

Seminario 3

Energía y trabajo en la termodinámica

3.1. Primera ley de la termodinámica

$$Q = \Delta U + W \quad (3.1)$$

donde: Q denota el calor, ΔU la variación de su energía interna y W el trabajo efectuado por el sistema.

Variación de la energía interna

$$\Delta U = n c_v \Delta T \quad (3.2)$$

donde: c_v calor específico a volumen constante.

Procesos termodinámicos (gas ideal)

Proceso	Condiciones	Resultados principales
Isobárico	$P = \text{cte}$	$W = P \Delta V,$ $\Delta U = \Delta Q - P \Delta V$
Isocórico	$V = \text{cte}$	$W = 0,$ $\Delta U = Q$ $\Delta U = 0,$
Isotérmico	$T = \text{cte}$	$Q = W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ $\Delta U = -W,$
Adiabático	$\Delta Q = 0$	$PV^\gamma = \text{cte}, \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Convención de signos: $W > 0$ indica trabajo realizado por el sistema.

Problemas resueltos

1. Diez kilogramos de nitrógeno son calentados desde 20°C hasta 150°C , manteniendo constante la presión. Hallar, en kilocalorías:

- a) La cantidad de calor suministrado.
- b) El cambio de energía interna.
- c) El trabajo realizado.

Considere:

$$C_p = 0,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad C_v = 0,18 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Datos:

$$m = 10 \text{ kg}, \quad T_1 = 20^{\circ}\text{C}, \quad T_2 = 150^{\circ}\text{C}, \quad C_p = 0,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}, \quad C_v = 0,18 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Solución: Como se trata de un proceso isobárico:

a) Calor suministrado al sistema Q

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 10 \cdot 0,25 \cdot (150 - 20) = 325 \text{ Kcal}$$

b) Cambio en la energía interna ΔU

$$\Delta U = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) = 10 \cdot 0,18 \cdot 130 = 234 \text{ Kcal}$$

c) Trabajo realizado W

$$Q = \Delta U + W \quad \Rightarrow \quad W = Q - \Delta U$$

$$W = 325 - 234 = 91 \text{ Kcal}$$

Resultados: $Q = 325 \text{ Kcal}$, $\Delta U = 234 \text{ Kcal}$, $W = 91 \text{ Kcal}$

2. Una vasija contiene una masa $m = 2 \text{ kg}$ de un gas ideal no especificado. Inicialmente, el sistema se encuentra a una presión $P_1 = 6 \text{ atm}$ y a una temperatura $T_1 = 27^\circ\text{C}$. El gas es sometido a un proceso de calentamiento a volumen constante hasta alcanzar una temperatura final de $T_2 = 127^\circ\text{C}$.

Se solicita determinar:

- (a) El calor total suministrado al sistema, Q , en unidades de kcal.
- (b) El trabajo realizado por el gas durante el proceso, W , en kcal.
- (c) El incremento en la energía interna, ΔU , en kcal.
- (d) La presión final del gas, P_2 , en unidades de 10^5 Pa .

Considérese el calor específico a volumen constante del gas: $C_V = 2,5 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Solución

Datos:

$$m = 2 \text{ kg}, \quad P_1 = 6 \times 10^5 \text{ Pa}, \quad T_1 = 27^\circ\text{C} + 273 \text{ K} = 300 \text{ K},$$

$$T_2 = 127^\circ\text{C} + 273 \text{ K} = 400 \text{ K}, \quad C_V = 2,5 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

(a) Calor suministrado al gas

Proceso isócoro:

$$Q = m \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1) = 2 \cdot 2,5 \cdot (127 - 27) = 500 \text{ kcal}$$

(b) Trabajo realizado por el sistema

$$W = 0 \quad (\text{volumen constante})$$

(c) Incremento de energía interna

$$Q = \Delta U + W \quad \Rightarrow \quad \Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 500 - 0 = 500 \text{ kcal}$$

(d) Presión final del gas

Ley de Gay-Lussac:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad P_2 = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$P_2 = 6 \times 10^5 \cdot \frac{400}{300} = 8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\boxed{P_2 = 8 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

3. Un sistema contiene una masa de 10 kg de gas dióxido de carbono (CO_2). El gas es sometido a un proceso isobárico durante el cual su energía interna disminuye en 650 kJ. Determinar el trabajo neto efectuado sobre el sistema durante dicho proceso.

Considérese:

$$C_V = 0,65 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad C_P = 0,85 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

Solución

Datos:

$$m = 10 \text{ kg}, \quad \Delta U = -650 \text{ kJ}, \quad C_V = 0,65 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad C_P = 0,85 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Primera ley de la termodinámica (proceso isobárico):

$$Q = W + \Delta U \quad \Rightarrow \quad W = Q - \Delta U$$

$$Q = m C_P \Delta T \quad \Rightarrow \quad W = m C_P \Delta T - \Delta U \quad (1)$$

Variación de temperatura:

$$\Delta U = m C_V \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{\Delta U}{m C_V} = \frac{-650}{10 \times 0,65} = -100 \text{ K} \quad (2)$$

Cálculo del trabajo:

$$W = 10 \cdot 0,85 \cdot (-100) - (-650) = -850 + 650 = -200 \text{ kJ}$$

Conclusión

$$\boxed{W = -200 \text{ kJ}}$$

El signo negativo indica que el trabajo fue realizado **sobre el sistema**.

Problemas propuestos

1. Una masa de aire de 2 kg se encuentra inicialmente a una presión de 1 bar y una temperatura de 27 °C. Primero, el gas es calentado en un proceso isocórico hasta que su presión se duplica. A continuación, se lo somete a un proceso isobárico durante el cual su volumen se duplica. Determinar el calor total transferido al sistema durante ambos procesos, en kJ.

Considere los valores siguientes:

$$C_V = 0,7 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad C_P = 1,004 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

2. Un recipiente rígido de volumen constante $V = 0,03 \text{ m}^3$ contiene aire a una presión inicial $P_1 = 2,87 \times 10^5 \text{ Pa}$ y una temperatura inicial $T_1 = 300 \text{ K}$. Se suministra calor al sistema hasta que la presión alcanza un valor final de $P_2 = 5,74 \times 10^5 \text{ Pa}$. Determinar el calor total añadido al gas durante el proceso.

Considere los siguientes valores:

$$\bar{R} = \frac{R}{M} = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad C_V = 0,7 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

3. En el sistema mostrado se tiene una masa de aire encerrada. El pistón es de masa despreciable y se desplaza libremente sin fricción. Se lleva a cabo un proceso en el que se suministra calor al sistema mientras se hace funcionar un ventilador en su interior. Como resultado del proceso:

- El trabajo neto realizado por el sistema es de 20 kJ.
- El trabajo aportado al sistema por el ventilador es de 4,8 kJ.
- La presión exterior (atmosférica) es de 1 bar.
- El área del pistón es de $0,5 \text{ m}^2$.

Determinar el desplazamiento del pistón (en metros) como consecuencia del proceso.

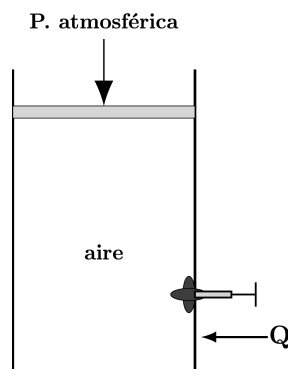


Figura 3.1: Sistema