Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos
IIQ1003 - Termodinámica 2022-2

Pauta Tarea 1

Fecha de entrega: 21 de abril a través de CANVAS.

La tarea debe ser trabajada en grupos de a 3. Tiene que ser entregada con una portada la cual indique el nombre de los integrantes del grupo, el número de grupo, el curso y la fecha de entrega. **Se descontaran 2 décimas si no se cumple con el formato pedido.**

Pregunta 1 (1 pto)

Considere un cilindro pistón que tiene unos topes que evitan que el pistón baje sobre un cierto nivel. Este inicialmente contiene 0.1 kg de agua a 1 MPa y 500°C. Luego el agua sufre dos procesos consecutivos.

- Proceso 1-2: Se enfria a presión constante hasta que el pistón descanza sobre los topes. El volumen en este punto es la mitad del inicial
- Proceso 2-3: El agua se enfria hasta 25°C.

a) Calcule el trabajo y calor en cada uno de los procesos.

b) Realice un gráfico P-V que muestre los estados y los procesos que ocurren.

Solución Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

a) Primero se plantea el BE para un sistema cerrado despreciando los efectos de la energía cinética y potencial.

$$\Delta u + \cancelto{0}{\Delta Ep} + \cancelto{0}{\Delta Ek} = Q + W$$

0.1 pts

En este sistema se tienen 2 procesos y 3 estados que se analizarán uno a uno.

- $1 \rightarrow 2$: Enfriamiento a presión constante desde el estado 1 al estado 2.
- $2 \rightarrow 3$: Enfriamiento a volumen constante desde el estado 2 hasta el estado 3.

Estado 1: A 1 MPa y 500 °C.

- $v_1 = 0,3541$ m^3/kg

- u_1=3124,4 kJ/kg

0.1 pts

Estado 2: A 1 MPa y $v_2 = v_1/2$

- $v_2 = \frac{0{,}3541}{2} = 0,17705$ m^3/kg
- $x_2 = \frac{v_2 - v^L}{v^g - v^L} = \frac{0{,}17705 - 1{,}1273 \cdot 10^{-3}}{0{,}1944 - 1{,}1273 \cdot 10^{-3}} = 0,91$
- $u_2 = u^l + x_2 * (u^g - u^l) = 761,68 + 0,91 * (2583,6 - 761,68) = 2419,63$ kJ/kg

0.1 pts

Estado 3: A 25 °C y $v_3 = v_2$

- $v_3 = 0,17705$ m^3/kg
- $x_3 = \frac{v_3 - v^L}{v^g - v^L} = \frac{0{,}17705 - 1{,}0029 \cdot 10^{-3}}{43{,}360 - 1{,}0029 \cdot 10^{-3}} = 0,0041$
- $u_3 = u^l + x_3 * (u^g - u^l) = 104,88 + 0,0041 * (2409,8 - 104,88) = 114,33$ kJ/kg

0.1 pts

Ahora que se conocen todos los estados se puede calcular el trabajo y calor para cada proceso.

1. Proceso 1-2: Como es a presión constante:

$$W_{12} = -m \int_{v_1}^{v_2} P dv = -(0,1kg)(1MPa)(\frac{10^6 N/m^2}{MPa})(0,17705 - 0,9541)\frac{m^3}{kg}(\frac{1kJ}{10^3 N \cdot m})$$

$$W_{12} = 17,71kJ$$

Despejando del BE:

$$Q_{12} = m \cdot \Delta u - W_{12} = 0,1kg(2419,63 - 3124,4)kJ - 17,71kJ$$

$$Q_{12} = -88,19kJ$$

0.2 pts, asignar ptje intermedio según corresponda

2. Proceso 2-3: Como es a volumen constante:

$$\Delta u = Q_{23} + \cancel{W_{23}}^{0}$$

$$W_{23} = 0$$

$$Q_{23} = m \cdot \Delta u = 0,1kg(114,33 - 2419,63)kJ/kg$$

$$Q_{23} = -230,53kJ$$

0.2 pts, asignar ptje intermedio según corresponda

b) Diagrama Anexo. 0.2 pts por el gráfico. Debe mostrar la campana, tener todos los puntos bien localizados e indicar el sentido del proceso.

