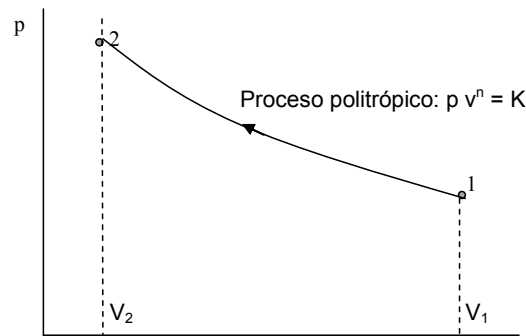


PROBLEMA 1

La representación del proceso en un diagrama termodinámico p-V.



El exponente politrópico se obtiene directamente al tener definidos los estados termodinámicos inicial y final:

$$n = \ln(p_1/p_2) / \ln(v_2/v_1) = 1,227$$

Trabajo de compresión (al ser un proceso de cuasiequilibrio):

$$w_{12} = \int_1^2 p dv = \frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{(1 - n)} = -400,88 \text{ kJ/kg}$$

donde aplicando el modelo de gas ideal,

$$v_1 = RT_1/p_1 = 0,8610 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = RT_2/p_2 = 0,03558 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Aplicando un balance energético se obtiene el calor intercambiado:

$$q_{12} = w_{12} + (u_2 - u_1) = -164,86 \text{ kJ/kg}$$

donde, aplicando el modelo de gas ideal, pueden localizarse en la tabla termodinámica 16:

$$u_1 = 214,07 \text{ kJ/kg}$$

$$u_2 = 450,09 \text{ kJ/kg}$$

La entropía generada:

$$s_{\text{gen}} = (s_2 - s_1) - q_{12}/T_f = -0,38122 + 164,86/300 = 0,1683 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{siendo, } (s_2 - s_1) = (s_2^\circ - s_1^\circ) - R \ln(p_2/p_1) = -0,38122 \text{ kJ/kgK}$$

De la tabla termodinámica 16 (aire como gas ideal):

$$s_1^{\circ} = s_1^{\circ}(T_1) = 1,70203 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_2^{\circ} = s_2^{\circ}(T_2) = 2,44356 \text{ kJ/kgK}$$

El considerar adiabático el proceso implica que la generación de entropía es negativa, con lo que se deduce que el proceso adiabático es imposible que suceda en la realidad.

$$s_{\text{gen}} = (s_2 - s_1) = -0,38122 \text{ kJ/kgK} < 0 \text{ (proceso imposible)}$$

PROBLEMA 2

El rendimiento interno de la turbina:

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

Las propiedades termodinámicas del estado 1 se obtienen de la tabla de vapor sobrecalentado:

$$h_1(400^{\circ}\text{C}, 80 \text{ bar}) = 3138,3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1(400^{\circ}\text{C}, 80 \text{ bar}) = 6,3634 \text{ kJ/kgK}$$

Despejando la entalpía del estado 2:

$$h_2 = h_1 - (h_1 - h_{2s}) \eta_t = 3138,3 - 0,83 (3138,3 - h_{2s})$$

Por otra parte, la entalpía del estado 2 debe de verificar:

$$h_2 = h_{2f} + x_2 h_{2fg} = h_{2f} + 0,9 h_{2fg}$$

donde h_{2f} y h_{2fg} dependen de la presión (o temperatura) de saturación buscada.

Para obtener una solución al problema es necesario aplicar un procedimiento iterativo.

Para $p_2 = p_{2s} = 2 \text{ bar}$:

i

$$h_2 = h_{2f} + 0,9 h_{2fg} = 2486,41 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2s}(s=6,3634 \text{ kJ/kgK}, 2 \text{ bar})$$

$$x_{2s} = (s_{2s} - s_{2sf}) / (s_{2sg} - s_{2sf}) = 0,8635$$

$$h_{2s} = h_{2sf} + x_{2s} h_{2sfg} = 2406,15 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3138,3 - 0,83 (3138,3 - h_{2s}) = 2530,61 \frac{kJ}{kg} \text{ (supera)}$$

Para $p_2=p_{2s}= 1$ bar:

$$h_2 = h_{2f} + 0,9 \quad h_{2fg} = 2449,66 \text{ kJ/kg}$$

$h_{2s}(s=6,3634\text{kJ/kgK}, 1 \text{ bar})$

$$x_{2s} = (s_{2s}-s_{2sf})/(s_{2sg}-s_{2sf}) = 0,8355$$

$$h_{2s} = h_{2sf} + x_{2s} h_{2sfg} = 2304,14 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3138,3 - 0,83 (3138,3 - h_{2s}) = 2445,94 \frac{kJ}{kg} \text{ (inferior)}$$

