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

Pauta I1 2021-1

Profesores: Matías Campos y Nestor Escalona

P4) Se tiene una turbina que se usa para producir trabajo y que opera de manera estacionaria. A esta máquina le entran 2 corrientes distintas de agua (F1 y F2) y las que salen como 2 corrientes de agua (F3 y F4). La máquina produce 300 MJ/min de trabajo y además pierde 25 MJ/min de calor hacia el ambiente. Determine la entalpía específica de la corriente F2 en kJ/kg.

Datos Corrientes:

- F1: 100 kg/min de vapor a P=30 bar, T=540°C,
- F3: 130 kg/min de líquido saturado a P=3 bar.
- F4: 50 kg/min de vapor saturado a P=3 bar.

Solución

Primero se busca la entalpía de cada flujo conocido:

- F1 $\longrightarrow h_1 = 3546.6$ kJ/kg
- F3 $\longrightarrow h_3 = 561.47$ kJ/kg
- F4 $\longrightarrow h_4 = 2725.3$ kJ/kg

Además como el trabajo y el calor salen: $\dot{W}_s = -300 \times 10^3$ kJ/min y $\dot{Q} = -25 \times 10^3$ kJ/min.

Luego del balance de materia:

$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4 \longrightarrow F_2 = 80$$

Del balance de energía de sistema estacionario:

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

$$F_1 h_1 + F_2 h_2 - F_3 h_3 + F_4 h_4 + \dot{Q} + \dot{W}_s = 0$$

$$h_2 = \frac{F_1 h_1 - F_3 h_3 + F_4 h_3 + \dot{Q} + \dot{W}}{F_2} = 2244 \text{ kJ/kg}$$

P5) Se tienen 10 mol de un gas ideal inicialmente a 20 bar y 700°C . Este gas luego se expande de manera adiabática hasta 0.5 bar en un motor para producir trabajo. El trabajo producido se utiliza para comprimir 20 mol de otro gas ideal de manera isotérmica que inicialmente esta a 2 bar y 20°C. ¿Cuál es la presión en bar luego de la compresión isotérmica?

Asuma $\gamma = 1.4$

Solución **Recordar pasar T a Kelvin**

Para el proceso adiabático, del formulario:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \longrightarrow T_2 = 339.19 \text{ K}$$

Luego, del formulario nuevamente:

$$W = \frac{n_1}{\gamma - 1} R(T_2 - T_1) = -131777 \text{ J}$$

Para la parte isotérmica, del formulario **Nota se debe cambiar el signo debido a que ahora este trabajo entra**

$$W = n_2 RT \ln \frac{P_1}{P_2} \longrightarrow P_2 = 29.85 \text{ bar}$$

P6) Se quiere guardar 200 kg de CO2 gaseoso en un estanque rígido a 7.5 MPa y 320 K. ¿Cuál es el volumen del estanque en litros? Utilice el método de Pitzer y los gráficos generalizados de Lee Kesler.

Datos:

- P_c=73.82 bar
- T_c =304.2 K
- ω=0.228
- PM=44 g/mol

Solución

Primero se calcula P_r y T_r:

$$P_r = 1.015 \quad T_r = 1.05$$

De los graficos:

$$Z^{(0)} = 0.6 \quad Z^{(1)} = 0.02$$

Luego

$$Z = Z^{(0)} + \omega Z^{(1)} = 0.6046$$

Para el volumen especifico, (lo más fácil es usar R=0.08314 bar $\cdot$ L/mol $\cdot$ K).

$$v = \frac{ZRT}{P} = \frac{0.6046 \times 0.08314 \times 320}{75} = 0.214 \text{ L/mol}$$

Finalmente:

$$V = \frac{m}{PM} \cdot v = \frac{200 \times 10^3}{44} \cdot 0.214 = 972.72 \text{ L}$$

P7) Su supervisor le pide diseñar un estanque para guardar 800 moles de un gas a 277°C. Por temas de espacio en la planta solo se puede utilizar un estanque de un tamaño máximo de 1000 litros. Determine qué presión en bar deben soportar las paredes del estanque utilizando la EOS de Peng Robinson.