Pregunta 2 (1.5 pts)

La Figura 1 presenta un sistema de refrigeración, que funciona por medio de un intercambiador de calor estacionario, donde aire pasa por encima de tubos que llevan refrigerante 134a. El aire entra al sistema con un flujo volumétrico de 50 m^3/min a 32°C y 1 bar y abandona el sistema a una temperatura $T_{A,out}$. El refrigerante entra a los tubos a una tasa de 3.8 kg/min a 5 bar y con una calidad de vapor de 20 % y lo abandona a una temperatura de 20°C. Considere el IDC como isobárico y adiabático con el entorno. Determine:.

a) La temperatura de salida del aire.

b) La cantidad de calor transferido entre los fluidos.

c) Realice una investigación breve (máx 1 pagina) de los intercambiadores de calor (IDC) comentando sus usos, los tipos de IDC y las ventajas y desventajas de cada tipo.

Para el aire utilice las capacidades caloríficas del archivo "Capacidades Caloríficas de Gas y Liquido.pdf". Puede considerar al aire como una mezcla de 79 % nitrógeno y 21 % oxígeno en proporción molar.

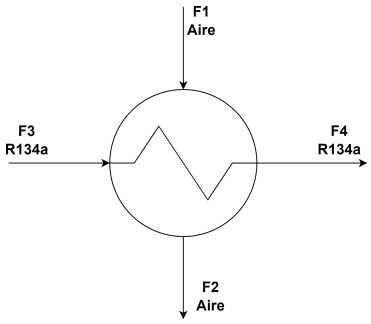


Figura 1: Sistema de refrigeración

Solución

Asignación de puntaje:

- 0.8 pts por la a)
- 0.3 pts por la b)

- 0.4 pts por la c)

Primero se plantea el balance de energía par el IDC:

$$\cancel{\frac{dU}{dt}}^{0} = \cancel{\dot{Q}}^{0} + \cancel{\dot{W}_s}^{0} - P\cancel{\frac{dV}{dt}}^{0} + \sum_{\text{entra}} m_e h_e - \sum_{\text{sale}} m_s h_s$$

$$\dot{m}_R(h_{R,in} - h_{R,out}) = \dot{m}_A(h_{A,out} - h_{A,in})$$

0.2 pts

Las entalpías del refrigerante se obtienen de la tabla:

$$h_{R,in} = 256.07 \cdot x + (1-x)71.33 = 108.278$$

$$h_{R,out} = 260.34$$

0.1 pts

Para el aire se usa los Cp, donde para la corriente tendrá la forma de:

$$h_{A,out} - h_{A,in} = \Delta h_A = \frac{1}{PM_A}\int_{T_{in}}^{T_{out}} C_{P,A}dT$$

0.1 pts

Se debe dividir en el PM para poder pasar de kJ/kmol a kJ/kg, donde PM_A=29 kg/kmol.

Además, este Cp:

$$C_{P,A} = 0.21C_{P,O_2} + 0.79C_{P,N_2}$$

Donde los C_P del oxígeno y nitrógeno están dados por el archivo anexo del curso y tienen la forma:

$$C_{P,i} = a_i + b_i T + c_i T^2 + d_i T^3 + e_i T^4$$

0.1 pts

Además se debe calcular el flujo másico de aire

$$\dot{m} = \rho \dot{v} = 1.14 \cdot 50 = 57.12 \text{ kg/min}$$

0.1 pts

Finalmente combinando:

$$\dot{m}_R(h_{R,in} - h_{R,out}) = \frac{\dot{m}_A}{PM_A} \int_{T_{in}}^{T_{out}} C_{P,A} dT$$

Donde

$$\int_{T_{in}}^{T_{out}} C_{P,A} dT = a(T_o - T_i) + b/2(T_o^2 - T_i^2) + c/3(T_o^3 - T_i^3) + d/4(T_o^4 - T_i^4) + e/5(T_o^5 - T_i^5)$$

0.1 pts

Como esta es una ecuación no lineal se debe resolver con wolfram o otro software (se debe ajuntar el software como anexo y mostrar como se resolvió)

Finalmente se obtiene que

$$T_{A,out} = 21.9 \ ^\circ C$$

0.1 pts

b) Para calcular el intercambio de calor:

$$Q = \dot{m}_R(h_{R,out} - h_{R,in}) = 577.8 \text{ kW}$$

0.3 pts

c) Asignar criterio segun ayudante, debe mencionar por lo menos el intermcabiador de doble tubo, de tubo y carcasa, y algun tipo de IDC compacto. Entre las ventajas y desventajas que se pueden mencionar según el tipo son (pueden haber más):

Tamaño, facilidad de limpieza, eficiencia, valor de compra, costo de mantención, corrosión, etc.

