

## Física 2 (Biólogos y Geólogos)

### SERIE 7

## Trabajo, Calor, Energía interna, Entalpía

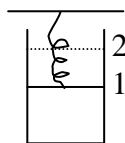
1. Definir sistemas termodinámicos, medio ambiente y pared adiabática.
2.
  - a) ¿Cuál será la expresión de  $W$  para el caso de un trabajo de volumen?
  - b) ¿Cuáles de estas variables son intensivas y cuáles extensivas?
  - c) ¿Qué es una variable de estado?
  - d) Dar ejemplos de variables intensivas y extensivas.
3. Expresar kWh en erg. y en Joule.
4. Un mol de gas ideal se expande irreversiblemente en contacto con una fuente de calor a  $373^\circ\text{K}$  contra una presión exterior constante de 5 atm, partiendo del estado en que la presión termodinámica es de 10 atm., hasta llegar al volumen de equilibrio.
  - a) Calcule el trabajo realizado por el gas.
  - b) Calcule ahora ese trabajo, en el caso en que el gas se expanda reversiblemente.
  - c) Calcule el calor recibido por el gas, de la fuente, en cada caso.
  - d) Calcule  $\Delta U$  y  $\Delta H$ , y compare  $\Delta H$  con el calor  $Q$ , en cada caso.

**Resp:** a)  $W=1520\text{ J}$ ; b)  $W=2150\text{ J}$ ; c)  $Q=W$  en cada caso; d)  $\Delta U=0$

5. Se tiene un cilindro con un pistón sin rozamiento que contiene  $1\text{m}^3$  de un gas monoatómico ( $\gamma = 5/3$ ) a presión atmosférica ( $1,01 \cdot 10^5\text{ Nt.m}^{-2}$ ). Se comprime el gas hasta que el volumen sea  $0,4\text{ m}^3$ . ¿Cuánto trabajo se realizó para comprimir este gas?
  - a) Si el proceso es isotérmico reversible.
  - b) Si el proceso es a  $P = P_{\text{ext}} = \text{cte}$ .
  - c) Si el proceso es adiabático reversible.

**Resp:** a)  $W = -92.5\text{ kJ}$ ; b)  $W = -60.6\text{ kJ}$ ; c)  $W = -128\text{ kJ} \Rightarrow \Delta U = 128\text{ kJ}$

6. Un cilindro en el cual el pistón es sostenido por un resorte, contiene  $0.03\text{m}^3$  de aire a una presión de 1050 mbar, equilibrada con la presión atmosférica constante de 1050 mbar. Los pesos del pistón y del resorte pueden considerarse despreciables. En el estado inicial el resorte no ejerce ninguna fuerza sobre el pistón. Entonces se calienta el gas hasta duplicar su volumen. La presión final del gas es 3500 mbar, y durante el proceso el resorte ejerce una fuerza proporcional al desplazamiento del pistón a partir de su posición inicial siendo la constante de proporcionalidad del resorte  $k = 10000\text{ N/m}$ .



Considerando el gas como sistema, calcular el trabajo total efectuado por el sistema. De este trabajo total, ¿qué porcentaje está hecho contra la atmósfera y cuál contra el resorte?

**Resp:**  $W_{\text{total}}=6875$  J, 46% contra la atmósfera y 54% contra el resorte

7. Diez moles de un gas ideal ( $\gamma = 5/3$ ) que se encuentra inicialmente a  $27^\circ\text{C}$  y 760 mm. de Hg, se comprimen en forma reversible a la mitad del volumen inicial.

a) Calcule Q, W,  $\Delta U$  y  $\Delta H$  del sistema cuando el proceso se realiza isotérmicamente.

b) Calcule Q, W,  $\Delta U$  y  $\Delta H$  del sistema cuando el proceso se realiza adiabáticamente.

