



Pontificia Universidad Católica de Chile

Instituto de Física

FIS1523 Termodinámica

14 de octubre del 2015

P1	P2	P3	Nota

Tiempo: 120 minutos

Se puede usar calculadora.

No se puede usar celular.

Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 90 minutos.

Si usa lápiz mina no podrá pedir corrección. No se puede prestar nada.

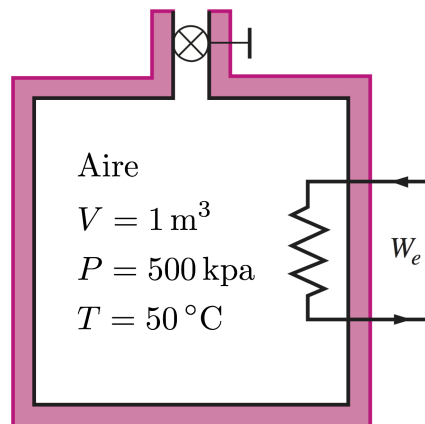
Pauta Interrogación Nro. 2

Nombre: _____

Problema 1

Un recipiente de 1 m^3 contiene aire a 500 kpa de presión y 50°C de temperatura. Se abre una válvula y se deja que escape aire hasta que la presión baja a 25 kpa. La temperatura del aire se mantiene constante mediante una resistencia eléctrica ubicada al interior del contenedor. No hay intercambio de calor con el entorno.

- Argumente que es posible aproximar el aire por un gas ideal. Asuma esta hipótesis de aquí en adelante.
- Calcule la masa de aire que salió del recipiente.
- Determine el trabajo eléctrico realizado en el proceso.



Solución:

a)

De la tabla A-1 vemos que para el Aire la temperatura crítica $T_c = 132,5$ K y la presión crítica $P_c = 3,77$ MPa. En el proceso la presión es siempre menor a 500 kPa que es mucho menor a P_c y la temperatura $T = 50^\circ\text{C} = 323,15$ K es mucho mayor que T_c , luego se puede aproximar por un gas ideal.

(1pt)

b)

De la tabla A-2 tenemos que la constante de gas del Aire es $R_A = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ y los calores específicos $c_p = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ y $c_v = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$. Por ser un gas ideal sabemos que en equilibrio.

$$Pv = R_A T \Rightarrow \begin{cases} v_{\text{inicial}} = \frac{R_A T}{P_{\text{inicial}}} = 0,185 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ v_{\text{final}} = \frac{R_A T}{P_{\text{final}}} = 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{cases}$$

(1pt)

El volumen inicial y final es el mismo $V = 1 \text{ m}^3$, luego la masa inicial y final corresponden a

$$m_{\text{inicial}} = V/v_{\text{inicial}} = 5,39 \text{ kg} \quad \& \quad m_{\text{final}} = V/v_{\text{final}} = 0,27 \text{ kg}$$

(0.8pt)

La conservación de la masa implica que

$$m_{\text{sale}} = m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}} = 5,12 \text{ kg}$$

(0.7 pt)

c)

La ecuación para la conservación de la energía para este proceso transiente con flujo uniforme es

$$E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}} = W_{\text{eléctrico}} - m_{\text{sale}} h_{\text{sale}}$$

donde el volumen de control no realiza trabajo ni flujo de Calor con el entorno. Se despreció la energía cinética y potencial del sistema.

(1pt)

Como el aire lo estamos considerando como un gas ideal se tiene que la energía interna $u = c_v T$ y la entalpía $h = c_p T$. Por lo tanto $E_{\text{final}} = m_{\text{final}} u = m_{\text{final}} c_v T$, $E_{\text{inicial}} = m_{\text{inicial}} u = m_{\text{inicial}} c_v T$ y $h_{\text{sale}} = c_p T$. Remplazando en la ecuación de conservación de energía se encuentra finalmente que

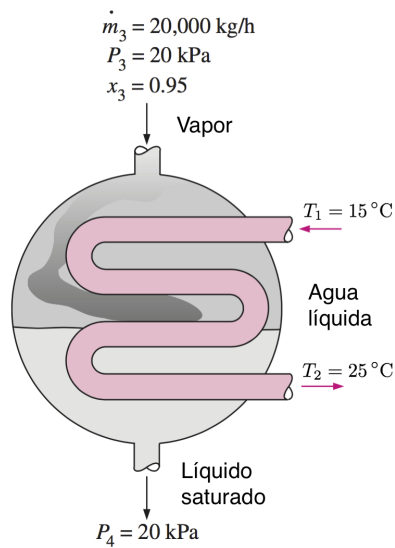
$$W_{\text{eléctrico}} = (m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}})(c_p - c_v)T = 475 \text{ kJ}$$

