

Nombre del docente: Nedher Sanchez Ramirez

Alumno:

Apellidos: _____ Nombres: _____

Sección: _____ Fecha: 11/05/2026

Nota:

Indicaciones:

La duración es de 100 minutos.

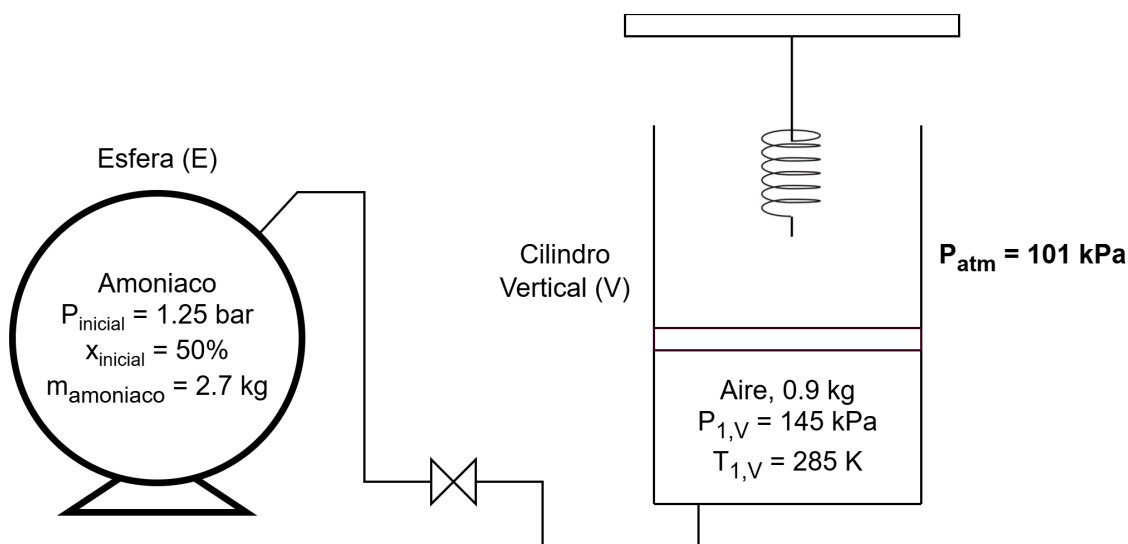
Se permite el uso de calculadora científica, tablas de propiedades termodinámicas y un formulario de 1 hoja (dos páginas) escrito a mano.

PREGUNTA 1 (máximo 20 puntos)

Se analiza un sistema compuesto por dos recipientes interconectados que contienen amoníaco y aire (gas ideal). Los fluidos experimentan una serie de procesos termodinámicos secuenciales y **cuasiestáticos**.

Descripción del sistema:

- Un tanque esférico (E) **rígido** que contiene inicialmente $m_{\text{amoníaco}} = 2.7 \text{ kg}$ amoníaco (*ammonia*) a $P_{\text{inicial, E}} = 125 \text{ kPa}$ y una calidad de $x_{\text{inicial, E}} = 50\%$. Las paredes de la esfera son adiabáticas, y dentro se tiene una resistencia eléctrica.
- Un cilindro vertical (V) con pistón móvil de espesor despreciable que contiene $m_{\text{aire}} = 0.9 \text{ kg}$ de aire inicialmente a $P_{1V} = 145 \text{ kPa}$ y $T_{1V} = 285 \text{ K}$. El área transversal del pistón es de 0.025 m^2 .
- Ambos recipientes están conectados mediante una válvula que permite el paso del amoníaco desde la esfera hacia el cilindro, pero no en sentido contrario. La presión atmosférica es $P_{\text{atm}} = 101 \text{ kPa}$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.



Descripción de los procesos:

Proceso 1-2: Expansión politrópica del aire en el cilindro

Mediante una fuerza variable se eleva verticalmente el pistón en el cilindro, de tal forma que la expansión del aire sigue un camino politrópico. El proceso finaliza cuando el aire al interior del cilindro alcanza la presión de $P_{2v} = 105 \text{ kPa}$ y $T_{2v} = 220 \text{ K}$. En ese punto, el pistón entra en contacto con el resorte, **pero no lo deforma**.

