Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos
IIQ1003 - Termodinámica 2023-1

Pauta Tarea 1

Fecha de entrega: 2 de abril a través de CANVAS.

La tarea debe ser trabajada en grupos de a 2 o 3 personas. Tiene que ser entregada con una portada la cual indique el nombre de los integrantes del grupo, el número de grupo, el curso y la fecha de entrega. **Se descontaran 2 décimas si no se cumple con el formato pedido.**

Pregunta 1

Un sistema consta de 200 g de vapor de agua contenido en un conjunto cilindro-pistón vertical, con un pistón que tiene un radio de 30 cm y está equipado con topes que evitan que descienda más allá de cierto nivel. El pistón tiene una masa de 100 kg y la presión atmosférica es de 101 kPa. Inicialmente, el sistema está en reposo, con el pistón ubicado a una altura de 140 cm desde la base del cilindro (estado 1). Sin embargo, debido a un descuido, se derrama aceite sobre el pistón, lo que hace que descienda 30 cm hasta que se detiene en los topes, llevando al vapor de agua a saturación (estado 2).

Posteriormente, continúa el vertido de aceite, elevando su nivel 80 cm más que en el estado anterior (estado 3). Luego, mediante un proceso isotérmico, se retira todo el aceite vertido sobre el pistón (estado 4). Finalmente, se calienta el vapor de agua hasta alcanzar una temperatura de 150°C mediante un proceso isobárico (estado 5). Se pide:

a) Determinar la presión interna, temperatura, volumen, fase y altura que se encuentra el pistón en cada estado.

b) Realice un gráfico cualitativo P-V que muestre los estados y los procesos que ocurren.

Hint: Considere la densidad del aceite de $\rho_{\text{aceite}} = 920$ kg/m^3 **y la gravedad = 9.81** m/s^2**.**

Solución Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

a) Primero se calcula el área transversal del cilindro, donde:

$$A = r^2 \cdot \pi = 0.3^2 \cdot \pi = 0.2827 \text{ m}^2$$

Para el estado 1 se calcula la presión interna del sistema:

$$P_{interna} = P_{pistn} + P_{atm}$$
$$P_{piston} = \frac{\sum F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{100 \cdot 9.81}{0.2827} = 0.035 \text{ bar}$$
$$P_{atm} = 101 \text{ kPa} = 1.01 \text{ bar}$$
$$P_1 = 1.045 \text{ bar}$$

Luego, para el volumen se calcula con el área del cilindro y la altura que se encuentra el pistón. Se tiene:

$$V_1 = 1.4 \cdot 0.2827 = 0.3958 \text{ m}^3$$
$$v_1 = \frac{0.3958}{0.2} = 1.9792 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Luego, para la temperatura se interpola doble en la tabla A4 ya que es un vapor sobrecalentado. Se tiene:

$$T_1 = 178.008 \text{ °C}$$

Estado 1:

- Fase: Vapor sobrecalentado
- P_1: 1.045 bar
- T_1: 178 °C
- V_1: 0.3958 m^3
- h_1: 140 cm

Para el estado 2, se sabe que la altura del pistón será de:

$$h_2 = h_1 - 30 = 110 \text{ cm}$$

Por lo que calculando el volumen se tiene:

$$V_2 = A \cdot h_2 = 0.311 \text{ m}^3$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = 1.555 \ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Con estos datos se interpola doble en la tabla A3 ya que es un vapor saturado. Se tiene:

$$P_2 = 1.130 \text{ bar}$$

$$T_2 = 102.686 \ ^\circ\text{C}$$

Estado 2:

- Fase: Vapor saturado
- P_2: 1.130 bar
- T_2: 102.686 °C
- V_2: 0.311 m^3
- h_2: 110 cm

Aqui se considera que los topes se quitan pero aun asi, el pistón no baja del nivel. Si se considera que los topes se mantienen y que, por lo tanto, ellos se llevan toda la presión ejercida por el aceite, seguir la pauta azul.

Para el estado 3, se sigue agregando aceite pero el pistón al ya llegar a los topes, el volumen no se modifica, por lo que el proceso 2-3 ocurre un proceso isocórico.

