Pauta Interrogación 2 FIS1523

Fecha: 29 de mayo de 2026

1. Una cierta cantidad de dioxígeno (oxígeno en forma estable con la fórmula química O_2) evoluciona según el ciclo mostrado en la figura constituido por las siguientes transformaciones reversibles:

   (I) una compresión isotérmica desde el estado 1 hasta el estado 2;

   (II) una transformación isócora desde el estado 2 hasta el estado 3;

   (III) una expansión politrópica de índice $n = 1.32$ desde el estado 3 hasta el estado 1.

   Se sabe que en el estado 1 la presión es igual $P_1 = 90\,\text{kPa}$ a y el volumen específico es $v_1 = 0.88\ \text{m}^3/\text{kg}$. La presión en el estado 3 es $P_3 = 2150\,\text{kPa}$. Se puede suponer que, bajo las condiciones especificadas por el ciclo, el dioxígeno puede considerarse un gas ideal (diatómico) con $\gamma = 7/5$. Considere que el calor por unidad de masa intercambiado durante un proceso politrópico está dado por

   $$q \;=\; c_n \Delta T\,, \qquad c_n \;=\; c_v\,\frac{\gamma - n}{1 - n}\,,$$

   donde c_v es el calor especifico a volumen constante del gas y la masa molar del oxígeno puro es $m_O = 16\ \text{g/mol}$.

   Determinar:

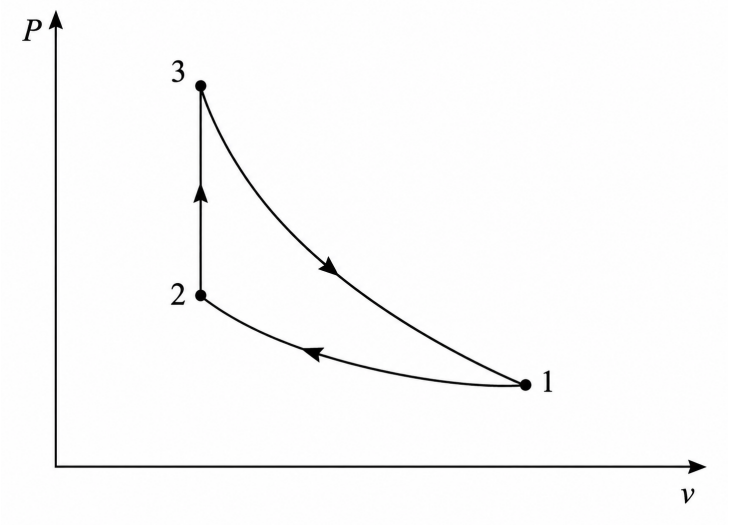
   (a) la temperatura máxima y mínima del ciclo; **[1.5 pts.]**

   (b) la cantidad de calor (por unidad de masa) intercambiada en cada proceso; **[2.0 pts.]**

   (c) las cantidades de trabajo (por unidad de masa) intercambiadas en cada proceso y el trabajo total (por unidad de masa) durante un ciclo. **[2.0 pts.]**

   Ahora considere cambiar el proceso politrópico con un proceso adiabático, de manera que el ciclo se cumpla entre los mismos volúmenes.

   (d) ¿La nueva presión P_3' en el estado 3 aumenta o disminuye? Argumente sin necesidad de realizar ningún cálculo numérico. **[0.5 pts.]**



(a) Dado que estamos suponiendo que el dioxígeno se comporta como un gas ideal, para él es válida la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$Pv = \mathcal{R}T$$

En este caso, la constante $\mathcal{R}$ para el dioxígeno es:

$$\mathcal{R} = \frac{R}{m_{O_2}} = \frac{R}{2m_O} = \frac{8314}{32}\,\mathrm{J/(Kg\cdot K)} \simeq 259.8\,\mathrm{J/(Kg\cdot K)}\,. \qquad (0.3\text{ pts.})$$

Siendo conocida la presión y el volumen específico en el punto 1, se obtiene:

$$T_1 = \frac{P_1 v_1}{\mathcal{R}} = \frac{0.9\cdot 10^5 \cdot 0.88}{259.8}\,\mathrm{K} \simeq 304.8\,\mathrm{K}\,. \qquad (0.3\text{ pts.})$$