**Resp:** a)  $Q=W= -17.3$  kJ,  $\Delta U=\Delta H=0$

b)  $Q=0$ ,  $W= -22$  kJ,  $\Delta U=22$  kJ y  $\Delta H=36.6$  kJ

8. Calcular el trabajo realizado y el calor absorbido (o entregado) por  $1\text{ m}^3$  de gas ideal a presión atmosférica cuando se lo somete a los siguientes procesos:

a) Desde las condiciones iniciales se comprime el gas isotérmica y reversiblemente hasta 20 veces la presión inicial.

b) Desde las condiciones iniciales se calienta el gas a volumen constante hasta 20 veces la presión inicial. Luego se lo lleva reversiblemente, a presión constante, hasta el volumen final del caso anterior.

c) dibuje el diagrama P-V.

**Resp:** a)  $Q=W= -303.5$  kJ; b)  $Q=W= -1925$  kJ

9. La temperatura de 5kg. de  $\text{N}_2$  gaseoso se eleva desde  $10^\circ\text{C}$  a  $130^\circ\text{C}$ .

a) Si se realiza el proceso a presión constante, halle la cantidad de calor necesaria para ello, el incremento de energía interna y el trabajo exterior realizado sobre el gas.

b) Calcule la cantidad de calor necesaria si el proceso se lleva a cabo a volumen constante.

Los calores específicos del gas  $\text{N}_2$  son:

$$C_p = 0,248 \text{ kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$C_v = 0,177 \text{ kcal/kg}^\circ\text{K}$$

**Resp:** a)  $\Delta U=106.2$  kJ;  $Q=148.8$  kJ;  $W_{\text{ext}}= -42.6$  kJ

b)  $\Delta U=106.2$  kJ=Q

10. Un gas tiene una ecuación de estado:

$$P = \frac{RT}{V} \cdot \left(1 + \frac{aT}{V}\right)$$

con  $a=\text{cte.}$ , siendo su energía interna de la forma:

$$U(V, T) = U_o(T) - R \cdot a \cdot \frac{T^2}{V}$$

a) Halle el trabajo entregado por el gas durante una expansión isotérmica reversible desde  $V_o$  a  $3V_o$ .

b) Idem, durante una expansión isotérmica contra una presión exterior constante  $P_{\text{ext}}$  menor que  $P(3V_o, T)$ , desde  $V_o$  hasta  $3V_o$ .

c) Halle la variación de energía interna del gas y los calores absorbidos en los casos a) y b).

**11.** Un gas experimenta una transformación que lo lleva de un estado inicial caracterizado por  $P_i, V_i$  a un estado final caracterizado por  $P_f, V_f$ . ¿En cuáles de los siguientes casos la variación de entalpía es igual al calor absorbido por el gas durante la transformación? Justifique analizando detalladamente cada caso:

- a)  $P_i \neq P_f$  ; la transformación ocurre en forma reversible.
- b)  $P_i \neq P_f$  ; la transformación ocurre en forma irreversible.
- c)  $P_i \neq P_f$  ; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a presión externa variable.
- d)  $P_i = P_f$  ; la transformación ocurre en forma reversible y el sistema está sometido a una presión exterior constante.
- e)  $P_i = P_f$  ; la transformación ocurre en forma irreversible y el sistema está sometido a una presión exterior constante.
- f) Verifique sus respuestas anteriores para el caso de un gas ideal, imaginando cada uno de los procesos y realizando el cálculo de Q y H.

**12.** Un mol de gas se halla encerrado en un cilindro provisto de un pistón. El cilindro y el pistón son adiabáticos. En el estado inicial el pistón se halla trabado, el volumen es  $V_A=2$  litros, la temperatura  $T_A= 300$  °K y la presión  $P_A= 5,5$  atm. El gas se expande contra una presión nula. Cuando el volumen llega a  $V_B = 2V_A$ , se traba nuevamente el pistón. La ecuación de estado del gas es:  $P(V,T) = n R T V^{-1} - a V^{-2}$

La energía interna está dada por:  $U(T,V) = 2,5 n R T - a V^{-1}$

- a) ¿Es reversible el camino entre A y B? Justifique su respuesta.
- b) ¿Cuánto vale  $\Delta U$ ? ¿Por qué?
- c) Calcule  $T_B$  y  $P_B$ .
- d) Calcule  $\Delta H_{AB}$ . ¿Coincide este valor con el calor intercambiado?
- e) Calcule  $C_V$ .