Datos:

- P_c=30 bar
- T_c=500 K
- ω=0.45

Solución

Primero se calcula el volumen especifico:

$$v = \frac{V}{n} = 1.25\text{L/mol}$$

Para los parámetros de PR, (utilizar R=0.08314 bar $\cdot$ L/mol $\cdot$ K si se desea trabajar en bar y litros):

$$\Omega = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 = 1.014$$

$$b = 0.07780\frac{RT_c}{P_c} = 0.108 \text{ L/mol}$$

$$a = 0.45724\frac{R^2T_c^2}{P_c}\left[1 + \Omega\left(1 - T_r^{1/2}\right)\right]^2 = 23.788 \text{ bar} \cdot \text{L}^2/\text{mol}^2$$

Finalmente:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2 + 2bV_m - b^2} = 26.98 \text{ bar}$$

P8) **Pregunta de desarrollo**.

Un estanque rígido con un volumen de 0.5 m^3 está conectado a un cilindro pistón mediante una válvula como se muestra en la figura. Ambos contienen agua pura. El sistema está inmerso en un baño de temperatura constante a 200°C y 600 kPa. Inicialmente la válvula está cerrada y el pistón está en equilibrio termodinámico con los alrededores (el baño) y el estanque en equilibrio térmico con los alrededores. El estanque contiene vapor de agua con una calidad del 95 %. El cilindro pistón inicialmente tiene un volumen de 0.1 m3.

En un momento dado, la válvula se abre hasta que el sistema alcanza el equilibrio termodinámico con los alrededores nuevamente.

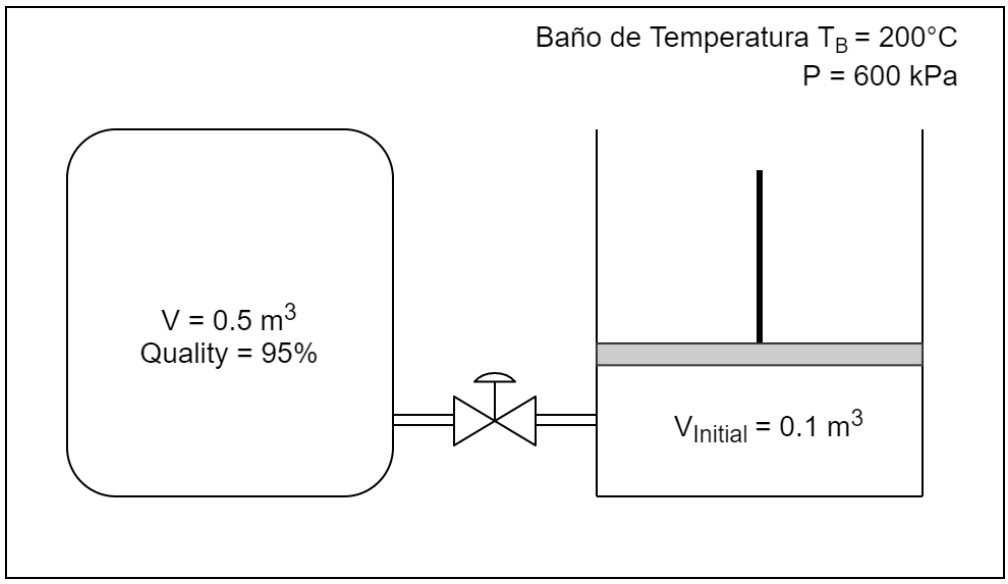
Determine:

a) (1 pts) La masa que hay dentro del pistón y el estanque respectivamente (en kg).

b) (0.5 pts) El volumen final (luego de alcanzar el equilibrio) del pistón (en m3)

c) (1 pto) El trabajo del sistema, sea consecuente con el signo y la dirección del trabajo.

d) (1.5 pts) El calor que se transfiere, sea consecuente con el signo y la dirección del calor.



Solución

a) Primero, como el pistón esta en equilibrio termodinámico con el baño:

$$P_P = P_b = 600 \text{ kPa} \quad T_P = T_B = 200°C$$

Tambien como el estanque esta en equilibrio térmico con el baño:

$$T_E = T_B = 200°C$$

0.25 pts por caracterizar el pistón y el estanque correctamente a partir del equilibrio termodinámico y térmico respectivamente.

