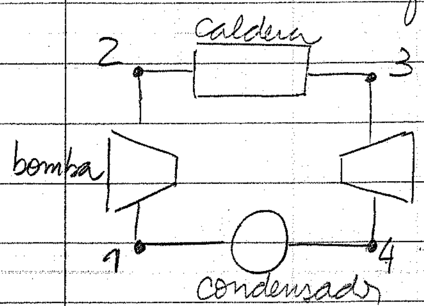
1) El vapor deja la caldera y entra a la turbina a 4 MPa y 400°C. La presión del condensador es 10 kPa. Calcular la eficiencia



$$\eta = \frac{W_{neto}}{q_{caldera}} = \underline{\underline{35.3\%}}$$

$$= (1069.7 - 4)/3018.7$$

BOMBA

entrada: $P_1 = 10\,kPa$, liq. saturado

salida: $P_2 = 4\,MPa$

$$w_{bomba} = h_2 - h_1 = v_1 (P_2 - P_1)$$

$$v_1 = v_{f@10kPa} = 0.00101$$

$$h_1 = h_{f@10kPa} = 191.81\ kJ/kg$$

$$h_2 = h_1 + v_1(P_2 - P_1) = 195.81\ kJ/kg$$

$$v_1(P_2 - P_1) = 4\ kJ/kg$$

TURBINA

entrada: $P_3 = 4\,MPa$, $T_3 = 400°C$, vapor sobrecalentado

salida: $P_4 = 10\,kPa$, mezcla saturada, $T_4 = T_{sat@10kPa}$

$$w_{turbina} = h_3 - h_4 \qquad s_3 = s_4$$

$$h_3 = h_{g@4Pa,400°C} = 3214.5\ kJ/kg$$

$$s_3 = s_{g@4MPa,400°C} = 6.7714\ kJ/kg\,K = s_4$$

$$s_4 = s_{f@10kPa} + x_4\, s_{fg@10kPa} = 6.7714\ kJ/kg\,K = 0.6492 + x_4\, 7.5010$$

$$\Rightarrow x_4 = 0.8162$$

$$h_4 = h_{f@10kPa} + x_4\, h_{fg@10kPa} = 191.8 + 0.8162 \times 2392.8 = 2144.8\ kJ/kg$$

$$w_{turbina} = 3214.5 - 2144.8 = 1069.7\ kJ/kg$$

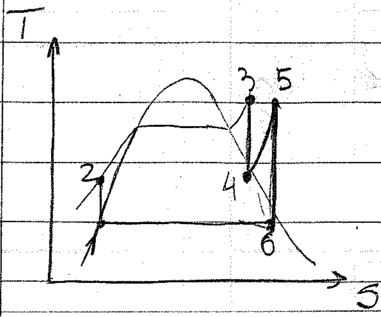
CALDERA

Entrada: 4 MPa, $h_2 = 195.81\ kJ/kg$

salida: 4 MPa, 400°C.

$$q_{caldera} = h_3 - h_2 = 3214.5 - 195.81 = 3018.7\ kJ/kg$$

2) En el problema anterior, después de la expansión en la turbina hasta 400 kPa el vapor es recalentado a 400°C y luego expandido hasta 10 kPa



Turbina alta presión $(3 \rightarrow 4)$

$P_3 = 4\,MPa$, $T_3 = 400°C$

$P_4 = 400\,kPa$

$h_3 = h_{g@4MPa,\,400°C} = 3214.5\ kJ/kg$

$s_3 = s_{g@4MPa,\,400°C} = 6.7714\ kJ/kg\,K$

$w_{t.a.p.} = h_3 - h_4$

① $s_3 = s_4 = s_{f@400kPa} + x_4\, s_{fg@400kPa}$

② $h_4 = h_{f@400kPa} + x_4\, h_{fg@400kPa}$

usando ① calculamos x_4 y reemplazándolo en ② calculamos h_4

$$6.7714 = 1.7765 + x_4\, 5.1191 \implies x_4 = 0.9757$$

$$h_4 = 604.66 + 0.9757 \times 2133{,}4 = 2686.3\ kJ/kg$$

Turbina baja presión $(5 \rightarrow 6)$

$P_5 = 400\,kPa$, $T_5 = 400°C$

$P_6 = 10\,kPa$

$h_5 = h_{g@400kPa,\,400°C} = 3273.9\ kJ/kg$

$s_5 = s_{g@400kPa,\,400°C} = 7.9003\ kJ/kg\,K$

$w_{t.b.p.} = h_5 - h_6$

$s_5 = s_6$

① $s_6 = s_{f@10kPa} + x_6\, s_{fg@10kPa} = 0.6492 + x_6\, 7.4996 = 7.9003$

$h_6 = h_{f@10kPa} + x_6\, h_{fg@10kPa} = 191.81 + 0.9669 \times 2392.1 =$

de ① saco $x_6 = 0.9669$, $h_6 = 2504.7\ kJ/kg$

$$w_{turbinas} = w_{t.a.p.} + w_{t.b.p.} = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)$$