**Resp:** a) No, hay una expansión brusca dado que  $P_{gas} \neq P_{ext}=0$

b)  $\Delta U=0=W$ ; c)  $T_B=266.7K$ ;  $P_B=3.77$  atm; d)  $\Delta H_{AB}=4.1$  l atm

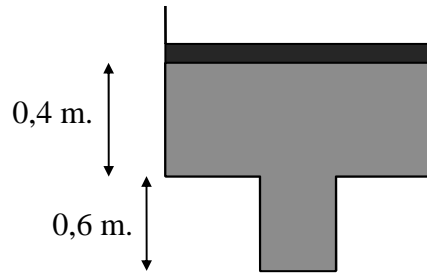
**13.** Se tiene 3 moles de un gas ideal que se expande reversible e isotérmicamente desde una presión inicial  $P_i =5atm$  hasta una presión  $P_f = 3atm$  a  $t=0^\circ C$

- a) ¿Cuántas calorías absorbe el gas?
- b) ¿Cuánto vale  $\Delta H$ ?

**Resp:** a)  $Q=W=34.3$  atm l; b)  $\Delta H=0$

**14.** Se tienen 200g de un gas ideal confinado en un cilindro como el de la figura, provisto de un émbolo de peso despreciable que se desplaza sin rozamiento. El área mayor del cilindro es de  $1m^2$  y el área menor es de  $0,5m^2$ . La presión externa es constante e igual a  $3 \cdot 10^5 N/m^2$ . La temperatura inicial de todo el sistema es de  $700^\circ K$ . El gas se deja enfriar por transmisión de calor al medio.

- a) Halle la temperatura del gas cuando el émbolo llega al escalón, suponiendo que en ese punto la presión del gas coincide con la presión exterior. Calcule el trabajo para esta parte del proceso.
- b) Luego del proceso descrito en a), se coloca el recipiente en contacto con una fuente de  $223^\circ K$ , y se deja que alcance el nuevo estado de equilibrio. Calcule ahora W,  $\Delta U$  y  $\Delta H$  para este segundo proceso ( $C_V = 0,3 \text{ cal/g}^\circ C$ ).



**Resp:** a)  $W = -120 \text{ kJ}$

**15.** Suponga un mol de gas ideal encerrado en un cilindro provisto de un pistón, inicialmente trabado en un volumen  $V_1 = 2$  litros. El cilindro se halla en contacto térmico con una mezcla de 2 kg de agua y 2 kg de hielo. Se sabe que cada vez que la fuente entrega 80 cal. al gas, congela 1 g. de agua.

**a)** ¿A qué temperatura se halla inicialmente el gas? ¿Tomará ésta el mismo valor luego de que el gas realice una expansión? ¿Por qué?

**b)** Halle el estado final de la fuente de calor, (es decir, la masa de hielo presente) luego de que el gas se haya expandido reversiblemente hasta  $V_2 = 10$  litros.

**c)** Idem, si el gas se expande desde el mismo estado inicial del gas, y la fuente hasta el mismo estado final para el gas, pero esta vez en forma irreversible, contra una presión exterior constante de 1 atm.