0.4 pts

Pregunta 3 (1.5 pts)

Considere el sistema de la Figura 2. Esta muestra una bomba que utiliza como energía una turbina que funciona con vapor de agua. La bomba se utiliza para bombear agua a un equipo que se encuentra 25 m más arriba. Además existe una perdida de calor a los alrededores por medio de la tubería a una tasa de 2 kW. También se sabe que la entalpía del flujo 2 es 417.69 kJ/kg. Considere que la bomba, y la turbina operan de manera estacionaria y adiabática. Determine:

a) La potencia requerida por la bomba

b) El flujo másico que pasa por la turbina

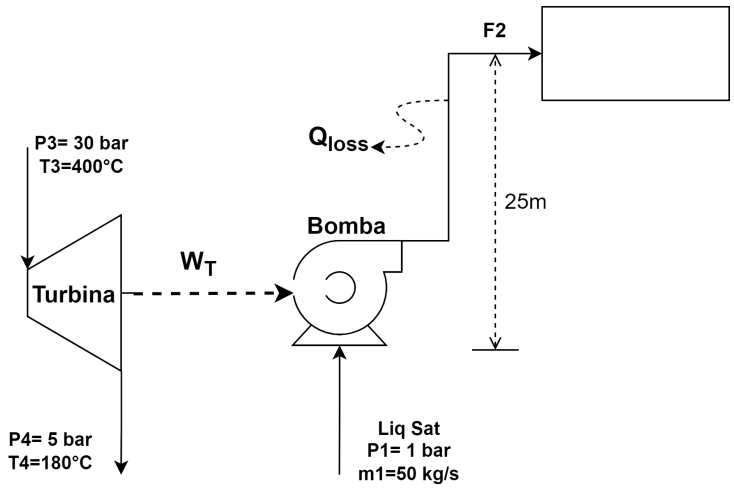


Figura 2: Sistema de bombeo de agua

Solución

Asignación de puntaje:

- 0.8 pts por la a)
- 0.7 pts por la b)

a) Para el sistema estacionario que va desde la bomba hasta el equipo que se encuentra a 25 m más arriba, se plantea el balance de energía despreciando los efectos de energía cinética.

$$\frac{d(U + E_k + Ep)}{dt}^{0} = \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_i \left[h_i + \frac{V_i^2}{2}^{0} + g z_i \right] + \dot{Q} + \dot{W}_s - P\frac{dV}{dt}^{0}$$

0.2 por plantear la primera ley y eliminar los términos a 0.

Como $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

$$0 = \dot{m}_1 \left[(h_1 - h_2) + g(z_1 - z_2)\right] + \dot{Q} + \dot{W}_s$$

$$\dot{W}_s = \dot{m}_1 \left[(h_2 - h_1) + g(z_2 - z_1)\right] - \dot{Q}$$

0.1 por la expresión de la potencia.

Luego, de la tabla A-3, se tiene que la entalpía del estado 1 es $h_1 = h_f = 417.46$ kJ/kg

0.1 por obtener h_1 correctamente

Como el estado 2 se encuentra a 25 m de distancia de la bomba y para que las unidades sean consistentes, el término relacionado con la energía potencial se debe dividir en 1000

$$9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) (25 - 0)\,(m) \left(\frac{1N}{1\frac{kg \cdot m}{s^2}}\right) \left(\frac{1kJ}{1000N \cdot m}\right)$$

0.1 por consistencia en unidades

Luego, reemplazando en el balance de energía

$$\dot{W}_s = 50 \left(\frac{kg}{s}\right) \left[(417.69 - 417.46) \left(\frac{kJ}{kg}\right) + \frac{9.81\,(25 - 0)}{1000} \left(\frac{kJ}{kg}\right)\right] + 2\,(kW)$$

Finalmente, la potencia requerida por la bomba es

$$\dot{W}_s = 25.8 \text{ kW}$$

0.3 por resultado.

b) Primero se plantea el balance de energía para la turbina. Esta opera de manera estacionaria, adiabática y se puede despreciar los términos de energía cinética y potencial.

$$\frac{d(U + E_k + Ep)}{dt}^{0} = \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_i \left[h_i + \frac{V_i^2}{2}^{0} + gz_i^{0}\right] + \dot{Q}^{0} + \dot{W}_s - P\frac{dV}{dt}^{0}$$

0.2 por plantear la primera ley y eliminar los términos a 0.

Como $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{W}_s}{h_4 - h_3}$$

0.1 por encontrar la expresión correcta para el flujo másico.

