

Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana
Núcleo Valencia – Extensión La Isabelica
Ingeniería Petroquímica
IV semestre – Período 1-2012
Termodinámica I

Docente: Lcda. Yurbelys Contreras

GUÍA DE RESUELTOS: SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA Y ENTROPÍA

1. Una máquina térmica absorbe 360 J de calor y realiza un trabajo de 25 J en cada ciclo. Encuentre: a) la eficiencia de la máquina y b) el calor liberado en cada ciclo.

Datos:

$$Q_H = 360 \text{ J} \quad W_{\text{NET,SAL}} = 25 \text{ J}$$

a)

$$\eta = \frac{W_{\text{net,sal}}}{Q_{\text{ent}}}$$
$$\eta = 6,94\%$$

b)

Por la primera ley de la termodinámica:

$$Q_{\text{net,ent}} = W_{\text{net,sal}}$$
$$Q_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} - W_{\text{net,sal}}$$

$$Q_L = 335 \text{ J}$$

2. Un refrigerador tiene un coeficiente de operación igual a 5. Si el refrigerador absorbe 120 J de calor de una fuente fría en cada ciclo, encuentre: a) el trabajo de entrada en cada ciclo y b) el calor liberado hacia la fuente caliente.

Datos:

$$\text{COP} = 5 \quad Q_L = 120 \text{ J}$$

a)

$$\text{COP}_{\text{ref}} = \frac{Q_{\text{abs}}}{W_{\text{net,ent}}}$$

Despejando:

$$W_{\text{net,ent}} = \frac{Q_{\text{abs}}}{\text{COP}_{\text{ref}}}$$
$$W_{\text{net,ent}} = 24 \text{ J}$$

b)

Por la primera ley de la termodinámica:

$$Q_{\text{net,ent}} = -W_{\text{net,ent}}$$
$$Q_{\text{sal}} = Q_{\text{ent}} + W_{\text{net,ent}}$$
$$Q_H = 144 \text{ J}$$

3. Cierta máquina tiene una potencia de salida de 5 kW y una eficiencia de 25%. Si la máquina libera 8000 J de calor en cada ciclo, encuentre: a) el tiempo para cada ciclo y b) el calor absorbido en cada ciclo.

Datos:

$$\dot{W}_{net,sal} = 5 \text{ KW} = 5000 \text{ J/s} \quad \eta = 25\% = 0,25 \quad Q_L = 8000 \text{ J}$$

a)

$$\eta = \frac{W_{net,sal}}{Q_{ent}}$$

Por la primera ley de la termodinámica: $Q_{ent} = W_{net,sal} + Q_{sal}$

$$\eta = \frac{W_{net,sal}}{W_{net,sal} + Q_{sal}}$$

Recordando que la potencia es la variación respecto al tiempo del trabajo:

$$\eta = \frac{t \cdot \dot{W}_{net,sal}}{t \cdot \dot{W}_{net,sal} + Q_{sal}}$$

Despejando t:

$$t = \frac{\eta Q_{sal}}{(1 - \eta) \dot{W}_{net,sal}}$$

$t = 0,533 \text{ s}$

b)

Por la primera ley de la termodinámica: $Q_{ent} = W_{net,sal} + Q_{sal}$

$$Q_{ent} = t \cdot \dot{W}_{net,sal} + Q_{sal}$$

$$Q_H = 10666,7 \text{ J}$$

4. Una bomba de calor real funciona entre las siguientes temperaturas de frontera: 600 K y 1100 K. La bomba de calor cede un flujo de calor de 15000 KJ/min y se le suministra una potencia neta de 120 KW.

a) determine numéricamente si la bomba de calor real viola la segunda ley. b) determine el flujo de calor suministrado en KJ/s, a la bomba de calor real y a una bomba de calor internamente reversible que ceda el mismo calor y que funcione entre las mismas temperaturas. c) ahora se quiere que el dispositivo cíclico real funcione como un motor térmico. Para ello, el flujo de calor que recibe a 1100 K es 250 KJ/s. Determinése el rendimiento térmico del motor térmico real y del motor internamente reversible que funciona entre las mismas temperaturas. d) analice si es factible el funcionamiento del motor real a la vista de los rendimientos térmicos obtenidos en el apartado c.