**Resp:** a)  $T = 273 \text{ K}$ ; b) Cuando  $V_{\text{gas}} = 10 \text{ l}$  pasaron 11 g de agua líquida a hielo (tendré 2.011 kg de hielo y 1.989 kg de agua); c) la cantidad de agua líquida que pasa a sólida es  $m = 2.4 \text{ g}$

**16.** Un cilindro cuyo volumen es de 9 litros, cerrado en sus dos extremos, contiene una mezcla de 10 moles de  $\text{N}_2$  y 8 moles de  $\text{O}_2$  que pueden considerarse gases ideales. Un pistón diatérmico y semipermeable, permeable al  $\text{N}_2$  e impermeable al  $\text{O}_2$ , está inicialmente en un extremo y es desplazado de modo que deja detrás de sí un volumen  $V_1 = 5$  litros que contiene únicamente  $\text{N}_2$ . Un segundo pistón diatérmico y semipermeable, permeable al  $\text{O}_2$  e impermeable al  $\text{N}_2$  está al comienzo en el otro extremo y es desplazado de modo que deja detrás de sí un volumen de 4 litros que contiene solamente  $\text{O}_2$ . Considere  $C_{V\text{O}_2} = C_{V\text{N}_2} = 5/2 R$

**a)** Calcule el trabajo realizado por el sistema sabiendo que los desplazamientos se realizaron reversiblemente y a temperatura constante de  $27^\circ\text{C}$ .

**b)** Si destrabara los pistones, ¿se moverían? Justifique.

**c)** Se fijan los pistones en la posición del punto a) y se reviste al cilindro con paredes adiabáticas, luego a través de una resistencia colocada en el interior del cilindro se le suministra calor al sistema durante 10 minutos ( $I_{\text{resistencia}} = 5 \text{ A}$ ,  $V_{\text{resistencia}} = 2 \text{ V}$ ). ¿Cuál es la temperatura final del sistema y cuánto varía la energía interna del mismo?

**d)** ¿Cuál es la variación de entalpía del  $\text{O}_2$  y del  $\text{N}_2$  durante el proceso descrito en c)?

**Resp:** a)  $W = -305 \text{ atm l}$ ; b) no se moverán; c)  $t_f = 315.7^\circ\text{C}$ ,  $\Delta U = 6 \text{ kJ}$ ; d)  $\Delta H = 8.4 \text{ kJ}$

**17.** (Opcional) Un mol de gas ideal ( $C_p = 7/2 R$ ), inicialmente a  $T_i$  y  $P_i$  se expande adiabática e irreversiblemente contra una presión exterior constante  $P_{\text{ext}}$ , hasta que se alcance el volumen de equilibrio.

**a)** Expresar  $W$  y  $\Delta U$  en términos de los datos y el  $V_f$  desconocido. ¿Por qué NO vale  $P_i \cdot V_i^\gamma = P_f \cdot V_f^\gamma$ ?

- b)** Defina  $\Delta$  tal que  $P_{\text{ext}}/P_i = 1-\Delta$ , y exprese  $T_f$  en términos de  $V_f$  y  $\Delta$ .
- c)** Halle  $V_f$  como función de  $V_i$  y  $\Delta$ ; y  $T_f$  como función de  $T_i$  y  $\Delta$ .
- d)** Partiendo del mismo estado inicial, se realiza una expansión adiabática reversible hasta un volumen  $V_f'$ , de equilibrio con la  $P_{\text{ext}}$ . Halle  $V_f'$  en función de  $V_i$  y de  $\Delta$ ; halle además  $T_f'$  en función de  $T_i$  y de  $\Delta$ .
- e)** Suponiendo  $\Delta \ll 1$ , y muestre que, a primer orden,  $T_f \approx T_f'$ , y que  $V_f \approx V_f'$ .
- f)** Haga ahora  $\Delta=0,5$  ( $P_i = 2.P_{\text{ext}}$ ) y calcule en forma exacta  $V_f$ ,  $V_f'$ ,  $T_f$  y  $T_f'$ , usando d). Ubique los estados iniciales y finales en un diagrama  $P_{\text{ext}}-V$ , y marque los trabajos si  $P_{\text{ext}} = 1\text{atm.}$  y  $T_i = 273 \text{ °K.}$