



Ayudantía 6

Termodinámica

José Antonio Rojas Cancino – jrojaa@uc.cl

Problema 1 (*Problema 3.50, Cengel & Boles*)

Un recipiente rígido de 1.8 m^3 de volumen contiene 15 kg de un vapor húmedo de agua a 90°C . Entonces, se calienta lentamente el agua. Determine la temperatura a la cual el líquido se evapora por completo. También describa el proceso en un diagrama $T - v$ con respecto a las líneas de saturación.

Respuesta

Volumen específico

Para poder conocer la temperatura a la que se evapora, podemos hacer uso del volumen específico. Notemos que, al tener una cantidad fija de masa y un recipiente rígido, la masa y el volumen permanecen constantes, por lo que el volumen específico también lo será. Calculándolo, se tiene:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1.8 \text{ m}^3}{15 \text{ kg}} = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Al momento en el que el líquido se evapora por completo, lo que está en el tanque será completamente vapor saturado, por lo que buscamos una temperatura T tal que:

$$v_{\text{sat}@T} = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Temperatura

Mirando la tabla A-4, notamos que éste valor se encuentra entre 200°C y 205°C , por lo que podemos interpolar:

$$T = 200^\circ\text{C} + \frac{0.12 - 0.11508}{0.12721 - 0.11508} \cdot (205 - 200)^\circ\text{C} \approx 202.8^\circ\text{C}$$

Problema 2 (*Problema 3.32, Cengel & Boles*)

Un contenedor de 9 m^3 se llena con 300 kg de refrigerante 134a a 10°C . ¿Cuál es la entalpía específica el refrigerante 134a en el contenedor?

Respuesta

Volumen específico

Notemos que, al tener el volumen y la masa, podemos obtener el volumen específico del refrigerante en el contenedor, tal que

$$v = \frac{V}{m} = \frac{9 \text{ m}^3}{300 \text{ kg}} \approx 0.003 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Observando la Tabla A-11, y buscando los valores de volumen específico a 10°C, notamos que $v_{f@10^\circ\text{C}} < v < v_{g@10^\circ\text{C}}$, por lo que estamos en **mezcla** a 200 kPa.

Calidad y entalpía

Para encontrar la entalpía específica, vamos a tener que calcular la calidad de la mezcla, lo cual podemos obtener a partir del volumen específico calculado anteriormente:

$$x = \frac{v - v_{f@10^\circ\text{C}}}{v_{g@10^\circ\text{C}} - v_{f@10^\circ\text{C}}} = \frac{(0.03 - 0.0007929) \text{ m}^3/\text{kg}}{(0.049466 - 0.0007929) \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.6001.$$

Por tanto, la entalpía específica del refrigerante es:

$$h = h_f + x \cdot h_{fg} = 65.42 + 0.6001 \cdot 190.8 = 179.9 \text{ kJ/kg}.$$

Problema 3 (*Ejemplo 3-4, Cengel & Boles*)

Un recipiente rígido contiene 10 kg de agua a 90°C. Si 8 kg del agua están en forma líquida y el resto como vapor, determine:

- a) la presión en el recipiente, y
- b) el volumen del recipiente.

Respuesta

Presión

Notemos que hay tanto agua líquida como vapor de agua en equilibrio dentro del recipiente a una temperatura dada, por lo que estamos en estado de **mezcla**. Por lo tanto, la presión en el recipiente será igual a la presión de saturación del agua a 90°C, lo que podemos encontrar en la Tabla A-4:

$$P = P_{sat@90^\circ\text{C}} = 70.183 \text{ kPa}$$

Volúmenes específicos y volumen

Para poder encontrar el volumen, teniendo la masa y la proporción en la que está el agua en cada estado, podemos directamente calcular el aporte de volumen del agua líquida y vapor de agua. Ocupando nuevamente la Tabla A-4, se tiene:

$$\begin{aligned} V_g &= m_g \cdot v_g = 2 \text{ kg} \cdot 2.3593 \text{ m}^3/\text{kg} = 4.7186 \text{ m}^3 \\ V_f &= m_f \cdot v_f = 8 \text{ kg} \cdot 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.008288 \text{ m}^3 \\ V &= V_g + V_f = 4.7186 \text{ m}^3 + 0.008288 \text{ m}^3 = 4.7269 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Otra forma es calculando la calidad, el volumen específico de la mezcla en el interior, y de ahí multiplicarlo por la masa total:

$$x = \frac{m_g}{m} = \frac{2 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.2$$

$$v = v_f + x \cdot v_{fg} = 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg} + 0.2 \cdot (2.3593 - 0.00103) \text{ m}^3/\text{kg} = 0.47269 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = m \cdot v = 10 \text{ kg} \cdot 0.47269 \text{ m}^3/\text{kg} = 4.7269 \text{ m}^3.$$

Problema 4 (*Problema 3.72, Cengel & Boles*)

Un globo esférico de 9 m de diámetro se llena con helio a 27°C y 200 kPa. Determine la cantidad de moles y masa de helio en el globo.

Respuesta

Ecuación

Vamos a tener que ocupar la Ecuación de Estado de gases ideales, asumiendo comportamiento de gas ideal para el helio. En este caso, como buscamos el número de moles, ocuparemos la formulación de la Ecuación de Estado:

$$PV = nR_u T$$

Volumen

Notemos que tenemos casi todo, salvo el volumen. Sin embargo, nos dicen el diámetro del recipiente y su forma. Al ser esférico, y teniendo un radio de $9/2 = 4.5 \text{ m}$, se tiene que:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi (4.5 \text{ m})^3 = 381.7 \text{ m}^3.$$

Ecuación de Estado

Tomando la ecuación que formulamos al principio, y despejando la cantidad de moles, se tiene:

$$PV = nR_u T \implies n = \frac{PV}{R_u T}$$

Teniendo que: la presión es $200 \text{ kPa} = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$, el volumen es 381.7 m^3 , la temperatura es $27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$, y la constante universal de los gases es $8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, se tiene:

$$N = \frac{(2 \times 10^5 \text{ Pa}) \cdot (381.7 \text{ m}^3)}{(8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}) \cdot (300 \text{ K})} = 30607 \text{ mol}$$

Masa

Teniendo que la masa molar de helio es $4 \text{ g/mol} = 4 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, entonces la masa de helio en el globo es:

$$m = N \cdot M_m = 30607 \text{ mol} \cdot 4 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} = 123 \text{ kg}$$