

EJEMPLOS DE COGENERACIÓN

El vapor entra en la turbina a 7 MPa y 500 °C. Se extrae algo de vapor de la turbina a 500 kPa para calentar el proceso. El vapor restante continúa expandiéndose a 5 kPa. Luego, el vapor se condensa a presión constante y se bombea a la presión de la caldera de 7 MPa. En momentos de alta demanda de calor de proceso, parte del vapor que sale de la caldera se regula a 500 kPa y se envía al calentador de proceso. Las fracciones de extracción se ajustan para que el vapor salga del calentador del proceso como un líquido saturado a 500 kPa. Posteriormente se bombea a 7 MPa.

El caudal másico de vapor a través de la caldera es de 15 kg / s. Sin tener en cuenta las caídas de presión y las pérdidas de calor en la tubería y suponiendo que la turbina y la bomba son isentrópicas, determine (a) la velocidad máxima a la que se puede suministrar calor del proceso, (b) la potencia producida y el factor de utilización cuando no hay calor del proceso se suministra, y (c) la tasa de suministro de calor del proceso cuando se extrae el 10 por ciento del vapor antes de que ingrese a la turbina y el 70 por ciento del vapor se extrae de la turbina a 500 kPa para el calentamiento del proceso.

Solución

Se considera una planta de cogeneración. Se determinará la tasa máxima de suministro de calor del proceso, la potencia producida y el factor de utilización cuando no se suministra calor del proceso, y la tasa de suministro de calor del proceso cuando se extrae vapor de la línea de vapor y la turbina en proporciones especificadas.

Supuestos

1. Existen condiciones de funcionamiento estables.
2. Las caídas de presión y las pérdidas de calor en las tuberías son insignificantes.
3. Los cambios de energía cinética y potencial son insignificantes.

Análisis

El esquema de la planta de cogeneración y el diagrama T-s del ciclo se muestran en la figura 10-25. La planta de energía opera en un ciclo ideal y por lo tanto las bombas y las turbinas son isentrópicas; no hay caídas de presión en la caldera, calentador de proceso y condensador; y el vapor sale del condensador y del calentador de proceso como líquido saturado.

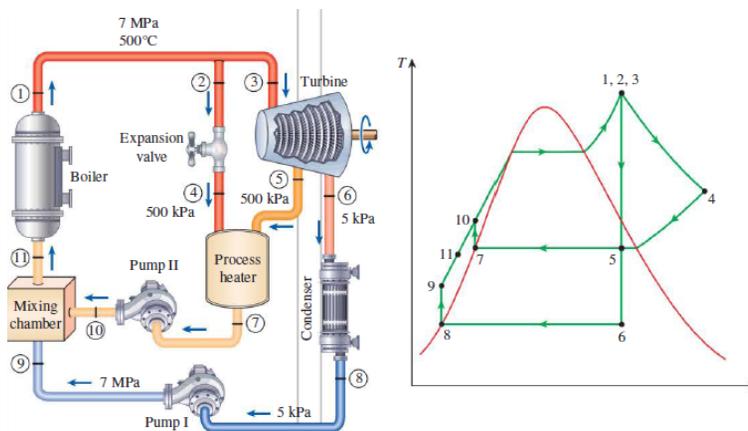


Figura 1. Diagrama esquemático y T-s para el ejemplo 1.

Las entradas de trabajo a las bombas y las entalpías en varios estados son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{pump I, in}} &= v_8(P_9 - P_8) = (0.001005 \text{ m}^3 \text{ kg})[(7000 - 5)\text{kPa}]\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3}\right) \\
 &= 7.03 \text{ kJ/kg} \\
 w_{\text{pump II, in}} &= v_7(P_{10} - P_7) = (0.001093 \text{ m}^3 \text{ kg})[(7000 - 500)\text{kPa}]\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3}\right) \\
 &= 7.10 \text{ kJ/kg} \\
 h_1 &= h_2 = h_3 = h_4 = 3411.4 \text{ kJ/kg} \\
 h_5 &= 2739.3 \text{ kJ/kg} \\
 h_6 &= 2073.0 \text{ kJ/kg} \\
 h_7 &= h_{f@ 500 \text{ kPa}} = 640.09 \text{ kJ/kg} \\
 h_8 &= h_{f@ 5 \text{ kPa}} = 137.75 \text{ kJ/kg} \\
 h_9 &= h_8 + w_{\text{pump I, in}} = (137.75 + 7.03) \text{ kJ/kg} = 144.78 \text{ kJ/kg} \\
 h_{10} &= h_7 + w_{\text{pump II, in}} = (640.09 + 7.10) \text{ kJ/kg} = 647.19 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