Ahora si se va a la tabla a buscar los volúmenes específicos:

De la regla de la palanca con x=0.95:

$$v_{E,1} = v_L + x(v_V - v_L) = 0.1211 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Mediante interpolación doble:

$$v_{P,1} = 0.36195 \text{ m}^3/\text{kg}$$

0.25 pts por obtener el volumen de cada estado

También como se necesita la energía interna después (No es necesario sacarla ahora):

De la regla de la palanca con x=0.95:

$$u_{E,1} = 2508 \text{ kJ/kg}$$

Por interpolación doble:

$$u_{P,1} = 2638.85 \text{ kJ/kg}$$

Finalmente para las masas:

$$m_i = \frac{V_i}{v_i} \quad \forall i$$

$$m_{E,1} = \frac{V_E}{v_{E,1}} = \frac{0.5}{0.1211} = 4.129 \text{ kg}$$

$$m_{P,1} = \frac{V_{P,1}}{v_{P,1}} = \frac{0.1}{0.36195} = 0.276 \text{ kg}$$

$$m_T = m_E + m_P = 4.4055 \text{ kg}$$

0.5 pts por plantear y obtener las masas correspondientes del estanque y pistón. Nota: la masa total no es necesaria calcularla ahora.

Respuesta forma 2: $m_E = 12.3$, $m_P = 0.504$, $m_T = 12.82$

Respuesta forma 3: $m_E = 3.25$, $m_P = 0.435$, $m_T = 3.688$

b) Cuando se abre la válvula el liquido fluirá del estanque (mayor presión) al pistón (menor presión). Luego el sistema completa alcanzará el equilibrio termodinámico con el baño. Por ende:

$$P_2 = 600 \text{ kPa} \quad T_2 = 200°C$$

En este punto además:

$$v_2 = 0.36195 \text{ kg}$$

0.3 pts por caracterizar correctamente el estado final y calcular su volumen especifico. Nota: no es necesario calcular la energía interna ahora.

$$u_2 = 2638.85 \text{ kJ/kg}$$

De esta manera se puede calcular el volumen final del sistema:

$$V_T = v_2 m_T = 1.5945\text{m}^3$$

El volumen que usa el pistón es:

$$V_{P,2} = V_T - V_E = 1.0945\text{m}^3$$

0.2 pts por plantear como se obtiene y calcular el volumen final de pistón

Respuesta forma 2: $V_{P,2} = 4.388$

Respuesta forma 3: $V_{P,2} = 0.671$

c) Para el trabajo:

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Como la presión externa es constante:

$$W = -P_{ext}(V_{P,2} - V_{P,1})$$

0.5 pts por identificar como se calcula el trabajo para este caso

$$= 600 \cdot (1.0945 - 0.1) = -596.7 \text{ kJ}$$

0.5 pts por el calculo correcto

También se puede calcular como:

$$W = -P_{ext}(V_{T,2} - V_{T,1})$$

Respuesta forma 2: $W = -2513$

Respuesta forma 3: $W = -312.56$

d) Si se realiza el balance de energía para el sistema cerrado:

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

Integrando:

$$\Delta U = Q + W$$

0.25 pts por plantear el balance de energía, eliminar los términos correspondientes y obtener la primera ley cerrada. Nota: también podrían justificar que como es un sistema cerrado se usa esta expresión.

Luego:

$$\Delta U = m_T u_2 - m_{E,1} u_{E,1} - m_{P,1} u_{P,1} = 540.03 \text{ kJ}$$

0.25 pts por obtener los $u_{E,1}$, $u_{P,1}$, u_2, correctamente (los cálculos están mas arriba)

0.5 pts por plantear como se expresa ΔU correctamente para el sistema o un cálculo equivalente.

0.25 pts por obtener el valor correcto

Finalmente:

$$Q = \Delta U - W = 1136.77 \text{ kJ}$$

0.25 pts por obtener el valor correcto del calor

Respuesta forma 2: $Q = 4720$

Respuesta forma 3: $Q = 677$