

Problema 3

Un generador de vapor consume $8626 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$ de combustible cuyo poder calorífico alto es de $7560 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$; la temperatura del agua de alimentación es de $94 [^{\circ}\text{C}]$ y la presión del vapor en la salida es de $12.6 [\text{bar}]$ abs. Los datos de un calorímetro acoplado a la caldera son de $115 [^{\circ}\text{C}]$ y presión atmosférica de $725 [\text{mmHg}]$. La eficiencia de la caldera es de 76%. Calcular:

1. El calor suministrado $\dot{Q}_s \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$.
2. El gasto de vapor $\dot{m}_v \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$.
3. La calidad del vapor generado %.

Solucion

Para resolver este problema es de utilidad la aplicación de los principios de la conservación de la energía y de la conservación de la masa al sistema en estudio que puede modelarse como un volumen de control, tomando en consideración, las siguientes suposiciones.

1. No se realiza trabajo en la expansión del vapor después de ser estrangulado.
 2. No hay pérdidas de energía en forma de calor.
 3. El cambio en energía potencial es despreciable.
- Esquema

En el esquema se pueden distinguir los distintos puntos de interés o estados. Modelando el calorímetro como una válvula de estrangulamiento.

1. Entrada del generador de vapor (caldera).
2. Salida del generador de vapor.
3. Temperatura a la salida de la válvula.

- Diagrama

Insertar diagrama

1. Calor Suministrado \dot{Q}_s

Se conocen los valores de \dot{m}_c y del PCA. Por lo tanto, se puede calcular \dot{Q}_s como sigue:

$$\dot{Q}_s \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] = \dot{m}_c \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \text{PCA} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (1)$$

2. Gasto de vapor \dot{m}_v

De la definición de eficiencia se tiene que

$$\dot{Q}_a \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] = \eta \cdot \dot{Q}_s \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]$$

Además

$$\dot{Q}_a \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] = \dot{m}_v \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot (h_2 - h_1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (2)$$

El proceso del estado 2 al estado 3 es isoentálpico, por lo tanto $h_2 = h_3$. h_3 se obtiene de tablas de vapor saturado con P_{atm} y T_3 .

Dado que se conocen los valores de c_p y T_1 , se puede obtener la entalpía del estado inicial h_1 .

$$h_1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = c_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \cdot (T_1 - 0) [\text{K}] \quad (3)$$

Despejando \dot{m}_v y sustituyendo.

$$\dot{m}_v \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = \frac{\dot{Q}_a \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]}{(h_3 - h_1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \quad (4)$$

3. Calidad del vapor generado χ

De la definición de calidad:

$$h_2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = h_f \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] + \chi \cdot h_{fg} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Obteniendo h_f y h_{fg} con P_{caldera} de tablas de vapor saturado y despejando la calidad tenemos:

$$\chi = \frac{h_2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] - h_f \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{h_{fg} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}$$

Operaciones

Datos

$$m_c = 8626 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{PCA} = 7560 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right] \cdot \frac{4.184}{1} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \right] = 31631.04 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$T_1 = 94 [^\circ\text{C}] = (94 + 273.15) [\text{K}] = 367.15 [\text{K}]$$

$$P_2 = 12.6 [\text{bar}] \cdot \frac{1}{10} \left[\frac{\text{MPa}}{\text{bar}} \right] = 1.26 [\text{MPa}]$$

$$T_2 = 115 [^\circ\text{C}]$$

$$P_{\text{atm}} = 725 [\text{mmHg}] \cdot \frac{1}{7500.63} \left[\frac{\text{MPa}}{\text{mmHg}} \right] = 0.096 [\text{MPa}]$$

$$\eta_{\text{caldera}} = 0.76$$

$$c_p = 4.186 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$$

1. Calor suministrado \dot{Q}_s . Sustituyendo en la ecuación 1

$$\begin{aligned} \dot{Q}_s \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] &= \dot{m}_c \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \text{PCA} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \\ &= (8626) \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot (31631.04) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \\ \dot{Q}_s \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] &= 272849351.04 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right] \end{aligned}$$

2. Calculando \dot{Q}_a

- (a) Obtencion de h_2 .

Sabemos que $h_2 = h_3$. Obtenemos h_3 de tablas de vapor saturado con $P_{\text{atm}} = 0.096 [\text{MPa}]$ y $T_3 = 115 [^\circ\text{C}]$

$T [^\circ\text{C}]$	$P [\text{MPa}]$	$h \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
115	0.09	2706.6
115	0.096	2706.53
115	0.01	2706.5

Por lo tanto: $h_2 = 2706.53 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

- (b) Obtencion de h_1 a partir de c_p y T_1

$$\begin{aligned} h_1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] &= c_p \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right] \cdot (T_1 - 0) [\text{K}] \\ &= (4.186) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right] \cdot (367.15 - 0) [\text{K}] \\ h_1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] &= 1536.8899 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \end{aligned}$$

- (c) Obtencion de \dot{m}_v a partir de \dot{Q}_s y h_3

$$\begin{aligned} \dot{m}_v \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] &= \frac{\dot{Q}_a \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]}{(h_3 - h_1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \\ &= \frac{272849351.04 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]}{(2706.53 - 1536.8899) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \\ \dot{m}_v \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] &= 233275.8323269006 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \end{aligned}$$

3. Calidad del vapor generado χ

Obteniendo h_f y h_{fg} de tablas de vapor saturado con $P_{\text{caldera}} = 1.26 [\text{MPa}]$

$P [\text{MPa}]$	$h_f \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$	$h_{fg} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
1.25	806.58	2785.1
1.26	808.18	2785.38
1.30	814.60	2786.5

Sustituyendo en la ecuación

$$\begin{aligned} \chi &= \frac{h_2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] - h_f \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{h_{fg} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \\ &= \frac{2706.53 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] - 808.18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{2785.38 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \end{aligned}$$

$$\chi = 0.68$$