La tasa máxima de calor del proceso se logra cuando todo el vapor que sale de la caldera se estrangula y se envía al calentador del proceso y no se envía nada a la turbina (es decir, $\dot{m}_4 = \dot{m}_7 = \dot{m}_1 = 15 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ y $\dot{m}_3 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = 0$). Por lo tanto:

$$\dot{Q}_{p, \text{max}} = \dot{m}_1(h_4 - h_7) = (15 \text{ kg/s})[(3411.4 - 640.09) \text{ kJ/kg}] = \mathbf{41,570 \text{ kW}}$$

El factor de utilización es 100 por ciento en este caso, ya que no se rechaza calor en el condensador, se supone que las pérdidas de calor de la tubería y otros componentes son insignificantes y no se consideran las pérdidas por combustión. (b) Cuando no se suministra calor de proceso, todo el vapor que sale de la caldera pasa a través de la turbina y se expande a la presión del condensador de 5 kPa (es decir, $\dot{m}_3 = \dot{m}_6 = \dot{m}_1 = 15 \text{ kg/s}$ y $\dot{m}_2 = \dot{m}_5 = 0$). La potencia máxima se produce en este modo, que se determina que es:

$$\begin{aligned}
 \dot{W}_{\text{turb, out}} &= \dot{m}(h_3 - h_6) = (15 \text{ kg/s})[(3411.4 - 2073.0) \text{ kJ/kg}] = 20,076 \text{ kW} \\
 \dot{W}_{\text{pump, in}} &= (15 \text{ kg/s})(7.03 \text{ kJ/kg}) = 105 \text{ kW} \\
 \dot{W}_{\text{net, out}} &= \dot{W}_{\text{turb, out}} - \dot{W}_{\text{pump, in}} = (20,076 - 105) \text{ kW} = 19,971 \text{ kW} \cong \mathbf{20.0 \text{ MW}} \\
 \dot{Q}_{\text{in}} &= \dot{m}_1(h_1 - h_{11}) = (15 \text{ kg/s})[(3411.4 - 144.78) \text{ kJ/kg}] = 48,999 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\epsilon_u = \frac{\dot{W}_{\text{net}} + \dot{Q}_p}{\dot{Q}_{\text{in}}} = \frac{(19,971 + 0) \text{ kW}}{48,999 \text{ kW}} = 0.408 \text{ or } \mathbf{40.8\%}$$

Es decir, el 40,8 por ciento de la energía se utiliza para un propósito útil. Observe que el factor de utilización es equivalente a la eficiencia térmica en este caso. (c) Despreciando cualquier cambio de energía cinética y potencial, un balance de energía en el calentador de proceso produce:

$$\begin{aligned}\dot{E}_{\text{in}} &= \dot{E}_{\text{out}} \\ \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_5 h_5 &= \dot{Q}_{p,\text{out}} + \dot{m}_7 h_7 \\ \dot{Q}_{p,\text{out}} &= \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_7 h_7\end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\dot{m}_4 &= (0.1)(15 \text{ kg/s}) = 1.5 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_5 &= (0.7)(15 \text{ kg/s}) = 10.5 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_7 &= \dot{m}_4 + \dot{m}_5 = 1.5 + 10.5 = 12 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Por lo que:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{p,\text{out}} &= (1.5 \text{ kg/s})(3411.4 \text{ kJ/kg}) + (10.5 \text{ kg/s})(2739.3 \text{ kJ/kg}) \\ &\quad - (12 \text{ kg/s})(640.09 \text{ kJ/kg}) \\ &= \mathbf{26.2 \text{ MW}}\end{aligned}$$

Tenga en cuenta que 26,2 MW del calor transferido se utilizarán en el calentador de proceso. También podríamos mostrar que en este caso se producen 11.0 MW de potencia y que la tasa de entrada de calor en la caldera es de 43.0 MW. Por tanto, el factor de utilización es del 86,5 por ciento.

Referencia:

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). Termodinámica (M. Á. T. Castellanos (ed.); Sexta). McGraw-Hill.