IIQ1003 - Termodinámica

Nombre: _____

Número de Lista: _____

Fecha: 9 de junio 2022

Pauta Interrogación II

Profesor:

Sólo puede utilizar el formulario, tablas y calculadora. Este instrumento está regido por el código de honor de la escuela de Ingeniería UC. **Responda las preguntas de la siguiente forma:**

- **Cuadernillo 1: Preguntas 1-4**
- **Cuadernillo 2: Preguntas 5-6**
- **Cuadernillo 3: Pregunta 7**

---

1. **(1 punto)** La segunda ley establece que parte del calor se transforma en trabajo útil y que la otra parte:

   a) Se convierte en energía cinética
   b) Se transforma entropía
   c) Se convierte en energía potencial
   d) Siempre es desperdiciada

   Solución: d) Siempre es desperdiciada

2. **(1 punto)** Considere un sistema donde se transfieren 5 kJ de calor a un gas desde un baño a 20°C. El cambio de entropía para el gas es de 15 J/K. Este proceso es:

   a) Reversible
   b) Irreversible
   c) Imposible
   d) No se puede terminar

   Solución: c) Imposible $S_b = -5000/293.15 = -17.06$ J/K, por lo que $S_{gen} = 15 - 17 = -2$

3. **(1 punto)** En el equilibrio se tiene que la entropía siempre es:

   a) Máxima
   b) Mínima
   c) Cero
   d) Depende del sistema en cuestión

   Solución: a) Máxima

4. **(2 puntos)** Respecto a los procesos irreversibles, marque verdadero o falso según corresponda. Justifique las falsas:

   a) La fricción es una causa de irreversibilidad
   b) La transferencia de calor entre 2 cuerpos con temperaturas iguales genera irreversibilidades

c) Si se calienta un gas en un estanque, para que el proceso sea reversible se requiere que el cambio de entropía sea 0 para el gas.

d) El ciclo de Carnot es un ejemplo de proceso reversible

e) Las turbinas, bombas, compresores, intercambiadores de calor y otros equipos **reales** siempre generan entropía.

f) Un proceso de expansión libre y adiabático es reversible

Solución

a) Verdadero 0.2 pts por decir verdadero

b) Falso, es al contrario, cuando hay una diferencia finita de T luego se vuelve irreversible 0.2 pts por decir falso, 0.2 pts por justificar

c) Falso, se necesita que el cambio de entropía del universo sea 0. 0.2 pts por decir falso, 0.2 pts por justificar

d) Verdadero 0.3 pts por decir verdadero

e) Verdadero 0.3 pts por decir verdadero

f) Falso, a pesar de ser adiabático las moléculas se encuentran mas desordenadas post expansión. 0.2 pts por decir falso, 0.2 pts por justificar

5. **(2 puntos)** 5 mol de un gas ideal se comprimen desde 50°C y 4 bar hasta 50 bar y 1150°C. Calcule el cambio de entropía para el gas. Considere $C_P = 5/2R$

Solución

$$\Delta S = nC_P \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - nR\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 5\cdot 5R/2 \ln\left(\frac{1423}{323}\right) - 5R\ln\left(\frac{50}{4}\right) = 49.12 \text{ J/K}$$

6. **(2 puntos)** 10 mol de metanol se enfría a presión constante de 2 bar en un sistema cerrado cuyo ambiente esta a 30°C. Se remueven 250 kJ de calor del metanol. Inicialmente el metanol esta a 200°C. Calcule la entropía generada por el universo. Considere que a 2 bar: $C_{P,g} = 60$ J/mol K, $C_{P,l} = 80$ J/mol K, $T_{eb} = 83$°C y $\Delta H_{lv} = 36740$ J/mol.

Solución

Primero se ha de notar que $Q = 250 \text{ kJ} < n\Delta H_{lv} = 360.74$ kJ. Luego el enfriamiento solo condensa una parte del metanol.

