
TEMA 2.

PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA

-
- 2.1. Ley Cero de la Termodinámica**

 - 2.2. Primera Ley de la Termodinámica**
 - 2.2.1. Sistemas cerrados**
 - 2.2.2. Sistemas abiertos**

 - 2.3. Segunda Ley de la Termodinámica**
 - 2.3.1. Sistemas cerrados**
 - 2.3.2. Sistemas abiertos**

 - 2.4. Tercera Ley de la Termodinámica**

2.1. Ley Cero de la Termodinámica

2.2. Primera Ley de la Termodinámica

2.2.1. Sistemas cerrados

2.2.2. Sistemas abiertos

2.3. Segunda Ley de la Termodinámica

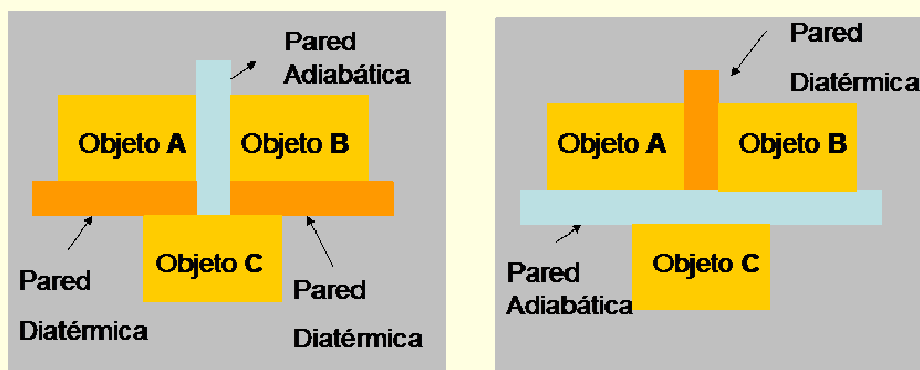
2.3.1. Sistemas cerrados

2.3.2. Sistemas abiertos

2.4. Tercera Ley de la Termodinámica

U 1.1. Ley Cero de la Termodinámica

Si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, están en equilibrio térmico entre sí.



Dos cuerpos están en equilibrio térmico si indican la misma lectura de temperatura, incluso si no se encuentran en contacto

2.1. Ley Cero de la Termodinámica

2.2. Primera Ley de la Termodinámica

2.2.1. Sistemas cerrados

2.2.2. Sistemas abiertos

2.3. Segunda Ley de la Termodinámica

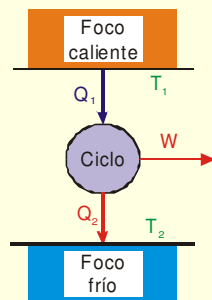
2.3.1. Sistemas cerrados

2.3.2. Sistemas abiertos

2.4. Tercera Ley de la Termodinámica

U 2.2. Primera Ley de la Termodinámica

2.2.1. Sistemas Cerrados



Expresión matemática de la 1ª Ley:

$$\Delta E = Q - W \quad (J) \quad [2.1]$$



$$Q = (\sum |Q_{ENT}| - \sum |Q_{SAL}|) = (\sum |Q_{ABS}| - \sum |Q_{CED}|) \quad [2.2]$$