Datos:

$$T_H = 1100 \text{ K} \quad \dot{Q}_H = 15000 \text{ KJ/min} = 250 \text{ KJ/s}$$

$$T_L = 600 \text{ K} \quad \dot{W}_{net,ent} = 120 \text{ KW}$$

a)

La segunda ley indica que ningún refrigerador o bomba de calor tendrá un COP menor a cero y será mayor que el COP de Carnot:

$$COP_{B.C.,Carnot} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

$$COP_{B.C.,carnot} = 2,20$$

$$COP_{B.C} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{net,ent}}$$

$$COP_{B.C} = 2,08$$

Esta bomba de calor real no viola la segunda ley, ya que su COP es mayor a cero y menor que el COP de Carnot: $COP_{B.C} < COP_{B.C,carnot}$ (proceso irreversible)

b)

- Para el flujo de calor suministrado a la bomba de calor real $\dot{Q}_{L,real}$:

Por la primera ley de la termodinámica y recordando que $\dot{W}_{net,sal} = -\dot{W}_{net,ent}$

$$\dot{Q}_L = -\dot{W}_{net,ent} + \dot{Q}_H$$

$$\dot{Q}_{L,real} = 130 \text{ KJ/s}$$

- Para el flujo de calor suministrado a la bomba de calor internamente reversible $\dot{Q}_{L,ideal}$:

Dada la definición del COP para bomba de calor y por la primera ley de la termodinámica sustituimos

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{net,ent}$$

$$COP_{B.C} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{net,ent}} = \frac{\dot{Q}_L + \dot{W}_{net,ent}}{\dot{W}_{net,ent}}$$

Despejando \dot{Q}_L y recordando que el COP de una bomba de calor internamente reversible es el $COP_{B.C,carnot}$

$$\dot{Q}_{L,ideal} = \dot{W}_{net,ent} \cdot (COP_{B.C,carnot} - 1)$$

$$\dot{Q}_{L,ideal} = 144 \text{ KJ/s}$$

c)

Para un motor térmico:

$$T_H = 1100 \text{ K} \quad \dot{Q}_H = 250 \text{ KJ/s}$$

$$T_L = 600 \text{ K} \quad \dot{W}_{net,sal} = 120 \text{ KW}$$

- Para el rendimiento térmico del motor térmico real η_{real} :

$$\eta = \frac{\dot{W}_{net,sal}}{\dot{Q}_{ent}}$$

$$\eta_{real} = 48,0 \%$$

- Para el rendimiento térmico del motor internamente reversible η_{ideal} :

La eficiencia o rendimiento térmico de un motor internamente reversible coincide con la de Carnot:

$$\eta_{ideal} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{sal}}{T_{ent}}$$

$$\eta_{ideal} = 45,5\%$$

d)

Es imposible que un motor térmico funcione bajo las condiciones dadas, ya que incumple la segunda ley de la termodinámica al ser la eficiencia real del motor mayor que la de Carnot. Se sugiere aumentar el flujo de calor suministrado.

5. Para mantener la temperatura de una región refrigerada, se usa un refrigerador internamente reversible que funciona a una temperatura de 0 °C, recibiendo un flujo de calor de 1000 KJ/h, el refrigerador cede calor a 22 °C a la atmosfera. El trabajo para mover el refrigerador lo proporciona un motor internamente reversible, que funciona recibiendo calor a 282 °C y cediendo calor a la atmosfera a 22 °C. Si todo el trabajo proporcionado para mover el motor se emplea para mover el refrigerador, determine el flujo de calor total en KJ/s liberado hacia la atmosfera.

Datos:

$$T_{H,M} = 282\text{ °C} = 555\text{ K}$$

$$T_{Sal} = 22\text{ °C} = 295\text{ K}$$

$$T_{L,R} = 0\text{ °C} = 273\text{ K}$$

$$\dot{Q}_H = 1000\text{ KJ/h} = 0,278\text{ KJ/s}$$

El flujo calor total liberado hacia la atmosfera sería la sumatoria de los flujos liberado por cada dispositivo:

$$\dot{Q}_{net,sal} = \dot{Q}_{H,ref} + \dot{Q}_{L,M}$$

Como la potencia de entrada al refrigerador es igual a la potencia de salida;

$$\dot{W}_{net,ent\text{ refrigerador}} = \dot{W}_{net,sal\text{ Motor}}$$

Y por ser ambos internamente reversibles se aproximan a los casos de Carnot, solo queda encontrar $\dot{Q}_{H,ref}$ y $\dot{Q}_{L,M}$.