$$w_{turbinas} = (3214.5 - 2686.3) + (3273.9 - 2504.7)$$

$$w_{turbinas} = 1297.4 \text{ kJ/kg}$$

Bomba $(1 \to 2)$

$P_1 = 10 \text{ kPa}$, líquido saturado

$P_2 = 4 \text{ MPa}$

$h_1 = h_{f@100kPa} = 191.81 \text{ kJ/kg}$

$s_1 = s_{f@100kPa} = 0.6492 \text{ kJ/kg K}$

$w_b = h_2 - h_1 = v_1 (P_2 - P_1)$

$s_2 = s_1$

$v_1 = v_{f@100kPa} = 0.00101 \text{ m}^3/\text{kg}$

$h_2 = h_1 + v_1 (P_2 - P_1) = 191.81 + 0.00101 \times (4000 - 10)$

$h_2 = 195.81 \text{ kJ/kg}$

Caldera $(2 \to 3 \text{ y } 4 \to 5)$

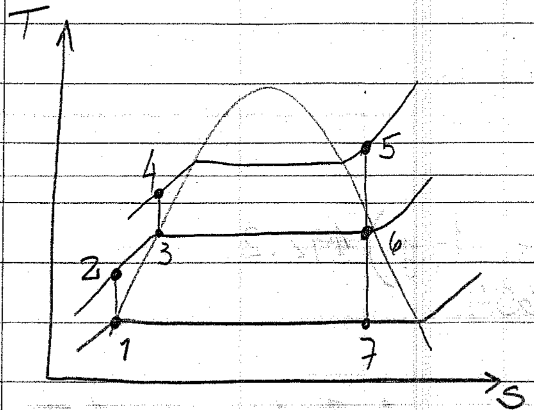
estados 2, 3, 4 y 5 están caracterizados

$$q_{entra} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$
$$= (3214.5 - 195.81) + (3273.9 - 2686.3) = 3606.3 \text{ kJ/}$$

Entonces: $w_{neto} = w_{turbinas} - w_b = 1293.4 \text{ kJ/kg}$

$$\boxed{\eta = \frac{w_{neto}}{q_{entra}} = \frac{1293.4}{3606.3} = 35.9\%}$$

3) Considerando el problema anterior, algo del vapor es retirad[o] de la turbina y enviado a un calentador de agua abierto q[ue] trabaja a 400 kPa. El agua sale del calentador como líqui[do] saturado a 400 kPa. El vapor no extraído de la turbina se expande hasta 10 kPa. Determinar la eficiencia del ciclo



