Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 - Termodinámica
20 de Octubre de 2014

Tiempo: 120 minutos
Se puede usar calculadora.
No se puede usar celular.
No se puede prestar nada.
Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 60 minutos.
Si usa lápiz mina no podrá pedir recorrección.

Interrogación Nro. 2

Nombre: _____ **Sección:** _____

Problema 1

Considera un condensador en un sistema de refrigeración donde R-134a es el líquido refrigerante. El líquido refrigerante entra el condensador a 1,0 MPa, 60 Celsius a una taza de 0,2 kg/s. El R-134a sale a una presión de 0,90 MPa y 60 Celsius y el agua entra a una temperatura de 10 Celsius y sale a una temperatura de 20 Celsius.

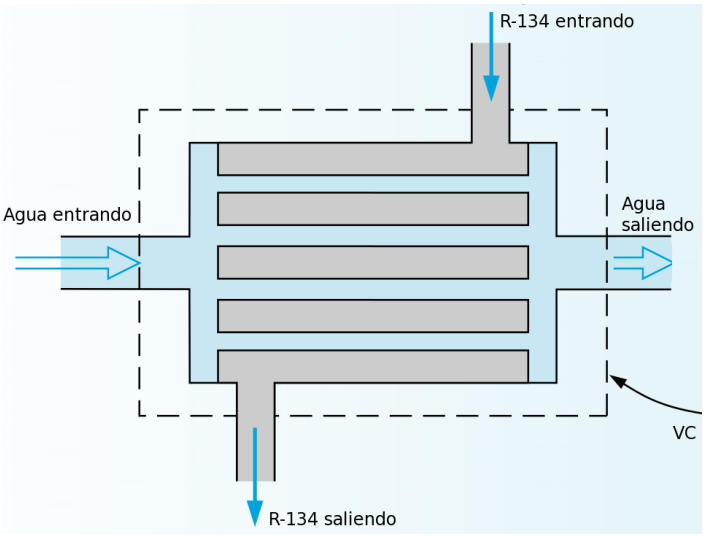
a) ¿En que estado se encuentran el agua y el R-134a en la entrada y salida?(1P)

b) Asumiendo que la velocidad de los líquidos tienen una velocidad de 1 m/s. ¿Cuanto porciento contribuye esta energía cinetica a la energía de entrada del agua?(1P)

c) Asumiendo que la diferencia de altura para el agua es un metro. ¿Cuanto porciento contribuye esta energía potencial a la energía de entrade del agua? (1P)

d) Determina la taza del flujo del agua.(2P)

d) Calcula la taza de calor que se traspasa entre el agua y el R-134a(1P)



Pauta I2 problema 1

a) agua, entrada $^{10°C}$: líquido (0,25P)
($P_{atm} \gg P_{sat}$)

agua, salida $^{20°C}$: líquido (0,25P)
($P_{atm} \gg P_{sat}$)

R-134, entrada:

Tabla B.5.1 P_{sat} @60°C = 1681,8 kPa > 1 MPa (0,25 P)

⇒ gas

R-134, salida:

Tabla B.5.1 P_{sat} @35°C = 887,6 kPa < 0,95 MPa (0,25P)

⇒ líquido

b) energía entrada del agua:

tabla A-4 $h_f = 42 \frac{kJ}{kg}$ (0,25 P)

$e_{cin} = \frac{v^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{J}{kg}$ (0,25 P)

$\frac{e_{cin}}{h_f} = 0{,}001\ \%$ (0,5 P)

c) $e_{pot} = gh = 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 1\,m = 9{,}81 \frac{J}{kg}$ (0,25 P)

$\frac{e_{in}}{h_f} = 0{,}024\ \%$ (0,25 P)

⇒ e_{in} & e_{pot} son despreciable

d) Flujos continuos:

$$\dot{m}_{H_{entra}} = \dot{m}_{H_{sale}} = \dot{m}_H$$

$$\& \quad \dot{m}_{R_{entra}} = \dot{m}_{R_{sale}} = \dot{m}_R$$

Balance de energía:

$$\dot{m}_R \cdot h_{R_{entra}} + \dot{m}_H \cdot h_{H_{entra}} = \dot{m}_R \cdot h_{R_{sale}} + \dot{m}_H \cdot h_{H_{sale}} \qquad (0{,}5\,P)$$

buscamos $\dot{m}_H$: $\quad (\dot{m}_R = 0{,}2\ kg/s)$

$$\dot{m}_H = \dot{m}_R \cdot \frac{h_{R_{sale}} - h_{R_{entra}}}{h_{H_{entra}} - h_{H_{sale}}} \qquad (0{,}5\,P)$$

tabla agua: $h_{H_{entra}} \approx h_{f\,@60°C} = 420\ kJ/kg$

$h_{H\,sale} \approx h_{f\,@20°C} = 83{,}9\ kJ/kg \qquad (0{,}25\,P)$

tablas R-134 (3.5.1)

$h_{R_{sale}} \approx h_{f\,@35°C} = 249{,}1\ kJ/kg \qquad (0{,}25\,P)$

$h_{R_{entra}} = h_{\substack{superheated \\ @60°C \\ 1\,MPa}} = 441{,}9\ kJ/kg \qquad (0{,}25\,P)$

$$\Rightarrow \dot{m}_H = 0{,}9\ kg/s \qquad (0{,}25\,P)$$

e) $|\dot{Q}| = \dot{m}_R\,(h_{R_{entra}} - h_{R_{sale}}) \qquad (0{,}5\,P)$

$= 38{,}6\ kJ/s$ del R-134 hacia el agua $\qquad (0{,}5\,P)$

Nombre: _____ **Sección:** _____

Problema 2

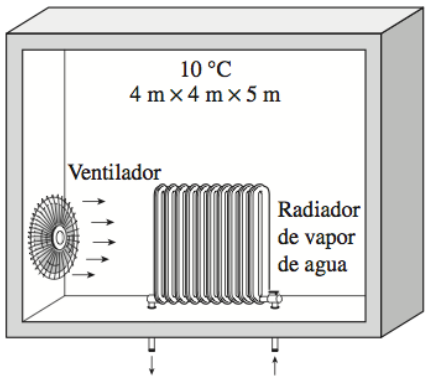
Una pieza cerrada con dimensiones 4 m × 4 m × 5 m llena de aire, bien aislada, se encuentra inicialmente a 10 Celsius. Un radiador de vapor de agua, de volumen 0.015 m^3, se llena con vapor sobrecalentado de agua a 200 kPa y 200 Celsius. Una vez lleno, se cierran las válvulas de entrada y de salida, y se enciende un ventilador de 120 W de potencia para distribuir el aire en la pieza. Se observa que la presión del vapor de agua en el radiador baja a 100 kPa en 30 minutos, debido a la transferencia de calor entre el radiador y el aire de la pieza.

a) Determine la masa de agua que se encuentra dentro del radiador. [1 punto]

b) Determine el estado en el que se encuentra el agua dentro del radiador al final de los 30 minutos, así como su temperatura. [2 puntos]

c) Determine la temperatura y presión del aire dentro de la pieza al final de los 30 minutos. [3 puntos]

Nota: para las propiedades del aire que necesite, puede asumir que éste se encuentra a temperatura ambiente.



Termodinamica para Ingenieros, FIS1523
I 2
Facultad de Física
Pontificia Universidad Católica de Chile
Segundo Semestre 2014

Tiempo para responder: 120 min

Atención!!

- Si utiliza lápiz de grafito, perderá la posibilidad de reclamar errores de corrección.
- El profesor no se hace responsable de las respuestas que los ayudantes puedan dar a sus consultas durante el examen.

Nombre: _____ **Sección:** _____

Solución Pregunta 2

(a) Sean P_{R1} y T_{R1} la presión y temperatura iniciales del agua en el radiador. De la tabla A-6 vemos que $\nu_R = 1{,}08049$ m^3/kg [0,5 puntos] y que $u_{R1} = 2654{,}6$ kJ/kg. Puesto que $V_R = 0{,}015$ m^3, entonces $m_R = V_R/\nu_R = 0{,}0139$ kg [0,5 puntos].

(b) La masa calculada en (a) es constante, ya que las válvulas del radiador están cerradas y por ende tenemos un sistema cerrado. Consecuentemente ν_R también es constante. Si vamos a las tablas de agua saturada (A-5), vemos que a una presión $P_{R2} = 100$ kPa tenemos que $\nu_f = 0{,}001043$ m^3 y $\nu_g = 1{,}6941$ m^3. [0,25 puntos]

Puesto que $\nu_f < \nu_R < \nu_g$, estamos lidiando con un vapor húmedo (una mezcla de líquido y vapor saturados) [0,5 puntos]. La temperatura tiene que ser igual a la temperatura de saturación, que de acuerdo a la tabla A-5 es 99.61° C [0,5 puntos]. Podemos calcular la calidad del vapor húmedo x_2 como:

$$x_2 = \frac{\nu_R - \nu_f}{\nu_{fg}} = \frac{1{,}08049 - 0{,}001043}{1{,}6941 - 0{,}001043} = 0{,}6376. \text{ [0,75 puntos]}$$

Nota para el corrector: si la calidad se obtuvo en el inciso (c) en lugar del (b) no hay problema; favor de asignar los puntos correspondientes ahí.

