



Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
16 de Mayo de 2014

P1	P2	P3	P4	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.

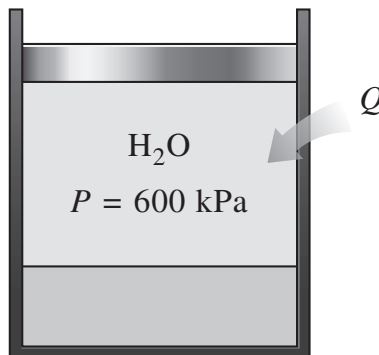
Interrogación Nro. 2

Nombre: _____

Problema 1

Un dispositivo cilindro-pistón contiene 0,005 m³ de agua líquida y 0,9 m³ de vapor de agua, en equilibrio a 600 kPa. Se transmite calor a presión constante, hasta que la temperatura llega a 200 °C.

- ¿Cuál es la temperatura inicial del agua?
- Calcule la masa total del agua.
- Calcule el volumen final del sistema.
- Indique el proceso en un diagrama $P - v$ con respecto a las líneas de saturación.



Solución

a) Inicialmente tenemos una mezcla de líquido-vapor en equilibrio, por lo que la temperatura debe ser la temperatura de saturación a 600 kPa. De la tabla A-5 leemos

$$T = T_{\text{sat@600 kPa}} = 158,83^\circ\text{C} \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

b) La masa total es igual a la masa del agua líquida más la masa del vapor. De la tabla A-5 extraemos los volúmenes específicos de cada fase en la mezcla saturada a 600 kPa:

$$\nu_f = 0,001101 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \nu_g = 0,31560 \text{ m}^3/\text{kg}$$

La masa de agua en cada estado es

$$m_f = \frac{V_f}{\nu_f} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{0,001101 \text{ m}^3/\text{kg}} = 4,541 \text{ kg}$$

$$m_g = \frac{V_g}{\nu_g} = \frac{0,9 \text{ m}^3}{0,31560 \text{ m}^3/\text{kg}} = 2,852 \text{ kg}$$

por lo que la masa total es

$$m_{\text{agua}} = m_f + m_g = 7,393 \text{ kg} \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

c) Dado que el calor se agrega a una presión constante de 600 kPa, la mezcla saturada puede existir a una única temperatura, i.e. $T = T_{\text{sat}@600 \text{ kPa}} = 158,83^\circ\text{C}$. Para que la temperatura aumente a 200°C , necesariamente tiene que evaporarse toda el agua líquida. Por lo tanto, el estado final corresponde al de vapor sobrecalentado a 600 kPa.

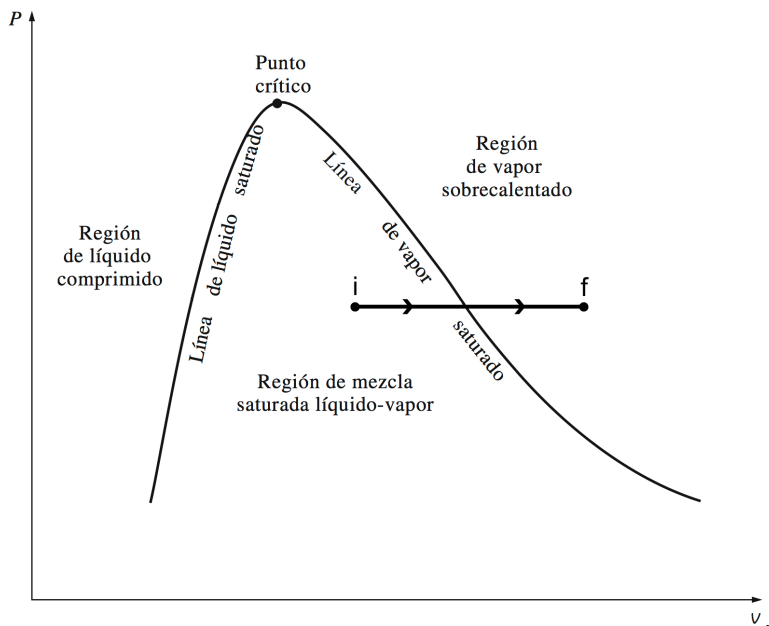
De la tabla A-6 vemos que el volumen específico del vapor es

$$\left. \begin{array}{l} P = 600 \text{ kPa} \\ T = 200^\circ\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow \nu = 0,35212 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Luego, el volumen del gas es

$$V = m \nu = 2,603 \text{ m}^3 \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

d) Todo el proceso ocurre a presión constante, por lo que en el diagrama $P - v$ se ve como una línea horizontal. El estado inicial se encuentra por debajo de la curva de saturación. Al agregar calor el sistema se expande a temperatura constante hacia la región de vapor sobrecalentado. La calidad aumenta hasta llegar a $x = 1$ al momento en que se cruza la línea de saturación. Una vez en esta región, el gas continúa expandiéndose, incrementando su temperatura hasta llegar al estado final.

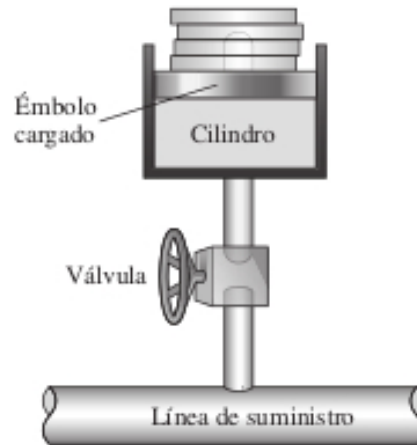


(1.5 ptos.)

Nombre: _____

Problema 2

El pistón con peso del dispositivo mostrado en la figura mantiene la presión en el interior del cilindro en 1600 kPa. Inicialmente, el sistema no contiene masa. La válvula es abierta y el vapor de la línea principal fluye hacia el cilindro hasta que el volumen es 0.3 m^3 . Este proceso es adiabático y el vapor en la línea permanece a 2000 kPa y 225°C . Determinar la temperatura final (y la calidad si corresponde) del vapor en el cilindro y el trabajo total producido mientras el dispositivo se llena.



Solución

Considerando el volumen de control al sistema pistón-cilindro procederemos a realizar el balance de masa. $m_i - m_e = m_2 - m_1$; inicialmente el cilindro no posee masa y el sistema no pierde vapor, entonces la ecuación anterior puede ser escrita como

$$m_i = m_2 \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

donde m_i es la masa que entra al sistema y m_2 es la masa final del sistema.

El balance de energía para este tipo de sistemas es

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistema}$$

y considerando que todo el proceso adiabático y que los cambios de energía cinética y potencial son despreciables, la ecuación pasa a ser

$$m_i h_i - W_{out} = m_2 u_2 \quad (0.5 \text{ ptos.})$$

El trabajo que aparece en la ecuación anterior corresponde al trabajo realizado por el sistema al llenar el cilindro de vapor. Este proceso al ser realizado a presión constante gracias al émbolo cargado, permite calcular de forma directa el trabajo, obteniendo como resultado

$$W = P V_2 = 1600 \text{ kPa} \times 0.3 \text{ m}^3 = 480 \text{ kJ} \quad (2.0 \text{ ptos.})$$

La ecuación anterior puede ser escrita como

$$W = P m_2 v_2$$

Reemplazado la última expresión para el trabajo en la ecuación del balance de energía se obtiene que $h_i - P v_2 = u_2$ y reordenando los términos se obtiene que

$$h_i = u_2 + P v_2 \quad (1.0 \text{ pto.})$$

donde se observa que el término de la derecha corresponde a la entalpía final del sistema. Entonces $h_i = h_2$.

A partir de la tabla A-6, es posible determinar la entalpía de entrada de vapor considerando que la presión en la línea de alimentación es 2000 kPa y la temperatura es 225 °C, $h_i = 2836.1 \text{ kJ/kg} = h_2$, siendo ésta última la entalpía cuando la presión tiene un valor de 1600 kPa.

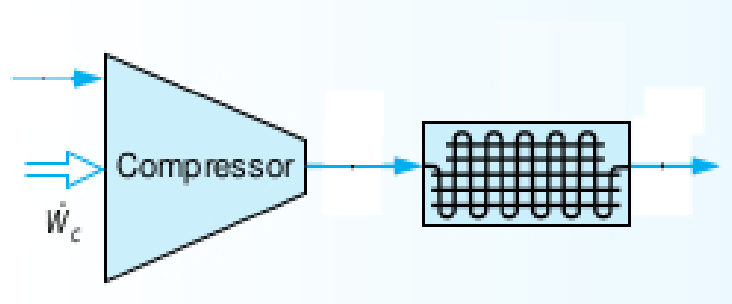
De la tabla A-6 es posible observar que no es posible encontrar el valor exacto de la temperatura para este valor de entalpía, por ende, extrapolando los datos entre las temperaturas 225 ° y 250 ° se obtiene que la temperatura final del sistema es 212.7 °C.

Finalmente, a esta temperatura, el vapor sigue siendo un vapor sobrecalentado, por lo tanto no posee calidad.
(1.0 pto.)

Nombre: _____

Problema 3

El compresor de una planta (ver figura) recibe dióxido de carbono a 100 kPa, 280 K y a muy baja velocidad. En la descarga del compresor, el dióxido de carbono sale a 1100 kPa, 500 K, con una velocidad de 25 m/s y fluye hacia un intercambiador de calor, que funciona a presión constante, donde es enfriado hasta 350 K. La potencia consumida por el compresor es 50 kW. Determine el flujo de calor en el intercambiador de calor.



Solución

El CO₂ se considera gas ideal con calores específicos constantes: $c_p = 0.846 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ y $c_v = 0.657 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. La velocidad del CO₂ se asume igual a cero a la salida del intercambiador de calor.

El subíndice 1 identifica la entrada al compresor, el subíndice 2 identifica la salida del compresor y entrada al intercambiador de calor y el subíndice 3 identifica la salida del intercambiador de calor.

El balance de energía para el compresor queda expresado como

$$q + h_1 + \frac{v_1^2}{2} = h_2 + \frac{v_2^2}{2} + w \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

donde q y w son cantidades de calor y trabajo por unidad de masa.

En este caso en particular, $q = 0$ y $v_1 = 0$, entonces

$$-w = h_2 - h_1 + \frac{v_2^2}{2} = c_p (T_2 - T_1) + \frac{v_2^2}{2} = 0,846 \times (500 - 280) + 0,3125 = 186,4325 \text{ kJ/kg} \quad (1.0 \text{ ptos.})$$

El flujo de masa podemos obtenerlo considerando que la potencia entregada al compresor es la energía por unidad de tiempo y por tanto podemos escribirlo como

$$\dot{W}_C = \dot{m} w \quad \longrightarrow \quad \dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{w} = \frac{-50}{-186,4325} = 0,2682 \text{ kg/s} \quad (0.5 \text{ pto.})$$

El balance de energía para el intercambiador de calor resulta

$$q + h_2 + \frac{v_2^2}{2} = h_3 + \frac{v_3^2}{2} \quad (1.5 \text{ ptos.})$$

En este caso $v_3 = 0$, así

$$q = h_3 - h_2 - \frac{v_2^2}{2} = c_p (T_3 - T_2) - \frac{v_2^2}{2} = 0,846 \times (350 - 500) - 0,3125 = -127,2125 \text{ kJ/kg} \quad (1.0 \text{ ptos.})$$

El flujo de calor en el intercambiador de calor viene dado por

$$\dot{Q}_{i.c.} = \dot{m} |q| = 0,2682 \times 127,2125 = 34,1184 \text{ kJ/kg} \quad (0.5 \text{ pto.})$$

Nombre: _____

Problema 4

Considere un estanque de diámetro $D_T = 2$ m y altura $H = 1$ m, que posee un orificio de diámetro D_0 en su parte inferior como se muestra en la figura. Una llave de agua entrega un flujo de masa constante $\dot{m} = \pi$ kg/s al estanque. La velocidad V_s de salida del agua por el orificio inferior es proporcional a la altura del agua z , es decir $V_s = az$ donde $a = 10 \text{ s}^{-1}$ es una constante. La densidad del agua es $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ y D_0 se considera un dato del problema.

- Calcule la altura del agua en el estanque una vez que se alcanza el régimen estacionario.
- Suponga que inicialmente el estanque está vacío, determine la evolución de la altura $z(t)$ con el tiempo. ¿Cuánto tiempo tarda el sistema en llegar al régimen estacionario?
- Determine el valor crítico de D_0 tal que el estanque nunca se llena.
- Calcule el tiempo de llenado para $D_0 = 0.01$ m.

Hint: La solución de la ecuación diferencial $\frac{dz(t)}{dt} = A - Bz(t)$ es $z(t) = \frac{A}{B} + e^{-Bt}C$, donde C es la constante de integración.

Solución

- a) conservación de la masa:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \dot{m}_e - \dot{m}_s.$$

Se tiene que $\dot{m}_e = \dot{m} = \pi \text{ kg/s}$ y $\dot{m}_s = \rho\pi\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 V_s = \rho\pi\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 az$.

El régimen estacionario se alcanza cuando $\frac{dm_{vc}}{dt} = 0 \Rightarrow \dot{m}_e = \dot{m}_s$ reemplazando se obtiene que la altura estacionaria está dada por $z_{est} = \frac{4}{\rho a D_0^2} = \frac{4}{10^4 D_0^2}$.

(1.5 pts)

- b) Para encontrar la evolución debemos resolver la ecuación de conservación

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \pi - \pi\rho a\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 z.$$

La masa del volumen de control $m_{vc} = \rho\pi\left(\frac{D_T}{2}\right)^2 z = \rho\pi z$, luego obtenemos

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{\rho} - a\frac{D_0^2}{4}z.$$

cuya solución está dada por

$$z(t) = \frac{4}{\rho a D_0^2}(1 - e^{-\frac{a D_0^2}{4}t}) = \frac{4}{10^4 D_0^2}(1 - e^{-\frac{10 D_0^2}{4}t})$$

(1.5 pts)

El sistema se aproxima exponencialmente al punto estacionario pero le toma un tiempo infinito llegar a este.

(0.5 pt)

- c) El máximo valor que puede alcanzar $z(t)$ está dado por $\frac{4}{\rho a D_0^2} = z_{est}$ luego para que el estanque nunca se llene $\frac{4}{\rho a D_0^2} < H = 1 \Rightarrow D_0 > \sqrt{\frac{4}{\rho a}} = \sqrt{\frac{4}{10^4}} = 0.02 \text{ m}$.

(1.5 pts)

d) Tomando $D_0 = 0,04 \text{ m}$ el tiempo de llenado esta dado por $z(t) = H = 1 \text{ m}$, luego

$$t = -\frac{4}{aD_0^2} \log\left(1 - \frac{\rho a D_0^2}{4}\right) \approx 1150 \text{ s}.$$

(1.0 pt)