

# Pauta Examen FIS1523

## Problema 1

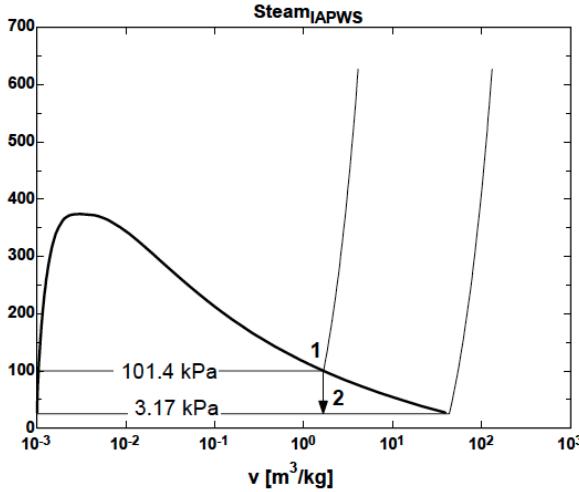
Un tanque rígido contiene 5 kg de vapor de agua saturado a 100°C. El vapor se deja enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente de 25°C.

- a) Dibuje este proceso con respecto a las líneas de saturación en un diagrama  $T - \nu$ .
- b) Determine el cambio de entropía del vapor.
- c) Determine el cambio de entropía del entorno.
- c) Considerando el sistema total, vapor más entorno. Determine la entropía generada  $S_{gen}$  asociada a este proceso.

## Solución

a) El vapor de agua está saturado, la calidad  $x_1 = 1$ , luego se encuentra sobre la linea de saturación. Como el tanque es rígido el volumen y la masa se conservan, por lo tanto, el volumen específico se conserva  $v_1 = v_2$  y el proceso corresponde a una línea vertical.

(1.5 pts)



b) Estado inicial

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 100^\circ C \\ x_1 = 1 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{ll} v_1 = & v_g = 1.6720 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 = & u_g = 2506 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = & s_g = 7.3542 \text{ kJ/kg} \cdot K \end{array}$$

Estado final

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 25^\circ C \\ v_1 = v_2 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{lll} v_f = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg} & \& v_g = 43.340 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_f = 104.83 \text{ kJ/kg} & \& u_g = 2409.1 \text{ kJ/kg} \\ s_f = 0.3672 \text{ kJ/kg} \cdot K & \& s_g = 8.5567 \text{ kJ/kg} \cdot K \end{array}$$

La calidad  $x_2$  se encuentra de la igualdad

$$v_1 = v_2 = x_2 v_g + (1 - x_2) v_f \Rightarrow x_2 = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_f} = 0.03856.$$

(0.5 pts)

Conociendo la calidad podemos calcular

$$u_2 = x_2 u_g + (1 - x_2) u_f = 193.683 \text{ kJ/kg} \quad \text{y} \quad s_2 = x_2 s_g + (1 - x_2) s_f = 0.68299 \text{ kJ/kg} \cdot K.$$

(0.5 pts)

El cambio de entropía total del vapor

$$\Delta S_{\text{vapor}} = m(s_2 - s_1) = 5(0.68299 - 7.3542) \text{ kJ/K} = -33.356 \text{ kJ/K}$$

(0.5 pts)

- c) El entorno actua como reservorio, luego la temperatura de este no cambia. Podemos considerar un proceso reversible a temperatura constante para calcular el cambio de entropía del entorno.

$$\Delta S_{\text{entorno}} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T_{\text{entorno}}} = \frac{Q_{\text{salida}}}{T_{\text{entorno}}}$$

(0.5 pts)

La temperatura del entorno esta fija a  $T_{\text{entorno}} = 25^\circ C = 298 K$ . Hay que calcular el flujo de calor total que fluye del tanque al entorno. Usando la primera ley:

$$\Delta E_{\text{vapor}} = Q - W = -Q_{\text{salida}}$$

(0.5 pts)

Despreciando la variación en la energía potencial y cinética se tiene que

$$\Delta E_{\text{vapor}} = m(u_2 - u_1) = 5(193.683 - 2506) kJ \Rightarrow Q_{\text{salida}} = 11561.6 kJ \Rightarrow \Delta S_{\text{entorno}} = 38.797 kJ/K.$$

(0.5 pts)

- d) Dado que el sistema total, vapor mas entorno, se considera un sistema aislado, la entropía generada corresponde a la variación total de entropía.

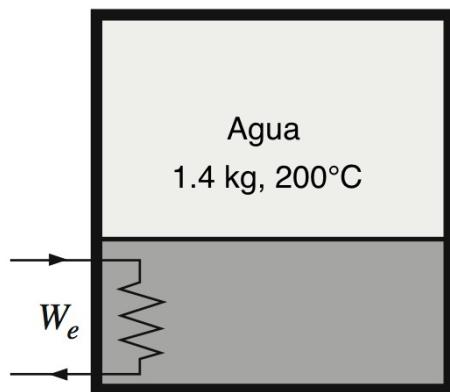
$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{entorno}} + \Delta S_{\text{vapor}} = 5.44 kJ/K.$$

(1.5 pts)

## Problema 2

Un estanque aislado contiene inicialmente 1.4 kg de agua líquida saturada a 200 °C, la que ocupa un 25 por ciento del volumen total del estanque. Se coloca una resistencia eléctrica en el estanque, la que se enciende por 20 minutos, hasta que el estanque contiene sólo vapor saturado. Determine:

- El volumen total del estanque.
- La temperatura final del vapor.
- La potencia entregada por la resistencia.