Proceso 2-3: Calentamiento y primera compresión del resorte

Se introduce calor y el pistón continúa subiendo, comprimiendo el resorte **lineal**. El ascenso del pistón termina cuando el aire alcanza la presión de $P_{3v} = 200 \text{ kPa}$ y $T_{3v} = 500 \text{ K}$.

Proceso 3-4: Calentamiento del amoníaco en la esfera rígida y adiabática.

Se enciende la resistencia eléctrica y se transfiere energía al amoníaco hasta que la temperatura alcanza el valor de $T_{4E} = -14 \text{ °C}$.

Proceso 4-5: Transferencia de amoníaco, calentamiento de mezcla de gases ideales y segunda compresión del resorte en el cilindro vertical.

Se abre la válvula y fluyen **0.035 kmol de amoníaco desde la esfera** hacia el cilindro. Durante este proceso se calienta el cilindro hasta que el volumen ocupado por la mezcla es de $V_{5v} = 0.72 \text{ m}^3$. Durante este proceso, el resorte sigue comprimiéndose.

Proceso 5-6: Calentamiento final de la mezcla y tercera compresión del resorte

La mezcla se calienta **hasta** ocupar un volumen de $V_{6v} = 1 \text{ m}^3$. Durante este proceso, el resorte sigue comprimiéndose.

Información adicional:

- Utilice la tabla A-22 para calcular las propiedades del aire hasta el estado 3 (calentamiento y primera compresión del resorte).
- **Para el estado 5 y el proceso 5–6, la mezcla aire–amoníaco se modela como mezcla de gases ideales.**
- Utilice las capacidades caloríficas a volumen constante constantes e iguales a $c_{v, \text{aire}} = 0.721 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ y $c_{v, \text{amoníaco}} = 1.664 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ para el proceso 5-6.

Pregunta 1A: Para el proceso 1-2, se le pide (0.65 puntos c/u):

- La masa del pistón en el estado 1 (kg)
- El volumen del aire V_{1V} en el estado 1 (m^3)
- La energía interna específica u_{1V} en el estado 1 (kJ/kg)
- El volumen del aire V_{2V} en el estado 2 (m^3)
- La energía interna específica u_{2V} en el estado 2 (kJ/kg)
- El coeficiente politrópico de la expansión
- El trabajo W_{1V-2V} durante el proceso 1-2 (kJ)
- El calor Q_{1V-2V} durante el proceso 1-2 (kJ)

$$P_{1V}A = P_{atm}A + m_{pistón}g$$

$$145 \times 0.025 = 101 \times 0.025 + \frac{m_{pistón} \times 9.81}{1000}$$

$$m_{pistón} = 112.13048 \text{ kg}$$

$$V_{1V} = \frac{m_{aire}RT_{1V}}{P_{1V}}$$

$$V_{1V} = \frac{0.9 \times \left(\frac{8.314}{28.97}\right) \times 285}{145}$$

$$V_{1V} = 0.50767 \text{ m}^3$$

$$u_{1V} = 203.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V_{2V} = \frac{m_{aire}RT_{2V}}{P_{2V}}$$

$$V_{2V} = \frac{0.9 \times \left(\frac{8.314}{28.97}\right) \times 220}{105}$$

$$V_{2V} = 0.54118 \text{ m}^3$$

$$u_{2V} = 156.82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_{1V}V_{1V}^n = P_{2V}V_{2V}^n$$

$$145 \times 0.50767^n = 105 \times 0.54118^n$$

$$n = 5.05108$$

$$W_{1V-2V} = \frac{P_{1V}V_{1V} - P_{2V}V_{2V}}{n-1}$$

$$W_{1V-2V} = \frac{145 \times 0.50767 - 105 \times 0.54118}{5.05108 - 1}$$

$$W_{1V-2V} = 4.14440 \text{ kJ}$$

$$\Delta U_{1V-2V} = Q_{1V-2V} - W_{1V-2V}$$

$$m(u_{2V} - u_{1V}) = Q_{1V-2V} - W_{1V-2V}$$

$$0.9 \times (156.82 - 203.33) = Q_{1V-2V} - 4.14440$$

$$Q_{1V-2V} = -37.71460 \text{ kJ}$$

Pregunta 1B: Para el proceso 2-3, se le pide (0.65 puntos c/u):

