



Ayudantía 5

Termodinámica

José Antonio Rojas Cancino – jrojaa@uc.cl

Problema 1 (*Problema 3.59, Cengel & Boles*)

Un dispositivo de cilindro-émbolo contiene inicialmente 1.4 kg de agua líquida saturada a 200 °C. Entonces, se transmite calor al agua, hasta que se cuadruplica el volumen, y el vapor sólo contiene vapor saturado. Determine

- a) el volumen del recipiente,
- b) la temperatura y presión finales,
- c) y el cambio de energía interna del agua.

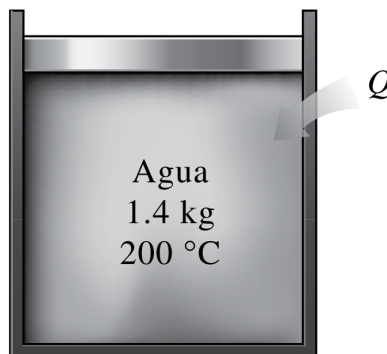


Figura Problema 1

Respuesta

Estado 1

Al tener agua líquida saturada a 200°C, vamos a la tabla de temperaturas para ver la presión de saturación, volumen específico y energía interna específica:

Tabla A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Volumen del recipiente

Ocupando el estado inicial, podemos directamente calcular el volumen como:

$$V_1 = m \cdot v = 1.4 \text{ kg} \cdot 0.001157 \text{ kg/m}^3 = 0.001619 \text{ m}^3$$

Notando que se cuadruplica el volumen, entonces el volumen posterior al proceso es:

$$V_2 = 4 \cdot V_1 = 0.006476 \text{ m}^3$$

Temperatura y Presión Final

Notemos que, al no haber fluido de masa, la masa se mantiene constante dentro del recipiente. Por tanto, el volumen específico final es:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.006476 \text{ m}^3}{1.4 \text{ kg}} = 0.004626 \text{ kg/m}^3.$$

Buscamos entonces en tabla de vapor saturado con el volumen específico dado, el cual es ≈ 22 kPa, y por tanto una temperatura de 369.83 °C y 2233.5 kJ/kg. Finalmente, el cambio de energía interna está dado por:

$$\Delta U = m(u_1 - u_2) = 1.4 \cdot (2233.5 - 850.46) \approx 1936 \text{ kJ},$$

recordando que esto deriva de una aproximación de la entalpía específica, temperatura y presión.

Problema 2 (*Problema 3.64, Cengel & Boles*)

Un dispositivo de pistón-cilindro contiene en un inicio 50 L de agua en líquido saturado a 50°C. Se transfiere calor al agua a una presión constante hasta que todo el líquido se evapora.

- ¿Cuál es la masa del agua?
- ¿Cuál es la temperatura final?
- ¿Cuál es el cambio total de entalpía?
- Muestre en un diagrama $T - v$ el proceso, con respecto a las líneas de saturación.

Respuesta

Masa

Teniendo líquido saturado a 50°C, vamos a la tabla A-4, y vemos que su presión es 12.352 kPa y $v_f = 0.001012 \text{ kg/m}^3$. Por tanto, la masa la podemos calcular como:

$$v = \frac{V}{m} \implies m = \frac{V}{v} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{0.001012} = 49.4 \text{ kg}$$

Temperatura

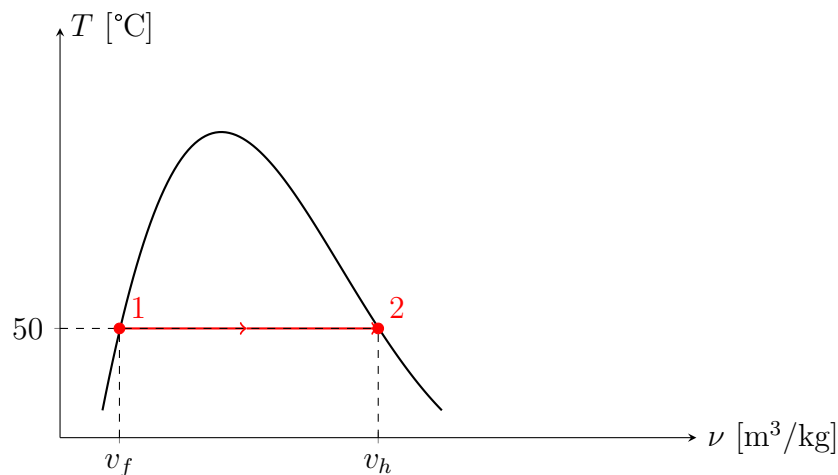
Para la temperatura final, al tener una presión constante, notemos al momento de evaporarse se debe tener que la presión es igual que en el inicio, con temperatura de saturación entonces igual que el inicio. Por tanto:

$$T_f = T_i = 50^\circ\text{C}$$

Cambio de entalpía

Para ver el cambio de entalpía, tenemos que la entalpía del estado inicial es 209.34 kJ/kg, y el del estado final de 2591.3 kJ/kg. Por ende, se tiene:

$$\Delta H = m(h_2 - h_1) = 49.4 \text{ kg} \cdot (2591.3 - 209.34) \approx 117670.8 \text{ kJ}$$



Problema 3 (*Problema 3.63, Cengel & Boles*)

Un tanque rígido en un inicio contiene 1.4 kg de agua líquida saturada a 200 °C. En este estado, 25 por ciento del volumen es ocupado por agua y el resto por aire. Ahora se aplica calor al agua hasta que el contenido del tanque es tan sólo vapor saturado. Determine:

- El volumen del tanque,
- La temperatura y presión final,
- El cambio energético interno del agua

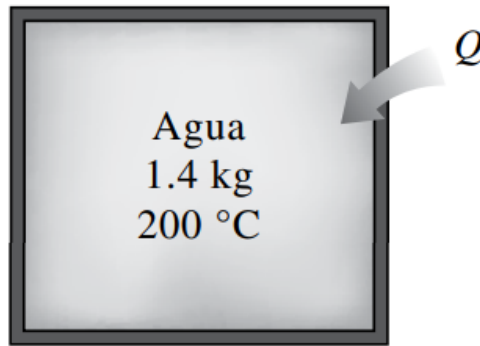


Figura Problema 3

Respuesta

Estado inicial

Nos dicen líquida saturada a 200°C. Por tanto, con tablas, notamos que $P_1 = 1554.9$ kPa, $v_{f,1} = 0.001157$ m³/kg, y $u_f = 850.46$ kJ/kg. Al tener que el volumen del agua es 25% del volumen total, entonces se cumple que:

$$V_T = 4 \cdot V_w = 4 \cdot (m \cdot v_{f,1}) = 4 \cdot 1.4 \cdot 0.001157 = 0.006476 \text{ m}^3.$$

Estado final

Cuando nos dicen que el contenido del tanque es tan sólo vapor saturado, entonces debe cubrir todo el volumen del tanque. Ocupando conservación de masa (se mantiene), entonces el volumen específico es:

$$v_2 = \frac{V_T}{m} = \frac{0.006476}{1.4} = 0.004626 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

De donde podemos ahora aproximar para qué valor de T y P se obtiene 0.004626 como entalpía específica de vapor saturado. Con esto, tenemos que $T_f \approx 371$ °C, y $P_f = 21.3$ kPa, y además una energía interna de 2201 kJ/kg.

Cambio de energía interna

Para hacer el cambio de energía interna, simplemente planteamos la ecuación y desarrollamos:

$$\Delta U = U_f - U_i = m \cdot (u_f - u_i) \approx 1892 \text{ kJ}$$

Problema 4 (P3 I1 2022-1)

Un sistema pistón/cilindro contiene 1 kg de refrigerante 134A a 1.2 MPa y 70°C (estado 1). Ahora, se enfría a presión constante hasta llegar a vapor saturado (estado 2), en cuyo punto el pistón es bloqueado. El enfriamiento continúa hasta 20°C (estado 3).

- Mostrar los procesos 1 a 2 y 2 a 3 en un diagrama $P - v$ y $T - v$, esbozando la curva de saturación. Indique claramente los valores de la presión, volumen específico y temperatura para cada estado.
- Calcular ΔU , Q y W para cada proceso.

Respuesta

Planteamiento

Al tener 3 estados, vamos a definir P_i , T_i , V_i y E_i la presión, temperatura, volumen y fase de cada proceso. Empezando a rellenar con el enunciado, tenemos:

$P_1 = 1.2\text{MPa}$	$T_1 = 70\text{ }^\circ\text{C}$	$V_1 = ?$	$E_1 = ?$
$P_2 = ?$	$T_2 = ?$	$V_2 = ?$	$E_2 = \text{Vapor Sat}$
$P_3 = ?$	$T_3 = 20\text{ }^\circ\text{C}$	$V_3 = ?$	$E_3 = ?$

En el primer proceso, se enfría a presión constante, por lo que $P_2 = P_1$. Para el segundo proceso, se bloquea el pistón, por lo que no hay variación de volumen y por tanto $V_3 = V_2$. Con esto, tenemos:

$P_1 = 1.2\text{MPa}$	$T_1 = 70\text{ }^\circ\text{C}$	$V_1 = ?$	$E_1 = ?$
$P_2 = 1.2\text{MPa}$	$T_2 = ?$	$V_2 = V_3$	$E_2 = \text{Vapor Sat}$
$P_3 = ?$	$T_3 = 20\text{ }^\circ\text{C}$	$V_3 = V_2$	$E_3 = ?$

Ahora, calculamos para cada caso.

