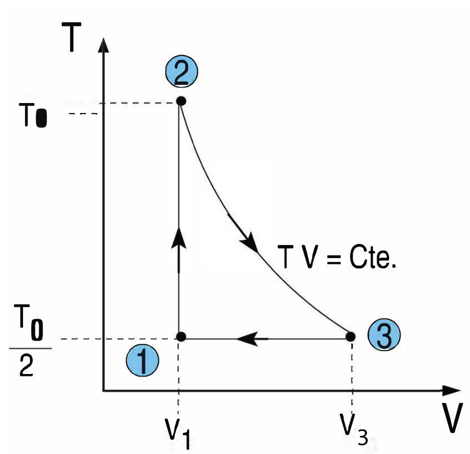
$$W_{BC} = p_A\,(V_B - V_C) > 0 \quad ; \quad Q_{BC} = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}\,nT_1 \left(\frac{V_A}{V_B} - 1\right) < 0$$

$$W_{CA} = 0 \quad ; \quad Q_{CA} = \Delta U_{CA} = \frac{n\,R}{\gamma - 1}\,T_1 \left(1 - \frac{V_A}{V_B}\right) > 0$$

- **Problema 10.6**

Un sistema consta de n moles de un gas ideal monoatómico que efectúan el ciclo reversible indicado en el diagrama temperatura-volumen de la figura. El gas parte del estado 1 del que se conocen su temperatura $T_o/2$ y su volumen en V_1. Sabiendo que en el proceso $2-3$ se mantiene constante el producto $T \times V$, se pide, en función de n y T_o :

a) El calor y trabajo en el proceso $1-2$.
b) El trabajo en el proceso $2-3$.
c) La variación de energía interna y calor del proceso $3-1$.
d) Rendimiento del ciclo.



Solución :

(a) $W_{12} = 0 \;\; ; \;\; Q_{12} = \Delta U_{1,2} = \dfrac{3}{4}\, n\, R\, T_o > 0$

(b) $W_{23} = -\dfrac{n\, R\, T_o}{2}$

(c) $\Delta U_{31} = 0 \;\; ; \;\; Q_{31} = -W_{31} = -\dfrac{n\, R\, T_o}{2}\, \ln 2 < 0$

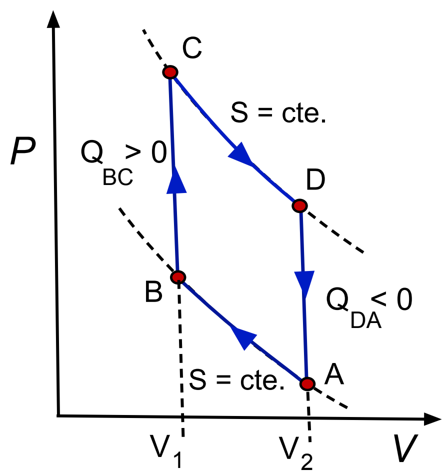
(d) $\eta = \dfrac{2}{3}\, (1 - \ln 2)$

- **Problema 10.7**

El ciclo de Otto de la figura es un modelo del funcionamiento de un motor de gasolina de encendido por una chispa eléctrica. En este modelo, n moles de un gas ideal experimentan una compresión isentrópica en AB, luego un aporte de calor a volumen constante ($Q_1 > 0$, combustión) en el proceso BC, seguido de una expansión isentrópica en CD ($W < 0$) y finalmente en DA se cede calor a volumen constante ($Q_2 < 0$, enfriado).

Sabiendo la relación $k = V_1/V_2$ (ver figura) y el coeficiente de Poisson γ del gas se pide:

a) La relación entre las temperaturas en los puntos señalados del ciclo.
b) Los calores intercambiados por el gas en los procesos BC y DA.
c) El rendimiento del ciclo.



Solución :

$$\text{a)} \quad \frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{(\gamma-1)} \quad ; \quad \frac{T_A}{T_D} = \frac{T_B}{T_C}$$

$$\text{b)} \quad Q_{DA} = \frac{n\,R}{\gamma-1}(T_A - T_D) < 0 \quad ; \quad Q_{BC} = \frac{n\,R}{\gamma-1}(T_C - T_B) < 0$$

$$\text{c)} \quad \eta = 1 - k^{\gamma-1}$$