0.3 pts

Luego del balance de energía para el metanol a presión constante:

$$Q/n = C_{P.g}(T_1 - T_{eb}) + z\Delta H_{lv} \Longrightarrow z = \left(\frac{250\times 10^3}{10} - 60\cdot(200-83)\right)/36740 = 0.489$$

0.5 pts

Donde z es la fracción que se condensa. Luego para la entropía del metanol:

$$\Delta S_{met} = nC_{P,g}\ln\frac{T_{eb}}{T_1} - n\cdot z\frac{\Delta H_{lv}}{T_{eb}} = 10\cdot 60\cdot \ln\frac{356}{473} - 10\cdot 0.489\cdot\frac{36740}{356} = -657.3 \text{ J/K}$$

0.6 pts

Luego para el ambiente:

$$\Delta S_b = \frac{Q}{T_b} = \frac{250\times 10^3}{303} = 824.67 \text{ J/K}$$

0.3 pts

Finalmente para la entropía generada:

$$S_{gen} = \Delta S_b + \Delta S_m = 149.4 \text{ J/K}$$

0.3 pts

7. **(2.5 puntos)** Considere una cámara de mezclado a la cual le entran dos corrientes. La primera es agua líquida 15 kg/s y esta a 15°C y 300 kPa. La segunda corriente esta a 300 kPa y 150°C. El agua abandona la cámara a 80°C y 300 kPa. Considere que la cámara pierde calor a una tasa de 12000 kJ/min hacia el exterior a 20°C y que para el agua sub enfriada sus propiedades se pueden aproximar a las del líquido saturado a la misma temperatura. Determine la generación de entropía a causa del proceso.

Solución

Primero se obtienen los valores de entropía y entalpía de cada flujo:

Flujo 1: $F_1 = 4.3$ **kg/s**

$$h_1 = 62.99 \quad s_1 = 0.2245$$

0.3 pts

Flujo 2

$$h_2 = 2760.7 \quad s_2 = 7.076$$

0.3 pts

Flujo 3:

$$h_3 = 334.91 \quad s_3 = 1.0753$$

0.3 pts

Luego del balance de masa:

$$F_1 + F_2 = F_3$$

0.2 pts

Del balance de energía

$$0 = F_1 h_1 + F_2 h_2 - F_3 h_3 + Q_{out}$$

0.5 pts

Combinando:

$$F_2 = \frac{-Q_{out} - F_1(h_1 - h_3)}{h_2 - h_3} = \frac{12000/60 - 15(62.99 - 334.91)}{2760.7 - 334.91} = 1.764$$

$$F_3 = 16.764$$

0.2 pts

Luego del balance de entropía:

$$0 = \frac{Q}{T_b} + F_1 s_1 + F_2 s_2 - F_3 s_3 + \dot{S}_{gen}$$

0.5 pts

$$\dot{S}_{gen} = \frac{12000/60}{293.15} + 16.764 \cdot 1.0753 - 15 \cdot 0.2245 - 1.764 \cdot 7.281 = 2.859 \text{ kW/K}$$

0.2 pts

8. **(5 puntos)** El proceso de licuefacción de gases es una operación en estado estacionario cuyo fin es llevar un gas a fase liquida. Considere el proceso denotado en la Figura 1 que corresponde a la licuefacción de Linde para formar metano líquido. En este:

   - Se generan 45 kg/min de metano como líquido saturado a 1 bar (corriente 9)
   - El metano fresco (corriente 1) entra a 1 bar y 27°C.
   - Tanto HXA, HXB y HXC llevan la temperatura hasta -73°C.
   - La salida de C1 esta a 7 bar y la de C2 esta a 70 bar.
   - La corriente 10 esta a -93°C.
   - La presión del flash es 1 bar

   Asumiendo que ambos compresores tienen una eficiencia de 75 % y utilizando el diagrama entalpía presión del metano se le pide:

   a) **(3 pts)** Obtener la entalpía de todas las corrientes

   b) **(0.8 pts)** Calcular la masa de la corriente 10

   c) **(1.2 pts)** Obtener la potencia neta que consume el proceso en los compresores y el calor que se retira en HXA, HXB y HXC