$$W = (\sum |W_{PROD}| - \sum |W_{CONS}|) \quad [2.3]$$

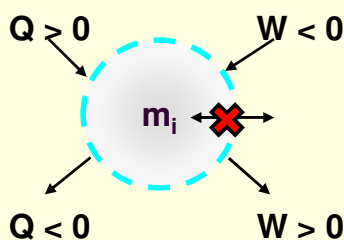
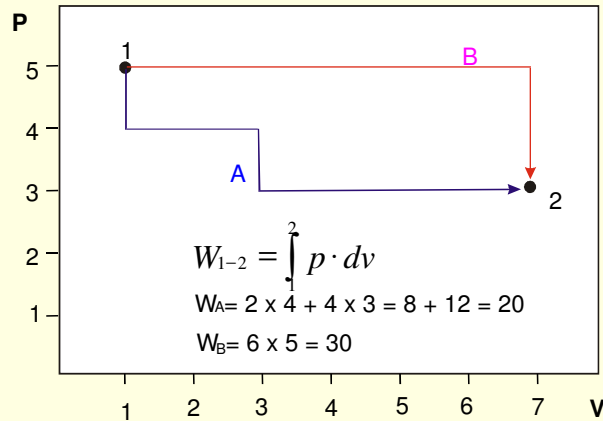


Fig.1. Criterio de signos para intercambios de calor y trabajo

2.2.1. Sistemas Cerrados

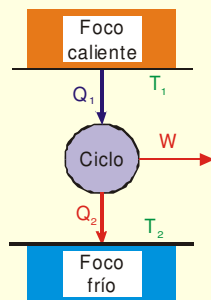
Q y W : *energías en tránsito*

E : *función de estado*



7

2.2.1. Sistemas Cerrados



□ **Expresión matemática de la 1ª Ley:**

$$\Delta E = Q - W \quad (J) \quad [2.1]$$

$$\Delta E = \Delta E_{CIN} + \Delta E_{POT} + \Delta U \quad [2.4]$$



Sistemas cerrados fijos o estáticos

$$Q - W = \Delta U \quad [2.5]$$



Transformaciones cerradas o cíclicas

$$Q - W = 0 \quad [2.6]$$

2.2.2. Sistemas Abiertos

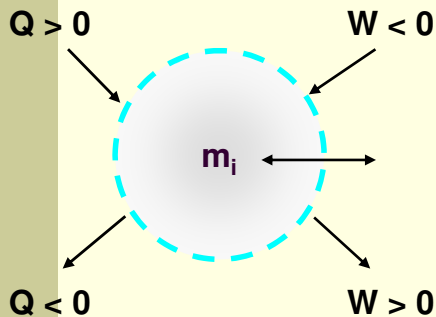
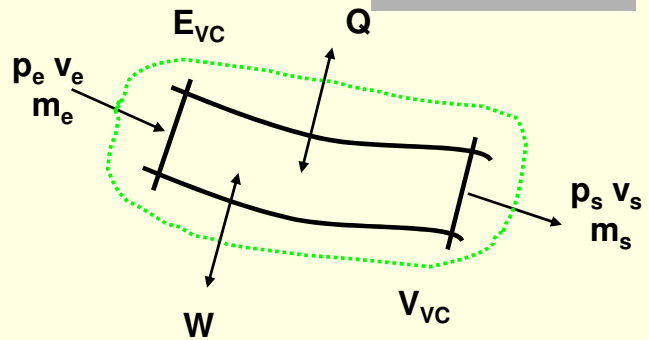


Fig.1. Criterio de signos para intercambios de calor y trabajo



□ Ecuación de conservación de materia:

$$m_e - m_s = \Delta m_{VC} \text{ (kg/s)} \quad [2.7]$$

□ Expresión matemática de la 1ª Ley:

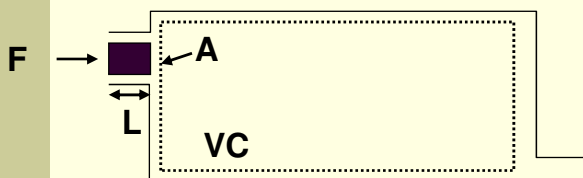
$$\Delta E_{VC} = Q - W + E_{ENT} - E_{SAL} \text{ (J/s)} \quad [2.8]$$

