Universidad Simón Bolívar
Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia
Termodinámica II (TF-2323)
Profesor: Freddy Figueira

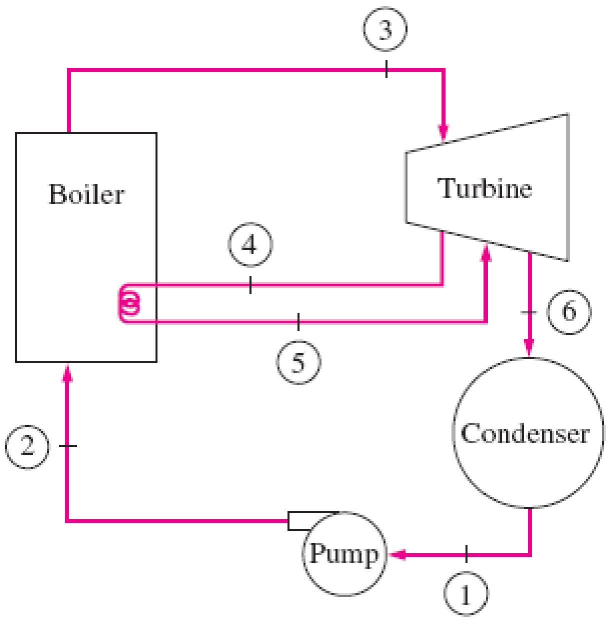
Problema Ciclo Rankine con Recalentamiento (Problemas 9-32 y 9-57, Çengel 5ª edición)

Una planta de potencia de vapor opera en un ciclo Rankine ideal con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 8 MPa y 500 ºC y la abandona a 3 MPa. El vapor es recalentado a presión constante hasta 500 ºC antes de expandirse en la turbina de baja presión. Determine el trabajo específico de las turbinas (en kJ/kg) y la eficiencia térmica del ciclo. También muestre el diagrama T-s del ciclo. Realice el análisis exérgico, considera que el ciclo intercambia calor con reservorios de 1800 K y 300 K.

Solución

Suposiciones: 1. Proceso en estado estacionario 2. Cambio de energía cinética y potencial despreciable.

Es útil considerar e diagrama del ciclo:



De acuerdo al enunciado se conocen las siguientes propiedades de las corrientes:
$T_3 = 500\,^\circ\mathrm{C}$, $P_3 = 8\,\mathrm{MPa}$, $P_4 = 3\,\mathrm{MPa}$, $T_5 = 500\,^\circ\mathrm{C}$, $P_5 = 3\,\mathrm{MPa}$ y $P_6 = 20\,\mathrm{kPa}$

En primer lugar determinemos los estados de cada corriente, como la bomba sólo puede manejar líquido, se asume que la corriente 1 es líquido saturado, además el condensador opera a presión constante:

$$\text{Edo 1}\quad \left.\begin{aligned} P_1 &= P_6 \\ x_1 &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} h_1 &= h_{f\,@20\,\mathrm{kPa}} = 251{,}42\,\mathrm{kJ/kg} \\ v_1 &= v_{f\,@20\,\mathrm{kPa}} = 0{,}001017\,\mathrm{m^3/kg} \end{aligned}$$

La caldera opera de manera isobárica, por lo que $P_2 = P_3$. El trabajo suministrado a la bomba se puede determinar como:

$$w_b = -v_1\left(P_2 - P_1\right) = -\left(0,001017\,\text{m}^3/\text{kg}\right)\left(8000\,\text{kPa} - 20\,\text{kPa}\right)\left(\frac{1\,\text{kJ}}{1\,\text{kPa}\cdot\text{m}^3}\right) = -8,12\,\text{kJ/kg}$$

Por lo que:

$$w_b = h_1 - h_2 \Rightarrow h_2 = h_1 - w_{b,en} = 251,42 + 8,12 = 259,54\,\text{kJ/kg}$$

El estado 3 está completamente determinado:

$$\begin{array}{lll} \text{Edo 3} & \left.\begin{array}{l} P_3 = 8\,\text{MPa} \\ T_3 = 500\,^\circ\text{C} \end{array}\right\} & \begin{array}{l} h_3 = 3399,5\,\text{kJ/kg} \\ s_3 = 6,7266\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \\ vsc & & \end{array}$$

La turbina de alta presión es ideal, es decir, opera de manera adiabática reversible: es isentrópica:

$$\begin{array}{ll} \text{Edo 4} & P_4 = 3\,\text{MPa} \\ vsc & s_4 = s_3 \end{array}\Bigg\} \quad h_4 = 3105,1\,\text{kJ/kg}$$

El estado 5 está completamente determinado:

$$\begin{array}{lll} \text{Edo 5} & \left.\begin{array}{l} P_3 = 3\,\text{MPa} \\ T_3 = 500\,^\circ\text{C} \end{array}\right\} & \begin{array}{l} h_3 = 3457,2\,\text{kJ/kg} \\ s_3 = 7,2359\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array} \\ vsc & & \end{array}$$

La turbina de baja presión es ideal, es decir, opera de manera adiabática reversible: es isentrópica:

$$\begin{array}{ll} \text{Edo 6} & P_6 = 20\,\text{kPa} \\ liq-vap & s_6 = s_5 \end{array}\Bigg\} \quad \begin{array}{l} x_6 = \dfrac{s_6 - s_f}{s_{fg}} = \dfrac{7,2359 - 0,8320}{7,0752} = 0,9051 \\ h_6 = h_f + x_6 h_{fg} = 251,42 + \left(0,9051\right)\left(2357,5\right) = 2385,2\,\text{kJ/kg} \end{array}$$ [1]

La salida de trabajo de la turbina viene dada por:

$$w_T = w_{TAP} + w_{TBP} = \left(h_3 - h_4\right) + \left(h_5 - h_6\right) = 1366,4\,\text{kJ/kg}$$

La eficiencia del ciclo es:

$$\eta_{ciclo} = \frac{w_{neto}}{q_{cal}}$$

Donde

$$w_{neto} = w_T + w_{b,sal} = 1366,4 + \left(-8,12\right) = 1358,3\,\text{kJ/kg}$$

$$q_{entra} = \left(h_3 - h_2\right) + \left(h_5 - h_4\right) = 3492,0\,\text{kJ/kg}$$

Finalmente,

$$\eta_{ciclo} = \frac{1358,3}{3492,5} = 38,9\,\%$$

---

[1] $s_{fg} = s_g - s_f$ y $h_{fg} = h_g - h_f$