Por otra parte, como ambos estados se encuentran como vapor sobrecalentado, se obtienen sus entalpías específicas de la tabla A-4.

$$h_3 = 3230.9 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 2812.0 \text{ kJ/kg}$$

Por otra parte, como la bomba requiere que la turbina le entregue la potencia de necesaria, la energía de liberada por la turbina debe ser de -25.8 kW

0.2 por encontrar las entalpías y la potencia.

Reemplazando,

$$\dot{m}_3 = \frac{-25.8\,(kW)}{2812.0\left(\frac{kJ}{kg}\right) - 3230.9\left(\frac{kJ}{kg}\right)}$$

$$\dot{m}_3 = 0.0616 \text{ kg/s}$$

0.2 por resultado.

Pregunta 4 (2 pts)

Considere la Figura 3. En la figura se observa un estanque que opera de manera transiente y está siendo calentado. El estanque contiene inicialmente 10 ton de etanol a 15°C. El estanque cuenta con una chaqueta de calentamiento. Esta provee calor a una tasa que depende de la temperatura del estanque en todo momento según la ecuación 1, donde h es el coeficiente de transferencia de calor y A es el área de transferencia tal que, $hA = 5000$ kJ/(min · K) y donde la temperatura de la chaqueta es $T_H = 100$°C. Además, se agrega etanol a 20°C a una

velocidad de 1000 kg/h. El solvente calentado es descargado fuera del estanque a la misma velocidad. Suponga que el estanque esta perfectamente mezclado en todo momento. **Utilice la capacidad calorífica del etanol liquida del archivo "Capacidades Caloríficas de Gas y Liquido.pdf"** de Canvas.

a) Planteé el balance de energía para el sistema de la forma mas detallada y especifica para este sistema.

b) Realizar un gráfico que muestre la variación de la temperatura del estanque en el tiempo.

c) ¿Cuál es el valor de la temperatura cuando se llega al estado estacionario?

d) Cuanto se demora el estanque en llegar a 340 °C?

$$\dot{Q} = hA(T_H - T) \tag{1}$$

Nota: Para este ejercicio deberá utilizar Wolfram Mathematica o algún otro programa para resolver el ejercicio.

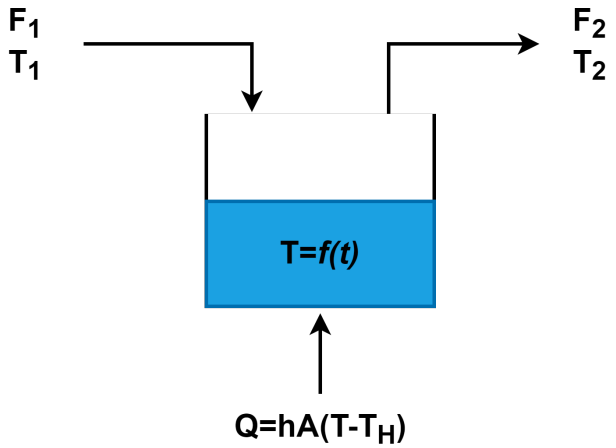


Figura 3: Estanque de calentamiento transiente

Solución

Solución

Asignación de puntaje:

- 0.8 pts por la a)
- 0.5 pts por la b)

- 0.4 pts por la c)
- 0.3 pts por la d)

a) Primero se plantea el balance de energía para el sistema. Este es transiente, con transferencia de calor, sin agitación y sin trabajo de expansión compresión.

$$\frac{dU}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \dot{m}_i h_i + \dot{Q} + \cancel{\dot{W}_s}^{0} - \cancel{P\frac{dV}{dt}}^{0}$$

0.2 pts por plantear la primera ley y eliminar los términos a 0

Luego se desarrolla cada termino. Para el termino de energía interna, como la masa dentro del estanque no cambia con el tiempo y el C_P no depende del tiempo:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d(m\int C_P dT)}{dt} = mC_p\frac{dT}{dt}$$

El Cp etanol líquido es el siguiente:

$$C_P = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3$$

Donde T esta en kelvin y las constantes estan en el archivo del curso. Sin embargo recordar que C_P esta en J/mol=kJ/kmol, por lo que se debe cambiar a kJ/kg con el peso molecular (PM=58 g/mol=56 kg/kmol).

$$= m\frac{C_p}{PM}\frac{dT}{dt}$$

0.1 por desarrollar dU/dt correctamente

Para las entradas y salidas. Como la masa que entra es la misma que la que sale.

