Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
1 de julio del 2016

P1	P2	P3	Nota

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.

Examen Final

Nombre: _____

Problema 1

Aire entra al compresor de un automóbil a 100 kPa y 300 K y sale de éste a 150 kPa. La eficiencia isoentrópica del compresor es de 70 %. No hay transferencia de calor.

a) Encuentre el trabajo requerido por kg de aire. *(3 pts.)*

b) Determine la temperatura del aire a la salida del compresor. *(2 pts.)*

c) Dibuje cualitativamente en un diagrama $P - v$ el proceso real y el proceso isoentrópico. *(1 pto.)*

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

				Propiedades del punto crítico		
Sustancia	Fórmula	Masa molar, M kg/kmol	Constante de gas, R kJ/kg · K*	Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m^3/kmol
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883

TABLA A-2

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400

Solución:

a) El trabajo que requiere el compresor se puede calcular a partir de la eficiencia isoentrópica:

$$\eta = \frac{w_s}{w} \qquad \Rightarrow \qquad \begin{aligned} w &= \eta^{-1} w_s \\ &= \eta^{-1} \left(h_{2s} - h_1\right) \\ &= \eta^{-1} C_P \left(T_{2s} - T_1\right) \,, \end{aligned}$$

donde hemos usado que el cambio de entalpía específica de un gas ideal es $\Delta h = C_P \Delta T$. Ahora, la temperatura final del proceso isoentrópico está dada por

$$T_1 P_1^{\frac{1}{\gamma}-1} = T_{2s} P_2^{\frac{1}{\gamma}-1} \qquad \Rightarrow \qquad \begin{aligned} T_{2s} &= T_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}-1} \\ &= 336{,}8\,\mathrm{K}\,. \end{aligned}$$

Así, extrayendo C_P de la tabla A-2, encontramos

$$w = 52{,}9\,\mathrm{kJ/kg}\,.$$

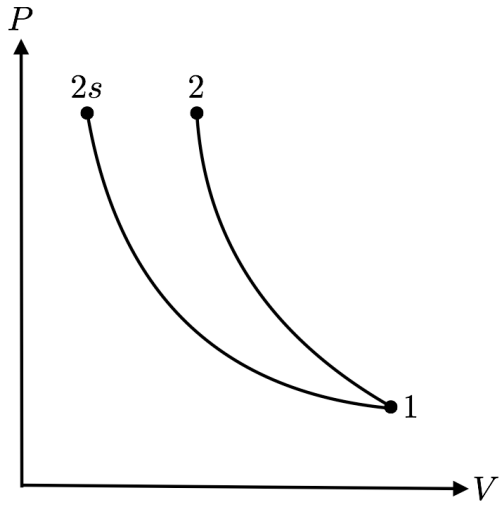
b) Por primera ley el trabajo requerido por el compresor es

$$\begin{aligned} w &= h_2 - h_1 \\ &= C_P \left(T_2 - T_1\right) \,. \end{aligned}$$

Despejando la temperatura final obtenemos

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 + \frac{w}{C_P} \\ &= 352{,}6\,\mathrm{K}\,. \end{aligned}$$

c) El estado inicial es el mismo para los dos procesos. La presión final también es la misma pero las temperaturas difieren con $T_{2s} < T_2$. Así, la descripción cualitativa de los procesos es



Nombre: _____

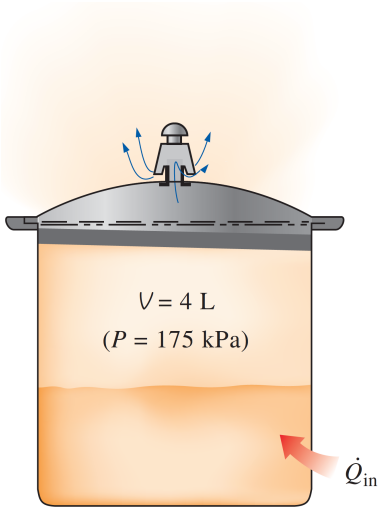
Problema 2

Se tiene una olla a presión de 4 litros diseñada para operar a 150 kPa. Inicialmente, la mitad del volumen está lleno con agua líquida y la otra mitad con vapor. Se transmite calor durante una hora tras lo cual el sistema queda sin agua líquida. Determine:

a) la masa total inicial, la calidad inicial y la masa total final del sistema, *(2 pts.)*

b) la tasa de transferencia de calor, *(2 pts.)*

c) la tasa de producción de entropía, asumiendo que el calor se adiciona a 150 °C. *(2 pts.)*