### Solución:

- En el estado inicial ( $x = 0$ ) el volumen que ocupa el agua es

$$\begin{aligned}V_1 &= m\nu_1 \\&= 0.0016198 \text{ m}^3,\end{aligned}$$

donde hemos usado que  $m = 1.4 \text{ kg}$  y la tabla A-4 para conocer  $\nu_1 = \nu_f @ 200^\circ\text{C} = 0.001157 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

El volumen del estanque es entonces

$$\begin{aligned}V_T &= 4V_1 \\&= 0.0064792 \text{ m}^3, \quad (2 \text{ pts.})\end{aligned}$$

b) En el estado final ( $x = 1$ ) el agua ocupa el volumen total del estanque, es decir  $V_2 = V_T$ . Luego, el volumen específico final es

$$\begin{aligned}\nu_2 &= \frac{V_2}{m} \\ &= 0.004628 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (1 \text{ pts.})\end{aligned}$$

De la tabla de saturación vemos que  $\nu_g @ 373.95^\circ\text{C} < \nu_2 < \nu_g @ 370^\circ\text{C}$ , por lo que  $370^\circ\text{C} < T_2 < 373.95^\circ\text{C}$ . Interpolando los valores encontramos que

$$T_2 = 371.5^\circ\text{C}. \quad (1 \text{ pts.})$$

c) Dado que el sistema es aislado, la primera ley implica

$$W = m(u_2 - u_1). \quad (1 \text{ pts.})$$

La tabla A-4 nos dice que

$$\begin{aligned}u_1 &= u_f @ 200^\circ\text{C} = 850.46 \text{ kJ/kg}, \\ u_2 &= u_g @ 371.5^\circ\text{C} = 2148.68 \text{ kJ/kg}, \quad (0,5 \text{ pts.})\end{aligned}$$

donde hemos interpolado el valor de la energía interna final. Con esto obtenemos

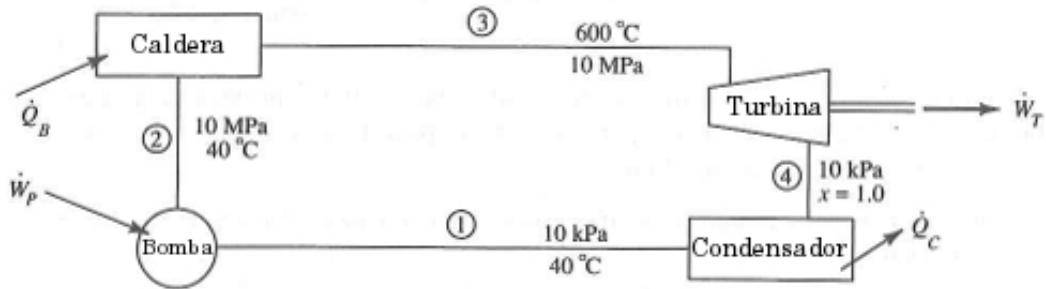
$$W = 1817.51 \text{ kJ}. \quad (0,2 \text{ pts.})$$

Finalmente, convirtiendo 20 min. = 1200 s, la potencia queda

$$\begin{aligned}\dot{W} &= \frac{W}{\Delta t} \quad (0,1 \text{ pts.}) \\ &= 1.52 \text{ kW}. \quad (0,2 \text{ pts.})\end{aligned}$$

### Problema 3

Una planta de potencia sencilla opera con 20 kg/s de vapor como se muestra en la figura.



Despreciando las pérdidas en cada uno de los componentes, calcular:

- la tasa de transferencia de calor en la caldera ( $\dot{Q}_B$ ),
- la potencia generada en la turbina ( $\dot{W}_T$ ),
- la tasa de transferencia de calor en el condensador ( $\dot{Q}_C$ ),
- la potencia requerida por la bomba ( $\dot{W}_P$ ),
- la eficiencia térmica del ciclo ( $\eta$ ).

#### Solución:

Todos los dispositivos son de flujo estacionario con una entrada y una salida. Se desprecian los efectos de energía cinética y potencial,

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale} \quad \dot{Q}_{neto} - \dot{W}_{neto} = \dot{m}(h_{sale} - h_{entra})$$

Valores de entalpía en cada uno de los estados indicados en la figura:

$$h_1 = h_f@40^\circ C = 167.53 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_f@40^\circ C = 167.53 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_{10MPa, 600^\circ C} = 3625.8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = h_g@10kPa = 2583.9 \text{ kJ/kg}$$

a) [1.5 ptos.]