Para $p_2=p_{2s}= 1,1$ bar (haciendo varias interpolaciones):

$$h_2 = h_{2f} + 0,9 \quad h_{2fg} = 2453,92 \text{ kJ/kg}$$

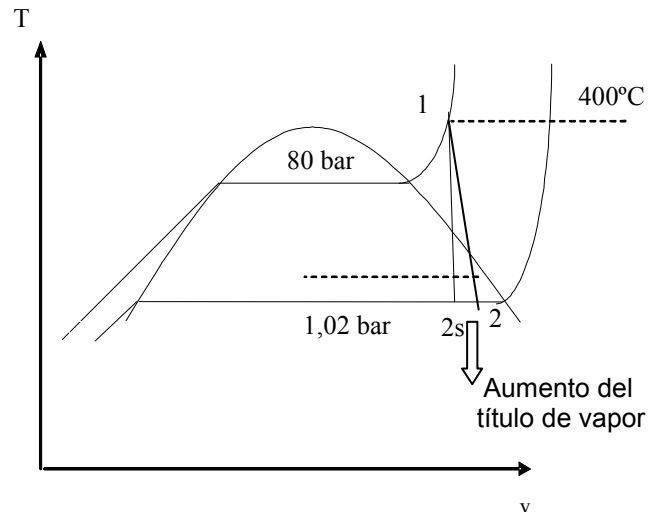
$h_{2s}(s=6,3634\text{kJ/kgK}, 1,1 \text{ bar})$

$$x_{2s} = (s_{2s}-s_{2sf})/(s_{2sg}-s_{2sf}) = 0,8386$$

$$h_{2s} = h_{2sf} + x_{2s} h_{2sfg} = 2315,72 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3246,1 - 0,83 (3246,1 - h_{2s}) = 2473,88 \frac{kJ}{kg} \text{ (superior)}$$

Asumiendo un pequeño error, la presión mínima que garantiza un título de vapor del 90% es aproximadamente 1,02 bar.



PROBLEMA 3

Mirando el diagrama psicrométrico:

Estado 1:

$$\omega_1 \approx 0,016 \text{ kg/kg aire seco}$$

$$h_1 = h_{a1} + h_{v1} \omega_1 \approx 90 \text{ kJ/kg aire seco}$$

$$\Phi_1 \approx 23,5\%$$

Estado 2: Obtención de ω_2 (kg/kg aire seco)

Aplicando un balance de energía (sistema adiabático):

$$h_{a1} m_a + h_{v1} m_{v1} = h_{v2} m_{v2} + h_{a2} m_a - h_w m_w$$

Dividiendo por la masa de aire:

$$h_{a1} + h_{v1} \omega_1 + h_w m_w/m_a = h_{a2} + h_{v2} \omega_2$$

Aplicando un balance de materia:

$$m_{v1} + m_w = m_{v2}$$

Dividiendo por la masa de aire:

$$m_w/m_a = \omega_2 - \omega_1$$

Sustituyendo:

$$h_{a1} + h_{v1} \omega_1 + h_w (\omega_2 - \omega_1) = h_{a2} + h_{v2} \omega_2$$

$$h_{v1} \approx h_{1g}(48^\circ\text{C}) = 2588,54 \text{ kJ/kg agua (interpolando)}$$

$$h_{v2} \approx h_{2g}(40^\circ\text{C}) = 2574,3 \text{ kJ/kg agua}$$

$$h_w(25^\circ\text{C}, 1\text{atm}) \approx h_f(25^\circ\text{C}) = 104,89 \text{ kJ/kg agua}$$

$$h_{a1}(48^\circ\text{C}) - h_{a2}(40^\circ\text{C}) \approx c_p (T_{a1} - T_{a2}) = 8 \text{ kJ/kgK}$$

La humedad específica a la salida:

$$\omega_2 = [(h_{a1} - h_{a2}) + \omega_1 (h_{v1} - h_w)] / (h_{v2} - h_w) = 0,01933 \text{ kg/kg aire seco}$$

Del diagrama psicrométrico, conociendo $T_{bs} = 40^\circ\text{C}$ y $\omega_2 = 0,01933 \text{ kg/kg aire}$, se obtiene la humedad relativa:

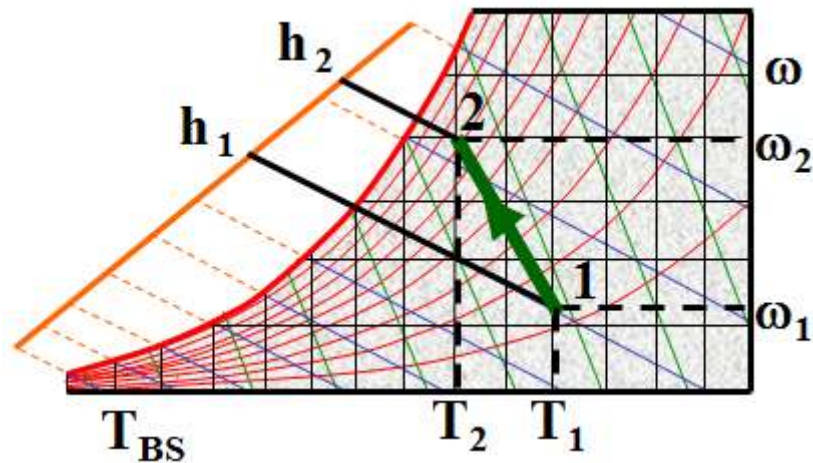
$$\Phi_2 \approx 42\%$$

Del diagrama psicrométrico también se puede obtener: $h_2 \approx 90,5 \text{ kJ/kg}$

La cantidad de agua pulverizada por unidad de masa de aire:

$$m_w/m_a = \omega_2 - \omega_1 = 0,003071 \text{ kg/kg aire seco}$$

En la siguiente figura se muestra el proceso en un diagrama psicrométrico.



Se puede comprobar, del balance energético:

$$h_2 = h_{a2} + h_{v2} \omega_2 = h_{a1} + h_{v1} \omega_1 + h_w (\omega_2 - \omega_1) = 90 + 104,89 \cdot 0,00333$$

$$h_2 = 90,34 \text{ kJ/kg aire seco}$$