Solución:

a) Con los datos del enunciado podemos determinar la masa inicial de cada componente. En efecto,

$$\begin{aligned} m_{1f} &= \frac{V_{1f}}{\nu_{f@150\text{kPa}}} & m_{1g} &= \frac{V_{1g}}{\nu_{g@150\text{kPa}}} \\ &= 1{,}89934\,\text{kg}\,, & &= 0{,}00173\,\text{kg}\,, \end{aligned}$$

donde hemos usado que $V_{1g} = V_{1f} = 0,002\,\text{m}^3$ y extraído $\nu_{f@150\text{kPa}}$ y $\nu_{g@150\text{kPa}}$ de la tabla A-5. Así, la masa total inicial es

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{1f} + m_{1g} \\ &= 1{,}90106\,\text{kg}\,, \end{aligned}$$

lo que da una calidad de

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{m_{1g}}{m_1} \\ &= 0{,}00091\,. \end{aligned}$$

Similarmente, dado que el estado final es sólo vapor saturado ocupando un volumen $V_{2g} = 0,004\,\text{m}^3$, la masa total final es

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{V_{2g}}{\nu_{g@150\text{kPa}}} \\ &= 0{,}00345\,\text{kg}\,. \end{aligned}$$

b) Este es un problema de flujo transiente, por lo que escribimos las leyes de conservación en ese contexto:

$$m_2 - m_1 = -m_s\,, \qquad m_2u_2 - m_1u_1 = Q - m_sh_s\,, \qquad \Rightarrow \qquad Q = m_2u_2 - m_1u_1 + (m_1 - m_2)\,h_s\,.$$

donde hemos asumido que sale masa y entra calor. La energía interna específica inicial y final son

$$\begin{aligned} u_1 &= x_1u_{g@150\text{kPa}} + (1 - x_1)u_{f@150\text{kPa}} & u_2 &= u_{g@150\text{kPa}} \\ &= 468{,}83\,\text{kJ/kg}\,, & &= 2519{,}2\,\text{kJ/kg}\,. \end{aligned}$$

Lo que sale de la olla es vapor saturado. Luego,

$$\begin{aligned} h_s &= h_{g@150\text{kPa}} \\ &= 2693{,}1\,\text{kJ/kg}\,. \end{aligned}$$

Juntando todos estos valores encontramos

$$Q = 4227{,}9\,\text{kJ}\,.$$

Así, la potencia necesaria es

$$\frac{Q}{\Delta t} = 1{,}1744\,\text{kW}\,.$$

c) La entropía generada en el proceso está definida por la relación de balance de entropía,

$$m_2s_2 - m_1s_1 = -m_ss_s + \frac{Q}{T_{\text{entorno}}} + S_{\text{gen}} \qquad \Rightarrow \qquad S_{\text{gen}} = m_2s_2 - m_1s_1 + (m_1 - m_2)\,s_s - \frac{Q}{T_{\text{entorno}}}\,.$$

De la tabla encontramos

$$\begin{aligned} s_1 &= x_1s_{g@150\text{kPa}} + (1 - x_1)s_{f@150\text{kPa}} & s_2 &= s_{g@150\text{kPa}} & s_s &= s_{g@150\text{kPa}} \\ &= 1{,}4390\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}\,, & &= 7{,}2231\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}\,, & &= 7{,}2231\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}\,. \end{aligned}$$

Luego, usando que $T_{\text{entorno}} = 423{,}15$ K, tenemos

$$S_{\text{gen}} = 1{,}0046\,\text{kJ/K}\,,$$

con lo que la tasa de producción de entropía queda

$$\frac{S_{\text{gen}}}{\Delta t} = 0{,}0003\,\text{kW/K}\,.$$

Nombre: _____

Problema 3

Un ciclo ideal de refrigeración de vapor opera en condiciones estacionarias con un flujo de masa de 5 kg/min y refrigerante 134a como fluido de trabajo. El vapor saturado entra al compresor a $-10\,^{\circ}\mathrm{C}$ mientras que el líquido saturado entra la válvula a 700 kPa. Determine:

a) la potencia requerida por el compresor, *(2 pts.)*

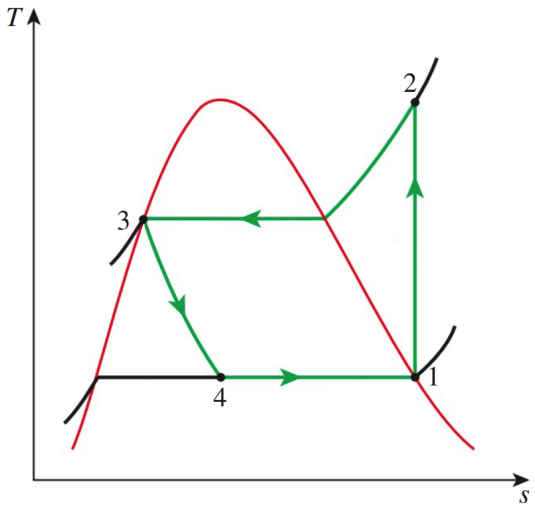
b) la tasa de transferencia de calor desde el ambiente refrigerado, *(1 pto.)*

c) la tasa de producción de entropía en la válvula, *(2 pts.)*

d) el coeficiente de funcionamiento del ciclo. *(1 pto.)*

Ayuda: para interpolar una variable y en términos de otra variable x use la fórmula

$$y(x) = y_a + \frac{x - x_a}{x_b - x_a}\,(y_b - y_a)\ .$$



Solución:

a) La potencia requerida por el compresor es

$$\dot{m}h_1 + \dot{W} = \dot{m}h_2 \qquad \Rightarrow \qquad \dot{W} = \dot{m}\left(h_2 - h_1\right) .$$