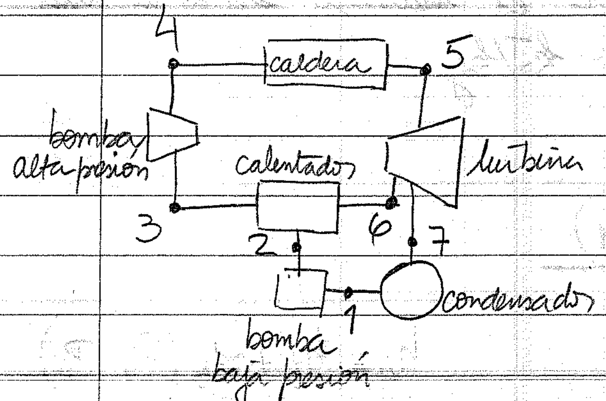
de los problemas anteriores conocemos

$h_5 = h_{g@4MPa,\,400°C} = 3214.5$ kJ/kg

$h_6 = 2686.3$ kJ/kg

$h_7 = 2144.8$ kJ/kg

$h_1 = h_{f@10kPa} = 191.81$ kJ/kg



Bomba de baja presión $(1 \to 2)$

$P_1 = 10$ kPa, líquido saturado

$P_2 = 400$ kPa

$w_{b.b.p.} = v_1 (P_2 - P_1) = h_2 - h_1$

$v_1 = v_{f@10kPa} = 0.00101$ m³/kg

$w_{b.b.p} = 0.39$ kJ/kg

$h_2 = h_1 + v_1 (P_2 - P_1) = 192.2$ kJ/kg

Turbina $(5 \to 6,\ 6 \to 7)$

$P_5 = 4$ MPa, $T_5 = 400°C$

$P_6 = 400$ kPa

$P_7 = 10$ kPa

$s_5 = s_6 = s_7$

$w_{turbina} = (h_5 - h_6) + (1-y)(h_6 - h_7)$

y: cantidad de agua derivada hacia el calentador

Calentador de agua $(6 \to 3$ y $2 \to 3)$

$P_2 = 400\ kPa$

$P_3 = 400\ kPa$, líquido saturado

$h_3 = h_{f@400kPa} = 604.66\ kJ/kg$

$h_3 = y\,h_6 + (1-y)\,h_2$

$h_2 = 192.2\ kJ/kg$

$h_6 = 2686.3\ kJ/kg$

$$604.66 = y\,2686.3 + (1-y)\,192.2$$

$$y = 0.1654$$

conocida y podemos calcular el trabajo en la turbina

$$w_{turbina} = 980.14\ kJ/kg$$

Bomba de alta presión $(3 \to 4)$

$P_4 = 4MPa$

$P_3 = 400\ kPa$

$h_4 = h_3 + v_3(P_4 - P_3)$

$w_{b.a.p} = v_3(P_4 - P_3) = h_4 - h_3$

$v_3 = v_{f@400kPa} = 0.001084\ m^3/kg$

$h_4 = 608.56\ kJ/kg$

$h_3 = h_{f@400kPa} = 604.66\ kJ/kg$

$w_{b.a.p} = 3.9\ kJ/kg$

$$w_{neto} = w_{turbina} - (1-y)\,w_{b.b.p} - w_{b.a.p} = 975.9\ kJ/kg$$

$$q_{entra} = h_5 - h_4 = 3214.5 - 608.56 = 2605.9\ kJ/kg$$

$$\boxed{\eta = 37.4\%}$$

4) La planta de potencia de los problemas anteriores pero en su forma básica y con turbina y bomba no ideales

$\eta_{turbina} = 86\%$ y $\eta_{bomba} = 80\%$

Turbina $(5 \rightarrow 6)$

$P_5 = 3.8 MPa$, $T_5 = 380°C$

$P_6 = 10 kPa$

$\eta_{turbina} = \dfrac{w_{turbina}}{h_5 - h_{6s}} = \dfrac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6s}}$

$w_{turbina} = h_5 - h_6$

$s_5 = s_{6s} = s_{g@3.8MPa,\,380°C} = 6.7235\ kJ/kgK$

$h_5 = h_{g@3.8MPa,\,380°C} = 3169.1\ kJ/kg$

$s_{6s} = s_{f@10kPa} + x_{6s}\, s_{fg@10kPa} \Longrightarrow x_{6s} = 0.8098$

$h_{6s} = 191.8 + 0.8098 \times 2392.8 = 2129.5\ kJ/kg$

$w_{turbina} = \eta_{turbina}\left(h_5 - h_{6s}\right) = 894.1\ kJ/kg$

Bomba $(1 \rightarrow 2)$

$P_1 = 10 kPa$, $T_1 = 42°C$

$P_2 = 5 MPa$

$\eta_{bomba} = \dfrac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$

$w_{bomba} = h_2 - h_1$

$s_{2s} = s_1$

$h_{2s} - h_1 = v_1\left(P_2 - P_1\right) \longrightarrow w_{bomba} = \dfrac{v_1\left(P_2 - P_1\right)}{\eta_{bomba}}$

$v_1 = v_{f@10kPa,\,42°C}$

$w_{bomba} = 6.3\ kJ/kg$

$w_{neto} = w_{turbina} - w_{bomba} = 887.8\ kJ/kg$

Caldera $(3 \rightarrow 4)$

$P_3 = 4.8\,MPa$, $40°C = T_3$

$P_4 = 4\,MPa$; $T_4 = 400°C$

$h_3 = h_{f@4.8MPa,\,40°C} = 171.8\ kJ/kg$

$h_4 = h_{g@4MPa,\,400°C} = 3214.6\ kJ/kg$

$q_{entra} = h_4 - h_3 = 3041.8\ kJ/kg$

$$\boxed{\eta = \frac{W_{neto}}{q_{entra}} = \frac{887.8}{3041.8} = 29.2\%}$$