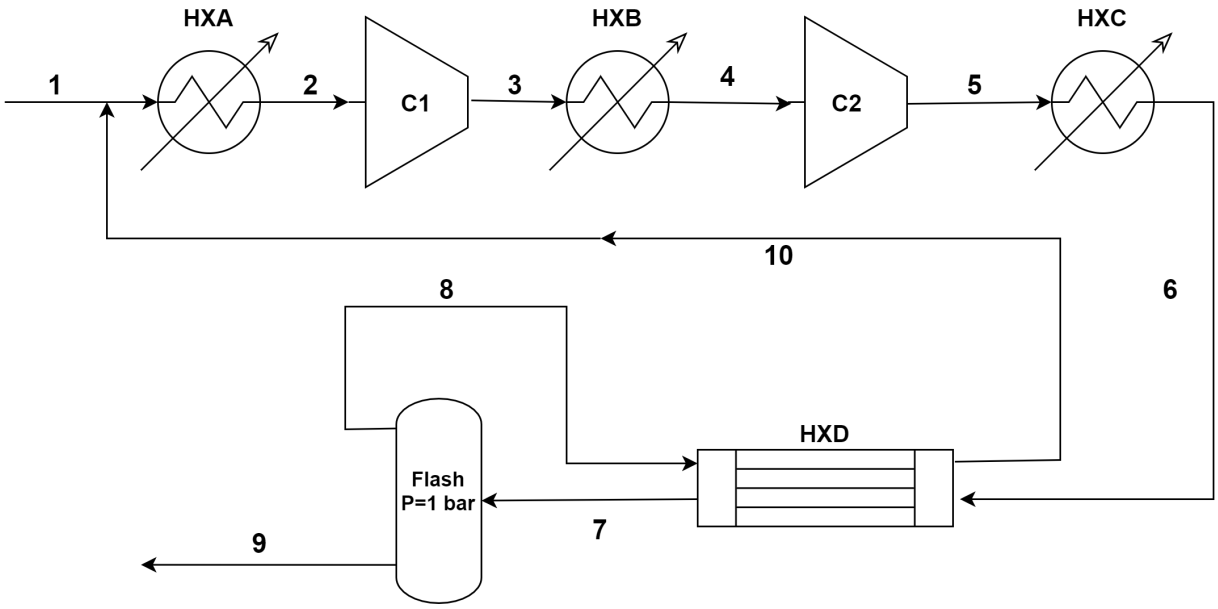


Figura 1: Proceso de licuefacción de metano

Solución

a) Primero se debe obtener la entalpía de las corrientes:

Corriente 1: Propiedades se obtienen del gráfico

- $T_1 = 300$ K
- $P_1 = 0.1$ MPa
- $h_1 = 980$ kJ/kg

0.2 pts

Corriente 2: Post Intercambiador isobárico, propiedades se obtienen de gráfico

- $T_2 = 200$ K

- $P_2 = 0.1$ MPa
- $h_2 = 770$ kJ/kg
- $s_2 = 6.5$ kJ/kg K

0.3 pts

Corriente 3 ideal: Compresor isoentropico, para obtener sus propiedades se sigue por la linea de entropía constante hasta 7 bar.

- $s_3 = s_2$ (Se sigue linea de s cte)
- $P_3 = 0.7$ MPa
- $h_{3s} = 1020$ kJ/kg

0.3 pts

Corriente 3 real: Compresor con 75 % de eficiencia, para obtener sus propiedades se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{h_{3s} - h_2}{h_3 - h_2} \longrightarrow h_3 = 1103.3$$

- $P_3 = 0.7$ MPa
- $h_3 = 1103.3$ kJ/kg

0.2 pts

Corriente 4: Post intercambiador B

- $T_4 = 200$ K
- $P_4 = 0.7$ MPa
- $h_4 = 760$ kJ/kg
- $s_4 = 5.5$ kJ/kg K

0.3 pts

Corriente 5 ideal: Compresor isoentropico, para obtener sus propiedades se sigue por la linea de entropía constante hasta 70 bar.

