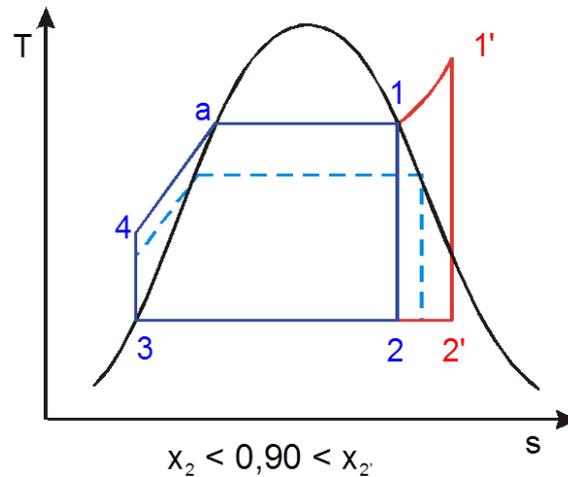


### Solución Problema 3

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. Como en el problema anterior, se tiene un caso de vapor recalentado a la entrada de la turbina.



La solución del problema pasa por la identificación de las condiciones de operación en cada uno de los cuatro 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' y 3, antes de la expansión en turbina (1') y de la compresión en la bomba (3), se conocen las condiciones de presión, y sabiendo que el fluido se encuentra en estado recalentado como vapor en 1' y en su punto de saturación como líquido para el caso 3, basta con leer la entalpía en las tablas de vapor (en el caso del punto 1', ha de usarse la tabla de vapor recalentado). De este modo se tiene que:

$$h_{1'} = 3116,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

En el punto 3, se dispone de una presión (75 Pa <> 0,75 Bar), que no aparece en las tablas, por lo que es necesario interpolar. Considerando que:

Presión (bar)	v liq (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	h liq sat (kJ/kg)	h vap sat (kJ/kg)	s liq sat (kJ/kg·K)	s vap sat (kJ/kg·K)
0,7	1,036	376,7	2660,0	1,1919	7,4797
0,8	1,038	391,6	2665,8	1,2329	7,4346

Entonces los valores correspondientes a una presión de 75 Pa <> 0,75 Bar serían:

Presión (bar)	v liq (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	h liq sat (kJ/kg)	h vap sat (kJ/kg)	s liq sat (kJ/kg·K)	s vap sat (kJ/kg·K)
0,75	1,037	384,2	2662,9	1,2124	7,4572

En tales condiciones se tiene que:

$$h_3 = 384,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

En cuanto a los otros dos puntos, el más sencillo es el caso del punto (4), que se obtiene por compresión reversible (isoentrópica) desde (3), es decir, comparte entropía con éste último:

$$s_3 = s_4 = 1,2124 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Para el cálculo de su entalpía, basándonos en que la compresión es ideal y reversible es aplicar la siguiente ecuación:

$$W_B = \int_{(3)}^{(4)} v dp = v \cdot (p_4 - p_3)$$

Teniendo en cuenta esta expresión, y que el volumen es invariante entre (3) y (4), se tiene que:

$$v_3 = v_4 = 1,0370 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Como se cumple que:

$$h_4^{s=\text{cte}} = h_3 + W_B = 384,18 + 1,0370 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^3 - 75) = 387,21 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

Por otro lado, el cálculo de la entalpía en (2) requiere conocer el título del vapor saliente de la turbina, para lo cual es necesario calcular la entropía en líquido y vapor saturado a la presión considerada, así como en (4), que coincide con (3), si la expansión fuera reversible y por tanto isoentrópica. Así:

$$s_1' = s_2 = 6,7449 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

De las tablas de vapor se tiene que:

$$\begin{aligned} s_f(0,75 \text{ Bar}) &= 1,2124 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \\ s_g(0,75 \text{ Bar}) &= 7,4572 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \end{aligned}$$

y aplicando la proporción de entropías, determinamos el título del vapor:

$$x_2 = \frac{(s_2 - s_f)}{(s_g - s_f)} = \frac{(6,7449 - 1,2124)}{(7,4572 - 1,2124)} = 0,8832$$

Así, considerando el calor de vaporización que tiene el agua a la presión de 0,075 MPa, tenemos que:

$$h_2^{S=\text{CTE}} = h_3 + x_2 \cdot r(0,075 \text{ MPa}) = 384,18 + (0,88832) \cdot (2278,72) = 2399,64 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$$

donde r se ha obtenido por interpolación como anteriormente se ha mencionado.

Conocidas todas las entalpías de los puntos característicos del ciclo, puede abordarse el cálculo de cada uno de los apartados del ejercicio:

### a) Rendimiento térmico

Se refiere al rendimiento mecánico del ciclo. El rendimiento máximo vendría dado por el rendimiento de Carnot (al cual no se refiere el apartado) y que vendría dado por la expresión:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

En estas condiciones, la temperatura del foco frío es de 91,73°C, mientras que el del foco caliente es de 350°C. Bajo las condiciones especificadas se tendría una eficiencia máxima de:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{(273,15 + 91,73)}{(273,15 + 350)} = 0,4145$$

En cuanto al rendimiento mecánico, cabría esperar uno menor. En este caso, el rendimiento mecánico se define como:

$$\eta = \frac{(W_T - W_B)}{Q_C} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} = \frac{(3116,1 - 2399,64) - (387,21 - 384,18)}{(3116,1 - 384,18)} = 0,2614$$

Como se observa, el rendimiento es inferior al predicho por Carnot.