9

2.2.2. Sistemas Abiertos

□ Trabajo de flujo

Trabajo necesario para hacer pasar el fluido a través de un volumen de control



$$W_F = F \cdot L = (P \cdot A) \cdot L = P \cdot V \quad [2.9]$$



□ Energía total de un sistema abierto:

$$E = U + E_{CIN} + E_{POT} + p \cdot V$$

$$= H + E_{CIN} + E_{POT} \quad [2.10]$$

Para un estado estacionario:

$$Q - W + E_{ENT} - E_{SAL} = \Delta E_{VC} = 0 \quad [2.11]$$

$$Q - W = m_s \cdot \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + g \cdot z_s \right) - m_e \cdot \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right)$$

$$m_e - m_s = 0 \quad [2.12]$$

Suponiendo despreciables ΔE_{CIN} y ΔE_{POT} :

$$Q - W = m \cdot (h_s - h_e) \text{ (J/s)} \quad [2.13]$$

10

2.1. Ley Cero de la Termodinámica

2.2. Primera Ley de la Termodinámica

2.2.1. Sistemas cerrados

2.2.2. Sistemas abiertos

2.3. Segunda Ley de la Termodinámica

2.3.1. Sistemas cerrados

2.3.2. Sistemas abiertos

2.4. Tercera Ley de la Termodinámica

✓ Enunciado de Clausius

✓ Enunciado de Kelvin-Planck



- Ningún proceso cíclico es tal que el sistema en el que ocurre y su entorno puedan volver a la vez al mismo estado del que partieron
- En un sistema aislado, ningún proceso puede ocurrir si a él se asocia una disminución de la entropía total del sistema

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

[2.14]

2.3.1. Sistemas Cerrados

Sea un sistema cerrado que evoluciona de un estado 1 a otro estado 2:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \sigma \quad [2.15]$$

$S_2 - S_1$: la variación de entropía experimentada por el sistema debido a dicha transformación

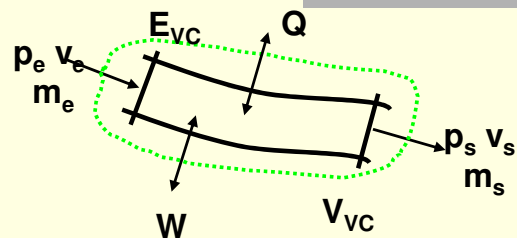
$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$: variación de entropía debido al intercambio de calor que se produce en el proceso

σ : generación de entropía ($\sigma \geq 0$) debido a las irreversibilidades del proceso

2.3.2. Sistemas Abiertos

□ **Balance de entropía:**

$$0 = \sum_j \frac{Q_j}{T_j} + \sum m_E s_E - \sum m_S s_S + \sigma_{VC} \quad [2.16]$$



Siendo:

$\sum_j \frac{Q_j}{T_j}$ velocidad de transferencia de entropía debido a la transferencia de calor

$\sum m_E s_E - \sum m_S s_S$ velocidad de transferencia de entropía asociada a las corrientes materiales de entrada y salida

σ_{VC} velocidad de generación de entropía en el volumen de control

2.1. Ley Cero de la Termodinámica

2.2. Primera Ley de la Termodinámica

2.2.1. Sistemas cerrados

2.2.2. Sistemas abiertos

2.3. Segunda Ley de la Termodinámica

2.3.1. Sistemas cerrados

2.3.2. Sistemas abiertos

2.4. Tercera Ley de la Termodinámica

 2.4. Tercera Ley de la Termodinámica

La entropía de una sustancia cristalina pura a la temperatura del cero absoluto es cero.

- No existe incertidumbre en torno al estado de las moléculas en ese instante
- Punto de referencia absoluto para la determinación de la entropía (*entropía absoluta*)



1.- **Termodinámica.** Y. A. Cengel y M. A. Boles. Editorial McGraw-Hill, Mexico, 2000-2001.

2.- **Fundamentos de termodinámica técnica.** M. J. Morán y H. N. Shapiro. Editorial Reverté, Barcelona, 1998-1999.

3.- **Termotecnia básica para ingenieros químicos.** A. de Lucas. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha, 2004-2007