- Para el refrigerador

$$COP_{ref,Carnot} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_{ref,Carnot} = 12,41$$

Por la definición de COP para un refrigerador y despejando $\dot{W}_{net,ent}$

$$COP_{ref} = \frac{\dot{Q}_{L,ref}}{\dot{W}_{net,ent}}$$

$$\dot{W}_{net,ent} = \frac{\dot{Q}_{L,ref}}{COP_{ref}} = 0,0224\text{ KW}$$

$$\dot{W}_{net,ent\text{ refrigerador}} = \dot{W}_{net,sal\text{ Motor}} = 0,0224\text{ KW}$$

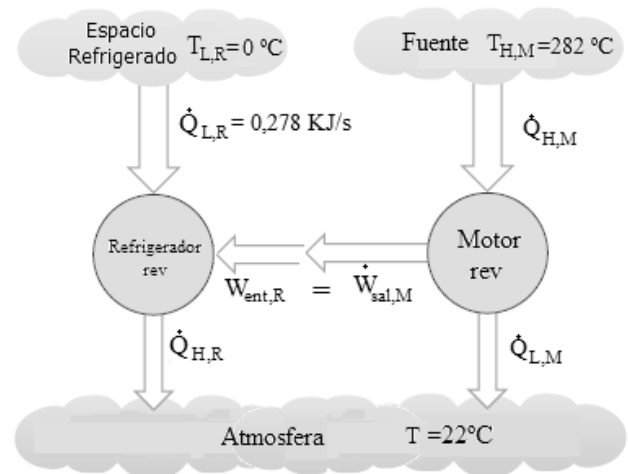
Por la primera ley:

$$\dot{Q}_{H,ref} = \dot{W}_{net,ent} + \dot{Q}_{L,ref}$$

$$\dot{Q}_{H,ref} = 0,3004\text{ KJ/s}$$

- Para el Motor:

Por la primera ley:



$$\dot{Q}_{L,M} = \dot{Q}_{H,M} - \dot{W}_{net,sal}$$

El flujo de calor de entrada al ciclo $\dot{Q}_{H,M}$ lo podemos obtener mediante las eficiencias térmicas:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{sal}}{T_{ent}} = 46,8\%$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{net,sal}}{\dot{Q}_{ent}}$$

Despejando \dot{Q}_{ent} :

$$\dot{Q}_{ent} = \dot{Q}_{H,M} = \frac{\dot{W}_{net,sal}}{\eta} = 0,0479 \text{ KJ/s}$$

Sustituyendo en la primera la ecuación de la primera ley:

$$\dot{Q}_{L,M} = 0,0255 \text{ KJ/s}$$

Entonces el flujo de calor total liberado a la atmosfera es de:

$$\dot{Q}_{net,sal} = \dot{Q}_{H,ref} + \dot{Q}_{L,M} = 0,3259 \text{ KJ/s}$$

6.

Un depósito rígido sin aislar contiene 5 Kg de agua a 40 bar y 280 °C. El aire que rodea al depósito tiene una temperatura de 15 °C. Pasado cierto tiempo debido a la transferencia de calor del agua al aire, la presión en el depósito se ha reducido hasta 8 bar. Determine: a) La cantidad de calor transferido. b) La variación o cambio de entropía del agua. c) La producción o generación de entropía en KJ/K para el sistema global compuesto por el fluido de trabajo y la región de transferencia de calor. d) Indique si el proceso es reversible, irreversible o imposible. e) Realice un diagrama Ts del proceso respecto a las líneas de saturación.