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m} = 20 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_B = \dot{m} (h_3 - h_2) = 20 \times (3625.8 - 167.53) = 69.15 \text{ MW}$$

b) [1.5 ptos.]

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} = 20 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_T = \dot{m} (h_3 - h_4) = 20 \times (3625.8 - 2583.9) = 20838 \text{ kJ/s} = 20.8 \text{ MW}$$

c) [1.5 ptos.]

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m} = 20 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_C = \dot{m} (h_1 - h_4) = 20 \times (167.53 - 2583.9) = -48.33 \text{ MW}$$

d) [0.5 pto.]

$$\dot{W}_B = \dot{m} \nu_1 \Delta P = \frac{m}{\rho} \Delta P = \frac{20}{1000} \times (10000 - 10) = 199.8 \text{ kJ} \approx 0.2 \text{ MW}$$

e) [1.0 pto.]

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{entra}} = \frac{W_T - W_P}{Q_B} = \frac{20.8 - 0.2}{69.15} = 0.298 = 29.8 \%$$

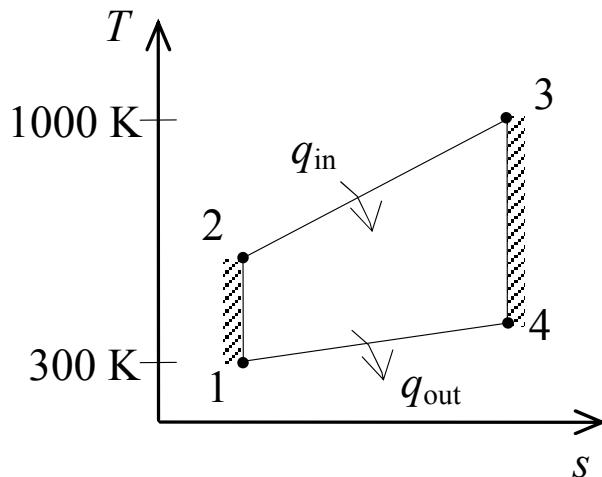
## Problema 4

Un ciclo de Brayton ideal usa aire como fluido de trabajo, operando entre una temperatura máxima de 727 °C y una temperatura mínima de 27 °C. El dispositivo está diseñado para que las presiones máxima y mínima del ciclo sean 2000 kPa y 100 kPa, respectivamente. Determine el trabajo neto por unidad de masa producido en un ciclo y la eficiencia térmica de éste. Considere el aire como un gas ideal con  $c_P = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  y  $\gamma = 1.4$  constantes.

### Solución:

En un ciclo de Brayton tenemos:

- 1 → 2 compresión adiabática (compresor)
- 2 → 3 adición de calor isobárica (intercambiador de calor)
- 3 → 4 expansión adiabática (turbina)
- 4 → 1 rechazo de calor isobárico (intercambiador de calor)



El trabajo específico neto es

$$w = q_{2 \rightarrow 3} - q_{4 \rightarrow 1}. \quad (1 \text{ pts.})$$

Ahora, usando primera ley en cada proceso, encontramos

$$\begin{aligned} q_{2 \rightarrow 3} &= h_3 - h_2 \\ &= c_p(T_3 - T_2), \\ q_{4 \rightarrow 1} &= h_4 - h_1 \\ &= c_p(T_4 - T_1). \quad (1 \text{ pts.}) \end{aligned}$$

Del enunciado conocemos  $T_1 = 300^\circ\text{K}$  y  $T_3 = 1000^\circ\text{K}$ , que son las temperaturas mínima y máxima, respectivamente. Para calcular  $T_2$  y  $T_4$  recordamos que

$$T_2 P_2^{\frac{1}{\gamma}-1} = T_1 P_1^{\frac{1}{\gamma}-1}$$

y

$$T_4 P_4^{\frac{1}{\gamma}-1} = T_3 P_3^{\frac{1}{\gamma}-1}. \quad (1 \text{ pts.})$$

Dado que sabemos que las presiones son

$$P_1 = P_4 = 100 \text{ kPa}, \quad P_2 = P_3 = 2000 \text{ kPa},$$

calculamos

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1-\frac{1}{\gamma}} \\ &= 706.1^\circ\text{K}, \\ T_4 &= T_3 \left( \frac{P_4}{P_3} \right)^{1-\frac{1}{\gamma}} \\ &= 424.9^\circ\text{K}, \quad (0,5 \text{ pts.}) \end{aligned}$$

Con esto, los calores son

$$q_{2 \rightarrow 3} = 295.4 \text{ kJ/kg}, \quad q_{4 \rightarrow 1} = 125.5 \text{ kJ/kg}, \quad (0,5 \text{ pts.})$$

lo que entrega un trabajo neto de

$$w = 169.9 \text{ kJ/kg}. \quad (1 \text{ pts.})$$

Por último, la eficiencia es

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{w}{q_{in}} \\ &= 0.575. \quad (1 \text{ pts.}) \end{aligned}$$