Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos
IIQ1003 - Termodinámica

Pauta Control 1

P1) **(6 puntos)** Se tiene un proceso cerrado que utiliza 250 mol de agua para producir trabajo. En este, el agua está inicialmente a 6 bar y 185°C (Estado 1), la que sufre los siguientes procesos **secuenciales**:

- El agua se calienta a volumen constante hasta 10 bar.
- El agua luego se enfría de manera isobárica hasta que se obtiene vapor saturado.
- Posteriormente el sistema se enfría de manera isocórica hasta 150°C.
- Finalmente, el sistema sufre una expansión isotérmica hasta los 2 bar.

Por otro lado, se sabe que en en el proceso isotérmico, el agua se rige por la relación P-V de la ecuación 1, donde v es el volumen específico y $A_0 = 195.45$ (kPa $\cdot$ m^3/kg $\cdot$ K), $A_1 = 2.1366$ (kPa $\cdot$ m^6/kg^2) y $b = 0.001171$ (m^3/kg).

$$P = \frac{A_0}{v - b} - \frac{A_1}{v(v + b)} \tag{1}$$

a) **(2.5 puntos)** Determine la temperatura, presión, volumen específico y energía interna específica de cada estado.

b) **(1 punto)** Realice un diagrama P-V y un diagrama T-V denotado los procesos y la localización de cada estado.

c) **(2.2 puntos)** Calcule el trabajo y el calor para cada proceso y el trabajo global.

d) **(0.3 pts)** ¿Cómo cambiaría su respuesta si el ultimo proceso fuera adiabático y no isotérmico? Comente brevemente

Solución

a)

Los procesos que ocurren son los siguientes:

- 1-2: Calentamiento isocórico
- 2-3: Enfriamiento isobárico

- 3-4: Enfriamiento iscórico
- 4-5: Expansión isotérmica

Estado 1:

A esta presión y temperatura se esta en VSC, por medio de interpolación doble en la tabla A-4 se obtiene:

$$P_1 = 6 \text{ bar}, \ T_1 = 185°C \Longrightarrow v_1 = 0.34905 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad u_1 = 2613.28 \text{ kJ/kg}$$

0.6 pts, debe mostrar desarrollo de la interpolación

Estado 2:

Como el calentamiento es isocórico hasta 10 bar, $v_2 = v_1 = 0.34905$ m^3/kg. Los valores de temperatura y energía interna se obtienen por interpolación simple en la tabla A-4, entrando por presión y volumen.

$$P_2 = 10 \text{ bar}, \ v_2 = 0.34905 \text{ m}^3/\text{kg} \Longrightarrow T_2 = 489.33°C, \ u_2 = 3106.47 \text{ kJ/kg}$$

0.5 pts, debe mostrar desarrollo de la interpolación

Estado 3:

Como el enfriamiento es isobárico hasta vapor saturado, $P_3 = P_2 = 10$. Los datos se obtienen directamente de la tabla A-3:

$$T_3 = 179.9°C, \ v_3 = 0.1944 \text{ m}^3/\text{kg}, \ u_3 = 2583.6 \text{ kJ/kg}$$

0.3 pts

Estado 4:

Como el enfriamiento es isocórico hasta $T_4 = 150°C$, $v_4 = v_3 = 0.1944$ m^3/kg. Entrado por temperatura y volumen en la Tabla A-1, se ve que se está en mezcla líquido-vapor con $P_4 = 4.758$ bar. Luego se utiliza la regla de la palanca para obtener la calidad:

$$v_4 = v_l + x_4(v_v - v_l) \longrightarrow x_4 = \frac{v_4 - v_l}{v_v - v_l} = \frac{0.1944 - 1.0905 \times 10^{-3}}{0.3928 - 1.0905 \times 10^{-3}} = 0.494$$

Luego para la energía:

$$u_4 = u_l + x_4(u_v - u_l) = 631.68 + 0.494 \cdot (2559.5 - 631.68) = 1583.06 \text{ kJ/kg}$$

0.5 pts, debe mostrar el desarrollo para la calidad

Estado 5:

Finalmente como la expansión es isotérmica, $T_5 = T_4 = 150°\text{C}$ hasta los $P - 5 = 2$ bar. Por medio de interpolación doble, entrando por presión y temperatura en la Tabla A-4:

$$P_5 = 2 \text{ bar}, T_5 = 150°C \Longrightarrow v_5 = 1.0678 \text{ m}^3/\text{kg}, u_5 = 2576.7 \text{ kJ/kg}$$

0.6 pts, debe mostrar desarrollo de la interpolación

b)Los diagramas son los siguientes:

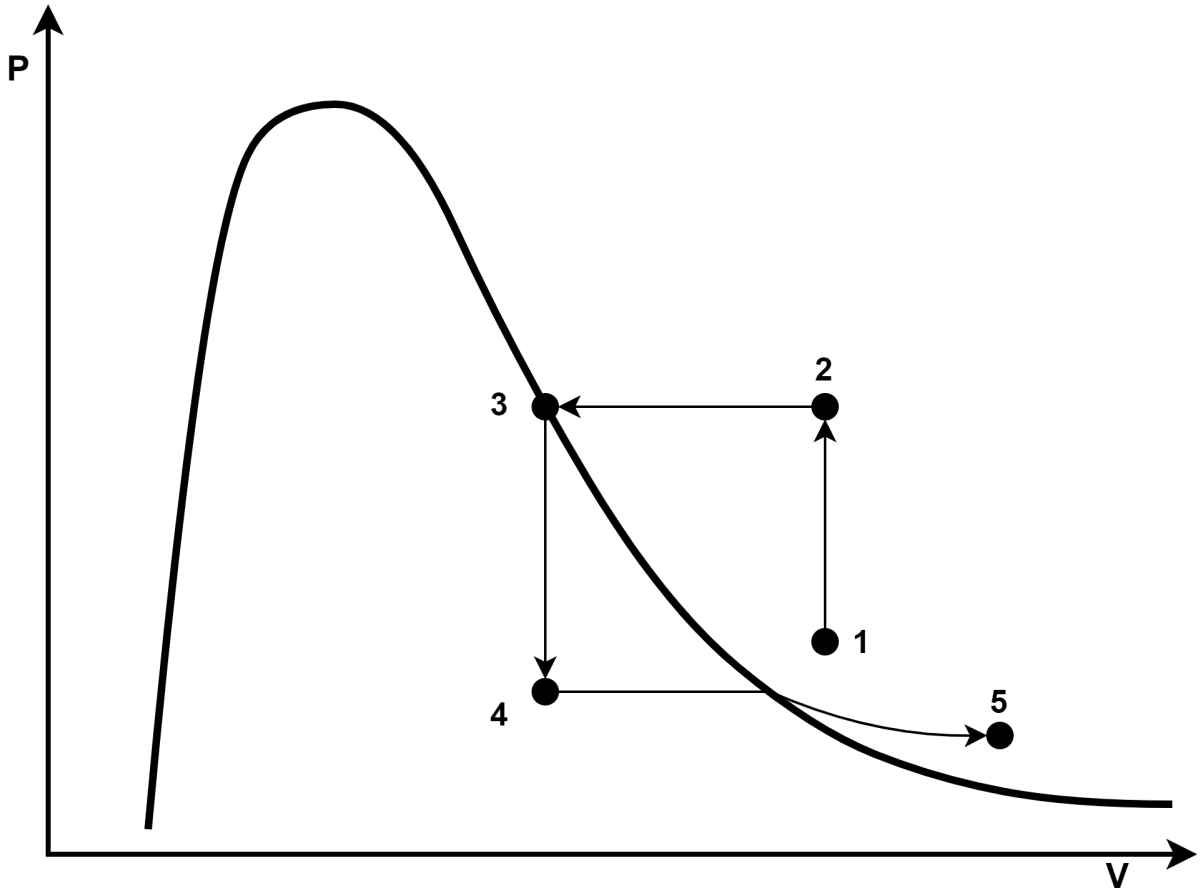


Figura 1: Diagrama PV de la pregunta 1

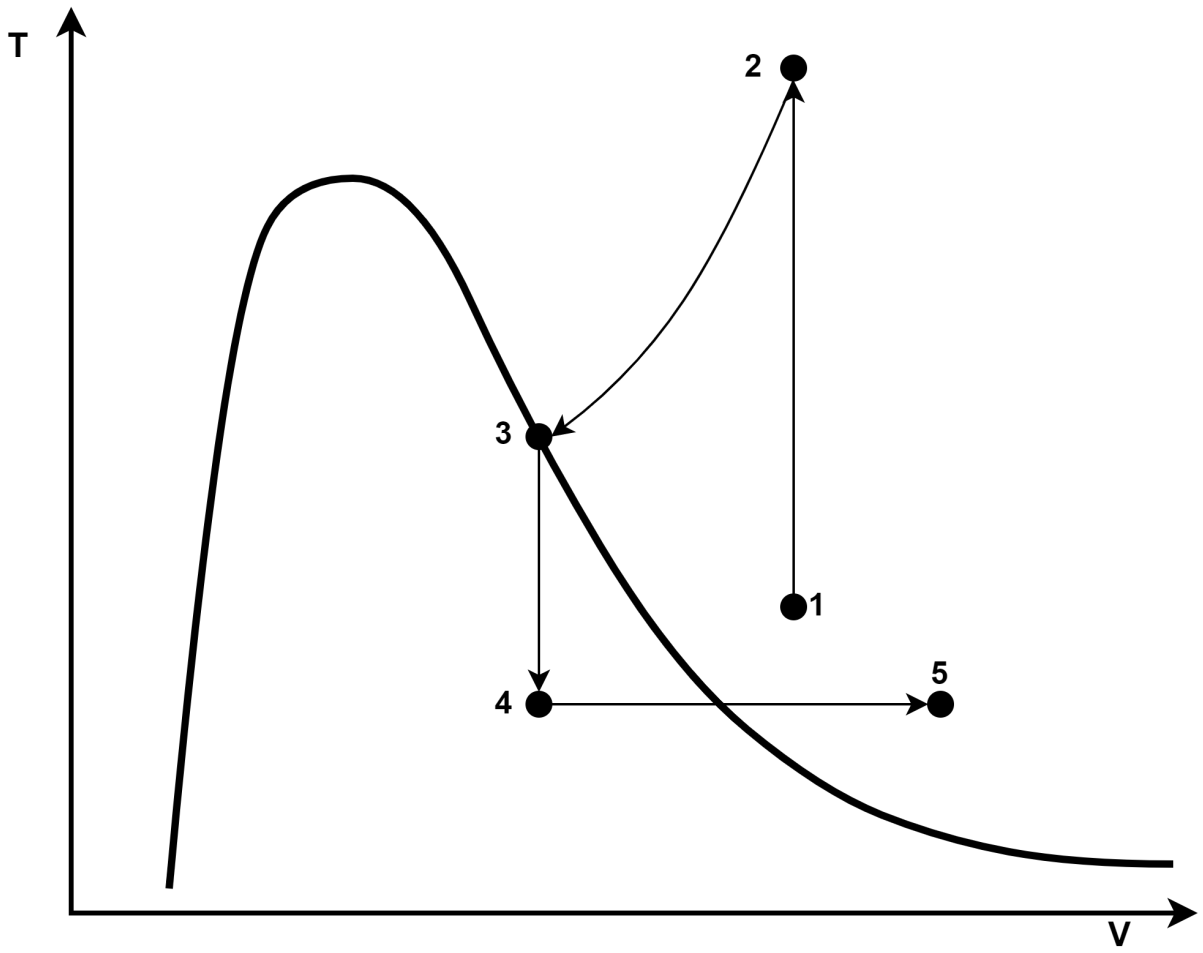


Figura 2: Diagrama TV de la pregunta 1

0.5 pts por el diagrama PV correcto y 0.5 pts por el TV. Los diagramas deben incluir la campana. Se debe denotar cada estado en su posición aproximada y los procesos y su dirección se denotan correctamente.

c)

Primero se debe calcular la masa de agua:

$$m = n \cdot PM = 250 \text{ mol} \times 18 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} = 4.5 \text{ kg}$$

0.2 pts

Para el calor y trabajo en cada proceso:

Proceso 1-2: Como es un proceso isocórico:

$$W = -m \int P dv = 0$$

$$Q = \Delta U = m(u_2 - u_1) = 2219 \text{ kJ}$$

0.3 pts

Proceso 2-3: Enfriamiento isobárico, recordar pasar la presión a kPa para unidades en kJ:

$$W = -m \int P dv = -m \cdot P(v_2 - v_1) = -4.5 \cdot 10 \times 10^2 (0.1944 - 0.34905) = 696 \text{ kJ}$$

$$Q = \Delta U - W = m(u_3 - u_2) - W = -3049 \text{ kJ}$$

0.6 pts

Proceso 3-4: Como es un proceso isocórico:

$$W = -m \int P dv = 0 \text{ kJ}$$

$$Q = \Delta U = m(u_4 - u_3) = -4502 \text{ kJ}$$

0.3 pts

Proceso 4-5: Como es un proceso isotérmico no hay una simplificación directa. Sin embargo se puede utilizar la relación dad por la ecuación 1 en la integral de trabajo:

$$W = -m \int P dv = -m \int_{v_4}^{v_5} \left(\frac{A_0}{v - b} - \frac{A_1}{v(v + b)} \right) dv$$

El primer término se integra directamente, y para el segundo se debe aplicar fracciones parciales. Luego el termino de trabajo queda como:

$$W = -m \left[A_0 \ln(v - b) - A_1 \left(\frac{\ln v}{b} - \frac{\ln(v + b}{b} \right) \right] \Bigg|_{v_4}^{v_5}$$

$$W = -m \left[A_0 \ln \left(\frac{v_5 - b}{v_4 - b} \right) - \frac{A_1}{b} \left(\ln \left(\frac{v_5}{v_4} \right) - \ln \left(\frac{v_5 + b}{v_4 + b} \right) \right) \right] = -1462 \text{ kJ}$$

0.5 pts por el trabajo, debe mostrar desarrollo de la integral o plantearla y resolverla en Wolfram. En este último debe adjuntar el código.

Luego:

$$Q = \Delta U - W = m(u_5 - u_4) - W = 5934 \text{ kJ}$$

0.3 pts

d) Si es que el proceso hubiese sido adiabático, no hubiera habido transferencia de calor, es decir, $Q = 0$. Esto llevaría que todo el cambio de energía interna se convertiría en trabajo, lo que llevaría una menor cantidad de trabajo. Además en vez de pasar a una fase de VSC se hubiese terminado dentro de la campana de mezcla liquido vapor, con una mezcla que tendría una calidad distinta al estado 4.

0.3 pts por la discusión. Debe comentar que $Q = 0$ y por ende $W = \Delta U$. Además debe indicar la nueva fase del estado.