- El volumen del aire V_{3V} en el estado 3 (m^3)
- La energía interna específica u_{3V} en el estado 3 (kJ/kg)
- La constante del resorte (N/m)
- El trabajo W_{2V-3V} durante el proceso 2-3 (kJ)
- El calor Q_{2V-3V} durante el proceso 2-3 (kJ)

$$V_{3V} = \frac{m_{aire} RT_{3V}}{P_{3V}}$$

$$V_{3V} = \frac{0.9 \times \left(\frac{8.314}{28.97} \right) \times 500}{200}$$

$$V_{3V} = 0.64572 m^3$$

$$u_{3V} = 359.49 \frac{kJ}{kg}$$

$$P_{3V} A = P_{atm} A + m_{pistón} g + k \Delta x_{23}$$

$$200 \times 10^3 \times 0.025 = 145 \times 10^3 \times 0.025 + k \times \frac{0.64572 - 0.54118}{0.025}$$

$$k = 328.8215 N/m$$

$$W_{2V-3V} = \frac{P_{2V} + P_{3V}}{2} \times (V_{3V} - V_{2V})$$

$$W_{2V-3V} = \frac{105 + 200}{2} \times (0.64572 - 0.54118)$$

$$W_{2V-3V} = 15.94235 kJ$$

$$\Delta U_{2V-3V} = Q_{2V-3V} - W_{2V-3V}$$

$$m(u_{3V} - u_{2V}) = Q_{2V-3V} - W_{2V-3V}$$

$$0.9 \times (359.49 - 156.82) = Q_{2V-3V} - 15.94235$$

$$Q_{2V-3V} = 198.34535 kJ$$

Pregunta 1C: Para el proceso 3-4 en la esfera, considerando que $P_{3E} = 1.25 \text{ bar}$, $X_{3E} = 0.5$, se le pide (0.65 puntos c/u):

- La temperatura del amoníaco T_{3E} en el estado 3 ($^{\circ}\text{C}$)
- El volumen específico del amoníaco v_{3E} en el estado 3 (m^3/kg)
- La energía interna específica u_{3E} en el estado 3 (kJ/kg)
- El volumen específico del amoníaco v_{4E} en el estado 4 (m^3/kg)
- La presión del amoníaco P_{4E} en el estado 4 (bar)
- La calidad x_{4E} del amoníaco en el estado 4 (%)
- La energía interna específica u_{4E} en el estado 4 (kJ/kg)
- El calor Q_{3E-4E} durante el proceso 3-4 (kJ)
- El trabajo **neto** W_{3E-4E} durante el proceso 3-4 (kJ). Recuerde que trabajo neto incluye los diferentes tipos de trabajo.

$$T_{3E} = T_{\text{sat}@1.25\text{bar}} = -29.07^{\circ}\text{C}$$

$$v_{3E} = 1.4782 \times 10^{-3} + 0.5(0.9237 - 1.4782 \times 10^{-3})$$

$$v_{3E} = 0.46259 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$u_{3E} = 48.03 + 0.5(1289.65 - 48.03)$$

$$u_{3E} = 668.8400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_{4E} = v_{3E} = 0.46259 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_{4E} = P_{\text{sat}@-14^{\circ}\text{C}} = 2.4652 \text{ bar}$$

$$x_{4E} = \frac{0.46259 - 1.5215 \times 10^{-3}}{0.4885 - 1.5215 \times 10^{-3}}$$

$$x_{4E} = 0.9467944 = 94.67944\%$$

$$u_{4E} = 115.37 + 0.9467925(1305.17 - 115.37)$$

$$u_{4E} = 1241.8655 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{3E-4E} = 0 \text{ kJ (adiabático)}$$

$$\Delta U_{3E-4E} = Q_{3E-4E} - W_{3E-4E}$$

$$m_{\text{amoníaco}}(u_{4E} - u_{3E}) = Q_{3E-4E} - W_{3E-4E}$$

$$2.7 \times (1241.8655 - 668.8400) = 0 - W_{3E-4E}$$

$$W_{3E-4E} = -1547.16885 \text{ kJ}$$

Pregunta 1D: Para el proceso 4-5, se le pide (0.65 puntos c/u):