La presión del estado 4 es:

$$P_{interna} = P_2 + P_{aceite}$$

$$P_{aceite} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{0.8 \cdot 0.2827 \cdot 920 \cdot 9.81}{0.2827} = 0.0722 \text{ bar}$$

$$P_3 = 1.202 \text{ bar}$$

Luego, interpolando se tiene:

$$T_3 = 121.576 \ ^\circ\text{C}$$

Estado 3:

- Fase: Vapor Sobrecalentado
- P_3: 1.202 bar

- T_3: 121.576 °C
- V_3: 0.311 m^3
- h_3: 110 cm

Para el estado 3, el volumen y la presión se mantiene, ya que esta se la lleva los topes, por lo tanto, se tiene:
Estado 3:

- Fase: Vapor Sat.
- P_3: 1.202 bar
- T_3: 102.686°C
- V_3: 0.311 m^3
- h_3: 110 cm

Luego, para el estado 4, se tiene un proceso isotérmico y se retira el aceite, por lo que la presión varía al interior del sistema. Se tiene:

$$P_{interna} = P_{pistn} + P_{atm}$$

$$P_{piston} = \frac{\sum F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{100 \cdot 9.81}{0.2827} = 0.035 \text{ bar}$$

$$P_{atm} = 101 \text{ kPa} = 1.01 \text{ bar}$$

$$P_4 = 1.045 \text{ bar}$$

Luego con la temperatura y presión se interpola el volumen de la tabla A4,

$$v_4 = 1.7467 \ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_4 = v_4 \cdot m = 0.349 \text{ m}^3$$

Finalmente, la altura del pistón sería:

$$h_4 = \frac{V_4}{A} = 123.5 \text{ cm}$$

Estado 4:

- Fase: Vapor sobrecalentado

- P_4: 1.045 bar
- T_4: 121.576 °C
- V_4: 0.349 m^3
- h_4: 123.5 cm

Para el estado 4, la presión disminuye, por lo que se tiene que interpolar en la tabla A4 para obtener el volumen

$$v_4 = 1.654 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_4 = v_4 \cdot m = 0.331 \ m^3$$

Finalmente, la altura del pistón sería:

$$h_4 = \frac{V_4}{A} = 116.9 \text{ cm}$$

Estado 4:

- Fase: Vapor Sobrecalentado.
- P_3: 1.045 bar
- T_3: 102.686 °C
- V_3: 0.331 m^3
- h_3: 116.9 cm

Luego para el estado 5 los resultados vuelven a ser los mismos.

Finalmenmte, el estado 5 se tiene un proceso isobárico y se alcanza los 150 °C. Por lo tanto, se interpola en la tabla A4,

$$v_5 = 1.8866 \ \frac{m^3}{kg}$$

$$V_5 = v_5 \cdot m = 0.377 \ m^3$$

Finalmente, la altura del pistón sería:

$$h_5 = \frac{V_5}{A} = 133.45\text{cm}$$

Finalmente, se tiene:

Estado 5:

- Fase: Vapor Sobrecalentado
- P_5: 1.045 bar
- T_5: 150 °C
- V_5: 0.377 m^3
- h_5: 133.45 cm

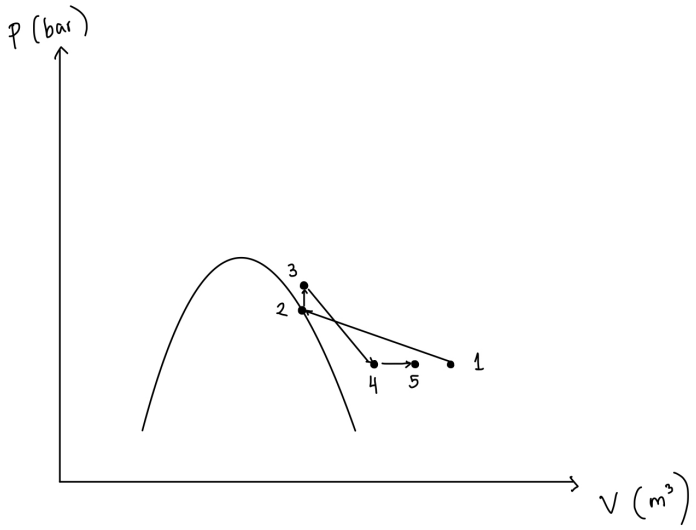


Figura 1: Diagrama P-V

b)

Debe tener los ejes con las unidades respectivas, la campana, los estados y sus procesos con dirección.