Dado que la transformación $1 \to 2$ es isotérmica, se tiene:

$$T_2 = T_1 = 304.8\,\mathrm{K}\,. \qquad (0.1\text{ pts.})$$

La transformación $3 \to 1$ es politrópica y cumple:

$$P_1 v_1^n = P_3 v_3^n \qquad \Rightarrow \qquad \frac{P_1}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_1}\right)^n\,. \qquad (0.2\text{ pts.})$$

Recordando la ecuación de los gases perfectos en los puntos 1 y 3 y tomando el cociente miembro a miembro se obtiene

$$\frac{P_1 v_1}{P_3 v_3} = \frac{\mathcal{R}T_1}{\mathcal{R}T_3} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{v_3}{v_1} = \frac{P_1 T_3}{P_3 T_1}\,. \qquad (0.2\text{ pts.})$$

Sustituyendo esta expresión en la relación anterior se obtiene:

$$T_3 = T_1\left(\frac{P_3}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = 304.8\left(\frac{21.5}{0.9}\right)^{\frac{0.32}{1.32}}\,\mathrm{K} \simeq 657.8\,\mathrm{K}\,. \qquad (0.4\text{ pts.})$$

La temperatura máxima es 657.8 K y la mínima es 304.8 K. ■

(b) Para un gas ideal, la energía interna depende únicamente de la temperatura. Por lo tanto, durante la isoterma $1 \to 2$ vale que $u_{12} = u_1 - u_1 = 0$. Por lo tanto, del primer principio obtenemos que $q_{12} = w_{12}$ (0.2 pts.) donde q_{12} es el calor por unidad de masa que el gas recibe del exterior y w_{12} es el trabajo por unidad de masa realizado por el gas durante el proceso $1 \to 2$. Sigue que

$$q_{12} \;=\; w_{12} \;=\; \int_{v_1}^{v_2} P\, dv \;=\; \mathcal{R}T_1 \int \frac{dv}{v} \;=\; \mathcal{R}T_1 \log\left(\frac{v_2}{v_1}\right) . \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

Para calcular el volumen especifico v_2 observamos que la transformación $2 \to 3$ es isócora y por lo tanto

$$v_2 \;=\; v_3 \;=\; \frac{\mathcal{R}T_3}{P_3} \;=\; \frac{259.8 \cdot 657.8}{21.5 \cdot 10^5}\ \mathrm{m^3/Kg} \;\simeq\; 79.5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3/Kg}\,. \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

Finalmente se obtiene que

$$q_{12} \;=\; \mathcal{R} \log\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \;=\; 259.8 \cdot 304.8 \cdot \log\left(\frac{0.0795}{0.88}\right)\ \mathrm{J/Kg} \;\simeq\; -190.4 \cdot 10^3\ \mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

El calor q_{12} es negativo, es decir que durante el proceso $1 \to 2$ el gas libera calor al exterior.
Para la transformación isócora $2 \to 3$ se tiene que

$$q_{23} \;=\; c_v\,(T_3 - T_2)\ . \qquad \text{(0.4 pts.)}$$

con c_v el calor específico a volumen constante. Recordando que para un gas ideal se cumple

$$c_p - c_v \;=\; \mathcal{R} \qquad \text{y} \qquad \frac{c_p}{c_v} \;=\; \gamma$$

con c_v el calor específico a presión constante. De las relaciones anteriores obtenemos que

$$c_v \;=\; \frac{\mathcal{R}}{\gamma - 1} \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

y por lo tanto:

$$q_{23} \;=\; \frac{\mathcal{R}}{\gamma - 1}\,(T_3 - T_2) \;=\; \frac{259.8}{1.4 - 1}\,(657.8 - 304.8)\ \mathrm{J/Kg} \;\simeq\; 229.3 \cdot 10^3\ \mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