Datos:

$$m = 5 \text{ Kg}$$

$$T_{entorno} = 15 \text{ °C} = 288 \text{ °C}$$

Estado 1: V.S.C

$$P_1 = 40 \text{ bar} = 4 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 280 \text{ °C}$$

$$V_1 = V_{vsc@4MPa \text{ y } 280 \text{ °C}} = 0,05546 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Estado 2:

$$P_2 = 8 \text{ bar} = 800 \text{ KPa}$$

$$\text{Por ser rígido el recipiente: } V_2 = V_1$$

$$\text{Es una mezcla Liq.-Vap } \chi = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = 22,7\%$$

$$T_2 = T_{sat} = 170,45 \text{ °C}$$

a)

Por la primera ley de la termodinámica y recordando que no hay trabajo en la frontera porque el volumen permanece constante:

$$Q_{net,ent} = m\Delta u = m(u_2 - u_1)$$

$$U_1 = U_{vsc@4MPa \text{ y } 280 \text{ °C}} = 2687,6 \text{ KJ/Kg} \quad U_2 = (U_f + \chi U_{fg})_{@800KPa} = 1138,3 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{net,ent} = m(u_2 - u_1) = -7746,5 \text{ KJ}$$

$$Q_{sal} = 7746,5 \text{ KJ}$$

El sistema pierde 7746,5 KJ de calor hacia los alrededores y es por ello que se enfría.

b)

La variación o cambio de entropía es:

$$\Delta s = m(s_2 - s_1)$$

En esta oportunidad piden la variación para el agua:

$$S_1 = S_{\text{vsc}@4\text{MPa y } 280^\circ\text{C}} = 6,2577 \text{ KJ/Kg K} \quad S_2 = (S_f + \chi S_{\text{fg}})_{@800\text{KPa}} = 3,0935 \text{ KJ/Kg K}$$

$$\Delta S_{\text{agua}} = m(s_2 - s_1) = -15,82 \text{ KJ/K}$$

La entropía del agua disminuye durante el proceso, ya que existe una pérdida de calor.

c)

La producción o generación de entropía es:

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}}$$

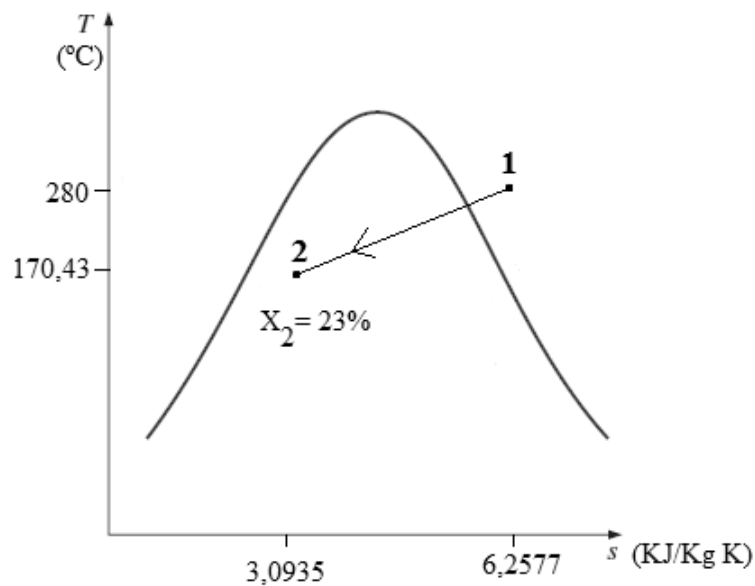
Para este caso, el $\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_{\text{agua}}$ y como solo existe pérdida de calor hacia el ambiente la variación de entropía del entorno es $\Delta S_{\text{entorno}} = \frac{Q_{\text{sal}}}{T_{\text{sal}}} = 26,90 \text{ KJ/K}$

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{agua}} + \Delta S_{Q_{\text{sal}}} = 11,08 \text{ KJ/K}$$

La entropía producción del sistema global compuesto por el fluido de trabajo y la región de transferencia de calor es de 11,08 KJ/K

d)

Como la generación o producción de entropía del sistema global es mayor que cero, el sistema global descrito es posible e irreversible. Existen factores que aumentan la entropía y por lo tanto las irreversibilidades en el sistema global.



Referencias Consultadas:

1. Wark K y Richards D. (2001). Termodinámica. McGraw-Hill, 6ta edición.
2. Rodríguez V. L. (1999). Problemas resueltos de mecánica calor y termodinámica. Universidad de Santiago.