

INGENIERÍA TÉRMICA

Problema 1-SOLUCIÓN

18 de enero de 2019

(40 puntos)

Tiempo: 75 minutos

1. Las propiedades iniciales del agua se obtienen de las tablas dadas. El agua está en estado de vapor húmedo, ya que su título es de 0,1. Su temperatura es la de saturación a $P=20$ bar. El resto de propiedades pedidas se obtienen a partir de la definición de título y los valores de saturación. Por ejemplo, para el volumen específico:

$$v_1^{agua} = x_1^{agua} \cdot v_g + (1 - x_1^{agua}) \cdot v_f$$

Siendo, $x_1^{agua} = 0,05$, $v_g = 0,09963 \text{ m}^3/\text{kg}$ y $v_f = 1,1767 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

$$v_1^{agua} = 6,099 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

Las propiedades restantes se calculan de modo análogo. Los resultados se presentan en la tabla adjunta.

2. La presión y la temperatura del CO_2 en el estado inicial son conocidas, ya que son las mismas que las del agua. El volumen específico se obtiene aplicando la ecuación de gas ideal:

$$p_1^{CO_2} v_1^{CO_2} = R^{CO_2} \cdot T_1^{CO_2}$$

$$v_1^{CO_2} = \frac{8,314 \text{ KJ} \cdot \frac{1 \text{ kmol}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1}{44,01 \text{ kg}} \cdot 485,4 \text{ K}}{20 \text{ bar} \cdot \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}}} = 0,04585 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Las propiedades restantes se calculan, iterando, a partir de las tablas de gas ideal. La entropía específica se da a una presión de 1 atmósfera (\bar{s}^0), por lo que hay que corregir los valores, del modo siguiente.

$$\bar{s}_1^{CO_2}(T_1, p_1) = \bar{s}^{CO_2}(485,4 \text{ K}) - R \cdot \ln p_1$$

Hay que pasar las unidades a kJ/kg. Los resultados se presentan en la tabla adjunta.

3. Teniendo en cuenta que el volumen de agua en el estado 2 es diez veces el inicial y dado que la masa de agua es constante, el volumen específico del agua en el estado 2 también será diez veces el inicial:

$$m_1^{agua} = m_2^{agua}; \quad V_1^{agua} / v_1^{agua} = V_2^{agua} / v_2^{agua}; \quad V_1^{agua} / v_1^{agua} = 10 \cdot V_1^{agua} / v_2^{agua};$$

$$v_2^{agua} = 10 \cdot v_1^{agua} = 0,06099 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Como la pared es móvil, la presión final del agua deberá ser la misma que la del CO_2 , el cual se dice que sufre un proceso a presión constante. La presión final del agua es por tanto conocida:

$$p_1^{CO_2} = p_2^{CO_2} = p_2^{agua} = 20 \text{ bar}$$

Entrando en tablas con el volumen específico obtenido a la presión de 20 bar se comprueba que $v_f < v_2^{agua} < v_g$, por lo que se sigue teniendo vapor húmedo. El título se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$x_2^{agua} = v_2^{agua} - v_f / v_g - v_f = 0,6076$$

A partir del título, el resto de propiedades se obtiene de manera análoga al apartado 1. Los resultados se presentan en la tabla adjunta.

4. El volumen específico del CO_2 en el estado 2 se obtiene a partir del volumen total del sistema, teniendo en cuenta que el volumen total permanece constante y que el volumen de agua en el estado 2 es diez veces el inicial:

$$V_{total} = V_1^{agua} + V_1^{CO_2} = m^{agua} v_1^{agua} + m^{CO_2} v_1^{CO_2} = 0,11767 \text{ m}^3$$

$$V_2^{CO_2} = V_{total} - V_2^{agua} = V_{total} - m^{agua} v_2^{agua} = 0,11767 - 0,5 \cdot 0,06099 = 0,08717 \text{ m}^3$$

$$v_2^{CO_2} = V_2^{CO_2} / m^{CO_2} = 0,03487 \text{ m}^3/\text{kg}$$

La presión en el estado 2 es la misma que en el estado 1, tal y como se indica en el enunciado.

$$p_1^{CO_2} = p_2^{CO_2} = 20 \text{ bar}$$

La temperatura en el estado 2 del CO_2 se obtiene aplicando la ecuación de gas ideal:

$$p_2^{CO_2} v_2^{CO_2} = R^{CO_2} T_2^{CO_2}$$

$$T_2^{CO_2} = 369,17 \text{ K}$$

Las propiedades restantes se calculan con las tablas de gas ideal, de modo análogo al apartado 2. Los resultados se presentan en la tabla adjunta.

