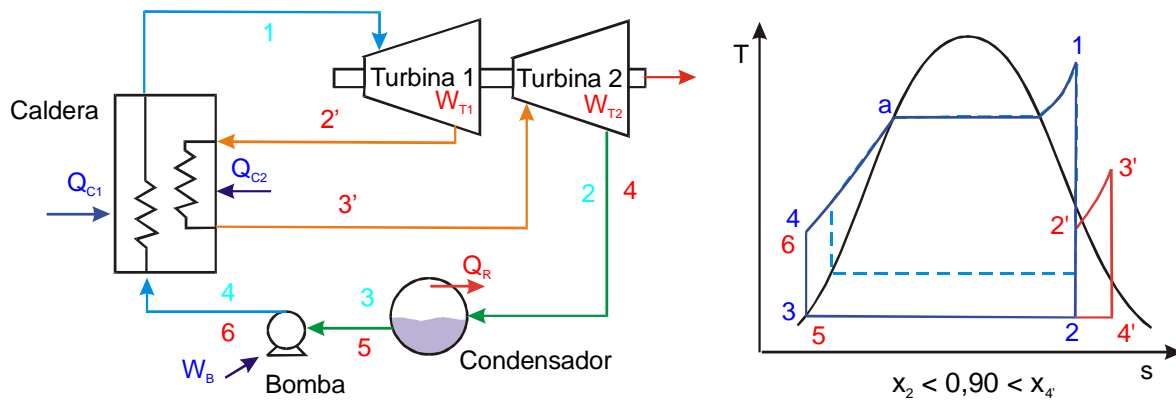


Solución problema 5

Este problema se basa en el uso del ciclo ideal de Rankine en el cual se basa la máquina térmica o ciclo de potencia de vapor descrita en el enunciado.



La solución del problema pasa por la identificación de las condiciones de operación en cada uno de los seis puntos clave del ciclo termodinámico para, con ayuda de las tablas de vapor de agua, determinar la entalpía específica de cada corriente.

Así, para el caso del punto (1), antes de la expansión en la turbina de alta, se tiene vapor recalentado que se encuentra a 320°C y 3 MPa, por lo que puede estimarse el valor de entalpía y entropía a partir de las tablas de vapor recalentado:

$$h_1 = 3042,61 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$s_1 = 6,6233 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Para el punto (2), ha de considerarse que se llega al él a partir de una expansión isoentrópica desde (1), por lo que la entropía sigue siendo la misma.

$$S_2 = 6,6233 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Para calcular la entalpía, se puede hacer, considerando la entalpía del líquido saturado a la presión de 300 kPa, sumándole la entalpía de vaporización a dicha presión, multiplicada por el título del vapor. En este último caso, el título del vapor se calcula a partir de la entropía en las condiciones dadas, y la del líquido y vapor saturados a 300 kPa.

$$S_g = 6,9922 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$S_f = 1,6722 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$x_2 = \frac{(s_2 - s_f)}{(s_g - s_f)} = \frac{(6,6233 - 1,6722)}{(6,9922 - 1,6722)} = 0,9307$$

Conocido el título del vapor, se puede calcular la entalpía de la corriente como se ha comentado previamente:

$$h_2 = h_f^{300\text{kPa}} + x_2 \cdot \Gamma_{(300 \text{ kPa})}$$

$$h_f^{300\text{kPa}} = 561,47 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$\Gamma_{(300 \text{ kPa})} = 2163,8 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$h_2 = 561,47 + (0,9307) \cdot (2163,8) = 2575,22 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

En este punto, se procede a calentar el vapor hasta 320°C, manteniéndose la presión, situación en la que se tiene que:

$$h_3 = 3109,79 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$s_3 = 7,7717 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Nuevamente, desde estas condiciones, el vapor se expande reversiblemente (isoentrópicamente) hasta la presión de 4 kPa, por lo que de nuevo se mantiene la entropía.

$$s_4 = 7,7717 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Los cálculos vuelven a ser los mismos, puesto que es necesario determinar la entalpía en (4), y por tanto, se precisa del título de vapor, entropías,.... Siguiendo el mismo procedimiento anteriormente descrito, se tiene que:

$$S_g = 8,4746 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$S_f = 0,4226 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$x_4 = \frac{(s_4 - s_f)}{(s_g - s_f)} = \frac{(7,7717 - 0,4226)}{(8,4746 - 0,4226)} = 0,9127$$

Por lo que, nuevamente se vuelve a calcular la entalpía en (4) a partir de la del líquido a la presión de 4 kPa y del calor latente de vaporización, teniendo:

$$h_{f\ 4\ \text{kPa}} = 121,46 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$r_{(4\ \text{kPa})} = 2432,9 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$h_4 = 121,46 + (0,9127)\cdot(2432,9) = 2341,96 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

En este punto, se da la condensación del vapor húmedo, a presión constante, por lo que la entalpía en (5), corresponde en realidad a $h_{f\ 4\ \text{kPa}}$.

$$h_5 = 121,46 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$s_5 = 0,4226 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Siendo la temperatura de condensación de 28,96°C. Si se comprime este líquido hasta la presión máxima de 3 MPa, considerando que se hace de forma reversible (isocora), es aplicable la siguiente expresión:

$$w_B = \int_{(5)}^{(6)} v dp = v \cdot (p_6 - p_5)$$

Donde el volumen específico sería el mismo en (5) y en (6), esto es: $1,0040 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Aplicando la expresión anterior, se tiene que:

$$w_B = v \cdot (p_6 - p_5) = 1,004 \cdot 10^{-3} \cdot (3000 - 0,004) = 3 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Y entonces:

$$h_6 = h_5 + w_B = 121,46 + 3 = 124,46 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Determinadas todas las entalpías, es necesario calcular el trabajo neto obtenido, definido como la suma de trabajos producidos en las dos turbinas menos el empleado en el bombeo.

$$W_{\text{NETO}} = (W_{\text{T1}} + W_{\text{T2}} - W_{\text{B}}) = (h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) - (h_6 - h_5) = 1232,73 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

De igual forma, el calor total utilizado es el empleado en la primera y segunda etapas de calentamiento.

$$Q_{\text{TOTAL}} = (Q_{\text{C1}} + Q_{\text{C2}}) = (h_1 - h_6) + (h_3 - h_2) = 3452,83 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Finalmente el rendimiento térmico es el cociente entre trabajo neto obtenido y calor total empleado.

$$\eta = \frac{W_{\text{NETO}}}{Q_{\text{TOTAL}}} = \frac{(W_{\text{T1}} + W_{\text{T2}} - W_{\text{B}})}{(Q_{\text{C1}} + Q_{\text{C2}})} = \frac{1232,73 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}{3452,83 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0,357$$