2) Considere una central eléctrica de vapor que opera en un ciclo Rankine ideal simple y que tiene una salida de neta de potencia de 45 MW. El vapor entra a la turbina a 7 MPa y 500 °C, y se enfría en el condensador a una presión de 10 kPa mediante el agua de enfriamiento proveniente de un lago y que circula por los tubos del condensador a una tasa de 2000 kg/s. Muestre el ciclo en un diagrama T-s respecto de las líneas de saturación y determine a) la eficiencia térmica del ciclo, b) el flujo másico del vapor y c) el aumento de temperatura del agua de enfriamiento.

Solución: un diagrama T-s del problema se muestra en la figura 29

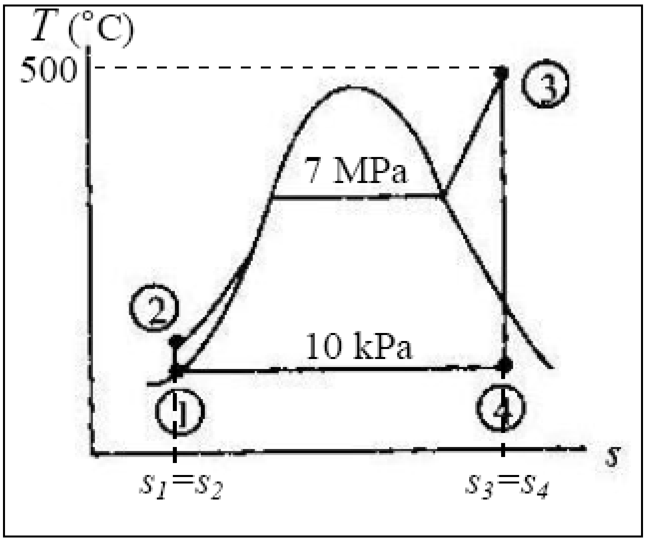

Fig. 2. Diagrama T-s del problema 3.

Este problema se soluciona tomando como volumen de control cada uno de los equipos del ciclo, y encontrar las variables a determinar, aplicando en ellos, la primera ley de la conservación de la masa, luego la primera ley de la conservación de la energía, y después la segunda ley de la termodinámica (si es necesario). El inciso c) se determina realizando un análisis de primera ley a un volumen de control alrededor del condensador. Por lo tanto, se tiene:

a) La eficiencia térmica.

Volumen de control: Turbina.

Estado a la entrada: P3, T3 conocidas; estado fijo.

Estado a la salida: P4 conocida.

Análisis:

Primera ley:

$$w_{turb} = h_3 - h_4$$

Segunda ley:

$$s_4 = s_3$$

Propiedades de los puntos:

(Tabla Cengel) → h3=3410,5 kJ/kg, s3=6.798kJ/kgK,
s3=s4=6,798kJ/kgK → 6,798=0,6493+x47,5009
x4=0,8197 → h4=191,83+0,8197(2392,8)
h4=2153,2 kJ/kg

$$w_{turb} = 3410{,}5 - 2153{,}2 = 1247{,}3 kJ / kg$$

a) La eficiencia térmica del ciclo.
Volumen de control: bomba.
Estado a la entrada: P1 conocida, líquido saturado; estado fijo.
Estado a la salida: P2 conocida.
Análisis:
Primera ley:

$$w_{bomb} = h_2 - h_1$$

Segunda ley:

$$s_2 = s_1$$

Porque

$$s_2 = s_1, \quad h_2 - h_1 = \int_1^2 v dP$$

Propiedades de los puntos:
(Tabla Cengel) → h1= 191,83kJ/kg, v1=0,001010 m3/kg
Como el líquido se considera incompresible, se tiene:

$$h_2 = 191{,}83 + 0{,}001010(7000 - 10) = 198{,}89\frac{kJ}{kg}$$

$$w_{bomb} = 198{,}86 - 191{,}83 = 7{,}03 kJ/kg$$

$$w_{neto} = w_{turb} - w_{bomb} = 1247{,}3 - 7{,}03 = 1240{,}27 kJkg$$

Volumen de control: caldera

Estado a la entrada: P2, h2 conocidas; estado fijo.

Estado a la salida: P3, h3 conocidas, estado 3 fijo (según se indica).

Análisis:

Primera ley:

$$q_{cald} = h_3 - h_2$$

$$q_{cald} = 3410{,}5 - 198{,}89 = 3211{,}6 kJ/kg$$

$$\eta = \frac{w_{neto}}{q_{cald}} = \frac{1240{,}27}{3211{,}6} = 38{,}6\%$$

b) El flujo másico del vapor.

$$\dot{m}_{cald} = \frac{\dot{W}_{neta}}{w_{neto}} = \frac{45000}{1240{,}27} = 36{,}28 kg/s$$

c) El aumento de temperatura del agua de enfriamiento.

Volumen de control: condensador.

Estado a la entrada, vapor: P4, h4 conocida, estado 4 fijo.

Estado a la entrada, H2O: estado líquido.

Estado a la salida, vapor: P1 conocida, líquido saturado, estado 1 fijo.

Estado a la salida, H20: estado líquido.

Análisis:

Primera ley:

$$\dot{Q}_{H2O} = \dot{Q}_{vapor}$$

$$\dot{m}_{H2O} C_{H2O} \Delta T_{H2O} = \dot{m}_{cond} (h_4 - h_1)$$

$$\Delta T_{H2O} = \frac{\dot{m}_{cald} (h_4 - h_1)}{C_{H2O} \dot{m}_{H2O}}$$

Propiedades de los puntos:

(Tabla Cengel: “propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes”) → CH2O=4,18kJ/kg°C Si *CH20* es el calor específico del agua liquida en condiciones ambientales (como se obtiene del lago) y *ΔTH20* es el cambio de temperatura del agua de enfriamiento, se tiene:

$$\Delta T_{H2O} = \frac{36{,}28(2153{,}2 - 191{,}83)}{4{,}18(2000)} = 8{,}51°C$$