- La masa de amoníaco que ingresó al cilindro (kg)
- Número de kmol de aire que hay en el cilindro (kmol)
- La fracción molar de amoníaco en el cilindro **en el estado 5**
- La fracción másica de amoníaco en el cilindro **en el estado 5**
- La masa molar promedio de la mezcla (kg/kmol) **en el estado 5**
- La presión de la mezcla P_{5V} en el estado 5 (kPa), utilizando la constante del resorte previamente calculada
- La temperatura de la mezcla T_{5V} en el estado 5 (K)

$$m_{\text{amoníaco}} = 0.035 \times 17.03$$

$$m_{\text{amoníaco}} = 0.59605 \text{ kg}$$

$$n_{\text{aire}} = \frac{0.9}{28.97} = 0.03107 \text{ kmol}$$

$$y_{\text{amoníaco}} = \frac{0.035}{0.035 + 0.03107} = 0.52974$$

$$fm_{\text{amoníaco}} = \frac{0.59605}{0.59605 + 0.9} = 0.39842$$

$$M = 0.52974 \times 17.03 + (1 - 0.52974) \times 28.97$$

$$M = 22.64490 \text{ kg/kmol}$$

$$P_{5V} A = P_{\text{atm}} A + m_{\text{pistón}} g + k \Delta x_{35}$$

$$P_{5V} \times 10^3 \times 0.025 = 145 \times 10^3 \times 0.025 + 328.8215 \times \frac{0.72 - 0.54118}{0.025}$$

$$P_{5V} = 239.07978 \text{ kPa}$$

$$T_{5V} = \frac{P_{5V} V_{5V}}{n_{\text{total}} R}$$

$$T_{5V} = \frac{239.07978 \times 0.72}{(0.035 + 0.03107) \times 8.314}$$

$$T_{5V} = 313.37260 \text{ K}$$

Pregunta 1E: Para el proceso 5-6, se le pide (0.65 puntos c/u):

- El c_v promedio de la mezcla (kJ/kg. K)
- La presión de la mezcla P_{6V} en el estado 6 (kPa), utilizando la constante del resorte **previamente calculada**.
- La temperatura de la mezcla T_{6V} en el estado 6 (K)
- El cambio de energía interna de la mezcla durante el proceso 5-6 (kJ). **Usar c_v promedio**.
- El trabajo durante el proceso 5-6 (kJ)
- El calor transferido durante el proceso 5-6 (kJ)

$$c_v = f m_{amoniac} c_{v,amoniac} + f m_{aire} c_{v,aire}$$

$$c_v = 0.39842 \times 1.664 + (1 - 0.39842) \times 0.721$$

$$c_v = 1.09671 \frac{kJ}{kg.K}$$

$$P_{6V} A = P_{atm} A + m_{piston} g + k \Delta x_{36}$$

$$P_{6V} \times 10^3 \times 0.025 = 145 \times 10^3 \times 0.025 + 328.8215 \times \frac{1-0.54118}{0.025}$$

$$P_{6V} = 386.39181 \text{ kPa}$$

$$T_{6V} = \frac{P_{6V} V_{6V}}{n_{total} R}$$

$$T_{6V} = \frac{386.39181 \times 1}{(0.035 + 0.03107) \times 8.314}$$

$$T_{6V} = 703.41818 \text{ K}$$

$$\Delta U_{5V-6V} = m_{total} c_v (T_{6V} - T_{5V})$$

$$\Delta U_{5V-6V} = (0.9 + 0.59605) \times 1.09671 \times (703.41818 - 313.37260)$$

$$\Delta U_{5V-6V} = 639.96065 \text{ kJ}$$

$$W_{5V-6V} = \frac{P_{5V} + P_{6V}}{2} \times (V_{6V} - V_{5V})$$

$$W_{5V-6V} = \frac{239.07978 + 386.39181}{2} \times (1 - 0.72)$$

$$W_{5V-6V} = 87.56602 \text{ kJ}$$

$$\Delta U_{5V-6V} = Q_{5V-6V} - W_{5V-6V}$$

$$639.96065 = Q_{5V-6V} - 87.56602$$

$$Q_{5V-6V} = 727.52667 \text{ kJ}$$