5. El calor transferido al agua durante el proceso se calcula a partir del primer principio de la termodinámica para sistemas cerrados:

$$AU^{agua} = Q^{agua} - W^{agua}$$

La variación de energía interna se obtiene de los valores específicos del apartado 1 y la masa del agua. La presión es constante y los volúmenes inicial y final son ya conocidos, por lo que el trabajo volumétrico está definido:

$$AU^{agua} + W^{agua} = Q^{agua} = AU^{agua} + P \cdot \Delta V^{agua}$$

$$Q^{agua} = 527,14 \text{ KJ}$$

6. La generación de entropía en el agua se obtiene a partir del balance de entropía para sistemas cerrados:

$$AS^{agua} = \frac{Q^{agua}}{T_{frontera}} + \sigma_{gen}^{agua}$$

El calor transferido es el calculado en el apartado 5. La temperatura de frontera es de 703 K (430 °C). La variación de entropía se obtiene de los valores específicos del apartado 1 y la masa del agua. De este modo:

$$\sigma_{gen}^{agua} = 0,3357 \text{ KJ/K}$$

7. El calor intercambiado por el CO₂ se calcula a partir del primer principio de la termodinámica para sistemas cerrados:

$$AU^{CO2} = Q^{CO2} - W^{CO2}$$

Siendo P=cte, la ecuación se transforma en:

$$AH^{CO2} = Q^{CO2}$$

Los valores de entalpía específica se obtienen a partir de las tablas de gas ideal dadas. Son valores molares y hay que iterar para obtenerlos. No se puede suponer C_p = cte. De este modo:

$$\bar{h}_1^{CO2} = \bar{h}^{CO2}(485,4 \text{ K}) = 17029,14 \text{ KJ/kmol}$$

$$\bar{h}_2^{CO2} = \bar{h}^{CO2}(369,17 \text{ K}) = 12114,8 \text{ KJ/kmol}$$

$$AH^{CO2} = Q^{CO2}; m^{CO2} \cdot (\bar{h}_2^{CO2} - \bar{h}_1^{CO2}) \cdot 1/P_M^{CO2} = Q^{CO2}$$

$$Q^{CO2} = -279,16 \text{ kJ}$$

8. Para la generación de entropía total hay que obtener primero la del CO₂. Se plantea el balance de entropía para sistemas cerrados. Los valores de entropía específica se han extraído previamente en los apartados 2 y 4.

$$AS^{CO2} = (s^{CO2}(485,4 \text{ K}, 20 \text{ bar}) - s^{CO2}(369,17 \text{ K}, 20 \text{ bar})) \cdot m^{CO2} = \frac{Q^{CO2}}{T_{frontera}} + \sigma_{gen}^{CO2}$$

$$\sigma_{gen}^{CO2} = 0,3132 \text{ KJ/K}$$

$$\sigma_{gen}^{total} = \sigma_{gen}^{CO2} + \sigma_{gen}^{agua} = 0,6489 \text{ KJ/K}$$

PROPIEDADES INICIALES Y FINALES DEL AGUA		
ESTADO	1	2
FASE (*)	0,05	0,6076
P (bar)	20	20
T ($^{\circ}C$)	212,4	212,4
v (m^3/kg)	$6,099 \cdot 10^{-3}$	0,06099
u (kJ/kg)	991,13	1935,63
s (kJ/kg K)	2,6421	4,8131
(*) Si se trata de un vapor húmedo indicar el título de vapor		

PROPIEDADES INICIALES Y FINALES DEL CO₂		
ESTADO	1	2
P (bar)	20	20
T (K)	485,4	369,17
v (m^3/kg)	0,04585	0,03487
u (kJ/kg)	295,24	205,45
s (kJ/kg K)	4,7396	4,4772