- $s_5 = s_4$ (Se sigue linea de s cte)
- $P_5 = 70$ bar
- $h_{5s} = 1080$ kJ/kg

0.3 pts

Corriente 5 real: Compresor con 75 % de eficiencia, para obtener sus propiedades se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{h_{5s} - h_4}{h_5 - h_4} \longrightarrow h_5 = 1186.7$$

- $P_5 = 70$ bar
- $h_5 = 1186.7$ kJ/kg

0.2 pts

Corriente 6: Post intercambiador C

- $T_6 = 200$ K
- $P_6 = 70$ bar

- $h_6 = 460$ kJ/kg

0.3 pts

Corriente 7: Todavía no se puede caracterizar.

Corriente 8: Vapor saturado después del flash a 1 bar.

- Vapor saturado
- $P_8 = 1$ bar
- $h_8 = 580$ kJ/kg

0.2 pts

Corriente 9: Liquido saturado después del flash a 1 bar.

- Liquido saturado
- $P_9 = 1$ bar
- $h_9 = 70$ kJ/kg
- $\dot{m}_9 = 45$ kg/min

0.2 pts

Corriente 10: Salida por arriba del intercambiador D.

- $T_{10} = 180$ K
- $P_{10} = 1$ bar
- $h_{10} = 730$ kJ/kg

0.2 pts

La corriente 7 se puede obtener al final una vez que se tengan las masas.

b) En primer lugar si se plantea un balance de masa a todo el sistema se obtiene que:

$$m_1 = m_9 = 45 \text{ kg/min}$$

Además se sabe que:

$$m_2 = m_1 + m_{10}$$

$$m_{10} = m_8$$

$$m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_6 = m_7$$

Para obtener la masa de la corriente 10 y la corriente 2 se puede hacer un balance de energía alrededor del separador flash y el intercambiador HX D, como si este se tomase como un equipo. Luego:

$$m_6 \cdot h_6 - m_9 \cdot h_9 - m_{10} \cdot h_{10} = 0$$

0.4 pts

$$(m_9 + m_{10}) \cdot h_6 - m_9 h_9 - m_{10} \cdot h_{10} = 0$$

0.2 pts

$$m_{10} = \frac{m_9(h_9 - h_6)}{h_6 - h_{10}} = 65 \text{ kg/min}$$

0.2 pts

$$m_6 = 110 \text{ kg/min}$$

a) Como solo falta la entalpía 7, se puede hacer un balance de energía al intercambiador de calor HXD:

$$m_6 \cdot h_6 + m_8 \cdot h_8 - m_7 \cdot h_7 - m_{10} \cdot h_{10} = 0$$

$$h_7 = h_6 + \frac{m_{10} \cdot (h_8 - h_{10})}{m_7} = 371.4$$

0.3 pts de la A

c) Para el primer compresor, si se plantea el balance de energía:

$$m_2 \cdot h_2 - m_3 \cdot h_3 + W_s = 0 \longrightarrow W_{s,1} = 36667 \text{ kJ/min}$$

0.3 pts

Para el segundo compresor:

$$m_4 \cdot h_4 - m_5 \cdot h_5 + W_s = 0 \longrightarrow W_{s,2} = 46933 \text{ kJ/min}$$

0.3 pts

Para los intercambiadores:

$$Q_A = m_2 h_2 - m_1 h_1 - m_1 0 h_1 0 = -6850 \text{ kJ/min}$$

0.2 pts

$$Q_B = m_4 h_4 - m_3 h_3 = -37767 \text{ kJ/min}$$

0.2 pts

$$Q_C = m_6 h_6 - m_5 h_5 = -79933 \text{ kJ/min}$$

0.2 pts