$$\sum_{i=1}^{N} \dot{m}_i h_i = F(h_{in} - h_{out})$$

Además $h_{in} - h_{out}$ se puede expresar en términos de C_P (recuerden pasarlo a kJ/kg)

$$F(h_{in} - h_{out}) = F\int_{T}^{T_1} \frac{C_P}{PM} dT$$

0.2 por desarrollar el lado de los flujos correctamente con la integral de Cp polinómico

Finalmente el calor es:

$$\dot{Q} = hA(T_H - T)$$

0.1 por poner la expresión del calor

Luego combinado:

$$m\frac{C_P}{PM}\frac{dT}{dt} = F\int_T^{T_1}\frac{C_P}{PM}dT + hA(T_H - T)$$

$$T(0) = 288.15 \text{ K}$$

0.2 por plantear el sistema final, con la condición inicial correctamente

b) Esta es una EDO sin solución analítica pues C_P es un polinomio de 4^{to} grado. Por ende se debe usar Wolfram Mathematica. El código lo pueden encontrar en el anexo. De esta forma se obtiene el siguiente gráfico:

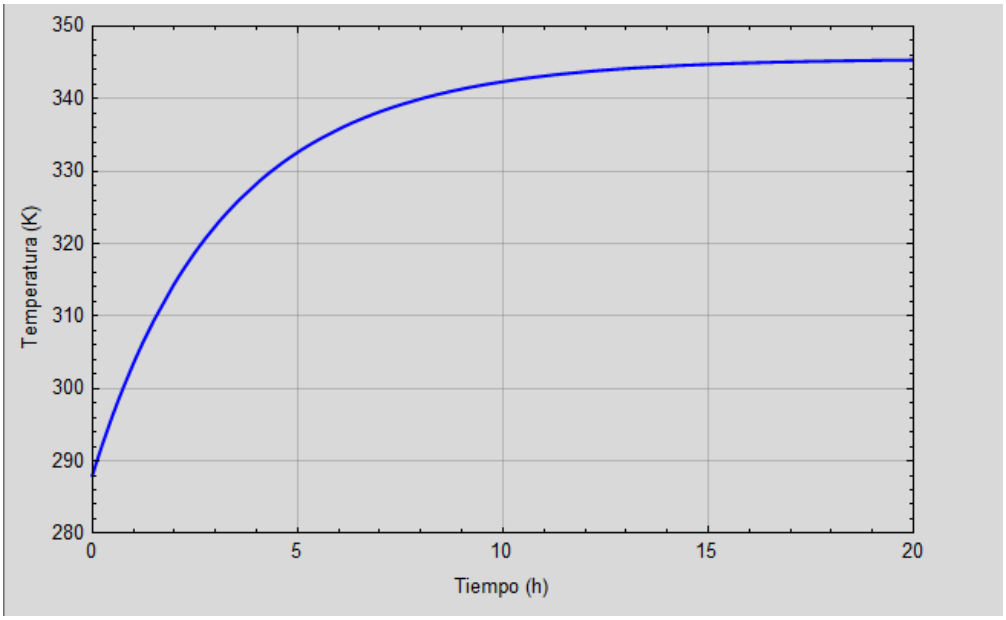


Figura 4: Variación de Temperatura en el Estanque

0.5 por resolver la EDO numéricamente en Wolfram u otro. Se plantea el gráfico correctamente.

El gráfico tiene los ejes con nombre y unidades correctas. Se muestra un intervalo correcto (se muestran al menos 12 horas) y se muestra todo el rango del gráfico. Descontar si se ve que la curva esta çortada"(sucede cuando le ponen mucho tiempo al plot y no ponen la opción PlotRange->All)

c) En el infinito se llega al estado estacionario. Es decir $\frac{dT}{dt} = 0$. Luego:

$$F \int_{T_2}^{T_1} \frac{C_P}{PM} dT + \dot{Q} = 0$$

0.2 por plantear el balance estacionario

Resolviendo esto en Wolfram, se obtiene:

$$T_{2,\infty} = 345.56 \ K$$

0.2 por resolver

Nota: El alumno podría haber encontrado otra forma de resolución, ejemplo mirando el gráfico que hicieron. Asignar correspondientemente

d)

Para el tiempo se puede utilizar nuevamente Wolfram Mathemtica (ver anexo)

$$t_{340K} = 7.99 \text{ h}$$

0.3 por encontrar el tiempo correctamente.

Nota: El alumno podría haber encontrado el valor al ojo por gráfico. Asignar 0.2 por utilizar esta forma