(1.5 pt)

Nombre: _____

Problema 2

En una planta eléctrica, 20000 kg/h de vapor entran a un condensador a 20 kPa con una calidad de 95 %. El vapor se enfría haciendo circular agua de un río cercano a 15 °C por las tuberías del condensador. Para evitar contaminación térmica en el ambiente, el agua del río no puede experimentar una variación de temperatura mayor a 10 °C. Si el vapor sale del condensador como líquido saturado a 20 kPa, determine el flujo de masa de agua requerido. Sin hacer cálculos adicionales, argumente cuánto varía su resultado si la temperatura del río es de 5 °C.



Solución:

El proceso descrito corresponde a dos sistemas de flujo estacionario que intercambian calor. Como cada sistema tiene sólo una entrada y una salida, la ley de conservación de masa es simple:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2, \quad (1 \text{ pto.})$$

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

donde hemos llamado llamado 1 a la entrada de vapor, 2 a la salida de líquido saturado, 3 a la entrada de agua líquida desde el río y 4 a la salida de ésta. Así mismo, la conservación de energía dicta

$$\dot{m}_1\theta_1 = \dot{m}_2\theta_2 + \dot{Q}, \quad (1 \text{ pto.})$$

$$\dot{m}_3\theta_3 + \dot{Q} = \dot{m}_4\theta_4.$$

Aquí \dot{Q} es la tasa a la que el vapor en el condensador le transfiere calor al agua del río (sale del vapor y entra al agua líquida). Usando la conservación de masa y aproximando θ por la entalpía específica en cada una de las fronteras esto es

$$\dot{m}_1h_1 = \dot{m}_2h_2 + \dot{Q},$$

$$\dot{m}_3h_3 + \dot{Q} = \dot{m}_4h_4.$$

Despejando \dot{Q} de la primera ecuación y reemplazando en la segunda obtenemos

$$\dot{m}_3h_3 + \dot{m}_1(h_1 - h_2) = \dot{m}_4h_4.$$

Luego,

$$\dot{m}_3 = \frac{h_1 - h_2}{h_4 - h_3} \dot{m}_1.$$

De la tabla A-5 leemos

$$\begin{aligned} h_g @ 20 \text{ kPa} &= 2608,9 \text{ kJ/kg}, \\ h_f @ 20 \text{ kPa} &= 251,42 \text{ kJ/kg}. \end{aligned}$$

Así, la entalpía de entrada del vapor es

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,05 \times 251,42 \text{ kJ/kg} + 0,95 \times 2608,9 \text{ kJ/kg} \quad (1 \text{ pto.}) \\ &= 2491,03 \text{ kJ/kg}, \end{aligned}$$

donde hemos usado que la calidad del vapor entrante es $x = 0,95$. La entalpía de salida es la del líquido saturado a 20 kPa, es decir,

$$h_2 = 251,42 \text{ kJ/kg}. \quad (0,5 \text{ pts.})$$

Para el agua líquida, aproximamos su entalpía por la entalpía del agua saturada a la misma temperatura. De la tabla A-4 tenemos

$$\begin{aligned} h_3 &= h_f @ 15^\circ\text{C} \quad (0,5 \text{ pts.}) \\ &= 62,982 \text{ kJ/kg}, \\ h_4 &= h_f @ 25^\circ\text{C} \quad (0,5 \text{ pts.}) \\ &= 104,83 \text{ kJ/kg}. \end{aligned}$$

Reemplazando estos valores y usando que el flujo de entrada de vapor es

$$\dot{m}_1 = 20000 \text{ kg/h},$$

obtenemos

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= 1070354,62 \text{ kg/h} \quad (1 \text{ pto.}) \\ &= 297,32 \text{ kg/s}. \end{aligned}$$

Si la temperatura del agua del río es otra, el resultado no varía considerablemente. Esto se debe a que el calor específico y, por lo tanto, la diferencia de entalpía del agua, es aproximadamente constante (0,5 ptos.). Para asegurarse note que