Estado 1

Para este estado, tenemos presión y temperatura, por lo que vamos a tabla de presión o temperatura saturada. Para cada caso, la presión es muy pequeña o la temperatura es muy alta, por lo que en verdad nos encontramos en vapor sobrecalentado.

Viendo la Tabla A-13, nos podemos fijar que para nuestras condiciones dadas, se tiene que $v_1 = 0.019502\text{ m}^3/\text{kg}$ y $u_1 = 277.2\text{ kJ/kg}$. Por lo tanto, se tendrá para el volumen:

$$V_1 = m \cdot v_1 = 0.019502\text{m}^3$$

Estado 2

Teniendo la presión y sabiendo que está como vapor saturado, podemos ocupar la misma tabla que teníamos para determinar a qué temperatura está. Con esto, tenemos que $T_2 = 46.29\text{ }^\circ\text{C}$, $v_2 = 0.016715\text{ m}^3/\text{kg}$ y $u_2 = 253.81\text{ kJ/kg}$. Por lo tanto, se tendrá para el volumen:

$$V_2 = m \cdot v_2 = 0.016715\text{m}^3$$

Estado 3

Recordemos que se mantiene el volumen, y al tener la misma masa, entonces tanto $V_3 = V_2$ como $v_3 = v_2$. Teniendo la temperatura, comparamos el valor del volumen específico $0.016715\text{ m}^3/\text{kg}$ con los volúmenes en saturación a 20°C . Al tener que está entre v_f y v_g , entonces está en mezcla a una presión de $P_3 = 572.07\text{ kPa}$.

Proceso 1→2

Para ahora caracterizar el proceso, debemos ver la variación de energía interna, trabajo y calor por proceso. Primero, teniendo presión constantes, podemos rápidamente calcular el trabajo como:

$$W_{1\rightarrow 2} = P(V_2 - V_1) = 1.2 \text{ MPa} \cdot (0.016715 - 0.019502) \text{ m}^3 = -3.344 \text{ kJ}.$$

Podemos también calcular la variación de energía interna:

$$\Delta U_{1\rightarrow 2} = m \cdot (u_2 - u_1) = 1 \text{ kg} \cdot (253.81 - 277.2) \text{ kJ/kg} = -23.39 \text{ kJ},$$

y finalmente calcular el calor transferido, ocupando 1° Ley:

$$Q_{1\rightarrow 2} = \Delta U_{1\rightarrow 2} + W_{1\rightarrow 2} = -26.74 \text{ kJ}$$

Proceso 2→3

Notemos que, al no haber variación de volumen, no habrá trabajo ejercido. Por tanto, se tiene:

$$W_{2\rightarrow 3} = 0 \text{ kJ}$$

Por lo que lo único que nos falta es u_2 para calcular el resto. Aquí, vamos a interpolar, ocupando nuestro v_3 con respecto a v de saturación de líquido y vapor, para luego encontrar una interpolación para u . Haciendo eso, nos queda que $u_3 = 152.204 \text{ kJ/kg}$.

Con esto, podemos finalmente obtener nuestra expresión para ΔU :

$$\Delta U_{2\rightarrow 3} = m \cdot (u_3 - u_2) = 1 \text{ kg} \cdot (152.204 - 253.81) \text{ kJ/kg} = -101.606 \text{ kJ}$$

$$Q_{2\rightarrow 3} = \Delta U + W = \Delta U = -101.606 \text{ kJ}$$

Diagramas

Para el diagrama $P - v$, debemos hacer una línea horizontal desde 1 a 2, ya que no cambia la presión. Al no cambiar el volumen, lo siguiente será una línea vertical uniendo 2 y 3.

Para el diagrama $T - v$, debemos primero hacer una línea curva de 1 a 2 que represente una isobárica, y luego la línea vertical desde 2 a 3.

Si necesitan ver los mapas, me escriben, pero al momento de publicar esto no hay mucho tiempo :c