(c) De la tabla A-5 también se observa que $u_f = 417{,}40$ kJ/kg y $u_{fg} = 2088{,}2$ kJ/kg para una presión de 100 kPa. Por ende podemos calcular la energía interna del agua en el radiador después de los 30 minutos (u_{R2}) como:

$$u_{R2} = u_f + x_2 u_{fg} = 417{,}40 + 0{,}6376 \times 2088{,}2 = 1748{,}7 \text{ kJ/kg. [0,5 puntos]}$$

El balance de energía para el radiador (es decir, considerando el radiador como el sistema) nos queda:

$$\begin{aligned} \Delta U_R &= Q_R - \cancelto{0}{W_R} \\ Q_R &= m_R(u_{R2} - u_{R1}) \\ &= 0{,}0139(1748{,}7 - 2654{,}6) \\ &= -12{,}58 \text{ kJ, [0,5 puntos]} \end{aligned}$$

donde Q_R es el calor perdido por el radiador (de donde el signo negativo).

Si tomamos ahora el aire dentro de la pieza como el sistema, tenemos que:

$$\Delta U_A = Q_A - W_A$$

La tabla A-2 nos indica que, para el aire, $R_A = 0{,}287$ kJ/kgK. También nos dice que el aire a temperatura ambiente tiene $c_v = 0{,}718$ kJ/kgK.

El calor ganado por el aire es igual al perdido por el radiador, es decir $Q_A = -Q_R = 12{,}58$ kJ [0,25 puntos]. El trabajo realizado por el aire es el que hace el ventilador en 30 minutos, y entonces $W_A = -120 \times 30 \times 6 = -216$ kJ [0,25 puntos]. El signo negativo se debe a que el trabajo se hace sobre el sistema. Por último, la masa del aire en la pieza se puede calcular aplicando la ecuación de los gases ideales al estado inicial:

$$m_A = \frac{P_{A1} V_A}{R_A T_{A1}} = \frac{100 \times 10^3 \times 80}{0{,}2870 \times 10^3 \times 283} = 98{,}5 \text{ kg. [0,25 puntos]}$$

Regresando al balance de energía, tenemos que:

$$m_A c_v (T_{A2} - T_{A1}) = Q_A - W_A \text{ [0,25 puntos]}$$

es decir:

$$98{,}5(0{,}718)(T_{A2} - 10) = 12{,}58 + 216$$

de donde se obtiene que $T_{A2} = 13{,}23°$ C [0,5 puntos]. La presión final P_{A2} se obtiene por medio de la ecuación de los gases ideales:

$$P_{A2} = \frac{m_A R_A T_{A2}}{V_A} = 101{,}14 \text{ kPa. [0,5 puntos]}$$

Nota para el corrector: si en algún resultado numérico hay un error de arrastre pero el razonamiento y el cálculo están correctos, favor de asignar 75 % de los puntos correspondientes.

Nombre: _____ **Sección:** _____

Problema 3

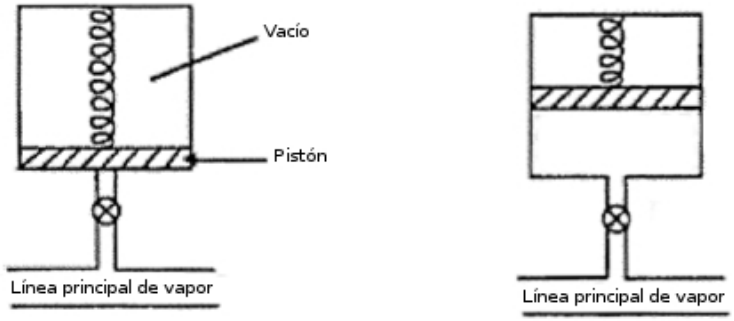
Un tanque evacuado completamente y aislado térmicamente contiene un pistón y un resorte como se muestra en la figura de la izquierda y está conectado a una línea principal por la que circula vapor a 2 MPa y 300^{o}C. Inicialmente, el resorte justo toca el pistón y no ejerce fuerza sobre él. Cuando la válcula se abre, entra vapor al tanque hasta que la presión sube a 3 MPa.

a) Calcular en trabajo que hace el resorte sobre vapor que ya entró al tanque. [1.5 puntos]

b) Determinar la energía interna y volumen por unidad masa del vapor que está en el tanque en la situación final (figura de la derecha). [3 puntos]

c) ¿Cuál es la temperatura final del vapor en el tanque? [1.5 puntos]

Sugerencia: Considere como volumen de control el volumen ocupado por el vapor dentro del tanque



Nombre: PAUTA Problema 3 **Sección:** _____

a) El trabajo que hace el vapor sobre el resorte mientras está entrando al tanque viene dado por

$$W_{sobre\,resorte} = \Delta U_{elastica} = U_{elastica\,final} - U_{elastica\,inicial} = \frac{1}{2}\,k\,x_f^2 = \frac{1}{2}\,k\,\left(\frac{V_f}{A}\right)^2 \qquad \text{[0.75 ptos.]}$$

donde x_f es la altura final a la que queda el pistón, k es la constante del resorte, A es la sección transversal del tanque y V_f es el volumen final que ocupa el vapor en el tanque.

Considerando el balance de fuerzas sobre el pistón, podemos relacionar k con datos termodinámicos,

$$P_f\,A = |\vec{F}_{resorte}| = k\,x_f = k\,\frac{V_f}{A} \quad \rightarrow \quad k = \frac{P_f\,A^2}{V_f} \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

Entonces,

$$W_{sobre\,resorte} = \frac{1}{2}\,k\,\left(\frac{V_f}{A}\right)^2 = \frac{1}{2}\,P_f\,V_f \qquad \text{[0.25 ptos.]}$$

b) La Primera Ley de la Termodinámica para un dado volumen de control se escribe

$$\frac{dE_{VC}}{dt} = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \dot{m}_{entra}\,\theta_{entrada} - \dot{m}_{sale}\,\theta_{salida} \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

donde $\theta = h + v^2/2 + g\,z$.

Para este problema, $Q_{VC} = 0$ por que el tanque está aislado, $\dot{m}_{sale} = 0$ porque no hay salida de masa del tanque y $W_{VC} \neq 0$ porque es el trabajo hecho por el vapor sobre el resorte. Además despreciamos el término de energía cinética y potencial gravitatoria en la energía por unidad de masa, así $\theta_{entrada} = h_{entrada}$. [0.5 ptos.]

Considerando lo anterior en la ecuación general de la Primera Ley,

$$\frac{dE_{VC}}{dt} = -\dot{W}_{VC} + \dot{m}_{entra}\,h_{entrada} \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

Si multiplicamos por dt e integramos entre $t = 0$ y $t = t_f$, obtenemos que

$$\int \frac{dE_{VC}}{dt}\,dt = -\int \dot{W}_{VC}\,dt + \int \dot{m}_{entra}\,h_{entrada}\,dt$$

$$E_f = -W_{VC} + m_f\,h_{entrada} = -W_{sobre\,resorte} + m_f\,h_{entrada} = -\frac{1}{2}\,P_f\,V_f + m_f\,h_{entrada} \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

$$E_f = m_f\,u_f = -\frac{1}{2}\,P_f\,m_f\,\nu_f + m_f\,h_{entrada} \quad \rightarrow \quad u_f = h_{entrada} - \frac{1}{2}\,P_f\,\nu_f \qquad \text{[0.75 ptos.]}$$

Determinamos el valor de u_f reemplazando los datos conocidos,

$h_{entrada} = h(2\text{ MPa}, 300^o\text{C}) = 3024.2\text{ kJ/kg}$ $\qquad P_f = 2\text{ MPa}$ $\qquad \nu_f = 0.1416\text{ m}^3\text{/kg}$ $\qquad$ [0.25 ptos.]

$$u_f = h_{entrada} - \frac{P_f\,\nu_f}{2} = 3024{,}2 - \frac{2\times 10^3 \times 0{,}1416}{2} = 3024{,}2 - 141{,}6 = 2882.6\text{ kJ/kg} \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

c) Usando la tabla de vapor sobrecalentado a la presión final, $P_f = 2$ MPa, podemos determinar la temperatura final. Tenemos que ingresar por la columna del ν y buscar el valor del volumen específico de nuestro sistema, $\nu_f = 0.1416$ m^3/kg, e interpolando determinar la temperatura. [0.5 ptos.]

$T_1 = 350^o$C ... $\nu_1 = 0.1386$ m^3/kg
$T_f = ?$ ... $\nu_f = 0.1416$ m^3/kg [0.25 ptos.] (sacar la información de la tabla)
$T_2 = 400^o$C ... $\nu_2 = 0.1512$ m^3/kg

$$\frac{\Delta T_{1y2}}{\Delta \nu_{1y2}} = \frac{\Delta T_{fy1}}{\Delta \nu_{fy1}} \quad \rightarrow \quad \frac{T_2 - T_1}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{T_f - T_1}{\nu_f - \nu_1} \quad \rightarrow \quad T_f = T_1 + \left(\frac{\nu_f - \nu_1}{\nu_2 - \nu_1}\right)(T_2 - T_1) \qquad \text{[0.5 ptos.]}$$

$$T_f = 350 + \left(\frac{0{,}1416 - 0{,}1386}{0{,}1512 - 0{,}1386}\right)(400 - 350) = 350 + \frac{0{,}0030}{0{,}0126} \times 50 = 350 + 11{,}9 = 361.9^o\text{C} \qquad \text{[0.25 ptos.]}$$