El estado 1 está determinado. De la tabla leemos,

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{g@-10^\circ C} \\ &= 244{,}55\,\mathrm{kJ/kg}\,. \end{aligned}$$

Para conocer el estado 2 notamos que como el ciclo es ideal, el compresor es isoentrópico. Luego,

$$\begin{aligned} s_2 &= s_1 \\ &= s_{g@-10^\circ C} \\ &= 0{,}93782\,\mathrm{kJ/kg\cdot K}\,. \end{aligned}$$

La segunda variable de estado la fijamos recordando que el proceso 2-3, es decir, el condensador, es isobárico. Por lo tanto, $P_2 = P_3 = 700$ kPa. Así, buscando el valor de la entropía s_2 en la tabla de vapor sobrecalentado vemos que

$$P = 0{,}7\,\mathrm{MPa} \qquad \Rightarrow \qquad \left\{ \begin{array}{lll} T_a = 30\,^\circ C & h_a = 268{,}47\,\mathrm{kJ/kg} & s_a = 0{,}9314\,\mathrm{kJ/kg\cdot K} \\ T_2 = ? & h_2 = ? & s_2 = 0{,}93782\,\mathrm{kJ/kg\cdot K} \\ T_b = 40\,^\circ C & h_b = 278{,}59\,\mathrm{kJ/kg} & s_b = 0{,}9642\,\mathrm{kJ/kg\cdot K} \end{array} \right. .$$

Interpolando linealmente para la entalpía en términos de la entropía,

$$h(s) = h_a + \frac{s - s_a}{s_b - s_a}\left(h_b - h_a\right) ,$$

encontramos

$$\begin{aligned} h_2 &= h(s_2) \\ &= 270{,}45\,\mathrm{kJ/kg}\,. \end{aligned}$$

Luego,

$$\dot{W} = 2{,}1584\,\mathrm{kW}\,.$$

b) La abosorción de calor desde el ambiente refrigerado ocurre en el evaporador. Así,

$$\dot{m}h_4 + \dot{Q} = \dot{m}h_1 \qquad \Rightarrow \qquad \dot{Q} = \dot{m}\left(h_1 - h_4\right) .$$

Como la válvula es isoentálpica tenemos

$$\begin{aligned} h_4 &= h_3 \\ &= h_{f@700kPa} \\ &= 88{,}82\mathrm{kJ/kg}\,, \end{aligned}$$

donde hemos usado que el estado 3 es líquido saturado a 700 kPa. Luego,

$$\dot{Q} = 12{,}978\,\mathrm{kW}\,.$$

c) Como la válvula se asume adiabática, la ecuación de balance de entropía es

$$\dot{m}s_3 + \dot{S}_{gen} = \dot{m}s_4 \qquad \Rightarrow \qquad \dot{S}_{gen} = \dot{m}\left(s_4 - s_3\right) .$$

La entropía específica del estado 3 es

$$\begin{aligned} s_3 &= s_{f@700kPa} \\ &= 0{,}33230\,\mathrm{kJ/kg\cdot K}\,. \end{aligned}$$

Para determinar la entropía específica del estado 4, notamos que conocemos su entalpía específica, $h_4 = 88{,}82\,\mathrm{kJ/kg}$, y su temperatura $T_4 = T_1 = -10\,^\circ\mathrm{C}$. Esta útima relación se deduce del hecho de que el evaporador es isobárico y por lo tanto isotérmico debajo de la curva de saturación. A partir de esto podemos calcular la calidad,

$$\begin{aligned} x_4 &= \frac{h_4 - h_{f@-10^\circ C}}{h_{g@-10^\circ C} - h_{f@-10^\circ C}} \\ &= 0{,}2441\,. \end{aligned}$$

Así,

$$\begin{aligned} s_4 &= x_4 s_{g@-10^\circ C} + (1 - x_4)\, s_{f@-10^\circ C} \\ &= 0{,}34606\,\mathrm{kJ/kg \cdot K}\,. \end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$\dot{S}_{gen} = 0{,}00115\,\mathrm{kJ/K \cdot s}\,.$$

d) El CDF de un refrigerador es

$$CDF = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}}\,.$$

En este caso encontramos

$$CDF = 6{,}0126\,.$$