El calor q_{23} es positivo, es decir que durante el proceso $2 \to 3$ el gas recibe calor del exterior.
A lo largo de la transformación politrópica $3 \to 1$ se tiene que

$$q_{31} \;=\; c_n\,(T_1 - T_3) \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

donde el calor específico a lo largo de la politrópica c_n vale

$$c_n \;=\; c_v \frac{\gamma - n}{1 - n} \;=\; \frac{\mathcal{R}(\gamma - n)}{(\gamma - 1)(1 - n)}\ . \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

Sustituyendo los valores numéricos

$$q_{31} \;=\; \frac{259.8\,(1.4 - 1.32)}{(1.4 - 1)(1 - 1.32)}\,(304.8 - 657.8)\ \mathrm{J/Kg} \;\simeq\; 57.8 \cdot 10^3\ \mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

También el calor q_{31} es positivo, es decir que durante el proceso $3 \to 1$ el gas sigue recibiendo calor del exterior. ■

(c) Durante la isoterma $1 \to 2$ ya deducimos que

$$w_{12} \;=\; q_{1,2} \;\simeq\; -190.4 \cdot 10^3 \,\mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.5 pts.)}$$

El signo negativo se justifica al observar que, dado que se trata de una compresión, es el exterior el que realiza trabajo sobre el gas. Durante la transformación isócora $2 \to 3$ dado que no hay cambio de volumen, el trabajo es cero, por lo tanto

$$w_{23} \;=\; 0\,\mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.5 pts.)}$$

Durante la transformación politrópica $3 \to 1$ el trabajo por unidad de masa realizado por el gas se calcula como

$$w_{31} \;=\; \int_{v_3}^{v_1} P\,dv \;=\; P_1 v_1^n \int_{v_3}^{v_1} \frac{dv}{v^n} \;=\; \frac{P_1 v_1^n}{1-n}\left(v_1^{1-n} - v_3^{1-n}\right) \;=\; \frac{P_1 v_1}{1-n}\left[1 - \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{n-1}\right]. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

Observando que

$$P_1 v_1^n \;=\; P_3 v_3^n \qquad \Rightarrow \qquad \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{n-1} \;=\; \frac{P_3 v_3}{P_1 v_1} \;=\; \frac{\mathcal{R} T_3}{\mathcal{R} T_1} \;=\; \frac{T_3}{T_1} \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

se obtiene que

$$w_{31} \;=\; \frac{\mathcal{R} T_1}{1-n}\left[1 - \frac{T_3}{T_1}\right] \;=\; \frac{\mathcal{R}}{1-n}\left(T_1 - T_3\right) \;=\; \frac{259.8}{1-1.32}\left(304.8 - 657.8\right)\mathrm{J/Kg} \;\simeq\; 286.6 \cdot 10^3\,\mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

El trabajo es positivo dado que se trata de una expansión.
El trabajo total es

$$w_{\mathrm{tot}} \;=\; w_{12} + w_{31} \;=\; \left(-190.4 + 286.6\right) \cdot 10^3\,\mathrm{J/Kg} \;\simeq\; 96.2 \cdot 10^3\,\mathrm{J/Kg}\,. \qquad \text{(0.4 pts.)}$$

Cálculo alternativo trabajo proceso politrópico:

Cabe destacar que

$$q_{31} - w_{31} \;=\; \mathcal{R}\left[\frac{(\gamma - n)}{(\gamma - 1)(1-n)} - \frac{1}{n-1}\right]\left(T_1 - T_3\right) \;=\; \frac{\mathcal{R}}{\gamma - 1} \;=\; c_v\left(T_1 - T_3\right) \qquad \text{(0.3 pts.)}$$

y efectivamente

$$u_{31} \;=\; c_v\left(T_1 - T_3\right) \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

es el cambio en la energía interna por unidad de masa de un gas ideal. Por lo tanto la pregunta podría responderse más directamente aplicando el primer principio en la forma

$$w_{31} \;=\; q_{13} - u_{31} \;=\; q_{13} - c_v\left(T_1 - T_3\right)\,. \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

■

(d) El nuevo valor de presión se determina mediante

$$P_3' \;=\; P_1\left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{\gamma}\,.$$

Comparando con

$$P_3 \;=\; P_1\left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{n}$$

se observa que

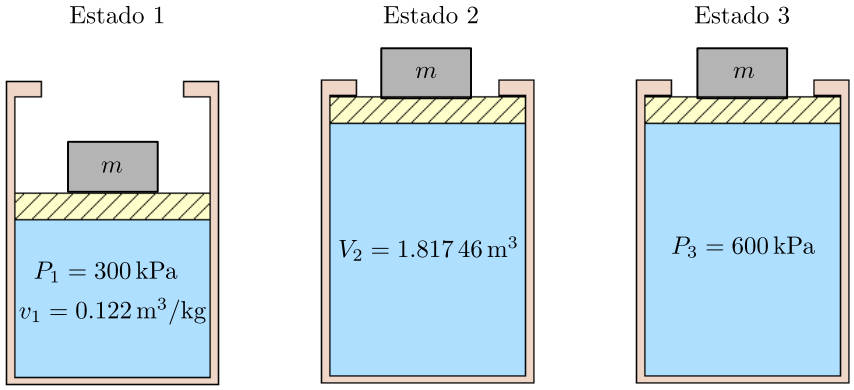
$$\frac{P_3'}{P_3} \;=\; \left(\frac{v_1}{v_3}\right)^{\gamma - n} \;\simeq\; (11.06)^{0{,}08} \;\simeq\; 1.2\,.$$

Por lo tanto $P_3' \simeq 1.2 P_3 > P_3$ aumenta.

1. Argumento en base a comparación de exponentes: 0.3 pts.
2. Decir corectamente que $P_3' > P_3$: 0.2 pts.

■

2. Un sistema pistón–cilindro con topes mecánicos contiene 3.0 kg de agua a $P_1 = 300$ kPa y $v_1 = 0.122$ m^3/kg. El pistón está cargado con pesos fijos y, mientras puede moverse, el agua se mantiene en equilibrio mecánico con el peso del pistón y la presión exterior. Una vez que el pistón alcanza dichos topes, no puede seguir moviéndose.
El agua es calentada lentamente en dos etapas. En el proceso 1–2, el pistón se mueve libremente hasta que el volumen total del sistema alcanza $V_2 = 1.81746$ m^3. En el proceso 2–3, el calentamiento continúa después de que el pistón alcanza los topes. El proceso finaliza cuando la presión alcanza $P_3 = 600$ kPa.



Determine:

a) A qué tipo de procesos corresponden los procesos 1–2 y 2–3. **[0.5 pts.]**

b) La fase del agua, temperatura, volumen total y la energía interna total en el estado 1. **[1.5 pts.]**

c) La fase del agua, temperatura, el volumen específico y la energía interna total en el estado 2. Calcule el trabajo de frontera y el calor transferido durante el proceso 1–2. **[1.5 pts.]**

d) La fase del agua, temperatura y la energía interna total en el estado 3. Calcule el trabajo de frontera y el calor transferido durante el proceso 2–3. **[2.0 pts.]**

e) Determine el trabajo total y el calor total transferido para el proceso completo entre los estados 1 y 3. **[0.5 pts.]**

Suponga que todos los procesos son cuasiestáticos y desprecie cambios en energía cinética y potencial.

a)
Proceso 1–2: Mientras el pistón puede moverse, el agua está en equilibrio mecánico con pesos fijos. Por lo tanto, el proceso 1–2 ocurre a presión constante: isobárico. (0.25 pts.)

Proceso 2–3: Después de que el pistón alcanza los topes, ya no puede moverse. Por lo tanto, el proceso 2–3 ocurre a volumen constante: isocórico. (0.25 pts.)
■

b) Se tiene:

$$P_1 = 300 \text{ kPa}, \qquad v_1 = 0.122 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

A 300 kPa, de la tabla de agua saturada:

$$T_{\text{sat}} = 133.52^\circ\text{C}, \qquad \text{(0.3 pts.)}$$

$$v_f = 0.001073 \text{ m}^3/\text{kg}, \qquad v_g = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Como

$$v_f < v_1 < v_g,$$

el estado 1 corresponde a una mezcla saturada líquido–vapor. (0.3 pts., debe estar el argumento)

El volumen total es:

$$V_1 = mv_1 = (3.0)(0.122)\text{m}^3 = 0.366 \text{ m}^3. \qquad \text{(0.3 pts.)}$$

La calidad es:

$$x_1 = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.122 - 0.001073}{0.60582 - 0.001073} \approx 0.200. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

A 300 kPa, de la tabla:

$$u_f = 561.11 \text{ kJ/kg}, \qquad u_{fg} = 1982.1 \text{ kJ/kg}. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

Entonces:

$$u_1 = u_f + x_1 u_{fg},$$

$$u_1 = 561.11 + (0.200)(1982.1)\text{kJ/kg} = \approx 957.5 \text{ kJ/kg}. \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

La energía interna total es:

$$U_1 = mu_1 = 3.0(957.5)\text{kJ} \approx 2873 \text{ kJ}. \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

■

c) Dado que el proceso 1–2 es isobárico

$$P_2 = P_1 = 300 \text{ kPa}.$$

El volumen total en el estado 2 es:

$$V_2 = 1.81746 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto:

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{1.81746}{3.0}\text{kg} = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

A 300 kPa, de la tabla:

$$v_g = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Como

$$v_2 = v_g,$$

el estado 2 corresponde a vapor saturado. (0.2 pts., debe estar el argumento)

Así,

$$T_2 = 133.52^\circ\text{C}, \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

$$u_2 = u_g = 2543.2 \text{ kJ/kg}, \qquad \text{(0.1 pts.)}$$

$$U_2 = mu_2 = 3.0(2543.2)\text{kJ} = 7629.6 \text{ kJ}. \qquad \text{(0.2 pts.)}$$

El trabajo de frontera durante el proceso 1–2 es:

$$W_{12} = P(V_2 - V_1) = 300(1.81746 - 0.366)\text{kJ} = 435.44 \text{ kJ}. \qquad \text{(0.3 pts.)}$$

Para un sistema cerrado la primera ley nos dice que:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12} = (U_2 - U_1) + W_{12} = (7629.6 - 2873 + 435.44)\text{kJ} \approx 5192 \text{ kJ}. \qquad \text{(0.3 pts.)}$$

■

d) Como el proceso es isocórico

$$V_3 = V_2 = 1.81746 \text{ m}^3,$$

y como es cerrado

$$v_3 = v_2 = 0.60582 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Además, por enunciado:

$$P_3 = 600 \text{ kPa}.$$

A 600 kPa, de la tabla de agua saturada:

$$v_g = 0.31560 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Como

$$v_3 > v_g,$$

el estado 3 corresponde a vapor sobrecalentado (0.4 pts., debe estar el argumento).
De la tabla de vapor sobrecalentado a $P = 0.60$ MPa:

T (°C)	v (m^3/kg)	u (kJ/kg)
500	0.59200	3128.2
600	0.66976	3299.8

Interpolando linealmente para $v_3 = 0.60582$ m^3/kg:

$$T_3 = \left(500 + \frac{0.60582 - 0.59200}{0.66976 - 0.59200}(600 - 500)\right) ^\circ\text{C} \approx 517.8^\circ\text{C}. \quad (0.5 \text{ pts.})$$

La energía interna específica se obtiene de manera análoga:

$$u_3 = \left(3128.2 + \frac{0.60582 - 0.59200}{0.66976 - 0.59200}(3299.8 - 3128.2)\right) \text{kJ/kg} \approx 3158.7 \text{ kJ/kg}. \quad (0.4 \text{ pts.})$$

Por lo tanto:

$$U_3 = mu_3 = 3.0(3158.7)\text{kJ} \approx 9476.1 \text{ kJ}. \quad (0.1 \text{ pts.})$$

Como el volumen permanece constante:

$$W_{23} = 0 \quad (0.3 \text{ pts.})$$

Por la primera ley:

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + W_{23} = U_3 - U_2 = (9476.1 - 7629.6)\text{kJ} \approx 1846.5 \text{ kJ}. \quad (0.3 \text{ pts.})$$

■

e)
El trabajo total es:

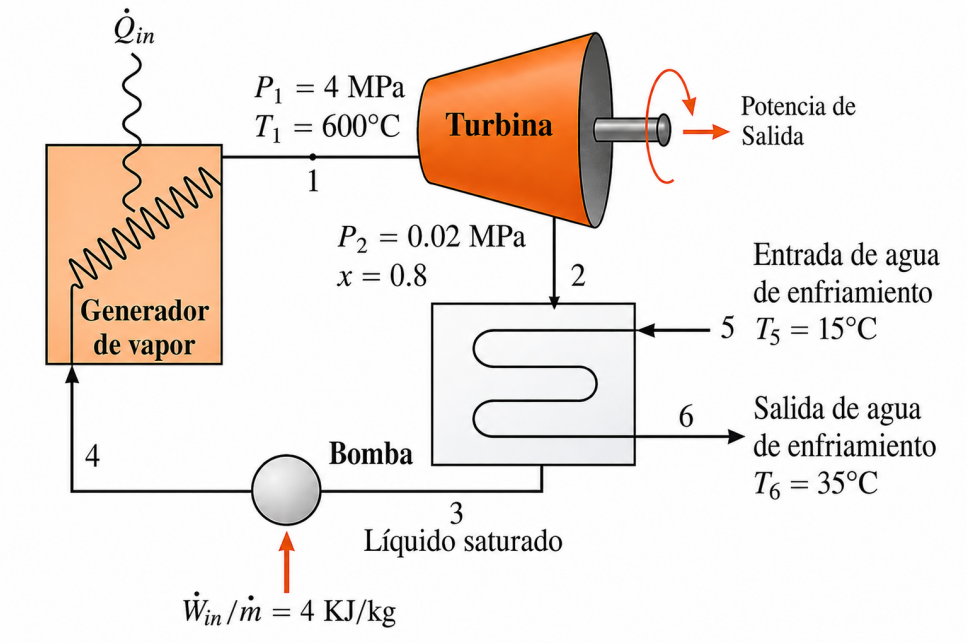
$$W_{\text{tot}} = W_{12} + W_{23} = 435.44\text{kJ} + 0\text{kJ} \approx 435.44 \text{ kJ}. \quad (0.25 \text{ pts.})$$

El calor total transferido es:

$$Q_{\text{tot}} = Q_{12} + Q_{23} = 5192\text{kJ} + 1846.5\text{kJ} \approx 7038.5 \text{ kJ}. \quad (0.25 \text{ pts.})$$

■

3. Considere una central termoeléctrica que opera en estado estacionario, tal como se muestra en la figura.



Todos los dispositivos son adiabáticos, menos el generador de vapor.

El vapor de agua entra a una turbina adiabática en el estado 1 a una presión $P_1 = 4\,\text{MPa}$ y a una temperatura $T_1 = 600\,^\circ\text{C}$.

El vapor se expande en la turbina y sale en el estado 2 a una presión $P_2 = 0.02\,\text{MPa}$, calidad $x = 0.8$ y caudal másico $\dot{m}_2 = 110\,\text{kg/s}$. Posteriormente, el fluído ingresa al condensador, el cual utiliza agua líquida de enfriamiento que entra a una temperatura $T_5 = 15\,^\circ\text{C}$ y sale a temperatura $T_6 = 35\,^\circ\text{C}$.

El fluido entra a la bomba como líquido saturado a una presión $P_3 = P_2$ y consume una potencia específica $\dot{W}_{\text{bomba}}/\dot{m} = 4\,\text{kJ/kg}$.

Determine:

a) La potencia desarrollada por la turbina $\dot{W}_{\text{turbina}}$. **[2.0 pts.]**

b) El caudal másico de enfriamiento $\dot{m}_{\text{enfriamiento}}$. **[2.0 pts.]**

c) La tasa de transferencia de calor entre el generador de vapor y sus alrededores $\dot{Q}$. **[2.0 pts.]**

a) Consideramos que la opera en estado estacionario, por lo que $dE/dt = 0$, $Q_{\text{in}} = 0 = Q_{\text{out}}$. Además, se desprecia la energía cinética y potencial de las entradas y salidas, (0.25 pts.) por lo que la conservación de energía queda:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{in}} &= \dot{E}_{\text{out}} \\ \dot{m}_1 h_1 &= \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{\text{out}} \\ \dot{W}_{\text{out}} &= \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2. \end{aligned} \qquad 0.5pts.$$

La turbina tiene sólo una entrada y salida en estado estacionario, por lo que $\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$ (0.25 pts.). Las entalpías de la entrada y salida las determinamos:

- Entrada (estado 1): $P_1 = 4\,\text{MPa}$ y a una temperatura $T_1 = 600\,^\circ\text{C}$. Tabla A-6 se verifica que está en estado de vapor sobrecalentado, luego $h_1 = 3674.9\,\text{kJ/kg}$. 0.25 pts.
- Salida (estado 2): $P_2 = 0.02\,\text{MPa}$ y calidad $x = 0.8$. De Tabla A-5:

  $$h_2 = h_f + x h_{fg} = (251.42 + 0.8 \cdot 2357.5)\,\text{kJ/kg} = 2137.42\,\text{kJ/kg} \qquad 0.5pts.$$

  Finalmente, la potencia de la turbina es:

  $$\dot{W}_{\text{out}} = \dot{m}(h_1 - h_2) = (110\,\text{kg/s})(1537.48\,\text{kJ/kg}) = 169122.8\,\text{kW} \approx 169.1\,\text{MW} \qquad 0.25pts.$$

b) Consideramos dos entradas (2 y 5), dos salidas (3 y 6) en el condensador. En este casoel volumen de control es adiabático, opera en estado estacionario, y los caudales másicos se relacionan:

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 &= \dot{m}_3 = \dot{m} = 110\,\text{kg/s} \\ \dot{m}_5 &= \dot{m}_6 = \dot{m}_{\text{enfriamiento}} \end{aligned} \qquad 0.5pts.$$

Luego, el balance de energía queda:

$$\begin{aligned} \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_5 h_5 &= \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_6 h_6 \\ \dot{m}(h_2 - h_3) &= \dot{m}_{\text{enfriamiento}}(h_6 - h_5) \\ \dot{m}_{\text{enfriamiento}} &= \dot{m}\frac{(h_2 - h_3)}{(h_6 - h_5)} \end{aligned} \qquad 0.5pts.$$

Para determinar las entalpías consideremos que los estados 5 y 6 son agua líquida, la cual se puede aproximar a líquido saturado a la misma temperatura 0.15 pts.. Además, el estado 3 es de líquido saturado a presión $P_3 = P_2 = 0.02\,\text{MPa}$ y el 2 lo determinamos en el inciso anterior, entonces de la Tabla A-4 y A-5:

$$\begin{aligned} h_5 &= h_{\text{sat},15\,^\circ\text{C}} = 62.982\,\text{kJ/kg} && 0.15pts., \\ h_6 &= h_{\text{sat},35\,^\circ\text{C}} = 146.64\,\text{kJ/kg} && 0.15pts., \\ h_3 &= h_{f,0.02\,\text{MPa}} = 251.42\,\text{kJ/kg} && 0.15pts.. \end{aligned}$$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{\text{enfriamiento}} = 110\,\text{kg/s} \cdot \frac{(2137.42 - 251.42)}{(146.64 - 62.982)} = 2479.86\,\text{kg/s} \qquad 0.4pts..$$

c) Consideremos el balance de energía en el generador de vapor que opera de manera estacionaria ($\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$):

$$\begin{aligned} \dot{m}_4 h_4 + \dot{Q} &= \dot{m}_1 h_1 \\ \dot{Q} &= \dot{m}(h_1 - h_4) \end{aligned} \qquad 0.7pts..$$

Analizando el balance de energía en la bomba:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{in}} &= \dot{E}_{\text{out}} \\ \dot{m}_3 h_3 + \dot{W} &= \dot{m}_4 h_4 \\ h_4 &= h_3 + \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \end{aligned} \qquad 0.7pts..$$

Reemplazando en el balance del generador:

$$\dot{Q} = \dot{m}\left(h_1 - h_3 - \frac{\dot{W}}{\dot{m}}\right) = 110\,\text{kg/s}\,(3674.9 - 251.42 - 4)\,\text{kJ/kg} = 376142\,\text{kJ/s} = 376\,\text{MW} \qquad 0.6pts..$$

■