Pregunta 2

Un sistema cilindro-pistón contiene inicialmente 115 moles de propano a una presión de 20 bar y una temperatura de 60°C. El propano experimenta una expansión isoentálpica hasta alcanzar los 11 bar. Posteriormente, se enfría en un proceso isobárico hasta alcanzar una calidad del 70 %. Finalmente, continúa enfriándose isocóricamente hasta llegar a los 20°C. Se pide:

a) Determinar las consideraciones necesarias en cuanto al volumen, presión y temperatura que debe cumplir el sistema cilindro-pistón para llevar a cabo este proceso.

b) Realice un gráfico cualitativo P-V que muestre los estados y los procesos que ocurren.

Solución Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

Primero se calcula la cantidad de kg que hay contenido en el sistema.

$$m = PM \cdot n = 0.0441 \cdot 115 = 5.0715 \text{ kg}$$

Luego, desde la tabla de propano del libro de Moran Shapiro, para el estado 1 se tiene:

$$v_1 = 0.02216 \ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_1 = v_1 \cdot m = 0.1124 \ \text{m}^3$$

$$h_1 = 529.1 \ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estado 1:

- Fase: Vapor sobrecalentado
- P_1: 20 bar
- T_1: 60 °C
- V_1: 0.1124 m^3

Luego para el estado 2 se tiene que la entalpía es igual a la del estado 1. Sabiendo la presión se interpola en la tabla de vapor saturado para obtener la temperatura y el volumen específico.

$$T_2 = 43.97 \ ^\circ\text{C}$$

$$v_2 = 0.0457 \ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_2 = v_2 \cdot m = 0.2317 \ \text{m}^3$$

Estado 2:

- Fase: Vapor sobrecalentado
- P_2: 11 bar
- T_2: 43.97 °C
- V_2: 0.2317 m^3

Luego, para el estado 3 al ser un proceso isobárico la presión con la calidad se obtiene que:

$$T_3 = 30.8 \ ^\circ\text{C}$$

$$v_3 = v_g \cdot x + v_l \cdot (1 - x) = 0.029839 \ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_3 = v_3 \cdot m = 0.1513 \ \text{m}^3$$

Estado 3:

- Fase: Mezcla Líquido Vapor
- P_3: 11 bar
- T_3: 30.8 °C
- V_3: 0.1513 m^3

Luego, para el estado 4 se tiene el mismo volumen y alcanza los 20 °C, con eso se sabe que se tiene una mezcla líquido vapor, con esto se calcula la calidad:

$$x = \frac{v_5 - v_l}{v_g - v_l} = 0.52$$

Luego, interpolando en la tabla, se tiene que

$$P_4 = 8.362 \ \text{bar}$$

Estado 4:

- Fase: Mezcla Líquido Vapor
- P_4: 8.362 bar
- T_4: 20 °C
- V_4: 0.1513 m^3

Con esto se tiene que el e sistema cilindro pistón debe tener una capacidad de almenos 0.2317 m^3, también tiene que tener la capacidad de tener una temperatura entre los 20 y los 60 °C. Finalmente, tiene que ser capaz de mantener las presiones al menos entre 20 y 8.362 bar.

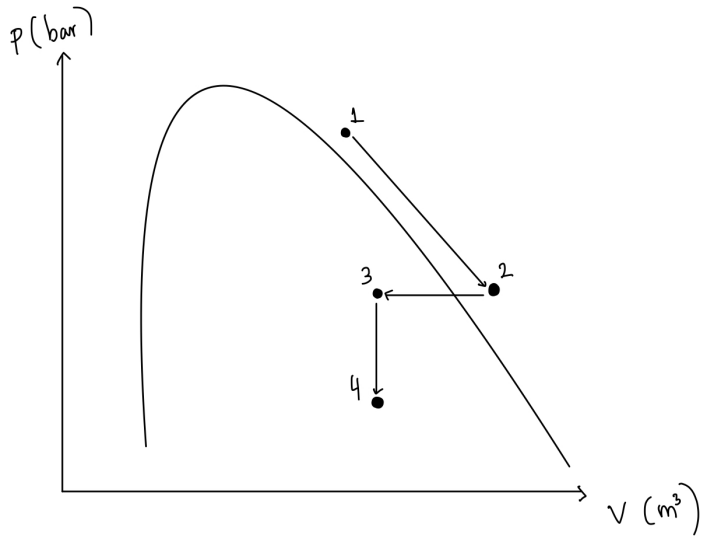


Figura 2: Diagrama P-V