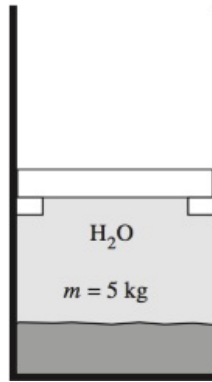
$$h_f @ 25^\circ\text{C} - h_f @ 15^\circ\text{C} \approx h_f @ 15^\circ\text{C} - h_f @ 5^\circ\text{C}.$$

Problema 3

Inicialmente, un sistema cilindro-pistón contiene 5 kg agua saturada a 125 kPa, con 2 kg en la fase líquida. Se transfiere calor al sistema y el pistón, que descansa en un par de topes, comienza a moverse cuando la presión alcanza los 300 kPa. La transferencia de calor continua hasta que el volumen total del sistema se incrementa en un 20 %. Determine:

- las temperaturas inicial y final,
- la masa de agua líquida cuando el pistón comienza a moverse,
- el trabajo de frontera hecho por el sistema.

Además, dibuje el proceso con respecto a la curva de saturación en un diagrama $P - V$.



Solución

En el proceso se definen tres estados, 1) estado inicial, 2) inicio del movimiento del pistón, y 3) estado final, con incremento de 20 %

- (2.0 ptos.) Inicialmente el sistema es una mezcla saturada de agua y vapor a la presión de 125 kPa. Luego, la temperatura inicial T_1 es la temperatura de saturación a esa presión. Según la tabla respectiva, A-5,

$$T_1 = T_{sat@125 \text{ kPa}} = 105.97^\circ\text{C}$$

El volumen inicial está dado por la expresión

$$V_1 = m_{liq}v_f + m_{vap}v_g$$

donde $m_{liq} = 2 \text{ kg}$ y $m_{vap} = 3 \text{ kg}$ son las masas iniciales de líquido y vapor, respectivamente. v_f y v_g son los volúmenes específicos para agua líquida y vapor a la presión de 125 kPa.

De acuerdo con la tabla respectiva, A-5,

$$\begin{aligned} v_f &= 0.001048 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_g &= 1.3750 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Reemplazando,

$$V_1 = 2.0 \cdot 0.001048 + 3.0 \cdot 1.3750 = 4.127 \text{ m}^3$$

Al final del proceso el volumen se ha incrementado en un 20 %, luego el volumen final es

$$V_3 = 1.2 \cdot 4.127 = 4.953 \text{ m}^3$$

El volumen específico correspondiente es

$$v_3 = \frac{V_3}{m} = \frac{4.953}{5} = 0.9905 \text{ m}^3/\text{kg}$$

En el estado final $P_3 = 300 \text{ kPa}$. De acuerdo con la tabla respectiva A-6 para vapor sobrecalentado a 300 kPa , el volumen específico $v_3 = 0.9905 \text{ m}^3/\text{kg}$ se encuentra entre las temperaturas 300°C y 400°C . Para encontrar T_3 es necesario interpolar entre los valores de tabla.

De la tabla,

$$\begin{aligned} T_a &= 300^\circ\text{C} & , & & v_a &= 0.87535 \text{ m}^3/\text{kg} \\ T_b &= 400^\circ\text{C} & , & & v_b &= 1.03155 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Con una interpolación lineal resulta

$$T_3 = -260.403 + 640.205 \cdot v_3 = -260.403 + 640.205 \cdot 0.9905 = 373.7^\circ\text{C}$$

- b) (2.0 ptos.) El pistón empieza a moverse cuando $P = P_2 = 300 \text{ kPa}$ y el volumen es $V = V_1 = V_2 = 4.127 \text{ m}^3$. En estas condiciones el volumen específico es

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = 4.1275 = 0.8254 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Al inspeccionar la Tabla A-5 se constata que v_2 es mayor que $v_g = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}$, correspondiente al volumen específico para vapor saturado a 300 kPa . En estas condiciones toda el agua se encuentra en estado de vapor, por lo que la masa de agua líquida es $m_{liq} = 0$.

- c) (2.0 ptos) En el proceso $1 \rightarrow 2$, $V_1 = V_2$, por lo que no hay cambio de volumen y $W_{12} = 0$.

En el proceso $2 \rightarrow 3$ la presión se mantiene constante y el trabajo está dado por

$$W_{23} = \int_2^3 P dV = P_2(V_3 - V_2)$$

Reemplazando los valores respectivos, se tiene

$$W = W_{23} = 300 \cdot (4.953 - 4.127) = 247.6 \text{ kJ}$$

El proceso se representa en el diagrama $P - v$ a continuación:

