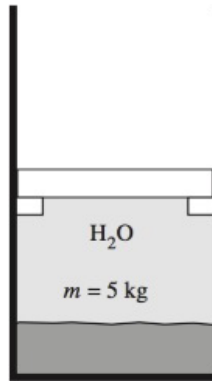


Problema 3

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:

